

ISSN 2544-4476  
e-ISSN 2544-798X

---

# AGRONOMY SCIENCE

---

wcześniej – formerly

Annales UMCS sectio E Agricultura

VOL. LXXIX (4)

2024

---

UNIwersytet Przyrodniczy w Lublinie

RADA NAUKOWA – SCIENTIFIC BOARD

Alessandra Carrubba (Palermo, Włochy), Honorata Danilčenko (Kaunas, Litwa),  
Krzysztof Jankowski (Olsztyn, Polska), Mohsen Janmohammadi (Maragheh, Iran),  
Barbara Kołodziej (Lublin, Polska), Leszek Rachoń (Lublin, Polska),  
Gabriela Růžicková (Brno, Czechy), Naser Sabaghnia (Maragheh, Iran),  
Ivan Salamon (Presov, Słowacja), Ivan Shuvar (Dublany, Ukraina),  
Danuta Urban (Lublin, Polska), Barbara Wiśniowska-Kielian (Kraków, Polska),  
Zdzisław Wyszyński (Warszawa, Polska), Alena Yakimovich (Mińsk, Białoruś)

REDAKTOR NACZELNY – EDITOR-IN-CHIEF

Danuta Sugier

REDAKTOR WYDAWNICZY – PUBLISHING EDITOR

Agnieszka Litwińczuk  
Renata Zelik

SKŁAD I ŁAMANIE – TYPESETTING TEXT

Małgorzata Grzesiak

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie – Wydawnictwo, Lublin 2024

ISSN 2544-4476  
e-ISSN 2544-798X

Czasopismo jest indeksowane przez – Covered by:

AGRO, Arianta, EBSCO, CAB Abstracts, DOAJ, EBSCO, EuroPub,  
Index Copernicus – ICI Journal Master List, Most Wiedzy, PBN, Sherpa Romeo,  
Ulrichsweb Global Serials Directory



Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego

Zadania realizowane w latach 2019–2020 na podstawie umowy nr 371/WCN/2019/1 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu „Wsparcie dla czasopism naukowych”. Zadania realizowane w latach 2018–2019 w ramach umowy 638/P-DUN/2018 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę: tłumaczenie na język angielski oraz specjalistyczna korekta językowa artykułów w czasopiśmie *Agronomy Science*; zapewnienie otwartego dostępu do czasopisma *Agronomy Science* poprzez utworzenie oddzielnej strony internetowej w polskiej i angielskiej wersji językowej wraz z elektronicznym systemem wydawniczo-edytorskim do obsługi czasopisma (<https://czasopisma.up.lublin.pl/index.php/as>).

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO W LUBLINIE

ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, tel. 81-445-66-60,  
<https://czasopisma.up.lublin.pl/index.php/as>,  
e-mail: [agronomy.science@up.lublin.pl](mailto:agronomy.science@up.lublin.pl)

## Table of contents Spis treści

### WIOLETTA WRÓBLEWSKA

- Awareness and perception of contemporary climate change in the opinion of berry producers in Poland ..... 5  
Świadomość i postrzeganie współczesnych zmian klimatu w opinii producentów owoców jagodowych w Polsce

### MAŁGORZATA Z. WIŚNIEWSKA

- Obrona żywności na etapie produkcji rolnej – czy jesteśmy gotowi? ..... 22  
Food defense at the stage of agricultural production – are we ready? ..... 35

### WERONIKA ELŻBIETA HARASIM, CEZARY A. KWIATKOWSKI, JAN BUCZEK, OLIMPIA KLIKOCKA-WIŚNIEWSKA

- Agrobiofortification of spring wheat with nitrogen and sulfur in terms of improving yield and grain quality ..... 37  
Agrobiofortyfikacja pszenicy jarej azotem i siarką w aspekcie poprawy plonu i jakości ziarna

### DOROTA GALA-CZEKAJ, TERESA DĄBKOWSKA, TEOFIL ŁABZA

- Changes in segetal flora in a selected habitat of southern Poland from 1993 to 2022. Part 1. Species richness and biodiversity ..... 59  
Zmiany flory segetalnej w wybranym siedlisku Polski Południowej w latach 1993–2022. Część 1. Bogactwo gatunkowe i różnorodność biologiczna

### MARTA WYZIŃSKA, ADAM KLEOFAS BERBEĆ

- Impact of sowing date and nitrogen fertilization on two cultivars of *Tritordeum* yield potential – a Polish pilot study ..... 83  
Wpływ terminu siewu i nawożenia azotem na potencjał plonowania dwóch odmian *Tritordeum* – polskie badania pilotażowe

### WERONIKA KURSA, AGNIESZKA JAMIOŁKOWSKA

- Effect of selected plant extracts on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) plant growth stimulation and flag leaf infection by fungal pathogens ..... 105  
Wpływ wybranych ekstraktów roślinnych na stymulację wzrostu roślin i indeks porażenia liścia flagowego pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) przez patogeny grzybowe

MAGDALENA SERAFIN-ANDRZEJEWSKA, WIESŁAW WOJCIECHOWSKI,  
MARIE PICHOVÁ, MARCIN KOZAK

|                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Dochodowość uprawy bobiku <i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i> L. na nasiona w zależności<br>od aplikacji bakterii symbiotycznych .....            | 125 |
| Profitability of growing field beans <i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i> L. for seeds depending<br>on the application of symbiotic bacteria ..... | 135 |

BEATA KRÓL

|                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Effect of foliar application of biostimulants on the yield and quality of Greek oregano<br>herb ( <i>Origanum vulgare</i> L. subsp. <i>hirtum</i> (Link.) Ietswaart) ..... | 137 |
| Wpływ dolistnego stosowania biostymulatorów na plon i jakość ziela greckiego<br>oregano ( <i>Origanum vulgare</i> L. subsp. <i>hirtum</i> (Link.) Ietswaart)               |     |

SZYMON CHMIELEWSKI, TERESA WYŁUPEK

|                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Wpływ rozwoju zadrzewień śródpolnych na ekspozycję czynną punktów<br>widokowych – studium przypadku krajobrazu rolniczego Roztocza ..... | 155 |
| The impact of field coppices on viewsheds: A case study of the agricultural landscape<br>of Roztocze .....                               | 167 |

ALICJA BARANOWSKA, BARBARA SKOWERA, ALICJA WĘGRZYN

|                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Wpływ warunków meteorologicznych i zabiegów agrotechnicznych na wynik<br>produkcyjny i ekonomiczny uprawy maliny jesiennej – studium przypadku .....         | 169 |
| Impact of meteorological conditions and agrotechnical treatments on the production<br>and economic result of autumn raspberry cultivation – case study ..... | 182 |



Department of Management and Marketing, Faculty of Agrobioengineering,  
University of Life Sciences in Lublin, Dobrzańskiego 37, Poland  
email: wioletta.wroblewska@up.lublin.pl

WIOLETTA WRÓBLEWSKA 

## Awareness and perception of contemporary climate change in the opinion of berry producers in Poland

---

Świadomość i postrzeganie współczesnych zmian klimatu w opinii producentów  
owoców jagodowych w Polsce

**Abstract.** Agriculture, including horticulture, is one of the most vulnerable industries due to its high dependence on weather conditions. The topic of the impact of climate change on agriculture is being addressed more and more frequently, but research on berry producers' awareness and perception of climate change is rarely conducted. Meanwhile, adaptation and mitigation measures at the farm level depend largely on the farmer's awareness. Hence, the aim of this work was to identify the opinions of berry fruit producers in Poland and to assess their level of awareness, in terms of climate change and perception of the two-sided impact, i.e. climate change on production and production on climate. The data used in the work came from survey research conducted in 2021–2023 among 140 berry producers from 13 voivodeships of Poland. Only 8.57% of the surveyed berry producers are climate denialists, but as many as 75% of producers believe that berry production does not contribute to climate change. Producers point to rising in air temperature, dry spells, spring frosts, increased frequency of thunderstorms, strong winds and hailstorms as the most dangerous phenomena accompanying climate change. Producers include adaptation changes in their organizational and investment plans, but most see obstacles to implementation.

**Keywords:** climate change, producers' awareness, berry production, adaptation to climate change, Poland

---

**Citation:** Wróblewska W., 2024. Awareness and perception of contemporary climate change in the opinion of berry producers in Poland. *Agron. Sci.* 79(4), 5–20. <https://doi.org/10.24326/as.2024.5413>

## INTRODUCTION

Climate change has always taken place, but in the 20th century its pace has become particularly rapid [Kudliński 2006, Kundzewicz and Juda-Rezler 2010]. The effects of climate change are already having an impact on agriculture worldwide and the phenomenon of climate change is now recognized as one of the most serious challenges facing the environment, society and economies. Climate change has and will continue to have a direct or indirect impact on many sectors of the economy, including agriculture and horticulture. Fruit cultivation is the agricultural activity most sensitive and most intensely impacted by global warming and climate change. As a result, fruit trees are negatively affected by unsuitable climate conditions during winter rest, flowering, budding and fruiting periods and large economic losses occur [Oğuz et al. 2023]. Many components of climate change exposure are addressed in research, including precipitation [Lottering et al. 2021], heat [Quiller et al. 2017], frost [Parker et al. 2021], the occurrence of extreme weather events [Rosenzweig et al. 2002], but also the impact of high exposure on reducing yields [Lesk et al. 2022] or deteriorating crop quality [Bisbis et al. 2019]. Weather variability, rising temperature, shifting agroecosystem boundaries and the increasing occurrence of extreme weather events such as droughts are forcing the need for adaptation, given the maintenance of current plans, proper food quality and food security.

Projections for Poland indicate that extreme weather events will occur more frequently and become more intense [Kundzewicz and Kozyra 2011]. It is predicted that precipitation may be violent and heavy, causing floods, an increase in the frequency of heat waves and drought during the growing season. In addition, the intensity of strong winds, an increase in temperature and unfavorable seasonal changes in water resources will adversely affect crop yields, or the processing of agricultural commodities, as well as transport and storage conditions [Kurnik 2019]. For example, changes in the hydrological cycle associated with climate change bring not only onerous, prolonged droughts [Józwiak and Zieliński 2018], but also a change like precipitation: snow becomes less frequent, while the intensity of downpours instead of fine precipitation increases [Szwed et al. 2017]. The cited authors believe that agriculture in Poland may also experience positive changes related to the lengthening of the average growing season and the expansion of the area under certain thermophilic crops, but realistically extreme weather and climatic conditions will result in lower agricultural yields.

In fruit growing, climate change is exacerbating threats such as frost damage and inadequate cooling. Growth rates, premature ripening at higher temperature and increasing pest populations threaten the quality of specialty crops, as well as changes in their nutritional profiles, including sugars, acids and antioxidants [Bisbis et al. 2019, Lennert et al. 2024]. For example, an earlier spring accelerates the development of plants, which may multiply losses when late frosts occur. Such a situation in Poland occurred in 2017 when losses in orchard crops reached about 30% [Pfleiderer et al. 2019]. According to Prandecki [2020], effective solutions to climate problems require the simultaneous application of mitigation and adaptation measures. Their implementation at the farm level depends on several factors, including the type of crop, water availability, soil quality, and, most importantly, the farmer's awareness and knowledge of climate change [Sękowski 2014]. In the face of the increasingly noticeable phenomena accompanying climate change, the awareness of producers is important in this aspect, which will allow them to optimally manage favorable changes and effectively adapt to unfavorable changes [Kundzewicz and Juda-Rezler 2010, Sękowski

2014]. Since agricultural production and climate change have a two-way interaction, studies are being undertaken on farmers' awareness of the impact of production on the environment [Syp and Żukiewicz 2017]. The agricultural sector is not only directly influenced by weather phenomena, including those that are more likely to occur in the future but can significantly contribute to climate change mitigation [Jørgensen and Termansen 2016]. There is also research on climate change and its impact on the environment [Hajto et al. 2021], environmental assessments of agricultural and horticultural production to increase knowledge of the environment left behind by such crops, the search for environmental improvements that can be implemented as sustainable practices [Pérez et al. 2022].

Hence, the purpose of the article was to identify the opinions and assess the level of awareness of berry producers in Poland, in terms of the observed climate change and the impact of berry production on the process, as well as the process on production. Human capital, including the awareness of producers in terms of the reality of climate change represents a kind of potential for adaptation to its changes, support and implementation of sustainable and regenerative agriculture practices. This article is based on the part of the research entitled "Implementation of climate change adaptation strategies on farms with berry production", is intended as an overview of producers' views on the process of climate change. The results of the research topic undertaken can be used to improve the capacity of human and institutional capital for climate change adaptation and mitigation.

The study poses the following research questions:

- Do berry growers perceive climate change phenomena and to what extent?
- What are the observed and potential effects of climate change and its impact on berry production in Poland in the opinion of growers?
- What are the sources of climate change in the opinion of berry growers, including whether fruit production influences these changes and why?

## MATERIAL AND METHODS

Data for the analyses came from surveys carried out in Poland in 2021–2023 by diagnostic survey, using a questionnaire technique, aimed at three groups of fruit producers – blueberry, strawberry and raspberry. Purposive survey sampling was used, with cultivation of at least one in-ground berry fruit species, i.e. highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.), strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) or raspberry (*Rubus idaeus* L.), on the farm as the selection criterion. The survey was conducted primarily using an online survey method (CAWI, or Computer Assisted Web Interview). Producers were reached through various sources, including social media, the Association of Polish Blueberry Growers, as well as other industry platforms (including jagodnik.pl) and groups on Facebook, where a link to the survey was posted with a request to complete it. Difficult access to the operative and reluctance of growers to participate in the survey dictated the use of an additional method of sample selection, i.e. snowball sampling, whereby an initially small group of respondents were surveyed and members of that group recommended other individuals belonging to the general population for further study. A total of 78, 42 and 40 farm owners with blueberry, strawberry and raspberry production, respectively, participated in the survey, of which highbush blueberry producers completed 68 questionnaires from 10 provinces, 36 questionnaires were obtained from strawberry producers from 8 provinces and 36 questionnaires were com-

pleted by raspberry producers from 5 provinces, respectively, were qualified for further analysis, after prior verification of the completeness of responses. The structure of the farms by type and space (by province) is shown in Figure 1. and the characteristics of surveyed producers and farms is shown in Table 1. Attitudes to climate change were analyzed in most cases from the perspective of all surveyed berry producers and producers of individual species, which allowed us to capture differences in views and opinions on the topic under study. In the article, in order to avoid repetition – in the case of farms with highbush blueberry, strawberry and raspberry production, the terms blueberry, strawberry, and raspberry, respectively, are used in the tables and graphs.

Table 1. Selected characteristics of the surveyed farms

| Specification                                    |                     | Number of holdings                     |       |       | Structure (%) |       |       |
|--------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                  |                     | A                                      | B     | C     | A             | B     | C     |
| Age                                              | 20–29 years         | 14                                     | 11    | 6     | 20.59         | 30.56 | 16.67 |
|                                                  | 30–39 years         | 10                                     | 8     | 13    | 14.70         | 22.22 | 36.11 |
|                                                  | 40–49 years         | 14                                     | 7     | 9     | 20.59         | 19.44 | 25.00 |
|                                                  | 50–59 years         | 14                                     | 8     | 8     | 20.59         | 22.22 | 22.22 |
|                                                  | 60 and more years   | 16                                     | 0     | 0     | 23.53         | 0.00  | 0.00  |
| Education                                        | primary             | 0                                      | 2     | 0     | 0.00          | 5.56  | 0.00  |
|                                                  | vocational          | 2                                      | 4     | 4     | 2.94          | 11.11 | 11.11 |
|                                                  | secondary education | 22                                     | 12    | 11    | 32.35         | 33.33 | 30.56 |
|                                                  | higher education    | 44                                     | 18    | 21    | 64.71         | 50.00 | 58.33 |
| Off-farm income                                  | yes                 | 30                                     | 10    | 21    | 44.12         | 27.78 | 58.33 |
|                                                  | no                  | 38                                     | 26    | 14    | 55.88         | 72.22 | 41.67 |
| Average UAA area                                 |                     | 64.82 <sup>1</sup> /8.25 <sup>2</sup>  | 11.78 | 12.43 | –             | –     | –     |
| Average area under blueberries                   |                     | 19.91 <sup>3</sup> / 8.03 <sup>4</sup> | 4.45  | 1.57  | –             | –     | –     |
| Average share of berry crops in the UAA area (%) |                     | 30.72 <sup>5</sup> /44.00 <sup>6</sup> | 37.78 | 12.63 | –             | –     | –     |

A – blueberry, B – strawberry, C – raspberry

UAA - utilised agricultural area

<sup>1</sup> including two large farms 1500 and 120 ha

<sup>2</sup> excluding two large farms 1500 and 120 ha

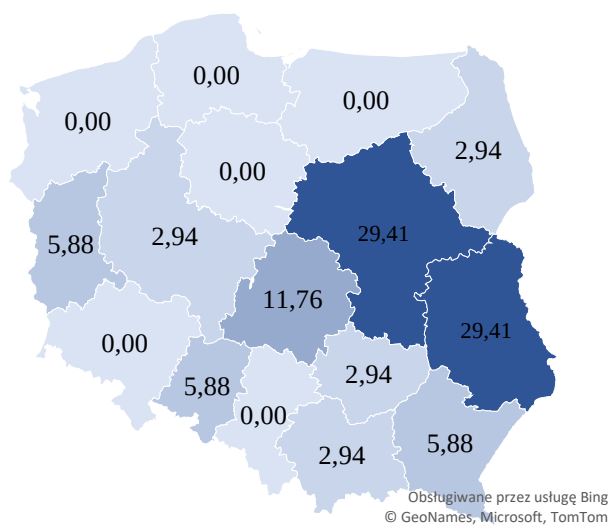
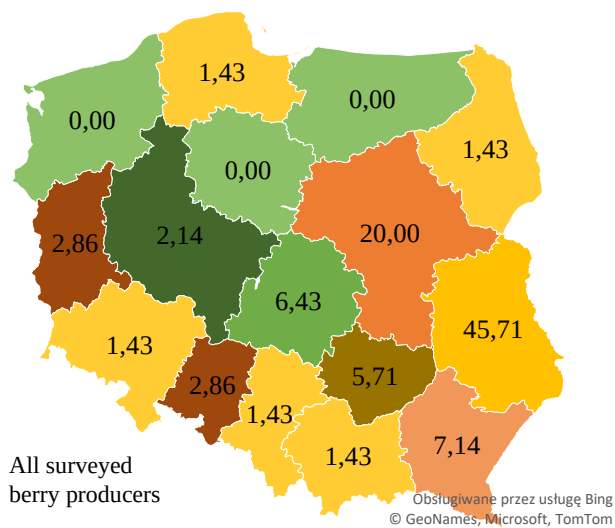
<sup>3</sup> including two large plantations 600 and 120 ha

<sup>4</sup> excluding two large plantations 600 and 120 ha

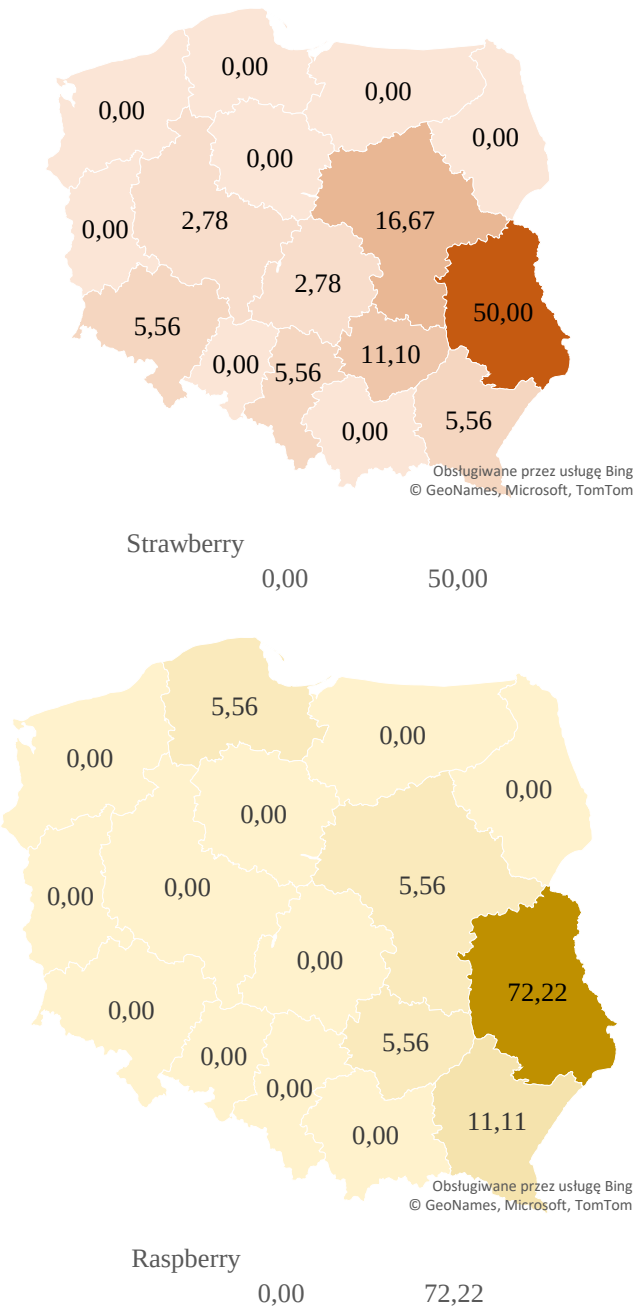
<sup>5</sup> including two large farms 1500 and 120 ha and with berry crops 600 and 120 ha respectively

<sup>6</sup> excluding two large farms 1500 and 120 ha and with berry crops 600 and 120 ha respectively





0,00 29,41



Source: own study using Bing GeoNames service, Microsoft, TomTom

Fig. 1. Structure of the surveyed farms by type and space (%)

The small research frame made it impossible to analyze the correlation of the issues investigated with the characteristics of the producers (demographic characteristics) or the characteristics of the farms themselves. Hence, the primary data collected were subjected to quantitative analyses. Descriptive statistics, structure indices, mean values ( $\bar{X}$ ) and a measure of variability, i.e. standard deviation (SD), were used. To assess the impact of the phenomena accompanying climate change on berry production and to analyze the position of the surveyed berry growers towards the observed and potential effects of climate change and its impact on production in Poland, the mean values obtained were assigned ranks, creating data series in the surveyed groups of respondents. Spearman's rank correlation analysis was used to indicate the degree of co-occurrence between opinion series in the three producer groups studied. This coefficient can be applied to any variable whose values can be ordered [Jóźwiak and Podgórski 2006], and correlation means the strength and direction of the relationship between two variables (or groups under study), i.e. that the variables move similarly, but not necessarily one variable is the cause of the other. In the case of the occurrence of observations with equal values of the ranked variable, these observations were assigned an identical rank, equal to the average of their consecutive numbers (hence they may take incomplete values). The following levels of correlation were used to interpret the results:  $<0.2$  – no linear relationship;  $0.2-0.4$  – weak relationship;  $0.4-0.7$  – moderate relationship;  $0.7-0.9$  – fairly strong relationship;  $>0.9$  – very strong relationship. Statistical significance level  $\alpha$  was taken at  $p = 0.05$ . The figures and tables presented in the paper include the survey questions asked of the surveyed producers.

## RESULTS AND DISCUSSION

The results of the study indicate that the majority of the analyzed berry producers perceive climate change and related phenomena in their environment. Of the entire group of producers analyzed, 8.57% of them are climate denialists, including about 11% of blueberry and strawberry producers. All surveyed raspberry growers notice climate change in their area. Among the surveyed producers, the proportion of those who are not convinced of the reality of the climate change phenomenon is slightly higher than in most European countries (about 10%) and Poland (about 7%) [Wójcik and Byrka 2016, Budziszewska et al. 2023].

The problem of perceiving the causes of climate change is complex. However, according to [Kundzewicz and Juda-Rezler 2010], changes in the composition of the Earth's atmosphere and changes in the properties of the Earth's surface are influenced both by natural factors, but increasingly also by human activity. Human-induced climate change is already affecting many weather and climate extremes. Evidence of observed changes in extremes such as heat waves, heavy precipitation, and droughts, among others, and in particular their effects has since been reinforced by the attribution of human influence [Kurowska 2020, IPCC 2021]. The majority, some 61%, of the surveyed berry growers, who are convinced of the reality of the climate change phenomenon, believe that this process and its effects are equally the result of human activity and natural environmental change (Fig. 2). The highest percentage in favour of this statement was found among raspberry producers (72.22%), while the lowest was among blueberry producers (50.00%). According to Budziszewska et al. [2023], such a view is incompatible with scientific knowledge, and in Poland such people are in the majority – 57.20% of respondents – and many people still do not understand that humans are the biggest contributor to climate change. Among

the producers surveyed, one in four advocated the statement that climate change is mainly the result of human activity. According to Budziszewska et al. [2023], the majority of Europeans believe that human influence in shaping climate change is greater than the change resulting from natural processes, and the proportion of people who deny the phenomenon of climate change or believe that it is caused solely by natural causes oscillates around 10%. Among the producers surveyed, the proportion seeing climate change mainly in the environment was over 14% and was highest among strawberry producers (nearly 19%). The research results differ slightly from those conducted by Syp and Żukiewicz [2017] among 125 farmers from the Łęczna district. The study by the cited authors shows that 39% of farmers consider human activity and natural changes in the environment as equivalent causes of climate change, 37% of respondents stated that these changes are only the result of human activity, and 24% of respondents considered natural processes in the environment. The differences in the perception of the causes of climate change among the surveyed berry growers and farmers – according to a study by Syp and Żukiewicz [2017] – may be due to the different production profiles of the two groups, and thus the use of different production technologies. The issue of the perception of the impact of their production on climate change will be discussed later in the paper.

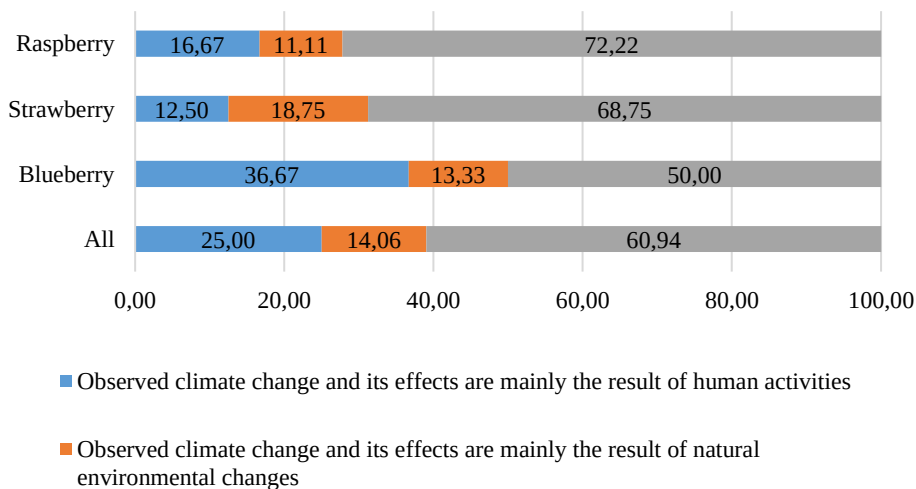


Fig. 2. Determinants of climate change in the opinion of surveyed berry producers in Poland (in percentage of surveyed individual groups)

Surveyed producers perceiving climate change in their environment were also asked to assess the impact of phenomena accompanying these changes on berry production. The owners of all analyzed farm groups assessed the phenomena accompanying climate change as hurting their production activities (Tab. 2). Even theoretically positive changes related to the lengthening of the average growing season, from the point of view of berry fruit producers, whose production is seasonal, were assessed negatively by them. This was

influenced by a realistic assessment of possible weather conditions, e.g. the occurrence of spring frosts, which tended to reduce yields. In the top three most unfavorable phenomena, blueberry producers mentioned longer dry spells, more frequent hurricanes and thunderstorms and heavy rain, strawberry producers mentioned heavy rain, periods of drought and heat waves, and raspberry producers mentioned periods of drought, hurricanes and thunderstorms and heat waves. The assessment of the impact of weather phenomena observed in the process of climate change by the analyzed producers of each species was similar and characterized by a strong relationship, as indicated by the value of Spearman rank correlation coefficients (Tab. 2).

Table 2. Evaluation of phenomena accompanying climate change on berry production in the opinion of surveyed producers (on a scale of –3 to 3, where “negative” values indicate the strength of negative phenomena, 0 – neutral phenomena and “positive” values positive phenomena (–3 – very negative, 0 – neutral, 3 – very positive)

| Specification                                      | $\bar{X}^1$                 |       |       | SD                         |      |      | Rank                        |      |      |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|------|------|-----------------------------|------|------|
|                                                    | A                           | B     | C     | A                          | B    | C    | A                           | B    | C    |
| Extension of the average growing season            | –0.70                       | –0.78 | –1.00 | 1.60                       | 0.87 | 1.51 | 8.0                         | 9.0  | 8.5  |
| Increase in temperature                            | –0.53                       | –0.94 | –1.11 | 1.57                       | 1.09 | 1.30 | 9.0                         | 8.0  | 6.5  |
| Heat waves                                         | –1.20                       | –2.17 | –1.56 | 1.77                       | 0.85 | 1.86 | 6.0                         | 3.0  | 3.0  |
| Flood                                              | –0.87                       | –1.44 | –0.50 | 1.33                       | 1.08 | 1.03 | 7.0                         | 7.0  | 10.0 |
| Heavy rain, storms                                 | –1.63                       | –2.61 | –1.22 | 1.25                       | 0.77 | 1.15 | 3.0                         | 1.0  | 4.5  |
| More frequent hurricanes and storms                | –1.70                       | –2.11 | –1.67 | 1.29                       | 1.12 | 1.43 | 2.0                         | 4.0  | 2.0  |
| More frequent hailstorms                           | –1.53                       | –1.83 | –1.22 | 1.56                       | 1.03 | 1.46 | 5.0                         | 6.0  | 4.5  |
| No snow in winter                                  | –1.60                       | –2.00 | –1.11 | 1.45                       | 1.07 | 1.12 | 4.0                         | 5.0  | 6.5  |
| Longer periods of drought                          | –1.80                       | –2.33 | –2.11 | 1.47                       | 1.07 | 1.51 | 1.0                         | 2.0  | 1.0  |
| Increase in sunshine                               | –0.50                       | –0.28 | –1.00 | 1.36                       | 1.88 | 1.31 | 10.0                        | 10.0 | 8.5  |
| Spearman rank correlation coefficient $p < .01000$ | A/B<br>$\rho = 0.866666667$ |       |       | A/C<br>$\rho = 0.82907566$ |      |      | B/C<br>$\rho = 0.782907566$ |      |      |

<sup>1</sup> on a scale of –3 to 3, A – blueberry (n = 60), B – strawberry (n = 32), C – raspberry (n = 36)

Source: own study

Producers also presented their position on the observed and potential effects of climate change and its impact on berry production in Poland. Producers, irrespective of the type of berry produced, are mainly concerned about rising temperature and longer periods of drought, which may adversely affect fruit yields. This is, in the opinion of producers, the most important effect of climate change in terms of risks. Producers' concerns are not unfounded. According to IUNG reports [2023a, 2023b], the area of soils at risk of drought in Poland varies dynamically from one reporting period to another. For example, as in the reporting period from 1 May to 30 June 2023, agricultural drought was recorded in fruit bush crops, in 1441 municipalities (i.e. 58.18% of Poland's municipalities), and drought

was recorded in 43.27% of the country's arable land. Agricultural drought was also recorded in strawberry crops, in 1246 municipalities (50.30% of Poland's municipalities) [IUNG 2023a, 2023b]. For many years, the future situation of agricultural production in Poland has assumed that changes in the structure of water balance leading to water deficit will be a factor determining the level of plant and animal production [Mirkowska 2009].

The producers surveyed also identified and assessed the effects of climate change, from the point of view of its impact on their business. In the first place, they indicated the phenomenon of rising temperature and longer periods of drought, which, among other things, affects the quantity and quality of the crop and forces new investments (e.g. irrigation). Here, the average score ranged from 4.50 to 4.35 (Tab. 3). This was followed by the risk of frost during unfavourable periods for plant development and a decrease in yield (mean score of 4.44 to 4.35), an increase in the frequency of extreme weather events, e.g. storms, hailstorms, winds, tornadoes (mean score of 4.44 to 4.16) and the appearance of new invasive species (pests, diseases), which increases the use of plant protection products (mean score of 4.47 to 4.15). The consequence of the above-mentioned phenomena is an increase in production costs and necessary investments on farms. This was also the opinion of farmers in a study by Syp and Żukiewicz [2017]. Here, the vast majority of farmers fear that the consequence of the changes taking place will be an increase in the costs of agricultural production (69%) and a reduction in the standard of living (61%). In the case of the surveyed berry producers, as many as 94.29% see threats to production. Among the main sources of risk, producers cite an increase in production costs. Such concerns are expressed by 71.49%, 77.78% and 66.67% of blueberry, strawberry and raspberry fruit producers respectively. The increase in production costs is due to several factors, including market, legal, agrotechnical and climatic conditions. However, it should be emphasised that, in the opinion of the surveyed producers, it is the climatic conditions, apart from market conditions, that will have the greatest impact on production costs.

Nearly half of the surveyed blueberry and strawberry producers and 30% of the raspberry producers anticipate an increase in outlays and costs in the coming years as a result of the need for changes and investments in terms of adapting to climate change and mitigating the consequences of extreme climate events. The producers surveyed earned income not only from berry production as the share of berry crops in total UAA (utilised agricultural area) represented 30.72/44.00%, 37.78% and 12.63% for blueberry, strawberry and raspberry holdings respectively. However, income from berry production was the only source of income on these farms for 55.88% of blueberry farms, 72.22% of strawberry farms and 41.67% of raspberry farms.

Crop production is highly dependent on weather and climate conditions, but often also has an impact on climate change. A small percentage of the surveyed producers, only 17.65% (Fig. 3), believe that berry production contributes to climate change. This opinion was expressed by blueberry and strawberry producers, while none by raspberry producers. Among the mentioned factors/activities, influencing climate change, the blueberry producers indicated mainly the significant water consumption in production, the use of chillers and thus CO<sub>2</sub> emissions, and exhaust emissions from machinery and equipment used in the production and post-production process (storage, transport). The raspberry growers indicating the reality of the impact of their production on the climate mentioned mainly the use of organic fertilization, significant water consumption, the use of refrigeration units, agrotechnical treatments accompanied by CO<sub>2</sub> emissions and evaporation of water from the soil (Tab. 4).

Table 3. Position of surveyed berry growers towards observed and potential effects of climate change and its impact on production (on a scale of 1 to 5, where 1 – strongly disagree, 5 – strongly agree)

| Climate change is causing                                                                                                                                                   | $\bar{X}$                   |      |      | SD                          |      |      | Rank                        |     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|------|-----------------------------|------|------|-----------------------------|-----|-----|
|                                                                                                                                                                             | A                           | B    | C    | A                           | B    | C    | A                           | B   | C   |
| Increase in investment/ costs                                                                                                                                               | 4.26                        | 4.31 | 4.22 | 1.08                        | 1.19 | 1.21 | 3                           | 4   | 6   |
| An increase in production risk and, for example, the need to take out insurance                                                                                             | 4.06                        | 3.94 | 3.75 | 1.14                        | 0.95 | 1.44 | 7.0                         | 7.0 | 8.0 |
| The occurrence of frost at unfavorable periods for plant development and a drop in yields                                                                                   | 4.35                        | 4.35 | 4.44 | 1.01                        | 1.43 | 1.13 | 1.5                         | 3.0 | 4.5 |
| Lack of snow in winter, water shortages, which among other things reduces soil fertility                                                                                    | 4.12                        | 4.44 | 4.45 | 1.19                        | 1.01 | 0.71 | 6.0                         | 2.0 | 3.0 |
| Increased temperature and longer periods of drought, which among other things affect the quantity and quality of the crop and necessitate new investments (e.g. irrigation) | 4.35                        | 4.50 | 4.50 | 0.98                        | 0.85 | 1.00 | 1.5                         | 1.0 | 1.0 |
| An increase in the frequency of extreme weather events – thunderstorms, hailstorms, winds, tornadoes – which affect lower crop yields                                       | 4.24                        | 4.16 | 4.44 | 1.12                        | 0.78 | 1.05 | 4.0                         | 6.0 | 4.5 |
| The extension of the growing season, which can increase yields                                                                                                              | 3.00                        | 2.63 | 3.78 | 1.17                        | 1.39 | 1.12 | 8.0                         | 8.0 | 7.0 |
| The appearance of new invasive species (pests, diseases), which increases the use of plant protection products                                                              | 4.15                        | 4.30 | 4.47 | 1.17                        | 0.76 | 1.10 | 5.0                         | 5.0 | 2.0 |
| Spearman rank correlation coefficient $p < .01000$                                                                                                                          | A/B<br>$\rho = 0.718575757$ |      |      | A/C<br>$\rho = 0.536144578$ |      |      | B/C<br>$\rho = 0.754504545$ |     |     |

A – blueberry, B – strawberry, C – raspberry

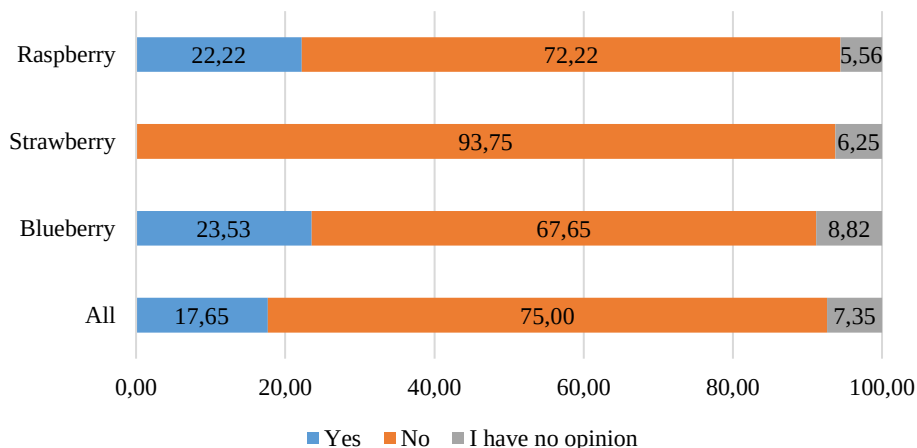


Fig. 3. Do you think that blueberry (n = 68)/strawberry (n = 32)/raspberry (n = 36) production contributes to climate change? (in % of each group of farms surveyed)

However, the majority of berry growers surveyed, 75%, think that berry production does not contribute to climate change. Producers of the different species mentioned several factors which, in their opinion, prove this. First of all, producers emphasized that berry production, compared to meat production, has a much smaller carbon footprint. In addition, the most frequently mentioned factors influencing climate protection, in all farm groups, were a significant proportion of manual work, mainly in harvesting or sorting the fruit, a limited number of agrotechnical procedures, (perennial crops) and the rational use of plant protection products. The opinions of producers of individual berry species, in terms of the lack of impact of these productions on climate change, are presented in Table 4.

At the farm level, there are many opportunities to implement mitigating (e.g. pro-environmental farm profile) and adaptive actions and measures so that the damage and negative impacts of change are minimized, while the positive impacts are fully exploited. The adaptive potential of farms varies and depends on many resources, including human, financial, organizational, infrastructural and knowledge. Hence, each farm is characterized by a specific adaptation potential. These activities at farm level in many cases are not yet taking place for various reasons such as lack of: investment resources, adaptation policy initiatives, adaptation capacity and access to knowledge. On the farms surveyed, the larger farms' adaptation measures already made were recorded and mainly concerned berry crops under shelter. It is encouraging that most producers include adaptation changes in their organizational and investment intentions. However, a significant percentage, i.e. 61.76, 44.44 and 50.00% of the surveyed producers of blueberries, strawberries and raspberries respectively, see obstacles to the introduction of various forms of adaptation of berry production to climate change. These difficulties are primarily perceived by producers as the lack of sufficient monitoring and early warning systems for risks (30.95, 31.25 and 44.44% of blueberry, strawberry and raspberry producers respectively), lack of investment support for farms (33.33, 37.50, 33.3%) and lack of training and technological advice taking into account aspects of adapting production to increased climate risks.



Table 4. Categories of impacts in berry production contributing to climate change and limiting climate change impacts, according to surveyed growers (in %)

| Categories of impacts                                                                                   | Berry production |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------|-------|
|                                                                                                         | A                | B     | C     |
| Negative impact on the climate <sup>1</sup>                                                             |                  |       |       |
| A significant water consumption in production                                                           | 62.50            | –     | 37.50 |
| Application of organic fertilizer (including manure) and nitrous oxide emissions (NO <sub>2</sub> )     | –                | –     | 50.00 |
| Use of chillers – emission of gases such as CO <sub>2</sub>                                             | 37.50            | –     | 37.50 |
| Agro-technical treatments including exhaust emissions CO <sub>2</sub>                                   | 25.00            | –     | 25.00 |
| Use of plant protection products, pesticides                                                            | 12.5             | –     | –     |
| Use of packaging                                                                                        | 12.5             | –     | –     |
| Protective effect on the climate <sup>2</sup>                                                           |                  |       |       |
| A significant proportion of manual work                                                                 | 65.22            | 31.25 | 61.54 |
| Perennial cultivation – low number of agro-technical operations, hence low emissions of CO <sub>2</sub> | 60.87            | 31.25 | 23.08 |
| Small carbon footprint compared to, for example, meat production                                        | 56.52            | 31.25 | 26.92 |
| Reducing agro-technical measures, e.g. plowing intensity                                                | 52.17            | 56.25 | 38.46 |
| No or limited use of organic fertilizer and nitrous oxide emissions (NO <sub>2</sub> )                  | 34.78            | –     | –     |
| Absence or rational use of plant protection products                                                    | 34.78            | 71.87 | 61.54 |
| Rational fertilisation, precise application of fertilisers                                              | 34.78            | 71.87 | 61.54 |

<sup>1</sup> A – blueberry (n = 16); B – strawberry (n = 0) - strawberry producers did not declare any negative impact of this production on climate change; C – raspberry (n=8),

<sup>2</sup> A – blueberry (n = 46), B – strawberry (n = 30), C – raspberry (n = 26)

## CONCLUSION

The results of the research carried out allow the research questions posed in the study to be answered and indicate. The majority of the analysed berry producers perceive climate change and related phenomena in their environment. Only 8.57% of them are climate deni-  
alists. Some 61% of the producers surveyed are convinced of the reality of the climate change phenomenon, believing that this process and its effects are due equally to human activity and natural environmental changes. Among the most adverse phenomena accompanying climate change, producers cited droughts, more frequent hurricanes, storms and heavy rain, heat waves. The producers surveyed also identified and assessed the effects of climate change,

from the point of view of its impact on their operations. Among the most dangerous phenomena, they indicated an increase in temperature and longer periods of drought, the occurrence of frosts at unfavorable times for plant development, an increase in the frequency of extreme weather phenomena – storms, hailstorms, winds, tornadoes and the appearance of new invasive species. The consequence of the aforementioned phenomena is an increase in production costs and necessary investments on farms. The producers surveyed were aware that berry production has the potential to both negatively impact and protect the climate. As many as 75% of producers think that berry production does not contribute to climate change, which is mainly due to the high proportion of manual work, mainly in harvesting or sorting the fruit, the limited number of agrotechnical operations (perennial crops) and the rational use of plant protection products. Producers take adaptation changes into account in their organizational and investment plans, but most also see obstacles to the introduction of various forms of adaptation of berry production to climate change. These difficulties are mainly attributed by producers to the lack of sufficient monitoring and early-warning systems for risks, the lack of investment support for farms, and the lack of training and technological advice on how to adapt production to increased climate risks.

#### REFERENCES

- Bisbis M.B., Gruda N.S., Blanke M.M., 2019. Securing horticulture in a changing climate – a mini review. *Horticulturae* 5, 56. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5030056>
- Budziszewska M., Kardaś A., Bohdanowicz Z., 2023. Klimatyczne ABC. Interdyscyplinarne podstawy współczesnej wiedzy o zmianie klimatu [Climate ABC: Interdisciplinary foundations of contemporary climate change knowledge]. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Hajto M., Cichocki Z., Kuśmierz A., Borzyszkowski J., 2021. Zmiany klimatu i adaptacja do zmian klimatu w ocenach oddziaływania na środowisko [Climate change and adaptation to climate change in environmental impact assessments]. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- IPCC, 2021. Summary for policymakers. In: *Climate change 2021. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S. L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M. I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T. K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R., Zhou B. (eds). Cambridge University Press. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf)
- IUNG, 2023a. <https://susza.iung.pulawy.pl/mapy/2023,05,Krz/> [access: 5.07.2024].
- IUNG, 2023b. <https://susza.iung.pulawy.pl/mapy/2023,05,Trusk/> [access: 5.07.2024].
- Jørgensen S.L., Tjernansen M., 2016. Linking climate change perceptions to adaptation and mitigation action. *Clim. Change* 138, 283–296. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1718-x>
- Józwiak W., Zieliński M., 2018. (ed.) *Przedsiębiorstwo i gospodarstwo rolne wobec zmian klimatu i polityki rolnej* [Business and farm facing climate change and agricultural policy]. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Józwiak J., Podgórski J., 2006. *Statystyka od podstaw* [Statistics from scratch], PWE, Warszawa.
- Kudliński Ł., 2006. Długofalowe konsekwencje zmian klimatycznych [Long-term consequences of climate change]. *Bezp. Narod.* 2, 231–248.
- Kundzewicz Z.W., Kozyra J., 2011. Ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich [Reducing impacts of climatic threats to agriculture and rural areas]. *Pol. J. Agron.* 7, 68–81.

- Kurnik B., 2019. Dostosowanie do zmian klimatycznych jest kluczowe dla przyszłości rolnictwa w Europie [Adapting to climate change is key to the future of agriculture in Europe]. EEA Newsletter, 16 September 2019, <https://www.eea.europa.eu/pl/articles/dostosowanie-dozmian-klimatycznych-jest>
- Kurowska K., 2020. Wpływ zmian klimatycznych na bezpieczeństwo ekologiczne [Impact of climatic changes on ecological security]. Zesz. Nauk. Pro Publico Bono 1(1), 139–154.
- Lennert J., Kovács K., Koós B., Swain N., Bálint C., Hamza E., Király G., Rácz K., Váradi M.M., Kovács A.D., 2024. Climate change, pressures, and adaptation capacities of farmers: empirical evidence from Hungary. Horticulturae 10, 56. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10010056>
- Lesk C., Anderson W., Rigden A., Coast O., Jägermeyr J., McDermid S., Davis K.F., Konar M., 2022. Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change. Nat. Rev. Earth Environ. 3, 872–889. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00368-8>
- Lottering S., Mafongoya P., Lottering R., 2021. Drought and its impacts on small-scale farmers in Sub-Saharan Africa: a review. S. Afr. Geogr. J. 103, 319–341. <https://doi.org/10.1080/03736245.2020.1795914>
- Mirkowska Z., 2009. Konsekwencje zmian klimatycznych dla rolnictwa [Consequences of climate changes for agriculture]. Zagad. Ekon. Rol. 2, 48–58.
- Oğuz İ., İbrahim Oğuz H., Hilal Attar Ş., Ayvaz Sönmez D., Çelik H., Ebru Yaşa Kafkas N., 2023. Preferable berry fruits for tolerance to global climate change and dry conditions. In: Edible Berries – New Insights, N.E.Y. Kafkas, H. Çelik (eds). IntechOpen. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.1002222>
- Parker L., Pathak T., Ostojka S., 2021. Climate change reduces frost exposure for high-value California orchard crops. Sci. Total Environ. 762, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143971>
- Pérez R., Laca A., Laca A., Díaz M., 2022. Environmental behaviour of blueberry production at small-scale in Northern Spain and improvement opportunities. J. Clean. Prod. 339, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130594>
- Pfleiderer P., Menke I., Schleussner CF., 2019. Increasing risks of apple tree frost damage under climate change. Clim. Change 157, 515–525. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02570-y>
- Prandecki K., 2020. The impact of climate change on agricultural and rural development by 2030. Wieś Rol. 4, 61–75.
- Rosenzweig C., Tubiello F.N., Goldberg R., Mills E., Bloomfield J., 2002. Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. Glob. Environ. Change 12, 197–202.
- Quiller G., Krenz J., Ebi K., Hess J.J., Fenske R.A., Sampson P.D., Pan M., Spector J.T., 2017. Heat exposure and productivity in orchards: implications for climate change research. Arch. Environ. Occup. Health 72, 313–316. <https://doi.org/10.1080/19338244.2017.1288077>
- Sękowski M., 2014. Uwarunkowania produkcji roślinnej w kontekście zmian klimatycznych [Determinants of crop production in the context of climate change]. CDR w Brwinowie Oddział w Radomiu.
- Szwed M., Pińskwar I., Kundzewicz Z.W., Graczyk D., Mezghani A., 2017. Changes of snow cover in Poland. Acta Geophys. 65, 65–76. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0007-z>
- Syp A., Żukiewicz A., 2017. Zmiany klimatu w ocenie rolników [Climate change as assessed by farmers]. Rocz. Nauk. 19(5), 197–203.
- Wójcik A., Byrka K., 2016. Jak promować politykę prośrodowiskową i energetykę odnawialną w Polsce. Raport o docieraniu z przekazem do grupy docelowej Life Wzrost\_PL [How to promote pro-environmental policies and renewable energy in Poland. A report on reaching out to the Life Growth\_PL target audience with your message]. WWF Polska <https://energiaodnawia.pl/wp-content/uploads/2017/01/2-Raport-o-docieraniu-z-przekazem-do-grupy-docelowej.pdf> [date of access: 05.04.2024]

**Acknowledgements.** Thanks to the Association of Polish Blueberry Growers, as well as the industry platform jagodnik.pl for providing a link to the survey questionnaire and thus extending the range of producers surveyed.

**The source of funding for research and publications:** This research was financially supported by the Polish Ministry of Science and Higher Education under funds of the Department of Management and Marketing, University of Life Sciences in Lublin, Poland.

Received: 2.08.2024  
Accepted: 16.12.2024  
Published: 18.03.2025



Wydział Zarządzania, Uniwersytet Gdański, Armii Krajowej 101, 81-824 Sopot, Polska

e-mail: [malgorzata.wisniewska@ug.edu.pl](mailto:malgorzata.wisniewska@ug.edu.pl)

MAŁGORZATA Z. WIŚNIEWSKA 

## **Obrona żywności na etapie produkcji rolnej – czy jesteśmy gotowi?**

Food defense at the stage of agricultural production – are we ready?

---

**Abstrakt.** Ze względu na dynamiczną sytuację zewnętrzną wywołaną m.in. toczącymi się wojnami, np. w Ukrainie, podmioty rolne podlegają wielu wpływom, także negatywnym, które przekładają się na zwiększenie ryzyka ich funkcjonowania. Istniejąca i napięta sytuacja polityczna zmusza do przyjrzenia się szczególnie ryzyku jakim jest agroterroryzm. Uzasadnieniem do zajęcia się tym tematem jest skromna jeszcze literatura krajowa oraz fakt, iż zagrożenie o tym charakterze istnieje i jest bardzo realne. Celem pracy było uzyskanie odpowiedzi na pytanie: czy i w jakim zakresie istniejące prawo oraz działania właściwych urzędów sprzyjają przygotowaniu podmiotów działających w obszarze produkcji podstawowej do obrony żywności? Jako metodę badawczą wykorzystano głównie studia literaturowe oraz kwerendę aktów prawa stosowanego oraz prywatnego prawa żywnościowego. We wnioskach wykazano, że zarówno unijne, jak i krajowe prawo żywnościowe nie zobowiązuje do wdrożenia działań na rzecz obrony żywności w sektorze rolnym. Podkreślono ważną rolę dyrektywy o odporności podmiotów krytycznych (dyrektywy CER) oraz potrzebę wdrożenia programów edukacyjnych, pozwalających na stworzenie wytycznych dla producentów rolnych, opartych na najlepszych dostępnych wzorcach i systemach na skuteczną obronę żywności w obszarze rolnym. Potwierdzono także braki informacyjne na temat agroterroryzmu i zagrożeń z nim związanych po stronie właściwych urzędów zajmujących się bezpieczeństwem żywności i rolnictwem.

**Słowa kluczowe:** agroterroryzm, obrona żywności, infrastruktura krytyczna, prawo żywnościowe, schematy certyfikacji

---

**Cytowanie:** Wiśniewska M.Z., 2024. Obrona żywności na etapie produkcji rolnej – czy jesteśmy gotowi?. *Agron. Sci.* 79(4), 21–35. <https://doi.org/10.24326/as.2024.5415>

## WSTĘP

Podmioty działające na rynku, w tym te reprezentujące produkcję rolną, podlegają wielu wpływom zewnętrznym, które przekładają się na różne przemiany i niosą ryzyko związane z funkcjonowaniem tych podmiotów. Zgodnie z art. 3 pkt 17 rozporządzenia (WE) nr 178/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28 stycznia 2002 r. ustanawiającego ogólne zasady i wymagania prawa żywnościowego, powołującego Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności oraz ustanawiającego procedury w zakresie bezpieczeństwa żywności produkcja rolna wpisuje się w „produkcję podstawową”, która oznacza uzyskiwanie produktów podstawowych poprzez produkcję, uprawę lub hodowlę zwierząt, w tym zbiory, dojenie i hodowlę zwierząt gospodarskich przed ubojem. Oznacza także łowiectwo i rybołówstwo oraz zbieranie runa leśnego [Rozporządzenie 178/2002]. Podmioty tego rodzaju odczuwają skutki m.in. postpandemii [Tariq i in. 2024], zmian pogodowych i klimatycznych [El Hathat i in. 2023a, 2023b], zaburzeń w łańcuchach dostaw np. w związku z dostawami nawozów sztucznych [Kowalska i in. 2024, Tundys i in. 2024] czy wojną w Ukrainie [Wiśniewska 2024]. Właśnie ze względu na obecnie napiętą sytuację polityczną nie można również pominąć zagrożeń związanych ze zjawiskiem terroryzmu żywnościowego, który w obrębie tzw. produkcji podstawowej nosi miano agroterroryzmu. Zgodnie ze Światową Organizacją Zdrowia (WHO – Word Health Organization) terroryzm żywnościowy to akt zastraszenia celowym skażeniem żywności przeznaczonej do konsumpcji przez człowieka czynnikami chemicznymi, biologicznymi, fizycznymi lub radiologicznymi/radioaktywnymi w celu wywołania śmierci ludności cywilnej lub uszczerbku dla zdrowia i/lub zakłócenia stabilności społecznej, ekonomicznej lub politycznej państwa [World Health Organization 2008]. Z kolei agroterroryzm jest definowany jako przeprowadzenie ataku przeciwko sektorowi rolnictwu. Dotyczy to nie tylko upraw rolnych czy produkcji pasz, ale również sadownictwa, hodowli zwierząt oraz m.in. akwakultury (hodowli ryb). Najbardziej prawdopodobną formą zdarzenia agroterrorystycznego jest atak przy użyciu broni biologicznej, zwłaszcza wirusów, bakterii, grzybów i ich toksyn, ze względu na ich skuteczność oraz stosunkowo niską cenę i łatwość samodzielnego wytworzenia przez terrorystów. Stąd pojęcie agroterroryzmu bywa często związane do miana bioterroryzmu rolniczego [Zawojńska 2011]. Może on być zainicjowany przez kraje działające z motywów militarnych, politycznych, ideologicznych czy gospodarczych. Może wynikać z chęci dominacji różnych korporacji rolnych, które dążą do wyeliminowania konkurencji. Może także być przeprowadzany przez osoby indywidualne, w ramach rewanzu czy sabotażu, jak również jako tzw. narkoterroryzm przez kartele narkotykowe, zainteresowane przejęciem danego terenu pod uprawę roślin narkotycznych [Foxell 2001]. Dowodów na to, że akty agroterroryzmu mają miejsce, dostarcza zarówno historia, jak i współczesne doświadczenie. Dla przykładu w latach 1861–1865 generał William Tecumseh Sherman, w trakcie wojny secesyjnej, w celu pokonania i złamania wojsk Konfederatów, dopuszczał się m.in. palenia upraw, skażenia wód, zwierząt, stawów rybnych [Kornfeld 2003]. Współcześnie, w związku z agresją Rosji na Ukrainę, przybrało ono kilka form, np. kradzież zboża przez Rosję i próby jego sprzedaży jako własnego zasobu, niszczenie zapasów i podpalanie pól zbożowych, celowe ataki na gospodarstwa rolne, bombardowanie elewatorów zbożowych, zaminowywanie pól w celu uczynienia z nich gruntów niezdatnych do użytku [Wiśniewska 2024].

Niewątpliwie agroterroryzm jest trudny do przewidzenia i zapobieżenia, jeśli chodzi o jego występowanie w trakcie działań wojennych, to jednak wdrożenie działań prewencyjnych w okresie pokoju i względnej stabilności politycznej wydaje się niezbędne. Tym bardziej, iż, jak wskazują specjaliści, atak na sektor rolny jest stosunkowo łatwy do przeprowadzenia [Foxell 2001]. Wynika to z faktu, że gospodarstwa rolne są geograficznie rozproszone na niechronionych przestrzeniach (np. otwarte pola i pastwiska), co ułatwia terrorystom dostęp. Także wiele patogenów, np. roślinnych, można łatwo wyizolować ze środowiska lub uzyskać w legalnych laboratoriach. Dodatkowo emocjonalna reakcja opinii publicznej na terroryzm rolny (a tym samym presja wywierana na władze) jest słabsza niż w przypadku terroryzmu wymierzonego bezpośrednio w zdrowie lub życie człowieka [Zawojńska 2011]. W obecnej dobie jeśli chodzi o agroterroryzm, choć nie tylko, nie można pominąć cyberterroryzmu, czyli ataku poprzez sieci internetowe. Cyberterroryzm to atak kryminalny przy użyciu komputera oraz sieci telekomunikacyjnych, powodujący użycie siły, zniszczenie bądź też przerwanie usług w celu wywołania strachu poprzez wywołanie zamieszania i niepewności w określonej części populacji [Kołodziejczyk 2017]. Fakt, iż jest to zjawisko realne i bardzo groźne w skutkach, potwierdzają m.in. Sitnicki i in. [2024], Patil i Chinmayi [2024] czy Friha i in. [2022].

Zagadnienie agroterroryzmu, mimo że szeroko omówione w międzynarodowej literaturze przedmiotu [Utami i Puspitasari 2023, Manousopoulos i in. 2024], jest jeszcze dość słabo sygnalizowane w literaturze krajowej. Potwierdzają to wyniki przeglądu recenzowanych artykułów naukowych, dostępnych w połączonych bazach danych repozytorium rodzimego uniwersytetu, poszerzone o analizę prac w bazie Google Scholar z lat 2000–2024. W odpowiedzi na hasła „agroterroryzm”, „terroryzm rolniczy”, „bioterroryzm rolniczy”, po usunięciu duplikatów i prac poza zakresem, uzyskano łącznie 10 rekordów [Lipa 2006, Żuber 2006, Zawojńska 2011, Wiśniewska i Czernyszewcz 2014, Boczek i Lewandowski 2015, Szwejkowska i Truszkowski 2016, Wiza i in. 2019, Jarynowski i in. 2022, Jarynowski 2023, Wiśniewska 2024]. Powyższe potwierdza istniejącą lukę poznawczą i uzasadnia zajęcie się tą tematyką, w szczególności z perspektywy innego ważnego zjawiska, jakim jest obrona żywności (ang. food defense), pod pojęciem której można rozumieć zbiór różnych działań systemowych, realizowanych na poziomie danego podmiotu rolnego, składających się z zapobiegania, nadzorowania, gotowości i reagowania, a także wspierających ich warunków służących osiągnięciu stanu pozwalającego na zagwarantowanie, iż żywność jest wolna od zagrożeń i ich skutków wywołanych jej celowym zanieczyszczeniem [Wiśniewska 2021].

Artykuł ma charakter polemiczny. Problemem badawczym podjętym w niniejszej pracy jest pytanie: czy i w jakim zakresie istniejące prawo oraz działanie właściwych urzędów sprzyja przygotowaniu podmiotów działających w obszarze produkcji podstawowej do obrony żywności? Celem pracy jest uzyskanie odpowiedzi na to pytanie oraz przeanalizowanie istniejących, także fakultatywnych, rozwiązań w tym zakresie. Aby zrealizować założenia badawcze, oprócz analizy krytycznej literatury, która pozwoliła uzasadnić podjęcie badań, zastosowano następujące metody naukowe: analizę aktów prawnych, przegląd stron internetowych stosownych urzędów, analizę norm i standardów, analizę krytyczną, a także syntezę i wnioskowanie logiczne.

## METODYKA I MATERIAŁ BADAWCZY

Jeśli chodzi o akty prawne analiza dotyczyła legislacji europejskiej i krajowej wpisującej się w prawo żywnościowe, rozumiane za Korzycką-Iwanow [2005] jako „ogół przepisów regulujących stosunki społeczne związane ze wszystkimi etapami produkcji, przetwarzania i dystrybucji żywności, oraz pasz dla zwierząt przeznaczonych na żywność – ze względu na ochronę życia i zdrowia, interesy ekonomiczne konsumenta oraz rzetelność obrotu, przy uwzględnieniu ochrony środowiska i zdrowia oraz dobrostanu zwierząt”. Analizie poddano także prawo dotyczące rolnictwa ekologicznego oraz integrowanej produkcji roślin. Ponadto przeanalizowano ustawodawstwo dotyczące zapobiegania terroryzmowi oraz infrastruktury krytycznej. Stan prawny przyjęto na dzień 1.08.2024 r. Analiza objęła również strony internetowe. Zastosowano w tym przypadku metodę analitycznej oceny stron internetowych, która jest jedną z metod oceny jakości informacji zawartych na stronach internetowych. Polega na wieloaspektowym przyjrzeniu się informacjom, rozumieniu ich cech formalnych, treściowych oraz określeniu, które z nich są najważniejsze w danym momencie i wobec konkretnych potrzeb [Zdonek i Hysa 2014]. W tym przypadku ocenie poddano strony: Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Państwowej Inspekcji Sanitarnej oraz Państwowej Inspekcji Ochrony Roślin i Nasiennictwa. Celem tego przeglądu było zidentyfikowanie treści dotyczących programów wsparcia rolnictwa na rzecz obrony żywności, w tym podejść o charakterze edukacyjnym, zaadresowanych do podmiotów funkcjonujących na etapie produkcji podstawowej ogólnie oraz produkcji roślinnej w szczególności. Jeżeli zaś chodzi o normy i standardy, analizą objęto tzw. prywatne prawo żywnościowe (ang. private food law), czyli różne podejścia o charakterze dobrowolnym, które obejmują „programy/systemy certyfikacji, normy, standardy, przewodniki, kodeksy dobrych praktyk. Jest ono tworzone przez prywatne podmioty działające w przemyśle rolno-spożywczym i na jego rzecz” [van der Meulen 2011]. Prawo o tym charakterze pełni rolę regulacyjną, a jego wdrożenie przez producentów stanowi często przepustkę na rynek. Ze względu na to, że zapisy prywatnego prawa żywnościowego z reguły wyprzedzają zapisy zawarte w prawie stanowionym, można uznać, iż pomiędzy tymi aktami zachodzi ważny efekt synergii, z korzyścią dla konsumenta żywności.

## WYNIKI I DYSKUSJA

**Agroterroryzm w prawie żywnościowym**

Z przeprowadzonej analizy wynika, iż zarówno w unijnym, jak i krajowym prawie żywnościowym trudno doszukać się uregulowań dotyczących agroterroryzmu czy szerzej terroryzmu żywnościowego. Na poziomie UE za najważniejsze w tym względzie należy uznać Rozporządzenie (WE) 852/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z 29 kwietnia 2004 r. w sprawie higieny środków spożywczych [Rozporządzenie 852/2004]. Zobowiązuje ono przedsiębiorstwa spożywcze do tego, by na wszystkich etapach produkcji, przetwarzania i dystrybucji żywności odbywających się pod ich kontrolą, spełniane były właściwe wymogi higieny ustanowione w tym rozporządzeniu i uszczegółowione w załącznikach I i II do tego aktu. Kluczowym wymogiem wedle tego przepisu jest obowiązek wdrożenia systemu HACCP (Hazard Analysis and Critical Point), czyli przeprowadzenia analizy zagrożeń i kry-



tycznych punktów kontroli. Zgodnie z krajową Ustawą z 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia HACCP to postępowanie mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa żywności przez identyfikację i oszacowanie skali zagrożeń z punktu widzenia wymagań zdrowotnych żywności oraz ryzyka wystąpienia zagrożeń podczas przebiegu wszystkich etapów produkcji i obrotu żywnością. Według Rozporządzenia (WE) 178/2002 zagrożenie oznaczać będzie czynnik biologiczny, chemiczny lub fizyczny w żywności lub paszy bądź stan żywności lub paszy mogący powodować negatywne skutki dla zdrowia [Rozporządzenie 178/2002]. Zgodnie z Rozporządzeniem (WE) 852/2004 istnienie lub powstanie takiego zagrożenia jest określone mianem zanieczyszczenia [Rozporządzenie 852/2004]. Z kolei zgodnie z Rozporządzeniem Rady (EWG) nr 315/93 z 8 lutego 1993 r. ustanawiającym procedury Wspólnoty w odniesieniu do substancji skażających w żywności substancja zanieczyszczająca to każda substancja nieumyślnie (niecelowo) dodana do żywności, która jest obecna w takiej żywności jako rezultat produkcji, wytwarzania, przetwarzania, przygotowywania, obróbki, pakowania, opakowywania, transportu lub przechowywania żywności jako rezultat skażenia środowiska [Rozporządzenie 315/93]. Powyższe oznacza, iż zasady systemu HACCP wspierane dobrymi praktykami higienicznymi i produkcyjnymi nie obejmują przypadków celowego skażenia żywności, a tym samym obrony przed takimi przypadkami. Ponadto sam system HACCP, zgodnie z cytowanym prawem UE, nie jest obowiązkowy do wdrożenia przez przedstawicieli produkcji podstawowej, czyli np. producentów rolnych, którzy są zobligowani jedynie do wdrożenia tzw. dobrych praktyk higienicznych.

Wymagań ani zobowiązań dotyczących obrony żywności nie ma również w prawie regulującym zasady produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych. Głównym aktem prawnym UE stosowanym od 1 stycznia 2022 r. jest Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/848 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych i uchylające rozporządzenie Rady (WE) nr 834/2007, ze zmianami [Rozporządzenie 2018/848]. Aktami krajowymi w tym zakresie są przede wszystkim Ustawa z dnia 23 czerwca 2022 r. o rolnictwie ekologicznym i produkcji ekologicznej [Ustawa z dnia 23 czerwca 2022] oraz Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju z dnia 7 lipca 2023 r. w sprawie warunków produkcji ekologicznej w zakresie pozostawionym do określenia przez państwo członkowskie Unii Europejskiej lub właściwy organ państwa członkowskiego Unii Europejskiej [Rozporządzenie Ministra Rolnictwa]. Nie dostrzega się także żadnych odniesień, jeśli chodzi o legislację dotyczącą integrowanej produkcji roślin [Ustawa z dnia 8 marca 2013]. Z analizy aktów prawa wynika także, iż ani polskie, ani unijne prawo nie definiuje wprost pojęcia terroryzmu. Nie wprowadza także definicji terroryzmu żywnościowego czy też agroterroryzmu, bioterroryzmu. Niemniej w prawie Unii Europejskiej w sprawie zwalczania terroryzmu wprowadzono pojęcie przestępstw o charakterze terrorystycznym, wskazując, że są to „czyny umyślne, określone zgodnie z prawem krajowym jako przestępstwa, które ze względu na swój charakter lub kontekst mogą wyrządzić poważne szkody państwu lub organizacji międzynarodowej” [Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2017/541]. Definicja „przestępstwa o charakterze terrorystycznym” pojawia się również w prawie krajowym, w ustawie z 16 kwietnia 2004 r. o zmianie ustawy – Kodeks karny oraz niektórych innych ustaw ([Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004]. W art. 115 tego aktu zwrócono także uwagę na cel ataku, jakim jest poważne zastraszanie wielu osób, zmuszenie władz krajowych lub innych państw albo organów organizacji międzynarodowych do podjęcia

lub zaniechania danych czynności. Podkreślono, że celem takich działań może być ponadto spowodowanie poważnych zakłóceń w ustroju lub gospodarce, jak również groźba popełnienia takiego czynu. Bardzo ogólne zapisy znajdują się także w ustawodawstwie dotyczącym infrastruktury krytycznej. Jeśli chodzi o prawo UE, na uwagę zasługuje tu Dyrektywa Rady 2008/114/WE z 8 grudnia 2008 r. w sprawie rozpoznawania i wyznaczania europejskiej infrastruktury krytycznej oraz oceny potrzeb w zakresie poprawy jej ochrony (tekst mający znaczenie dla EOG). Zgodni z . art. 2 cytowanej dyrektywy za infrastrukturę krytyczną uznano składnik, system lub część infrastruktury o podstawowym znaczeniu społecznym, dla zdrowia, bezpieczeństwa, ochrony, dobrobytu materialnego lub społecznego ludności. Jest nią także taka infrastruktura, której zakłócenie lub zniszczenie, w wyniku utracenia wspomnianych funkcji, bardzo istotnie wpłynęłoby na dane państwo członkowskie [Dyrektywa 2008/114]. Infrastruktura krytyczna jest także ujęta w prawie krajowym, w ustawie z dnia 10 czerwca 2016 r. o działaniach antyterrorystycznych [Ustawa z dnia 10 czerwca 2016], odsyłającej w przedmiocie tego zagadnienia do ustawy z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym. Wedle . art. 3 ust. 2 wspomnianego aktu prawnego „infrastruktura krytyczna to systemy oraz wchodzące w ich skład powiązane ze sobą funkcjonalnie obiekty, w tym obiekty budowlane, urządzenia, instalacje, usługi kluczowe dla bezpieczeństwa państwa i jego obywateli oraz służące zapewnieniu sprawnego funkcjonowania organów administracji publicznej, a także instytucji i przedsiębiorców. Infrastruktura krytyczna obejmuje systemy: a) zaopatrzenia w energię, surowce energetyczne i paliwa, b) łączności, c) sieci teleinformatycznych, d) finansowe, e) zaopatrzenia w żywność, f) zaopatrzenia w wodę, g) ochrony zdrowia, h) transportowe, i) ratownicze, j) zapewniające ciągłość działania administracji publicznej, k) produkcji, składowania, przechowywania i stosowania substancji chemicznych i promieniotwórczych, w tym rurociągi substancji niebezpiecznych” [Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007]. Uwzględniając powyższe, można potwierdzić, że uprawy rolne jako element i warunek funkcjonowania systemu zaopatrzenia w żywność, do tego rodzaju infrastruktury należą [McCreight 2022, Manning i Kowalska 2023, Moersdorf i in. 2024]. Niemniej w sprzeczności do tego założenia, wedle którego produkcja żywności nie znajduje się na rządowej liście infrastruktury krytycznej, leży odpowiedzialność Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 27 kwietnia 2020 r. na interpelację poselską nr 3957 [Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi 2020]. Tym samym, zgodnie z ustawą o zarządzaniu kryzysowym z 26 kwietnia 2007 r., nie podlega ona ochronie rozumianej jako „wszelkie działania zmierzające do zapewnienia funkcjonalności, ciągłości działań i integralności infrastruktury krytycznej w celu zapobiegania zagrożeniom, ryzykom lub słabym punktom oraz ograniczenia i neutralizacji ich skutków oraz szybkiego odtworzenia tej infrastruktury na wypadek awarii, ataków oraz innych zdarzeń zakłócających jej prawidłowe funkcjonowanie”. Takie stanowisko, zbieżne z aktualnym jeszcze prawem UE, czyli Dyrektywą 2008/114/WE, wywołuje niepokój wśród przedstawicieli środowiska rolniczego [Wiadomości handlowe 2022] i nie odpowiada naukowym opiniom w tym zakresie [Sarker 2024]. Inaczej jest w Stanach Zjednoczonych, gdzie sektor żywności i rolnictwa jest jednym z 16 sektorów infrastruktury krytycznej, których aktywa, systemy i sieci, zarówno fizyczne, jak i wirtualne, są uważane za tak istotne, że ich unieruchomienie lub zniszczenie miałoby osłabiający wpływ na bezpieczeństwo ogólnie, na krajowe bezpieczeństwo gospodarcze, krajowe zdrowie publiczne lub dowolną kombinację tych czynników [U.S. Food and Drug Administration 2024]. Należy jednak dodać, że cytowana dyrektywa 2008/114/WE, która skupia się wyłącznie na wyznaczeniu europejskich infrastruktur krytycznych w sektorach

energii i transportu, zostanie wkrótce zastąpiona nowym aktem prawa. Komisja Europejska doszła do wniosku, że ochrona tylko tych obszarów jest niewystarczająca i nie jest w stanie sprostać wszystkim pojawiającym się zagrożeniom, co spowodowało, że zakres przedmiotowy nowego aktu prawa – Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2557 z dnia 14 grudnia 2022 r. w sprawie odporności podmiotów krytycznych i uchylającej Dyrektywę Rady 2008/114/WE (Tekst mający znaczenie dla EOG), zw. dyrektywą CER (ang. Critical Entities' Resilience) – został znacznie poszerzony, obejmując następujące sektory: energetyka (energia elektryczna, centralne ogrzewanie i chłodzenie, ropa, gaz, wodór), transport (powietrzny, kolejowy, wodny, lądowy), bankowość, infrastruktura rynków finansowych, zdrowie, woda pitna, ścieki, infrastruktura cyfrowa, administracja publiczna, przestrzeń kosmiczna, a także wytwarzanie, przetwarzanie i dystrybucja żywności [Dyrektywa 2022/2557]. W związku z powyższymi zmianami włączającymi produkcję rolną do systemów zaopatrzenia w żywność można się także spodziewać w prawie krajowym. Wydaje się jednak, że ze względu na różnorodny charakter gospodarstw rolnych (wielkość, własność, rodzaj produkcji, rodzaj odbiorców) należałoby ustanowić odpowiednie kryteria klasyfikacji tych podmiotów, w celu zaliczenia ich do infrastruktury krytycznej. Na pewno będą to gospodarstwa, które pełnią ważną rolę w łańcuchu dostaw, np. dla wojska. Mogą to być także gospodarstwa, które spełniają nowe, często niekomercyjne funkcje, np. zachowanie bioróżnorodności, ochrona dobrostanu zwierząt czy utrzymanie tradycji kulturowej [Kołoszko-Chomentowska i Sieczko 2014].

Zgodnie z Dyrektywą 2022/2557 do 17 lipca 2026 r. państwa członkowskie określą podmioty krytyczne we wskazanych sektorach, a właściwe organy, na podstawie własnej strategii zwiększania odporności oraz wyników oceny ryzyka, wyodrębnią i zawiadomią dany podmiot, że został określony jako krytyczny. Podmiot ten będzie zmuszony spełnić wymogi w zakresie odporności w ciągu 10 miesięcy od zawiadomienia. Odporność, zgodnie z cytowanym aktem, oznacza „zdolność podmiotu krytycznego do zapobiegania incydentowi, ochrony przed nim, odpowiedzi na niego, stawiania mu oporu, łagodzenia i absorbowania incydentu oraz adaptacji i odtworzenia po incydencie”. Incydent oznacza „każde zdarzenie, które może znacząco zakłócić lub które zakłóca świadczenie usługi kluczowej, w tym gdy wpływa ono na krajowe systemy chroniące praworządność”, zaś usługa kluczowa „ma decydujące znaczenie dla utrzymania niezbędnych funkcji społecznych, niezbędnej działalności gospodarczej, zdrowia i bezpieczeństwa publicznego lub środowiska”. W art. 12 Dyrektywy (UE) 2022/2557 wśród wymienionych incydentów wskazuje się także na przestępstwa terrorystyczne. Jeśli zaś chodzi o kwestię odporności w odniesieniu do gospodarstwa rolnego (ang. farm resilience), została ona zdefiniowana przez badaczy jako „zdolność gospodarstwa rolnego do radzenia sobie z zakłóceniami lub powrotu do rutynowego reżimu funkcjonowania po tych zakłóceniach” [de Oliveira i in. 2019]. Grzelczak i in. [2023] w przeglądzie literatury dotyczącej tego zagadnienia dodają, iż odporność można tu analizować na różnych poziomach (pola, gospodarstwa, regionalnym i globalnym) z perspektywy bezpieczeństwa żywnościowego jako utrzymania produkcji wystarczającej ilości pożywnej żywności w obliczu „chronicznych i ostrych perturbacji środowiskowych”. Powyższe oznacza, że nie jest to kwestia jednoznaczna, a nade wszystko bardzo kompleksowa i trudna oraz wymagająca wszechstronnego przygotowania i wsparcia. Co jednak, kluczowe, wedle art. 13 Dyrektywy (UE) 2022/2557 „każdy podmiot uznany za krytyczny będzie zobowiązany wprowadzić odpowiednie i proporcjonalne środki techniczne, środki bezpieczeństwa i środki organizacyjne służące zapewnieniu ich odporności, na podstawie odpowiednich informacji dostarczonych przez państwa członkowskie dotyczących oceny ryzyka państwa

członkowskiego oraz wyników oceny ryzyka podmiotu krytycznego, w tym środki niezbędne w celu: a) zapobiegania incydentom, z należytym uwzględnieniem środków zmniejszania ryzyka związanego z katastrofami i przystosowania się do zmiany klimatu; b) zapewnienia odpowiedniej fizycznej ochrony budynków i terenów oraz infrastruktury krytycznej, z należytym uwzględnieniem np. zainstalowania ogrodzeń, budowy barier, narzędzi i procedur monitorowania terenu podlegającego ochronie, sprzętu do wykrywania i kontroli dostępu; c) odpowiedzi na incydenty, stawiania im oporu i łagodzenia ich skutków, z należytym uwzględnieniem wdrażania procedur i protokołów zarządzania ryzykiem i zarządzania kryzysowego, a także procedur ostrzegawczych; d) odtworzenia po incydentach, z należytym uwzględnieniem środków na rzecz ciągłości działania oraz identyfikacji alternatywnych łańcuchów dostaw w celu przywrócenia świadczenia usługi kluczowej; e) zapewnienia odpowiedniego zarządzania bezpieczeństwem pracowników, z należytym uwzględnieniem środków takich jak ustanowienie kategorii personelu wykonującego funkcje krytyczne, ustanowienie praw dostępu do budynków i terenów, infrastruktury krytycznej i informacji szczególnie chronionych, ustanowienie procedur sprawdzenia przeszłości zgodnie z art. 14 Dyrektywy (UE) 2022/2557, wyznaczenie kategorii osób podlegających takim procedurom sprawdzenia przeszłości oraz określenie odpowiednich wymogów szkoleniowych i kwalifikacji; f) zwiększania świadomości odpowiedniego personelu na temat środków, o których mowa w lit. a)–e), z należytym uwzględnieniem szkoleń, materiałów informacyjnych i ćwiczeń” [Dyrektywa 2022/257]. Zgodnie z tą Dyrektywą państwa członkowskie winny zapewnić, aby podmioty krytyczne posiadały i stosowały plan zwiększania odporności lub równoważny dokument opisujący zastosowane środki.

Ponieważ prawo, co do zasady, ma charakter ogólny, nie wskazuje sposobu sporządzania takiego planu ani nie charakteryzuje jego dokładnej zawartości. Relatywnie długi okres dostosowania się do wymagań cytowanego rozporządzenia może mieć także wpływ na odłożenie prac w tym zakresie. Otwarte pozostaje zatem pytanie, w jakim stopniu i kiedy pojedyncze gospodarstwa zostaną objęte pomocą państwa w tym obszarze oraz jakie urzędy i służby zostaną w tę pomoc zaangażowane. Tym bardziej, iż ciągłość działań podmiotów infrastruktury krytycznej jest podstawą bezpieczeństwa danego kraju i nie tylko, a zatem potrzebują one nie tylko czasu na dostosowanie się do nowych wymagań, ale też wsparcia ze strony państwa.

#### **Informacja na temat agroterroryzmu przekazywana przez urzędy ds. bezpieczeństwa żywności i rolnictwa**

Jak wynika z analizy treści stron internetowych najważniejszych instytucji rządowych zajmujących się rolnictwem, jak dotąd nie zauważa się informacji o inicjatywach służących tego rodzaju wsparciu. Dotychczasowe działania lokują się w sferze Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności jako planu rozwojowego określającego cele związane z odbudową i tworzeniem odporności społeczno-gospodarczej Polski po kryzysie wywołanym pandemią COVID-19. Nie odnotowuje się również żadnych innych informacji dotyczących inicjatyw, np. o charakterze edukacyjnym, przeznaczonych dla właścicieli gospodarstw rolnych. Ponadto po wpisaniu słowa „agroterroryzm” do wyszukiwarki na stronach urzędów także nie uzyskano żadnej odpowiedzi. Z kolei w odpowiedzi na hasło „terroryzm” nastąpiło jedynie przekierowanie do stron właściwych komend policji w Polsce, na których można uzyskać ogólne informacje na temat terroryzmu jako takiego, jego skutków, ogólnych sposobów postępowania oraz kontaktowania się z właściwymi służbami. Przy braku

czytelnej informacji na ten temat trudno jest zatem ocenić, czy wspomniane urzędy czynią starania na rzecz obrony żywności, co oczywiście nie wyklucza, iż określone, specyficzne przedsięwzięcia są podejmowane. Niemniejnie jest to oczywiste. Tymczasem np. w Stanach. Zjednoczonych na stronie Agencji ds. Żywności i Leków (FDA – Food and Drug Administration) [U.S. Food and Drug Administration 2018] znajduje się pełna informacja na temat Inicjatywy Strategicznego Partnerstwa w Programie Agroterroryzmu (SPPA – Strategic Partnership Program Agroterrorism) ze wskazaniem, iż jej celem jest przeprowadzenie serii ocen sektora żywności i rolnictwa we współpracy z prywatnym przemysłem rolno-spożywczym i wolontariuszami stanowymi. Jest ona w pełni skoordynowana z programem ochrony infrastruktury żywności i rolnictwa, zgodnie z Krajowym Planem Ochrony Infrastruktury (NIPP – National Infrastructure Protection Plan), Planami Sektorowymi (SSP – Sector Specific Plans), Krajowymi Wytycznymi Gotowości (National Preparedness Guidelines) oraz Dyrektywą Prezydencką Bezpieczeństwa Wewnętrznego 9 (HSPD-9 – Homeland Security Presidential Directive 9) pt. Obrona amerykańskiego rolnictwa i żywności (Defense of US Agriculture and Food). Oceny SPPA są przeprowadzane na zasadzie dobrowolności między jednym lub większą liczbą przedstawicieli branży rolno-spożywczej dla konkretnego gospodarstwa, produktu lub towaru, ich stowarzyszeniami handlowymi oraz federalnymi i stanowymi urzędnikami ds. rolnictwa, zdrowia publicznego i prawa [U.S. Food and Drug Administration 2018]. Wspólnie przeprowadzają oni ocenę podatności procesu produkcyjnego danej branży przy użyciu narzędzia CARVER + Shock. Na akronim ten składają się oceniane czynniki: krytyczność (C – criticality), dostępność (A – accessibility), możliwość powrotu do stanu sprzed ataku (R – recuperability), podatność (V – vulnerability), skutek (E – effect), rozpoznawalność (R – recognizability) i szok (S – shock), jako zbiorczy wskaźnik wcześniejszych czynników [Wiśniewska 2016].

### **Obrona żywności w prywatnym prawie żywnościowym**

Jak wynika z przyjętej metodyki badawczej, analizie poddano również schematy certyfikacji żywności wpisujące się w tzw. prywatne prawo żywnościowe. Tu kluczową rolę odgrywają standardy objęte Globalną Inicjatywą na rzecz Bezpieczeństwa Żywności (GFIS – Global Food Safety Initiative). To uznana na świecie organizacja o charakterze nonprofit, której celem jest m.in. przeglądanie i porównywanie istniejących standardów bezpieczeństwa żywności mających zastosowanie wobec podmiotów w całym łańcuchu dostaw, a także ustanawianie uzgodnionych wymagań kluczowych na rzecz wzajemnej uznawalności i redukcji kosztów wielokrotnych certyfikacji [Wiśniewska 2022, Gerardi 2023]. Aktualnie (stan na sierpień 2024) GFIS rekomenduje dwanaście takich standardów, przy czym wśród schematów dedykowanych specyficznie rolnictwu roślinnemu znajdują się GlobalGAP, AsiaGAP, a także Primus GFS. W cytowanych specyfikacjach, tak jak w każdym ze standardów zatwierdzonych przez GFIS, znajdują się wymagania dotyczące konieczności obrony żywności. Niemniej także i w tym przypadku wymagania są bardzo ogólne, gdyż odnoszą się jedynie do potrzeby wdrożenia stosownych procedur. Przykładowo w przypadku standardu GlobalGAP (Globalna Dobra Praktyka Rolnicza), którego wdrożenie przekłada się na wzrost konkurencyjności, możliwości eksportu [Fiankor i in. 2020], lepszy dostęp do rynków [Gichuki i in. 2020], możliwość współpracy z sieciami handlowymi [Bieniek-Majka 2024] oraz większą zdolność do dostarczenia produktów bezpiecznych i o dobrej jakości [Flachsbarth i in. 2020], ocenia się: „Czy istnieje ocena

ryzyka w zakresie obrony żywności i czy istnieją procedury mające na celu przeciwdziałanie zidentyfikowanym zagrożeniom w tym zakresie?”. Wymaganie zaś brzmi następująco: „Potencjalne zagrożenia dla bezpieczeństwa żywności na wszystkich etapach operacji powinny zostać zidentyfikowane, ocenione i uszeregowane pod względem ważności. Identyfikacja ryzyka związanego z bezpieczeństwem żywności musi zapewniać, że wszystkie dane wejściowe pochodzą z bezpiecznych i zabezpieczonych źródeł. Informacje o wszystkich pracownikach i podwykonawcach muszą być dostępne. W przypadku całego zagrożenia należy wdrożyć procedury działań naprawczych”.

Jak już jednak wspomniano, standardy zatwierdzone przez GFSI, podobnie, jak i przyszłe wymagania prawne dotyczące infrastruktury krytycznej, nie określają sposobów wdrożenia obrony żywności. W tym względzie konieczne jest posiłkowanie się istniejącymi już rozwiązaniami i propozycjami systemów dotyczącymi tego zagadnienia. Jednym z nich jest wspomniany już system CARVER + Shock, stworzony przez wspomniane już FDA oraz Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych (USDA – U.S. Department of Agriculture) i Departament Bezpieczeństwa Krajowego Stanów Zjednoczonych (DHS – Department of Homeland Security), niemniej zgodnie z wiedzą autorki literatura ze studiami przypadków jest jeszcze niezbyt liczna. Jako przykład można jednak wskazać opracowanie dotyczące hodowli kurcząt, opisujące poszczególne etapy zastosowania tej metody z wykorzystaniem odpowiedniego oprogramowania [Yadav i Sharma 2011], a także opracowanie rodzime opisujące przypadek uprawy cebuli [Wysokińska-Senkus i in. 2022]. Kolejnym znanym podejściem służącym obronie żywności jest system TACCP (Threat Analysis Critical Control Point), zaprezentowany w specyfikacji PAS 96 z 2017 r., stworzony przez British Standards Institution (BSI). Został przeznaczony dla wszystkich podmiotów działających w łańcuchu żywnościowym, a tym samym, mogą z niego korzystać także producenci podstawowi. Walorem tego opracowania jest fakt, iż zawarto w nim także wytyczne w postaci list kontrolnych, pozwalające potwierdzić, czy na terenie danego podmiotu zapewniono właściwą ochronę różnych obszarów. Dzięki wdrożeniu tego systemu producent rolny zyskuje świadomość co do tego, kto może chcieć go zaatakować, jak może to zrobić i w jakim miejscu oraz jak najlepiej się przygotować do takiej sytuacji. Jak podkreśla Aldrick [2016], piszący o celowych skażeniach chemicznych w rolnictwie, aby skutecznie zarządzać ryzykiem związanym z agroterroryzmem, podmioty rolne muszą przyjąć holistyczne podejście, które wykracza poza standardowy program warunków higienicznych i powinny w tym celu wykorzystać takie strategie jak systemy TACCP i CARVER + Shock. Dodać także należy, iż pracę nad kształtowaniem odporności w rolnictwie, czy to na poziomie gospodarstw indywidualnych, czy też grup produkcyjnych, można rozpocząć od wdrożenia prostych, zrozumiałych zasad, podejść, np. takich, które poprzedzają i wspomagają system CARVER + Shock. Jest to np. system ALERT uznany za warunek wstępny wszelkich działań na rzecz obrony żywności. Akronim ten można rozumieć następująco: A (assure) – zapewnij, by każdy twój poddostawca był gwarantowany i aby używane przez ciebie surowce do produkcji pochodziły z pewnych źródeł; L (look) – doglądaj bezpieczeństwa surowców i produktów rolnych na terenie twojego gospodarstwa; E (employees) – dowiedz się wszystkiego o swoich pracownikach i o osobach odwiedzających twoje gospodarstwo; R (report) – zapisuj, rejestruj stan bezpieczeństwa twojego gospodarstwa; T (threat) – podejmij działania i powiadamiaj stosowne służby oraz innych rolników na wypadek, gdy odnotujesz/podejrzewasz zagrożenie lub zaobserwujesz podejrzaną zachowanie [Wiśniewska 2016]. Ta dobra praktyka winna się stać codziennym nawykiem. Badania dotyczące ochrony akwakultury [Rasco i Bledsoe

2010] oraz źródeł wody pitnej [Popa i Glevitzky 2021] potwierdzają, iż to proste podejście jest bardzo użyteczne i skuteczne.

#### WNIOSKI

Jak podkreślono, obszar rolny to jeden z najwrażliwszych celów ataku terrorystycznego, co czyni go niezwykle podatnym na tego typu działania. Obserwowane i licznie udokumentowane przypadki tego typu na świecie potwierdzają, że jest to zagrożenie, którego obecnie nie można bagatelizować. Jako przykład można wskazać wszelkie bieżące incydenty mające miejsce w Ukrainie. Ze względu na to wymaga on szczególnej ochrony, w rozumieniu obrony żywności. Przeprowadzone badania i analizy, wynikające z postawionego problemu badawczego i przyjętego celu, pozwalają wysnuć następujące wnioski i postulaty:

1. Zarówno unijne, jak i krajowe prawo żywnościowe nie zobowiązuje do wdrożenia działań na rzecz obrony żywności w sektorze rolnym. Niemniej w związku ze zmianą prawa UE dotyczącego infrastruktury krytycznej, a tym samym uznania wytwarzania, przetwarzania i dystrybucji żywności za element systemu tej infrastruktury, istnieją szanse na to, że produkcja podstawowa, w rozumieniu rozporządzenia 178/2002, zostanie objęta obowiązkiem opracowania i wdrażania procedur i protokołów zarządzania ryzykiem i zarządzania kryzysowego oraz procedur ostrzegawczych, także na wypadek zdarzenia agroterrorystycznego.
2. Właściwe ministerstwa oraz urzędy im podległe (Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Państwowa Inspekcja Sanitarna, Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa), ze względu na zobowiązania związane z wdrożeniem dyrektywy CER, powinny jak najszybciej podjąć działania mające na celu wsparcie producentów rolnych, na czele z organizacją powszechnych inicjatyw o charakterze edukacyjnym. Aby tak się stało, konieczna wydaje się również długo oczekiwana zmiana w prawie, regulująca i porządkująca kompetencje tych instytucji.
3. Ważną rolę w zakresie obrony żywności w produkcji rolnej, ale nie tylko, pełni prywatne prawo żywnościowe, w którym brakuje wskazań dotyczących sposobów jej wdrożenia, co nie ułatwia ochrony przed agroterroryzmem.
4. Ponieważ nie każde gospodarstwo rolne uczestniczy w dobrowolnym schemacie certyfikacji, np. w ramach systemu GlobalGAP, problematyka oraz wymagania dotyczące obrony żywności mają w tym obszarze charakter niszowy i nie obejmują zdecydowanej większości gospodarstw, szczególnie indywidualnych i mniejszych.
5. Istnieje potrzeba, aby pracownicy stosownych resortów przeszli gruntowne przygotowanie, pozwalające im na stworzenie wytycznych dla producentów rolnych, opartych na najlepszych dostępnych wzorcach i systemach, w tym systemach CARVER + Shock oraz TACCP.
6. Niezbędnym warunkiem wstępnym pozwalającym w sposób stopniowy przygotować się do obrony żywności powinno być zalecenie opracowania na poziomie właściwych urzędów i wdrożenia programów opartych na zrozumiałych zasadach wczesnego ostrzegania, np. wzorowanych na systemie ALERT.

Wyniki badań nie są jednak wolne od ograniczeń. Wynikają z faktu, iż nie rozpoznano innego ustawodawstwa, poza prawem UE oraz Polski. Nie przeanalizowano także mniej znanych podejść wpisujących się w schematy certyfikacji bezpieczeństwa żywności, poza

uznawanymi przez GFSI. Stąd przyszłe kierunki badań mogłyby dotyczyć innych dodatkowych rozwiązań, w szczególności spoza Europy i Stanów Zjednoczonych, które jako dobra praktyka wdrażania obrony żywności wzmocniłyby wiedzę na temat istniejących możliwości wczesnego ostrzegania i reagowania przed aktem celowego skażenia na etapie produkcji podstawowej i nie tylko.

#### PIŚMIENNICTWO

- Bieniek-Majka M., 2024. Kryteria estetyczne narzucane przez sieci handlowe a potencjalne utracone korzyści w produkcji podstawowej marchwi. Studium przypadku. Zesz. Nauk. Szk. Gł. Gospod. Wiej. Warsz., Probl. 24(1), 26–34. <https://doi.org/10.22630/PRS.2024.24.1.2>
- Boczek J., Lewandowski M., 2015. Wykorzystanie owadów i innych organizmów w akcjach terroru i konfliktach zbrojnych. Zag. Doradz. Rol. 82(4), 140–147.
- Dyrektywa Rady 2008/114/WE z dnia 8 grudnia 2008 r. w sprawie rozpoznawania i wyznaczania europejskiej infrastruktury krytycznej oraz oceny potrzeb w zakresie poprawy jej ochrony (Tekst mający znaczenie dla EOG) (Dz.U. L 345 z 23.12.2008)
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/541 z 15 marca 2017 r. w sprawie zwalczania terroryzmu i zastępująca decyzję ramową Rady 2002/475/WSiSW oraz zmieniająca decyzję Rady 2005/671/WSiSW (Dz. Urz. UE 2017 L 88/6 z 31.03.2017).
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2557 z dnia 14 grudnia 2022 r. w sprawie odporności podmiotów krytycznych i uchylająca dyrektywę Rady 2008/114/WE (Tekst mający znaczenie dla EOG) PE/51/2022/REV/1 (Dz.U. L 333 z 27.12.2022)
- El Hathat Z., Sreedharan V. R., Venkatesh V. G., Zouadi T., Arunmozhi M., Shi Y., 2023a. Modeling and analyzing the GHG emissions in the VUCA world: Evidence from tomato production in Morocco. J. Clean. Prod. 382, 134862. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134862>
- El Hathat Z., Venkatesh V. G., Zouadi T., Sreedharan V. R., Manimuthu A., Shi Y., 2023b. Analyzing the greenhouse gas emissions in the palm oil supply chain in the VUCA world: A block-chain initiative. Bus. Strateg. Environ. 32(8), 5563–5582. <https://doi.org/10.1002/bse.3436>
- Fiankor D.D.D., Flachsbarth I., Masood A., Brümmer B., 2020. Does GlobalGAP certification promote agrifood exports?. Eur. Rev. Agric. Econ. 47(1), 247–272. <https://doi.org/10.1093/erae/jbz023>
- Flachsbarth I., Grassnick N., Brümmer B., 2020. The uneven spread of Global G.A.P. certification. GlobalFood Discussion Papers 137. <https://hdl.handle.net/10419/213006>
- Foxell J.W. Jr, 2001. Current trends in agroterrorism (antilivestock, anticrop, and antisoil bioagricultural terrorism) and their potential impact on food security. Stud. Confl. Terror. 24(2), 107–129. <https://doi.org/10.1080/10576100151101623>
- Friha O., Ferrag M.A., Maglaras L., Shu L., 2022. Digital agriculture security: aspects, threats, mitigation strategies, and future trends. IEEE Internet Things Mag. 5(3), 82–90. <https://doi.org/10.1109/IOTM.001.2100164>
- Gerardi A., 2023. Global Food Safety Initiative (GFSI): underpinning the safety of the global food chain, facilitating regulatory compliance, trade, and consumer trust. W: M.E. Knowles, L.E. Anelich, A.R. Boobis, B. Popping (red.), Present knowledge in food safety. A risk-based approach through the food chain. Academic Press, Boca Raton, 1089–1098. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819470-6.00058-5>
- Gichuki C.N., Gicheha S.K., Kamau C.W., 2020. Do food certification standards guarantee small-sized farming enterprises access to better markets? Effectiveness of marketing contracts in Kenya. Int. J. Soc. Econ. 47(4), 445–459. <https://doi.org/10.1108/IJSE-08-2019-0501>
- Grzelczak M., Soliwoda, M., Kurdyś-Kujawska A., 2023. Resilience in agriculture: is there theoretical and methodological chaos?. Polityki Eur. Finanse Mark. 29(78), 35–45. <https://doi.org/10.22630/PEFIM.2023.29.78.3>



- Jarynowski A., 2023. Agroterroryzm z wykorzystaniem czynników biologicznych i zagrożenia z nim związane w Polsce i Europie w kontekście pandemii COVID-19 i wojny w Ukrainie. *Terroryzm* 4(4), 133–172. <https://doi.org/10.4467/27204383TER.23.020.18322>
- Jarynowski A., Jędrzejczyk K., Maksymowicz S., 2022. Grain and food security as a tool of biopolitics: real-time Internet monitoring and crisis management. *E-methodology* 9(9), 96–111. <https://doi.org/10.15503/emet.2022.96.112>
- Kołodziejczyk R., 2017. Nowa odsłona terroryzmu. *Cyberterroryzm. Roczn. Bezp. Międzynar.* 11(2), 147–155.
- Kołoszko-Chomentowska Z., Sieczko L., 2014. Gospodarstwo rolne jako podmiot w gospodarce narodowej. *Ekon. Zarządz.* 6(1), 97–111. <https://doi.org/10.12846/j.em.2014.01.05>
- Kornfeld I.E., 2003. Combating terrorism in the environmental trenches: responding to terrorism: terror in the water: threats to drinking water and infrastructure. *Widener University School of Law, Wilmington.*
- Korzycka-Iwanow M., 2005. Prawo żywnościowe – relacje do prawa rolnego, *Stud. Iurid. Agrar.* 5, 74–85.
- Lipa J.J., 2006. Agroterroryzm – wyzwaniem dla kwarantanny i ochrony roślin. *Prog. Plant Prot.* 46(1), 162–168.
- Manoussopoulos Y., Velegaki A., Manoussopoulou M., Kambouris M. E., 2024. Agrosecurity. Integrating the containment of agroterrorism, promotion of bioeconomy and protection of the public health. W: M.E. Kambouris (red.), *Biosecurity in the making: the threats, the aspects and the challenge of readiness.* CTC Press, Boca Raton.
- Manning L., Kowalska A., 2023. The threat of ransomware in the food supply chain: a challenge for food defence. *Trends Organ. Crim.* <https://doi.org/10.1007/s12117-023-09516-y>
- McCreight R., 2022. Agricultural security: critical national infrastructure we cannot ignore. *J. Homeland Secur. Emerg. Manage.* 19(1), 127–135.
- van der Meulen B.M.J., 2011. Private food law. The emergence of the concept. W: B.M.J. van der Meulen (red.), *Private food law.* Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 29–50. [https://doi.org/10.3920/9789086867301\\_005](https://doi.org/10.3920/9789086867301_005)
- Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi, 2020. Odpowiedź na Interpelację nr 3957 w sprawie zabezpieczenia produkcji żywności w ramach infrastruktury krytycznej. Warszawa, dnia 27 kwietnia 2020. <https://sejm.gov.pl/INT9.nsf/klucz/ATTBP5CXM/%24FILE/i03957-o1.pdf> [dostęp: 3.08.2024].
- Moersdorf J., Rivers M., Denkenberger D., Breuer L., Jehn F.U., 2024. The Fragile State of industrial agriculture: Estimating crop yield reductions in a global catastrophic infrastructure loss scenario. *Glob. Chall.* 8(1), 2300206. <https://doi.org/10.1002/gch2.202300206>
- de Oliveira L., Coroller M., Perrin A., Martin G., 2019. Farm resilience: Definition. *Dictionnaire d'agroécologie.* <https://dicoagroecologie.fr/en/dictionnaire/farm-resilience/> [dostęp: 3.08.2024].
- Patil C. B., Chinmayi S., 2024. Agroterrorism: assessing the growing threat to global food security and economic stability. *Int. J. Biochem. Res. Rev.* 33(6), 207–214. <https://doi.org/10.9734/ijbcr/2024/v33i6903>
- Popa M., Glevitzky I., 2021. Security standards applied to drinking water. W: A. Vaseashta, C. Maftai (red.), *Water safety, security and sustainability: threat detection and mitigation.* Springer Nature Switzerland, Cham, 371–394. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76008-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76008-3_16)
- Rasco B., Bledsoe G.E., 2010. Food defense in an aquaculture setting. *J. World Aquacult. Soc.* 41(2), 175–191. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00347.x>
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju z dnia 7 lipca 2023 r. w sprawie warunków produkcji ekologicznej w zakresie pozostawionym do określenia przez państwo członkowskie Unii Europejskiej lub właściwy organ państwa członkowskiego Unii Europejskiej (Dz.U. z 2023r., poz. 1442).
- Rozporządzenie (WE) nr 178/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28 stycznia 2002 r. ustanawiające ogólne zasady i wymagania prawa żywnościowego, powołujące Europejski

- Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności oraz ustanawiające procedury w zakresie bezpieczeństwa żywności (Dz.U.UE L 31 z 01.01.2002)
- Rozporządzenie (WE) nr 852/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie higieny środków spożywczych (Dz.U. UE L 139 z 30.04.2004).
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/848 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych i uchylające rozporządzenie Rady (WE) nr 834/2007, ze zmianami (Dz.U. UE L 151 z 14.06.2018).
- Rozporządzenie Rady (EWG) nr 315/93 z dnia 8 lutego 1993 r. ustanawiające procedury Wspólnoty w odniesieniu do substancji skażających w żywności (Dz.U. L 37 z 13.02.1993).
- Sarker I.H., 2024. AI for critical infrastructure protection and resilience. W: I.H. Sarker, AI-driven cybersecurity and threat intelligence: cyber automation, intelligent decision-making and explainability. Springer Nature Switzerland, Cham, 153–172. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-54497-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-54497-2_9)
- Sitnicki M.W., Prykaziuk N., Ludmila H., Pimenowa O., Imbrea F., Șmuleac L., Pașcalău R., 2024. Regional perspective of using cyber insurance as a tool for protection of agriculture 4.0. Agriculture 14(2), 320. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020320>
- Szejnkowska M., Truszkowski W., 2016. Zagrożenie agroterrorystyczne w sektorze gospodarki rolnej (agroterroryzm) w aspekcie prawa międzynarodowego. Stud. Prawnoustr. 31, 221–231.
- Tariq M., Khan M.A., AL-Huqail A.A., Ahmad S., 2024. Agriculture and COVID-19. W: S. Yaqoob, A.A. AL-Huqail, F. Aziz, Post-pandemic economy, technology, and innovation. Apple Academic Press, Burlington, 83–96.
- Tundys B., Kędzia G., Wiśniewski T., Ziolo M., 2024. Challenges for resilient and sustainable supply chains. sustainable supply chains 2.0: towards environmental, social, and economic resilience. Springer Nature Switzerland, Cham, 85–135. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-50337-5>
- U.S. Food and Drug Administration, 2018. Strategic partnership program agroterrorism (SPPA) initiative: second year status report July 2006 – September 2007. <https://www.fda.gov/food/food-defense-initiatives/strategic-partnership-program-agroterrorism-sppa-initiative-second-year-status-report-july-2006> [dostęp: 3.08.2024]
- U.S. Food and Drug Administration, 2024. Food and Agriculture Sector and other Related Activities. <https://www.fda.gov/food/food-defense-initiatives/food-and-agriculture-sector-and-other-related-activities> [dostęp: 3.8.2024].
- Ustawa z dnia 23 czerwca 2022 r. o rolnictwie ekologicznym i produkcji ekologicznej (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 1235).
- Ustawa z dnia 8 marca 2013 r. o środkach ochrony roślin (Dz. U. z 2023 r., poz. 340)
- Ustawa z 16 kwietnia 2004 r. o zmianie ustawy – Kodeks karny oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2004 r. nr 93, poz. 889)
- Ustawa z dnia 10 czerwca 2016 r. o działaniach antyterrorystycznych (t.j. Dz. U. z 2024 r., poz. 92, 1248, 1684)
- Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (t.j. Dz. U. z 2023 r., poz. 122, z 2024 r., poz. 834, 1222, 1473, 1572, 1907)
- Utami R.R.M., Puspitasari M., 2023. Agricultural terrorism and food insecurity in Indonesia: a policy analysis. Technium Soc. Sci. J. 46, 362–379. <https://doi.org/10.47577/tssj.v46i1.9098>
- Wiadomości handlowe, 2022. Branża rolno-spożywcza przerażona. Ministerstwo rolnictwa: Produkcja żywności nie jest infrastrukturą krytyczną. <https://www.wiadomoscihandlowe.pl/przemysl-i-produkcji/rynek-pieczyswa-i-ciasta/branza-rolno-spozywcza-przerazona-ministerstwo-rolnictwa-produkcja-zywnosci-nie-jest-infrastruktura-krytyczna-2391479> [dostęp: 3.08.2024].
- Wiśniewska M., Czernyszewicz E., 2014. Agroterroryzm i jego konsekwencje, Towarozn. Probl. Jakości 1(38), 37–42.
- Wiśniewska M.Z., 2016. Systemowe zarządzanie obroną żywności przed terroryzmem. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.

- Wiśniewska M.Z., 2021. Kultura bezpieczeństwa żywności. Istota i narzędzia pomiaru, CeDeWu, Warszawa.
- Wiśniewska M.Z., 2022. Terroryzm żywnościowy oraz obrona żywności w ujęciu formalnoprawnym. *Ruch Praw. Ekon. Socjol.* 84(4), 101–119. <https://doi.org/10.14746/rpeis.2022.84.4.07>
- Wiśniewska M.Z., 2024. Żywność jako broń w obliczu agresji Rosji na Ukrainę. *Żywność Nauka Technol. Jakość* 31(1), 5–22. <https://doi.org/10.15193/zntj/2024/138/484>
- Wiza P.L., Szalaty N., Jabkowski D., 2019. Poziom świadomości konsumentów w zakresie terroryzmu żywnościowego jako przykład współczesnego zagrożenia dla przemysłu rolno-spożywczego. *Tur. Rozw. Reg.* 12, 115–127. <https://doi.org/10.22630/TIRR.2019.12.24>
- World Health Organization, 2008. Terrorist threats to food. Guidance for establishing and strengthening prevention and response systems, revision May 2008. Geneva.
- Wysokińska-Senkus A., Górna J., Kaźmierczak M., Mielcarek P., Senkus P., 2022. CARVER + Shock and business process management in improving food safety of primary production. *Agriculture* 12(7), 1018. <https://doi.org/10.3390/agriculture12071018>
- Yadav V., Sharma A., 2011. CARVER + Shock (Agriculture) – software for agriculturists to fight against bioterrorism. *Int. J. Comput. Appl.* 24(8), 5–10.
- Zawajska A., 2011. Ekonomiczne motywy i skutki agroterroryzmu. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrobiz.* 13(5), 76–81.
- Zdonek D., Hysa B., 2014. Ocena jakości stron internetowych podmiotów publicznych świadczących usługi szpitalne w województwie opolskim. *Rocz. Kol. Anal. Ekon.* 35, 179–192.
- Żuber M., 2006. Agroterroryzm – zagrożenie sektora rolniczego. W: M. Żuber (red.), *Katastrofy naturalne i cywilizacyjne. Terroryzm współczesny. Aspekty polityczne, społeczne i ekonomiczne*. Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki, Wrocław, 155–162.

**Źródło finansowania:** Publikacja nie była finansowana ze środków zewnętrznych..

**Abstract.** Due to the dynamic external situation caused, among other things, by ongoing wars, such as in Ukraine, agricultural entities are subject to many influences, including negative ones, which translate into an increase in the risk of their operation. The existing and tense political situation forces us to look at the specific risk of agroterrorism. The rationale for dealing with this topic is the still modest national literature and the fact that a threat of this nature exists and is very real. The purpose of the study was to answer the question: whether and to what extent the existing law and the action of the relevant authorities are conducive to the preparation of primary production actors for food defense? As a research method, mainly literature studies and a search for acts of applied law and private food law were used. The conclusions show that EU and national food laws do not oblige implementing food defense measures in the agricultural sector. The important role of the Critical Entity Resilience Directive (CER Directive) was emphasized, as well as the need to implement educational programs to create guidelines for agricultural producers, based on the best available models and systems for effective food defense in the agricultural area. Information deficiencies on agroterrorism and its risks, on the part of the relevant food security and agricultural authorities, were also confirmed.

**Keywords:** agroterrorism, food defense, critical infrastructure, food law, certification schemes

Otrzymano/Received: 5.08.2024

Zaakceptowano/Accepted: 2.01.2025

Opublikowano/Published: 18.03.2025





<sup>1</sup> Department of Herbology and Plant Cultivation Techniques, Faculty of Agrobioengineering,  
University of Life Sciences in Lublin, Akademicka 13, 20-950 Lublin, Poland

<sup>2</sup> Department of Food and Agriculture Production Engineering, Collegium of Natural Sciences,  
University of Rzeszów. St. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów, Poland

\* e-mail: [cezary.kwiatkowski@up.lublin.pl](mailto:cezary.kwiatkowski@up.lublin.pl)

ELŻBIETA HARASIM<sup>1</sup>, CEZARY A. KWIATKOWSKI<sup>1\*</sup>,  
JAN BUCZEK<sup>2</sup>, OLIMPIA KLIKOCA-WIŚNIEWSKA<sup>1</sup>

## Agrobiofortification of spring wheat with nitrogen and sulfur in terms of improving yield and grain quality

---

Agrobiofortyfikacja pszenicy jarej azotem i siarką w aspekcie poprawy plonu  
i jakości ziarna

**Abstract.** In order to identify the impact of nitrogen and sulfur fertilizer on the yield and grain quality of spring wheat as well as on the improvement of its chemical and health-promoting properties, a strict 3-year field experiment was carried out. The subject of the experiment was the Kandela variety of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) fertilized with various rates of nitrogen (factor I) and sulfur (factor II). The experiment was carried out in the years 2014–2016 in a split-plot design, in a private farm in Malice near Hrubieszów (Poland), on dystrophic typical medium brown soil, made of medium-grained sandy loam and classified as a good rye soil complex. The experiment included 2 factors (in four replicates): I. nitrogen fertilization at a rate of 0, 50, 100, and 150 kg ha<sup>-1</sup>; II. sulfur fertilization at a rate of 0 and 40 kg ha<sup>-1</sup>. After harvesting spring wheat, grain yield (at 11% moisture content) from each plot was determined (kg) and converted into t ha<sup>-1</sup>. The following grain quality characteristics were examined in the dry matter: starch content (g kg<sup>-1</sup>), gluten content (g kg<sup>-1</sup>), total protein (g kg<sup>-1</sup>), cysteine (mg g<sup>-1</sup>), methionine (mg g<sup>-1</sup>), fat (g kg<sup>-1</sup>), and crude fiber (g kg<sup>-1</sup>). As regards the features influencing health-promoting properties, the content of flavonoids (expressed as quercetin equivalents; %) and o-dihydroxy phenols (expressed as caffeic acid equivalents; %) was determined. Based on the conducted research, it was shown that the application of nitrogen (factor I) at the rates of 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup> and sulfur fertilization (factor II) at a rate of 40 had the most beneficial effect (statistically significant difference) on spring wheat grain yield. The use of a rate of 50 kg N ha<sup>-1</sup>, regardless of sulfur addition, was insufficient because it did not produce

---

**Citation:** Harasim E., Kwiatkowski C.A., Buczek J., Klikocka-Wiśniewska O., 2024. Agrobiofortification of spring wheat with nitrogen and sulfur in terms of improving yield and grain quality. *Agron. Sci.* 79(4), 37–58. <https://doi.org/10.24326/as.2024.5420>

beneficial effects. It should be stated that under negative sulfur balance in the cultivated soils of the study area, it is necessary to use sulfur fertilizers. To sum up, the obtained research results indicate that in the spring wheat production system, the variant of 150 kg N ha<sup>-1</sup> combined with 40 kg S ha<sup>-1</sup> should be recommended. This variant of fertilization had a significant positive impact on both the productivity and the qualitative and health-promoting characteristics of spring wheat grains.

**Keywords:** spring wheat, nitrogen, sulfur, agrobiofortification, yield, grain quality

## INTRODUCTION

Cereals are considered strategic crops in the global economy. Cereal grain, after processing, is the most important raw material used in food production, providing many valuable nutrients and energy. The economic value of cereals results from the size of their production, which is the result of the area sown and the yield per 1 ha. According to the report of the United Nations Food and Agriculture Organization, wheat production in the world will continue to increase, and in the 2023/2024 season it reached 782 million tons [FAO 2023].

Due to its poorly developed root system, spring wheat is a cereal with high water requirements and responds with a decrease in yield in years with less rainfall, especially on lighter soils. A negative feature of spring wheat is its high sensitivity to drought in high air temperature conditions, especially during tillering, stem shooting and earing. Unfavourable conditions cause thinning of plants, drying of shoots and poorer filling and development of grain, which results in lower grain yield [Wyzińska and Grabiński 2020].

Nitrogen plays a very important role in the process of plant growth and development. It affects the distribution of assimilates between roots and assimilation organs. It determines the photosynthetic activity of leaves and the entire plant, and consequently affects the number of ears per unit area, the number of grains in an ear and the weight of a thousand grains, and thus the productivity of the crop. It is an extremely important component of proteins, chlorophyll, vitamins, hormones and participates in the process of building DNA. It is also a component of enzymes and takes part in all reactions related to them [Jamal et al. 2010].

Nitrogen fertilizers will be fully utilized by plants when they also receive sulfur in the form of sulphate SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, i.e., absorbed by plants via the root system. Therefore, the most important function of sulfur is its role in nitrogen management, and its deficiency in the soil leads to a significant reduction in the use of fertilizer nitrogen by plants. It is assumed that a deficiency of 1 kg of S leads to a reduction in nitrogen uptake by the plant from 1 to 3 kg. Nitrogen not taken up by the crop is dispersed in the environment, posing a threat not only to water quality, but also to the atmosphere [Salvagiotti et al. 2009].

Empirical studies aimed to determine the impact of nitrogen and sulfur on crop yield and quality are nowadays conducted across the world. The beneficial effects of nitrogen and sulfur on the quantity and biological value of yield are particularly found in experiments with oilseed rape [Malhi et al. 2007]. The inclusion of sulfur in the basic nitrogen fertilization of cereals results in yield optimization due to the higher unit productivity and the improved quality of harvested grain [Scherer 2001, Verlinden 2002, Staugaitis et al. 2014]. Sulfur is an essential element for plant and animal life. It is an important component of amino acids (cysteine, cystine, and methionine). Sulfur activates many enzymes and

participates in enzymatic and redox reactions (photosynthetic activity), thus affecting an increase in plant protein, sugar, and fat content. Appropriately balanced S and N fertilization is important due to mutual interactions during the process of uptake and assimilation of these nutrients by the plant [Pilbeam 2015]. Part of interactions between N and S metabolism originate from O-acetyl-serine, the immediate precursor for cysteine, but the concentration of this sulfur amino acid depends on nitrogen nutrition [Hesse et al. 2015]. As an important component of wheat protein, sulfur contributes to an improvement in flour quality parameters [Tea et al. 2007, Klikocka and Cybulska 2014, Dostálová et al. 2015, Klikocka et al. 2016].

Cereals and their processed products provide to the modern man in the daily dietary intake about 30% of energy and protein as well as about 54% of carbohydrates. Cereal products are a source of dietary fiber, which prevents lifestyle diseases such as: diabetes, atherosclerosis, obesity, caries, myocardial ischemia, and constipation, in 65%. Amino acids, peptides, and proteins provide a proper tissue structure, regulate metabolic processes, and facilitate absorption of metabolic nutrients. Flavonoids contribute to the inhibition of the development of cancers, type 2 diabetes, and atherosclerosis [Vitaglione et al. 2008]. The above information shows how important it is to appropriately select agonomic practices (fertilization) for cereals in order to ensure the best possible grain quality parameters for the consumer.

In the context of the research problem undertaken in this article, it becomes interesting and advisable to identify the role of sulfur fertilization in determining the yield quantity and quality of spring wheat as well as the chemical composition and health-promoting properties of this cereal grain under the soil and climatic conditions of central-eastern Poland, a region with small industrial pressure, as far as this element is concerned.

The selection of the research problem was based on previously conducted field observations and an analysis of the literature regarding the status of nitrogen and sulfur in the biosphere and in crop fertilization [Salvagiotti et al. 2009, Ahmad et al. 2011, Muttucumaru et al. 2013, Tabak et al. 2020, Soofizada et al. 2022]. This allowed us to formulate a working hypothesis of the present study, which is the following: cultivated soils do not naturally meet the requirement of spring wheat for nitrogen and sulfur.

To verify the set hypothesis, a field experiment was carried out in the period 2014–2016, which was designed to determine the grain yield and quality of spring wheat (the grain chemical composition and health-promoting properties) under the application of nitrogen fertilization at rates of 0, 50, 100, and 150 kg N ha<sup>-1</sup>, respectively, in combination with sulfur fertilization at a rate of 40 kg S ha<sup>-1</sup>. Moreover, the study evaluated the effect of fertilization applied on the selection of the optimal combined N+S rate that would have the most beneficial influence on the productivity and quality of spring wheat grain.

## MATERIALS AND METHODS

### Experiment design and field management

The field experiment was conducted in the period 2014–2016, in the village of Malice near the city of Hrubieszów (50°42'N, 23°15'E), Poland on dystrophic typical medium brown soil, derived from medium-grained sandy loam [WRB IUSS 2015] (sand 68%, silt

31%, clay 1%) and classified as a good rye soil complex, with a slightly acidic pH. Immediately before the establishment of the experiment, the following soil properties were determined from the 0–25 cm of soil layer (Tab. 1).

Table 1. The soil characteristics in the field experiment – before starting the experiment

| Specification                 | Unit                | Study year |      |      |
|-------------------------------|---------------------|------------|------|------|
|                               |                     | 2014       | 2015 | 2016 |
| pH in M CaCl <sub>2</sub>     | –                   | 5.7        | 5.6  | 5.8  |
| C – total                     | g kg <sup>-1</sup>  | 9.2        | 8.9  | 8.5  |
| N – total                     |                     | 0.9        | 0.9  | 0.8  |
| N – mineral                   | kg ha <sup>-1</sup> | 70.8       | 69.4 | 67.9 |
| P – available                 | mg kg <sup>-1</sup> | 53.5       | 55.5 | 50.3 |
| K – available                 |                     | 87.6       | 86.2 | 80.6 |
| Mg – available                |                     | 35.8       | 34.7 | 35.3 |
| S – total                     |                     | 98.8       | 89.3 | 82.0 |
| S-SO <sub>4</sub> – available |                     | 15.4       | 13.6 | 12.3 |

The subject of the experiment was the Kandela variety of spring wheat (*Triticum aestivum* L.), fertilized with various rates of nitrogen (factor I) and sulfur (factor II). The field experiment was set up as a split-block design in four replicates. The objects of the experiment were blocks: A, B, C and D, in which the following were drawn: N – nitrogen fertilization (4 levels of N) and S – sulfur fertilization (at a rate of 0 and 40 kg ha<sup>-1</sup>). In total, 32 plots were drawn. The size of a single plot for sowing wheat was – 30 m<sup>2</sup> (5 × 6 m), and the size of a single plot for harvesting was – 20 m<sup>2</sup> (4 × 5 m). This experimental scheme was repeated in each of the three years of research in a different part of the field (and the forecrop for spring wheat was potato each year).

The field trial included 2 factors:

1. Nitrogen fertilization at the following rates: 0 (control), 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>;
2. Sulfur fertilization: 0, 40 kg ha<sup>-1</sup>.

Nitrogen was applied as ammonium nitrate (34%). A nitrogen rate of 50 kg N ha<sup>-1</sup> was used before sowing, whereas 100 kg N ha<sup>-1</sup> was applied at two times: before sowing and as top dressing at the stem elongation stage – BBCH 30-31. A rate of 150 kg N ha<sup>-1</sup>, in turn, was applied at three times: before sowing, as top dressing at the stem elongation stage – BBCH 30-31, and as top dressing between the middle of heading and the end of heading – BBCH 55-59 (Tab. 2). Sulfur at a rate of 40 kg ha<sup>-1</sup> was applied at two times: before sowing at a rate of 30 kg S ha<sup>-1</sup> as kieserite – MgSO<sub>4</sub> × H<sub>2</sub>O – and foliarly between the middle of heading and the end of heading (BBCH 55-59) at a rate of 10 kg S ha<sup>-1</sup> as magnesium sulfate heptahydrate (MgSO<sub>4</sub> × 7 H<sub>2</sub>O) (5% solution of SO<sub>3</sub> per 300 dm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>).

Before sowing, phosphorus fertilizer (46% granulated triple superphosphate at a rate of 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) and potassium fertilizer (60% potassium salt at a rate of 100 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) were applied in all treatments. The plots with different fertilization treatments were balanced



by applying magnesium lime and calcium carbonate in order to equalize the soil pH. This ensured that the same input soil conditions were achieved in all experimental sites.

Table 2. The nitrogen and sulfur rate application design

| Element      | Rate<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | Application time |            |            |
|--------------|--------------------------------|------------------|------------|------------|
|              |                                | before sowing    | BBCH 30–31 | BBCH 55–59 |
| Nitrogen (N) | 0                              | –                | –          | –          |
|              | 50                             | 50               | –          | –          |
|              | 100                            | 50               | 50         | –          |
|              | 150                            | 50               | 50         | 50         |
| Sulfur (S)   | 0                              | –                | –          | –          |
|              | 40                             | 30               | –          | 10         |

The agronomic practices for the cultivation of spring wheat were consistent with the current agronomic recommendations. The Kandela spring wheat variety, classified as class A wheat in terms of its commercial value and characterized by very good baking properties, was sown at a plant density of 500 plants per 1 m<sup>2</sup>. Sowing was carried out between March 28 and April 5, depending on the year.

Before sowing, seeds were dressed with the seed dressing Vitavax 200 FS (a.i. carboxin) at a rate of 300 cm<sup>3</sup> 100 kg<sup>-1</sup>. A mixture of the herbicides Granstar 75 WG (tribenuron-methyl) (20 g ha<sup>-1</sup>) and Puma Super 069 EW (fenoxaprop-P-ethyl) (1 dm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) was used at the tillering stage (BBCH 28) to destroy monocotyledonous and dicotyledonous weeds. The occurrence of root rot diseases was reduced by applying Alert 375 SC (flusilazole + carbendazim) – 1.0 dm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> at the stem elongation stage (BBCH 30–32), whereas Tilt CB 37,5 (propiconazole + carbendazim) was applied at a rate 1 dm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> against leaf and ear diseases at BBCH 58–59. To control pests, Decis 2,5 EC (deltamethrin) was used at a rate of 0.25 dm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> at BBCH 58–59. The growth regulator Stablan 750 SL (chlormequat chloride) was applied at a rate 1.8 dm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> at the stem elongation stage (BBCH 30–32) to prevent crop lodging. In each year of the study, spring wheat was harvested in the second decade of August.

### Plant sampling and measurement

The experiment investigated the following characteristics: grain yield (t ha<sup>-1</sup>), grain starch content (g kg<sup>-1</sup>), gluten content (g kg<sup>-1</sup>), total protein content (g kg<sup>-1</sup>), cysteine (cysteic acid) content (mg g<sup>-1</sup>), methionine (methionine sulfone) content (mg g<sup>-1</sup>), crude fat content (g kg<sup>-1</sup>), crude dietary fiber content (g kg<sup>-1</sup>), flavonoid content (expressed as quercetin equivalents; g kg<sup>-1</sup>), o-dihydroxy phenol content (expressed as caffeic acid equivalents; g kg<sup>-1</sup>) and ash content (g kg<sup>-1</sup>).

Spring wheat grain yield was determined at the fully ripe stage (BBCH 89–92). Before weighing, the grain yield was brought to the same moisture content of 11%.

Wet gluten was obtained according to the Polish Standard [PN-A-74041 1977]. Gluten samples (2 mm thick) were placed on a Petri dish floating on the surface of an ultrasonic scrubber. The samples were sonicated for 300 s in a Sonic-0.5 ultrasonic scrubber (Polsonic Palczyński sp.j., Warsaw, Poland) using 40 kHz ultrasound at 80 W.

Grain total protein content was calculated as the product of the grain N content  $\times$  5.7. Determination of N content was carried out by the Kjeldahl method (ISO 5983-1, Animal feeding stuffs, Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content, Part 1: Kjeldahl method) [Barbano et al. 1991].

Starch content was measured as glucose using an enzymatic-colorimetric assay, after initial gelatinization in an autoclave, followed by enzymatic hydrolysis [Sindt et al. 2000].

Cysteine (cystic acid) content ( $\text{mg g}^{-1}$ ) and methionine (methionine sulfone) content ( $\text{mg g}^{-1}$ ) were determined by the CLA/PLC/34/2011 method [Maćkowiak-Dryka et al. 2020].

Ash content ( $\text{g kg}^{-1}$ ) was determined by the CLB/PSO/5/2019 method [Scope of accreditation... 2023].

Crude fat content ( $\text{g kg}^{-1}$ ) was determined by the Soxhlet method (ON-A-74039:1964), [Salimon et al. 2014].

Total dietary fiber content (in  $\text{g kg}^{-1}$ ) was determined by the enzymatic gravimetric method using a Fibertec 2010 system (FOSS, Hillerød, Denmark). The sample was subjected to digestion with the following enzymes: thermostable  $\alpha$ -amylase, pepsin, and pancreatin; the weight of the undigested residue was determined, and the soluble dietary fiber supernatant was precipitated from the solution and its weight was determined.

Determination of flavonoid content was carried out using Christ-Müller's method [Polish Pharmacopoeia IX 2011]. Flavonoid content was determined spectrophotometrically, after extraction of flavonoids from the raw material, and expressed as quercetin equivalents (QE). This method involves acid hydrolysis of flavonol glycosides, followed by the formation of colored complexes of these flavonoid compounds with  $\text{AlCl}_3$ . Absorbance was measured at  $\lambda = 425.0$  nm with a Cintra 20 UV-VIS spectrometer (GBC).

Total dihydroxy phenol content was measured spectrophotometrically at a wavelength of  $\lambda = 725$  nm (Shimadzu 1800 spectrophotometer, Shimadzu Corp. Kyoto, Japan) and expressed as caffeic acid equivalents. To make the measurement on the spectrophotometer, 50–500  $\mu\text{L}$  of the extract (depending on the expected value of absorption of the tested sample) was transferred into a volumetric flask. A total of 2.0  $\text{cm}^3$  methanol, 10  $\text{cm}^3$   $\text{H}_2\text{O}$ , 2  $\text{cm}^3$  Folin reagent, and 1.0  $\text{cm}^3$  of a 10% solution of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  were added. The samples were put aside for 0.5 h, while subsequently, they were made up with deionized water up to the mark and measured on the spectrophotometer at a wavelength of  $\lambda = 725$  nm in relation to the reference sample [Singleton and Rossi 1965].

### Statistical analysis

The Statistica PL 13.3 program was used for the analysis of variance (ANOVA), and the Tukey's test was used to determine the Honestly Significant Difference (HSD) value at  $p < 0.05$ . Due to the statistical insignificance of most interactions (double and triple) between the main factors (N rate; S rate) and years of research (Y), Tables 3 and 4 (wcześniej 5) present average research results from 3 years for main effects and results in individual years of research for a given feature resulting. Tables 3 and 4 also present research results regarding the interaction between the rates of N fertilization and S fertilization.

Table 3. The effect of nitrogen and sulfur fertilization on the yield and quality characteristics of spring wheat grain

| Fertilization                                                                     |              | Characteristic                       |                                 |                                 |                                        |                                   |                                     |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
|                                                                                   |              | grain yield<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | starch<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | gluten<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | total protein<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | cysteine<br>(mg g <sup>-1</sup> ) | methionine<br>(mg g <sup>-1</sup> ) | fat<br>(g kg <sup>-1</sup> ) |
| Mean over<br>the years of study<br>for N fertilization<br>rates                   | 0 N          | 5.61 <sup>d</sup>                    | 633.5 <sup>a</sup>              | 275.5 <sup>d</sup>              | 149.7 <sup>d</sup>                     | 4.05 <sup>b</sup>                 | 3.06 <sup>cd</sup>                  | 7.3 <sup>c</sup>             |
|                                                                                   | 50 N         | 5.77 <sup>c</sup>                    | 634.0 <sup>a</sup>              | 290.2 <sup>c</sup>              | 158.3 <sup>c</sup>                     | 4.36 <sup>ab</sup>                | 3.18 <sup>c</sup>                   | 9.3 <sup>b</sup>             |
|                                                                                   | 100 N        | 6.69 <sup>b</sup>                    | 632.8 <sup>a</sup>              | 316.4 <sup>b</sup>              | 162.9 <sup>b</sup>                     | 4.49 <sup>a</sup>                 | 3.35 <sup>b</sup>                   | 9.9 <sup>b</sup>             |
|                                                                                   | 150 N        | 6.94 <sup>a</sup>                    | 635.8 <sup>a</sup>              | 361.0 <sup>a</sup>              | 168.4 <sup>a</sup>                     | 4.65 <sup>a</sup>                 | 3.50 <sup>a</sup>                   | 12.3 <sup>a</sup>            |
| Mean over<br>the years of study<br>for S fertilization<br>rates                   | 0 S          | 6.16 <sup>b</sup>                    | 632.4 <sup>b</sup>              | 304.2 <sup>b</sup>              | 158.4 <sup>a</sup>                     | 4.26 <sup>b</sup>                 | 3.03 <sup>b</sup>                   | 8.8 <sup>b</sup>             |
|                                                                                   | 40 S         | 6.34 <sup>a</sup>                    | 635.7 <sup>a</sup>              | 317.4 <sup>a</sup>              | 161.3 <sup>a</sup>                     | 4.51 <sup>a</sup>                 | 3.51 <sup>a</sup>                   | 10.6 <sup>a</sup>            |
| Mean over<br>the years of study<br>for interaction:<br>S rate × varied<br>N rates | 40 S + 0 N   | 5.65 <sup>b</sup>                    | 635.3 <sup>a</sup>              | 284.3 <sup>b</sup>              | 151.0 <sup>b</sup>                     | 4.33 <sup>b</sup>                 | 3.29 <sup>a</sup>                   | 7.7 <sup>b</sup>             |
|                                                                                   | 40 S + 50 N  | 5.87 <sup>b</sup>                    | 636.0 <sup>a</sup>              | 298.7 <sup>b</sup>              | 160.6 <sup>a</sup>                     | 4.44 <sup>b</sup>                 | 3.45 <sup>a</sup>                   | 9.9 <sup>b</sup>             |
|                                                                                   | 40 S + 100 N | 6.80 <sup>a</sup>                    | 633.7 <sup>a</sup>              | 324.6 <sup>b</sup>              | 163.3 <sup>a</sup>                     | 4.52 <sup>b</sup>                 | 3.57 <sup>a</sup>                   | 10.6 <sup>b</sup>            |
|                                                                                   | 40 S + 150 N | 7.05 <sup>a</sup>                    | 637.7 <sup>a</sup>              | 362.0 <sup>a</sup>              | 170.1 <sup>a</sup>                     | 4.76 <sup>a</sup>                 | 3.73 <sup>a</sup>                   | 14.1 <sup>a</sup>            |
| In the years<br>of research –<br>regardless<br>of S and N rates                   | 2014         | 6.207 <sup>b</sup>                   | 631.4 <sup>bc</sup>             | 303.7 <sup>a</sup>              | 165.1 <sup>a</sup>                     | 4.49 <sup>a</sup>                 | 3.30 <sup>a</sup>                   | 10.4 <sup>a</sup>            |
|                                                                                   | 2015         | 6.131 <sup>b</sup>                   | 633.5 <sup>b</sup>              | 315.0 <sup>a</sup>              | 162.3 <sup>b</sup>                     | 4.49 <sup>a</sup>                 | 3.25 <sup>a</sup>                   | 9.8 <sup>a</sup>             |
|                                                                                   | 2016         | 6.435 <sup>a</sup>                   | 637.3 <sup>a</sup>              | 313.6 <sup>a</sup>              | 152.2 <sup>c</sup>                     | 4.18 <sup>a</sup>                 | 3.26 <sup>a</sup>                   | 8.8 <sup>b</sup>             |

| Fertilization |           | Characteristic                       |                                 |                                 |                                        |                                   |                                     |                              |
|---------------|-----------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
|               |           | grain yield<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | starch<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | gluten<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | total protein<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | cysteine<br>(mg g <sup>-1</sup> ) | methionine<br>(mg g <sup>-1</sup> ) | fat<br>(g kg <sup>-1</sup> ) |
| CV%           | N         | 9.19                                 | 0.18                            | 104.6                           | 4.27                                   | 5.06                              | 5.05                                | 18.42                        |
|               | S         | 1.43                                 | 0.26                            | 2.13                            | 0.88                                   | 2.88                              | 7.33                                | 9.04                         |
|               | Y         | 2.06                                 | 0.38                            | 1.62                            | 3.44                                   | 3.30                              | 0.67                                | 6.90                         |
|               | N × S     | 9.31                                 | 0.32                            | 10.73                           | 4.39                                   | 6.19                              | 8.92                                | 21.26                        |
|               | S × Y     | 2.53                                 | 0.66                            | 2.73                            | 3.62                                   | 4.58                              | 8.83                                | 11.72                        |
|               | N × Y     | 9.60                                 | 0.47                            | 10.80                           | 5.65                                   | 6.14                              | 5.80                                | 20.84                        |
|               | N × S × Y | 8.52                                 | 0.45                            | 9.61                            | 4.45                                   | 5.18                              | 6.50                                | 15.25                        |
| p-value       | N         | 0.0007                               | 0.4162                          | 0.0000                          | 0.0000                                 | 0.0179                            | 0.0020                              | 0.0003                       |
|               | S         | 0.0000                               | 0.0375                          | 0.0203                          | 0.0176                                 | 0.0346                            | 0.0000                              | 0.0021                       |
|               | Y         | 0.0003                               | 0.0208                          | 0.1371                          | 0.0000                                 | 0.0555                            | 0.6403                              | 0.0215                       |
|               | N × S     | 0.0047                               | 0.0627                          | 0.0041                          | 0.0039                                 | 0.0045                            | 0.0635                              | 0.0038                       |
|               | S × Y     | 0.3506                               | 0.0082                          | 0.7419                          | 0.1287                                 | 0.4806                            | 0.0012                              | 0.3365                       |
|               | N × Y     | 0.0046                               | 0.6569                          | 0.2697                          | 0.0591                                 | 0.9723                            | 0.1244                              | 0.1372                       |
|               | N × S × Y | 0.0032                               | 0.5637                          | 0.3948                          | 0.4239                                 | 0.8875                            | 0.1356                              | 0.1478                       |

Values followed by different letters within a column are statistically different ( $p < 0.05$ ); CV% – coefficient of variation

Variables: N – nitrogen rate; S – sulfur rate; Y – year; N × S – nitrogen rate × sulfur rate; S × Y – sulfur rate × year; N × Y – nitrogen rate × year; N × S × Y – nitrogen rate × sulfur rate × year

Table 4. The effect of nitrogen and sulfur fertilization on the quality and health-promoting characteristics of spring wheat grain

| Fertilization                                                               |              | Crude fiber content<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | Flavonoids content<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | O-dihydroxy phenols<br>content (g kg <sup>-1</sup> ) | Ash content<br>(g kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Mean over the years of study<br>for N fertilization rates                   | 0 N          | 34.0 <sup>c</sup>                            | 0.18 <sup>d</sup>                           | 0.74 <sup>c</sup>                                    | 18.2 <sup>d</sup>                    |
|                                                                             | 50 N         | 37.7 <sup>bc</sup>                           | 0.21 <sup>c</sup>                           | 0.78 <sup>c</sup>                                    | 18.9 <sup>c</sup>                    |
|                                                                             | 100 N        | 38.9 <sup>b</sup>                            | 0.24 <sup>b</sup>                           | 0.81 <sup>b</sup>                                    | 19.9 <sup>b</sup>                    |
|                                                                             | 150 N        | 41.9 <sup>a</sup>                            | 0.27 <sup>a</sup>                           | 0.91 <sup>a</sup>                                    | 21.1 <sup>a</sup>                    |
| Mean over the years of study<br>for S fertilization rates                   | 0 S          | 36.6 <sup>b</sup>                            | 0.19 <sup>b</sup>                           | 0.77 <sup>b</sup>                                    | 18.9 <sup>b</sup>                    |
|                                                                             | 40 S         | 39.6 <sup>a</sup>                            | 0.26 <sup>a</sup>                           | 0.85 <sup>a</sup>                                    | 20.2 <sup>a</sup>                    |
| Mean over the years of study<br>for interaction:<br>S rate × varied N rates | 40 S + 0 N   | 34.9 <sup>c</sup>                            | 0.21 <sup>b</sup>                           | 0.79 <sup>b</sup>                                    | 18.8 <sup>c</sup>                    |
|                                                                             | 40 S + 50 N  | 39.0 <sup>b</sup>                            | 0.24 <sup>b</sup>                           | 0.83 <sup>b</sup>                                    | 19.7 <sup>bc</sup>                   |
|                                                                             | 40 S + 100 N | 40.6 <sup>b</sup>                            | 0.28 <sup>b</sup>                           | 0.86 <sup>b</sup>                                    | 20.5 <sup>b</sup>                    |
|                                                                             | 40 S + 150 N | 43.8 <sup>a</sup>                            | 0.33 <sup>a</sup>                           | 0.94 <sup>a</sup>                                    | 21.8 <sup>a</sup>                    |
| In the years of research –<br>regardless of S and N rates                   | 2014         | 36.1 <sup>b</sup>                            | 0.18 <sup>c</sup>                           | 0.65 <sup>c</sup>                                    | 19.2 <sup>b</sup>                    |
|                                                                             | 2015         | 42.5 <sup>a</sup>                            | 0.24 <sup>b</sup>                           | 0.81 <sup>b</sup>                                    | 20.0 <sup>a</sup>                    |
|                                                                             | 2016         | 35.8 <sup>b</sup>                            | 0.27 <sup>a</sup>                           | 0.98 <sup>a</sup>                                    | 19.4 <sup>b</sup>                    |

| Fertilization |           | Crude fiber content<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | Flavonoids content<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | O-dihydroxy phenols<br>content (g kg <sup>-1</sup> ) | Ash content<br>(g kg <sup>-1</sup> ) |
|---------------|-----------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| CV%           | N         | 7.39                                         | 14.91                                       | 7.59                                                 | 5.56                                 |
|               | S         | 3.86                                         | 16.50                                       | 5.41                                                 | 3.44                                 |
|               | L         | 8.15                                         | 16.38                                       | 26.35                                                | 1.68                                 |
|               | N × S     | 8.40                                         | 22.68                                       | 9.34                                                 | 6.55                                 |
|               | S × L     | 9.10                                         | 26.29                                       | 17.39                                                | 3.91                                 |
|               | N × L     | 11.60                                        | 22.36                                       | 18.37                                                | 6.05                                 |
|               | N × S × Y | 11.78                                        | 23.45                                       | 18.41                                                | 6.25                                 |
| p-value       | N         | 0.0001                                       | 0.0024                                      | 0.0087                                               | 0.0001                               |
|               | S         | 0.0006                                       | 0.0002                                      | 0.0073                                               | 0.0001                               |
|               | Y         | 0.0000                                       | 0.0007                                      | 0.0001                                               | 0.0170                               |
|               | N × S     | 0.0025                                       | 0.0009                                      | 0.0008                                               | 0.0022                               |
|               | S × Y     | 0.1778                                       | 0.0031                                      | 0.2730                                               | 0.2366                               |
|               | N × Y     | 0.0199                                       | 0.8792                                      | 0.4486                                               | 0.1075                               |
|               | N × S × Y | 0.1623                                       | 0.7985                                      | 0.4564                                               | 0.1268                               |

Values followed by different letters within a column are statistically different ( $p < 0.05$ ); CV% – coefficient of variation

Variables: N – nitrogen rate; S – sulfur rate; Y – year; N × S – nitrogen rate × sulfur rate; S × Y – sulfur rate × year; N × Y – nitrogen rate × year; N × S × Y – nitrogen rate × sulfur rate × year.

Moreover, the coefficient of variation (CV%), which is a measure of the scatter of results, was calculated as the quotient of the standard deviation and mean. Tables 5 and 6 present correlation coefficients ( $r$ ) at  $p < 0.05$  between spring wheat grain yield and the examined grain quality traits and significant correlations are expressed.

Table 5. The correlation coefficients ( $r$ ) between the tested quality characteristics of spring wheat grain

| Characteristic studied                      | Grain yield (t ha <sup>-1</sup> ) | Starch content (g kg <sup>-1</sup> ) | Gluten content (g kg <sup>-1</sup> ) | Total protein content (g kg <sup>-1</sup> ) | Cysteine content (mg g <sup>-1</sup> ) | Methionine content (mg g <sup>-1</sup> ) | Fat content (g kg <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|
| Grain yield (t ha <sup>-1</sup> )           | 1                                 | –                                    | –                                    | –                                           | –                                      | –                                        | –                                 |
| Starch content (g kg <sup>-1</sup> )        | 0.211                             | 1                                    | –                                    | –                                           | –                                      | –                                        | –                                 |
| Gluten content (g kg <sup>-1</sup> )        | 0.859*                            | 0.238                                | 1                                    | –                                           | –                                      | –                                        | –                                 |
| Total protein content (g kg <sup>-1</sup> ) | 0.534*                            | –0.061                               | 0.62*                                | 1                                           | –                                      | –                                        | –                                 |
| Cysteine content (mg g <sup>-1</sup> )      | 0.503*                            | 0.051                                | 0.637*                               | 0.816*                                      | 1                                      | –                                        | –                                 |
| Methionine content (mg g <sup>-1</sup> )    | 0.564*                            | 0.511*                               | 0.538*                               | 0.460*                                      | 0.623*                                 | 1                                        | –                                 |
| Fat content (g kg <sup>-1</sup> )           | 0.677*                            | 0.061                                | 0.716*                               | 0.623*                                      | 0.715*                                 | 0.587*                                   | 1                                 |

Significant at  $p = 0.05$ :  $r = 0.406$ ; \* statistically significant correlation

Table 6. The correlation coefficients between the tested technological characteristics of spring wheat grain

| Characteristic studied                           | Grain yield (t ha <sup>-1</sup> ) | Crude fiber content (g kg <sup>-1</sup> ) | Flavonoids content (g kg <sup>-1</sup> ) | O-dihydroxy phenols content (g kg <sup>-1</sup> ) | Ash content (g kg <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Grain yield (t ha <sup>-1</sup> )                | 1                                 | –                                         | –                                        | –                                                 | –                                 |
| Crude fiber content (g kg <sup>-1</sup> )        | 0.455*                            | 1                                         | –                                        | –                                                 | –                                 |
| Flavonoid content (g kg <sup>-1</sup> )          | 0.576*                            | 0.523*                                    | 1                                        | –                                                 | –                                 |
| O-dihydroxy phenol content (g kg <sup>-1</sup> ) | 0.487*                            | 0.249                                     | 0.77*                                    | 1                                                 | –                                 |
| Ash content (g kg <sup>-1</sup> )                | 0.738*                            | 0.785*                                    | 0.681*                                   | 0.476*                                            | 1                                 |

Significant at  $p = 0.05$ :  $r = 0.406$ ; \* statistically significant correlation.

### Weather conditions

The total rainfall during the growing season of spring wheat (III–VIII) in 2014 was 519.7 mm and it was higher by 152.2 mm than the long-term mean (1971–2011: 367.5 mm). In the 2015 growing season, the total rainfall was 266.4 mm and hence it was lower than the long-term mean by 101.1 mm. During the 2016 growing season, in turn, the amount of rainfall was higher than the long-term mean by 84.2 mm, standing at 451.7 mm. The sums of air temperatures in the growing seasons analyzed (III–VIII) were higher than the long-term sum (1971–2011: 2392°C). Thus, it was higher by 254°C in the 2014 season, in the 2015 season – by 320°C, while in the 2016 season – by 247°C. The mean air temperature generally exceeded the long-term mean temperature in each month of the years analyzed (Fig. 1).

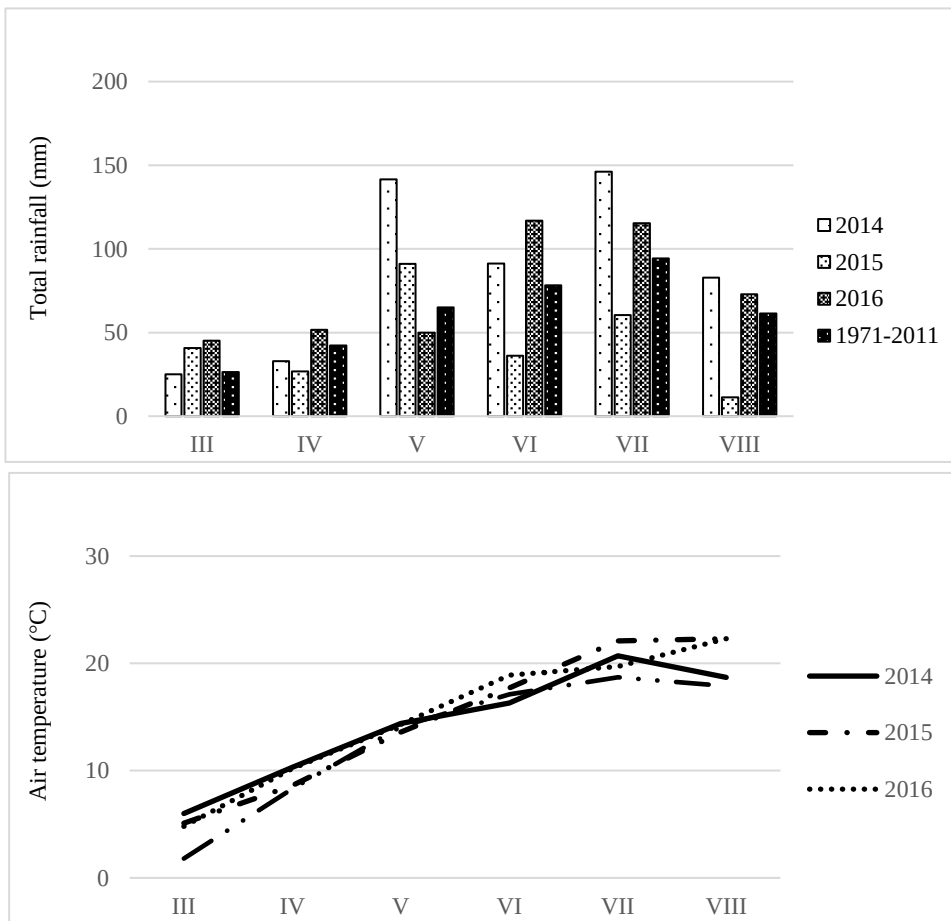


Fig. 1. The total rainfall (mm) and the sum of air temperature (°C) in the years 2014–2016 as well as the long-term means (1971–2011)

Source: Meteorological Research Station in Zamość



Based on the meteorological data, Selyaninov's hydrothermal coefficient was calculated [Bac et al. 1993] according to the following formula:

$$k = \frac{p \times 10}{\sum t}$$

where:  $p$  – total rainfall (mm);  $\sum t$  – the sum of mean daily temperatures for a given month ( $^{\circ}\text{C}$ ).

The values of the hydrothermal coefficients were calculated for the spring wheat growing season (III–VIII). The individual growing seasons were determined to be as follows: 2014 – rather wet (1.96); 2015 – dry, close to rather dry (0.98); and 2016 – rather wet, close to optimal (1.71).

## RESULTS

The grain yield of spring wheat increased proportionately after the application of each nitrogen rate (Fig. 2), but it was the largest after the application of the highest nitrogen rate used in this study ( $150 \text{ kg ha}^{-1}$ ), standing at  $6.947 \text{ t ha}^{-1}$ . It was higher by  $1.335 \text{ t ha}^{-1}$  (19.2%) relative to the yield obtained from the control treatment (without nitrogen fertilization application) (Tab. 3). Sulfur fertilization (factor II) showed a beneficial effect compared to the control, which was expressed by an increase in spring wheat grain yield (by 2.8%). In the case of nitrogen doses of 100 and  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ , sulfur supplementation (factor II) at a dose of  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  resulted in a significant increase in grain yield (Tab. 3).

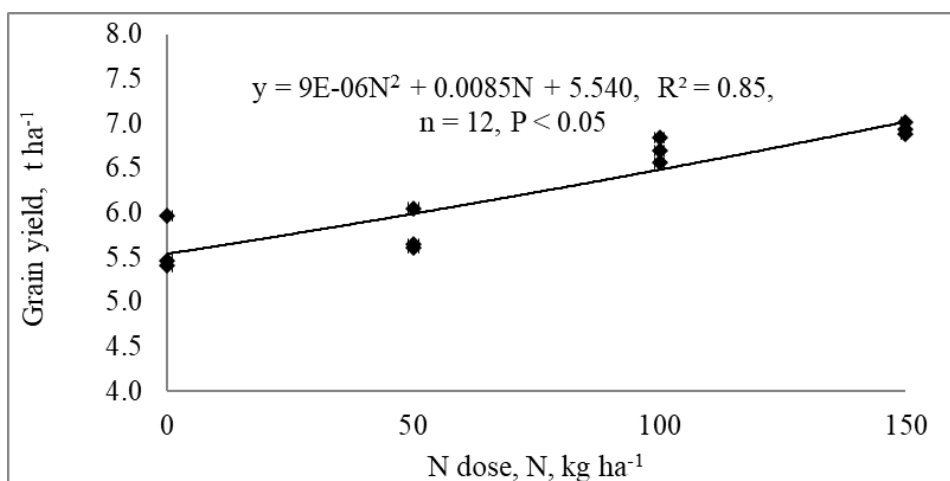


Fig. 2. The effect of nitrogen rate on the grain yield of spring wheat ( $\text{t ha}^{-1}$ )

The weather conditions, i.e. the rainfall and air temperature during the spring wheat growing season in 2016 (rather wet, close to optimal – 1.71), were significantly most favorable in terms of the value of the grain yield obtained relative to 2014 (rather wet – 1.96) and compared to 2015 (dry, close to rather dry – 0.96).

The grain yield of spring wheat showed variation as affected by nitrogen fertilization ( $CV\% = 9.19$ ), sulfur fertilization ( $CV\% = 1.43$ ), and the interaction of these factors ( $CV\% = 9.31$ ). The weather factor caused low variation ( $CV\% = 2.06$ ), but its interaction with nitrogen fertilization was high ( $CV\% = 9.31$ ), whereas it was lower in the case of sulfur fertilization ( $CV\% = 2.53$ ) – as in Table 3.

The analysis of the study results revealed a significantly beneficial effect of nitrogen fertilization (factor I) on all the tested quality characteristics of spring wheat grain, except for starch content. There was a significant increase in the grain content of gluten, total protein and methionine with increasing nitrogen rate, with this content being the highest after the application of a rate of  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  (respectively 31.0%, 12.5%, and 14.4%).

As far as cysteine content is concerned, already the nitrogen rate,  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$ , caused a significant increase in amino acid content (by 7.1%) relative to that found for the control treatment, without nitrogen. A further increase in nitrogen rate did not have a significant effect on increasing the cysteine content. The fat content in spring wheat grain was the significant highest after the application of nitrogen fertilization at a rate of  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  (68.5%). The application of the rates of 50 and  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  had a similar effect on fat content, which was significantly higher (by 27.4–35.6%) than in the case of grain harvested from the control treatments, where no nitrogen fertilization was used (Tab. 3).

As far as sulfur fertilization (factor II) is concerned, the analysis of the study results showed sulfur to have a beneficial effect on increasing the content of gluten (by 4.3%), cysteine (by 5.8%), methionine (by 15.8%) and fat (by 20.4%) compared to their values in the treatments without S fertilization (Tab. 3).

The influence of the interaction between the dose of nitrogen  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  and sulfur  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  was statistically significant in the case of gluten, cysteine, fat (Tab. 3) and crude fiber, flavonoids, o-dihydroxy phenols and ash content (Tab. 4).

The weather conditions, the rainfall and temperature during the spring wheat growing season in the years 2014–2016, did not cause significant differences in the content of gluten, cysteine and methionine in spring wheat grain. The other grain quality characteristics were modified under the influence of weather. The weather pattern in 2014 (rather wet – hydrothermal coefficient 1.96) favored the significantly highest accumulation of total protein ( $165.1 \text{ g kg}^{-1}$ ) and fat ( $10.4 \text{ g kg}^{-1}$ ). The 2015 growing season (dry, close to rather dry – 0.98) beneficially affected the total protein and fat content in wheat grain relative to the 2016 season. The 2016 growing season (rather wet, close to optimal – 1.71) promoted the significantly highest starch content (63.73%), but it significantly reduced the total protein and fat content in wheat grain (Tab. 3).

The studied quality characteristics of spring wheat grain exhibited greater variation as affected by nitrogen fertilization than under the influence of sulfur amendment. The weather factor only slightly affected the variation of the characteristics studied (from  $CV\% = 0.67$  for methionine content to  $CV\% = 26.5$  for o-dihydroxy phenol content) – as in Table 3, Table 4.

Significant positive correlations were obtained between wheat grain yield and all the other grain quality characteristics, except for starch content ( $r = 0.211$ ). The highest correlation coefficient was found between grain yield and gluten content ( $r = 0.859$ ) – as in Table 5.

The content of crude fiber (dietary fiber), flavonoids (expressed as quercetin equivalents), o-dihydroxy phenols (expressed as caffeic acid equivalents) and ash increased significantly with increasing nitrogen rate, being the significantly highest after the application of an N rate of  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  (respectively  $41.9 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $0.27 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $0.91 \text{ g kg}^{-1}$ , and  $21.1 \text{ g kg}^{-1}$ ). Nonetheless, as regards crude fiber content and o-dihydroxy phenol content, the application of the nitrogen rate of  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  did not result in a significant increase in these components relative to the control. It was only a rate of  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  and its increase to  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  that produced significant increases in the grain content of crude fiber and o-dihydroxy phenols (Tab. 4).

In the case of sulfur fertilization (factor II), sulfur was found to have a significant beneficial effect on the increase in the content of crude fiber (dietary fiber; by 8.1%), flavonoids (by 36.8%), o-dihydroxy phenols (by 10.4%) and ash (by 6.8%) compared to that found in the treatments without S fertilization (Tab. 4).

The rainfall and temperature during the spring wheat growing season in the period 2014–2016 caused significant differences in the content of crude fiber, flavonoids, o-dihydroxy phenols and ash in spring wheat grain. Among all the years studied, the weather conditions in the year 2014 (rather wet) were the most unfavorable (statistically proven significance of differences) to the distribution of the results for the characteristics analyzed. The 2015 growing season (dry, close to rather dry) favored a significant increase in the grain content of crude fiber and ash. The weather pattern in 2016 (rather wet, close to optimal), on the other hand, caused a significant increase in the grain content of flavonoids and o-dihydroxy phenols (Tab. 4).

Significant positive correlations were obtained between wheat grain yield and all the quality and health-promoting characteristics. The highest correlation coefficient was found between grain yield and ash content ( $r = 0.738$ ). The tested characteristics were significantly positively correlated with one another. This relationship was not statistically significant only between crude fiber content and o-dihydroxy phenols content ( $r = 0.249$ ) – as in Table 6.

## DISCUSSION

This study demonstrated a significantly beneficial effect of nitrogen fertilization on spring wheat grain yield. The grain yield had the most favorable characteristics after the application of the medium and highest nitrogen rates, i.e.  $100$  and  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ , compared to the control treatment (without nitrogen). The increase was 16.3% and 23.7%, respectively, for the medium and highest rates. Nitrogen is considered to be one of the most important yield-forming elements and its positive influence on yields of cereals and other crops has been proven by many authors [Ladha et al. 2016, Litke et al. 2018, Boulelouah et al. 2022, Ghafoor et al. 2022, van Grinsven et al. 2022, Kamdi et al. 2024]

The thesis on the beneficial effects of sulfur on spring wheat yield has been confirmed by studies of many authors [Järvan et al. 2012, Skwierawska et al. 2016, Hemesh 2020, Yu et al. 2021]. According to Podleśna et al. [2008] as well as Klikocka and Cybulska [2014],

the cultivation of wheat under sulfur deficiency conditions led to plant growth and development inhibition as well as to changes in the chemical composition of vegetative organs and grain. Plants with limited access to sulfate sulfur in the soil showed a radical reduction in the grain yield from the main stem and branches, with a simultaneous decrease in thousand grain weight. The above described observations are also reflected in the present study, in which the addition of sulfur to N fertilization (100 and 150 kg N ha<sup>-1</sup>) at an amount of 40 kg S ha<sup>-1</sup> had a significant effect on the increase in grain yield by 2.8%. The beneficial impact of the addition of sulfur to nitrogen fertilization on wheat yield has also been confirmed by Salvagioti et al. [2009], Klikocka et al. [2016], and Shivay et al. [2016].

Tabak et al. [2020] proved on the example of winter wheat that the significantly highest agronomic and physiological effectiveness of nitrogen fertilization as well as the highest apparent nitrogen recovery were obtained after fertilization with 150 kg N ha<sup>-1</sup> (similarly to our study on spring wheat). The incorporation of higher rates (200 kg and 250 kg N ha<sup>-1</sup>), on the other hand, proved to be irrational economically and production-wise. Moreover, these authors emphasize that sulfur fertilization increased nitrogen recovery compared to nitrogen fertilization without sulfur, which is also stressed in our study results presented in this paper.

Shivay et al. [2016] prove that an even 5% addition of sulfur to nitrogen fertilizer (urea) is sufficient to cover 50% of the sulfur requirement of wheat crops and to increase nitrogen recovery efficiency by 60%. Furthermore, in the long term this will bring environmental benefits in the form of reduction in emissions and nitrogen losses because the addition of sulfur increases nitrogen recovery efficiency.

Based on the present study, it can be generally stated that sulfur fertilization increased the effects of nitrogen on the yield of spring wheat as well as on the grain quality characteristics. After the incorporation of sulfur, the values of the studied characteristics increased compared to each N rate level. This type of action of a yield-increasing factor, in this case the fertilizer factor, highlights the additive effect of sulfur. It is manifested under the action of a deficiency factor to a relatively weak degree, in accordance with the rules defined by *law of diminishing returns*, known as the Mitscherlich law [Gupta and Schnug 2001, Grzebisz 2009]. Generally, the additive interaction of nutrients manifests itself when there is a constant increase in yield weight as a consequence of the use of a second factor. Soofizada et al. [2022] found that S fertilization increases grain yield without decreasing grain protein content, whereas N fertilization effectively increases grain protein content and protein yield per hectare.

A very important element of the cultivation of quality wheat is its suitability for baking purposes. Naeem and MacRitchie [2003] noted that agro-biofortification with sulfur, combined with nitrogen fertilization, had a positive effect on most of the wheat quality parameters. Järwan et al. [2008] found that the application of sulfur in an experiment with winter wheat did not have a clear influence on grain protein and wet gluten content, but in some other experiments the gluten index increased and the protein quality improved. Johansson et al. [2004], in turn, claim that the protein and gluten content in wheat grain predominantly depends on an appropriately selected rate of nitrogen fertilization. Luo et al. [2000], on the other hand, obtained an improvement in the parameters related to grain gluten content as affected by the addition of sulfur to N fertilization. Tea et al. [2005] also reports that fertilization of wheat with sulfur affects positively the content of gluten and its rheological properties. Sulfur affected an increase in amino acid content and all baking quality parameters in a study by Podleśna [2005]. The present research also revealed

a beneficial effect on sulfur amino acids: cysteine and methionine, with the latter one determining flour quality. Wang et al. [2023] note that cysteine in cereal grains optimizes the balance of amino acids, regulating the ratio of other amino acids and in this way improving the nutritional quality of grain, at the same time ensuring a constant increase in protein concentration. Overall, S applied at a rate of 60–90 kg ha<sup>-1</sup> in a study conducted by these authors synergistically improved both the yield and nutritional quality of maize, meeting the requirements for sustainable development in maize production. Järvan et al. [2008] report that the first organic product of sulfur in the plant is cysteine, an exogenous amino acid that determines the quality of plant protein and its value for animals and humans. Plants well fed with sulfur increase the content of not only chlorophyll, but also protein. This dependence underlies a strong functional relationship, occurring already at the molecular level, between sulfur and nitrogen [Hesse et al. 2015]. Klikocka and Marks [2018] noted an improvement in the health-promoting properties of spring wheat grain (in particular the grain content of micronutrients) under the influence of supplementation of nitrogen fertilization with sulfur addition.

Protein is produced in the plant at the expense of starch contained in it, which is a consequence of the process of consumption of carbon compounds during the protein synthesis process. These negative correlations were also noticed in the present study because nitrogen fertilization affected an increase in the content of protein and sulfur amino acids: cysteine and methionine, at the expense of the reduced starch content. Järvan et al. [2008] also claim that the result of an increased content of proper proteins in the plant after sulfur application is significant plant growth, while in the leaves an increase in chlorophyll, which is manifested in more intense leaf color.

Goźliński [1970] found that sulfur application in the cultivation of spring oats and barley contributed to an increased use of absorbed nitrogen for yield formation and protein synthesis. Under sulfur deficiency, the absorbed nitrogen accumulated mainly in straw and occurred in non-protein form in a large amount, due to which this part of nitrogen was not used in grain yield. A similar relationship was also observed in the study by Klikocka and Cybulska [2016].

The yield-forming role of sulfur is manifested in an increase in grain yield through better use of nitrogen fertilizer. In agricultural practice, this task consists in transformation of the nitrogen fertilizer used into protein yield. Therefore, proper nutrition of wheat with sulfur improves the grain quality characteristics [Wilson et al. 2020, Ghafoor et al. 2022, Soofizada et al. 2022]. The present study also demonstrated that the differences in the content of gluten, total protein, cysteine, methionine, fat, crude fiber, flavonoids, o-dihydroxy phenols and ash were statistically significant depending on the nitrogen rate applied (factor I) and the addition of sulfur to fertilization (factor II). The grain content of gluten, total protein and methionine increased significantly and directly proportionally with increasing nitrogen rate, being the highest after the application of a rate of 150 kg N ha<sup>-1</sup> (respectively 41.9 g kg<sup>-1</sup>, 0.27 g kg<sup>-1</sup>, 0.91 g kg<sup>-1</sup>, and 21.1 g kg<sup>-1</sup>).

The fat content in spring wheat grain was the highest after the application of nitrogen fertilization at a rate of 150 kg N ha<sup>-1</sup> (12.3 g kg<sup>-1</sup>). The application of the rates of 50 and 100 kg N ha<sup>-1</sup> had a similar effect on the fat content, which was significantly higher than in the case of grain harvested from the control plots where no nitrogen was applied. The grain content of crude fiber (dietary fiber), flavonoids (expressed as quercetin equivalents),

o-dihydroxy phenols (expressed as caffeic acid equivalents) and ash increased significantly with increasing nitrogen rate and it was the highest after the application of N at an amount of 150 kg ha<sup>-1</sup> (respectively 4.19%, 0.027%, 0.091%, and 2.11%). Nitrogen is considered to be one of the most important yield-forming elements, undoubtedly also having the greatest effect on the quality parameters of grain and flour, among others protein and wet gluten content, gluten weakening, falling number, Zeleny sedimentation value, flour water absorption, or bread volume [Moss et al. 1991, Dostálová et al. 2015]. In the case of sulfur fertilization (factor II), the analysis of the study results revealed that sulfur has a beneficial effect on increasing the content of gluten, cysteine, methionine and fat as well as of dietary fiber, flavonoids, o-dihydroxy phenols and ash relative to the treatments without S fertilization. In the studies by Podleśna et al. [2008], Pompa et al. [2009], and Kurmanbayeva et al. [2021], fertilization of winter wheat with sulfur at a rate of 60 kg S ha<sup>-1</sup> led to an increase in the grain content of protein (by 0.8–1.2%) and gluten (by 1.5–2%). Klikocka et al. [2016], on the other hand, additionally demonstrated a beneficial effect of sulfur fertilization on increasing the grain content of cysteine and methionine.

Raffan et al. [2020] draw attention to the enormous importance of sulfur in fertilization of cereals. These authors claim that the concentration of free (soluble, non-protein) asparagine may increase in wheat grain many times in response to sulfur deficiency. This aggravates a serious problem related to food safety and regulatory compliance in the food industry because free asparagine may be converted into a carcinogenic contaminant, acrylamide, during baking and processing. Wilson et al. [2020] also proved the positive effect of sulfur addition to nitrogen fertilization on reducing the concentration of deleterious asparagine in winter wheat grain.

## CONCLUSIONS

The present study revealed that the Kandela variety of spring wheat, grown on dystrophic typical brown soil, showed a positive response to nitrogen and sulfur fertilization, as expressed by yield quantity and grain quality.

The values of the studied characteristics of spring wheat grain yield and quality were determined more strongly by nitrogen fertilization and its interaction with weather conditions than by sulfur fertilization.

The application of nitrogen at the rates of 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup>, combined with sulfur fertilization at a rate of 40 kg ha<sup>-1</sup>, had a significant effect on the grain yield of spring wheat, compared to the control and the nitrogen dose of 50 kg ha<sup>-1</sup>.

The values of the studied quality and health-promoting characteristics of spring wheat grain, were favorable and proportional to increasing nitrogen rate and the addition of sulfur at a rate of 40 kg ha<sup>-1</sup>.

Significantly the highest contents of gluten, cysteine cysteic acid, fat, crude fiber, flavonoids (expressed as quercetin equivalents), o-dihydroxy phenols (expressed as caffeic acid equivalents) and ash were found in the fertilization variant of 40 kg S ha<sup>-1</sup> + 150 kg N kg ha<sup>-1</sup>.

Starch content was a constant trait and was only dependent on sulfur fertilization. The application of a nitrogen rate of 50 kg ha<sup>-1</sup> was insufficient, regardless of sulfur amendment.

Most of the grain quality and health-promoting characteristics tested, the grain chemical composition, and the accumulation of nutrients in grain dry matter were generally positively correlated with grain yield.

To sum up, it should be stated that under the conditions of negative sulfur balance in cultivated soils and nitrogen fertilization application, it is necessary to use sulfur in the cultivation of crops. Because cereal processed products are the basis of the food pyramid (alongside vegetables and fruit), their quality is very important for the functioning of the organism. As shown by this study, spring wheat grain is a valuable source of nutrients being a component of many diet supplements, improving human condition and health. This research has demonstrated that the addition of sulfur to NPK fertilization is an efficient method for supplementation (enrichment) of the components of spring wheat grain.

#### REFERENCES

- Ahmad G., Jan, A., Arif M., Jan M.T., Shah H., 2011. Effect of nitrogen and sulfur fertilization on yield components, seed and oil yields of canola. *J. Plant Nutr.* 34(14), 2069–2082. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.618569>
- Bac S., Koźmiński C., Rojek M., 1993. *Agrometeorologia [Agrometeorology]*. PWN, Warszawa, 248 [in Polish].
- Barbano D.M., Lynch J.M., Fleming J.R., 1991. Direct and indirect determination of true protein content of milk by Kjeldahl analysis: collaborative study. *J. Assoc. Off. Anal.* 74, 2, 281–288. <https://doi.org/10.1093/jaoac/74.2.281>
- Boulelouah N., Berbache M.R., Bedjaoui H., Selama N., Rebouh N.Y., 2022. Influence of nitrogen fertilizer rate on yield, grain quality and nitrogen use efficiency of durum wheat (*Triticum durum* Desf) under Algerian semiarid conditions. *Agriculture* 12, 1937. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111937>
- Dostálová Y., Hřivná L., Kotková B., Burešová I., Janečková M., Šottníková V., 2015. Effect of nitrogen and sulphur fertilization on the quality of barley protein. *Plant Soil Environ.* 61(9), 399–404. <https://doi.org/10.17221/262/2015-PSE>
- FAO, 2023. *World food and agriculture. Statistical yearbook 2023*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc8166en>
- Ghafoor I., Rahman M.H., Hasnain M.U., Ikram R.M., 2022. Effect of slow-release nitrogenous fertilizers on dry matter accumulation, grain nutritional quality, water productivity and wheat yield under an arid environment. *Sci. Rep.* 12, 14783. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18867-5>
- Goźliński H., 1970. Efekt nawozowy siarki ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) przy zróżnicowanym nawożeniu azotem roślin. Tom I. Badania z owsem i jęczmieniem [Fertilizing effect of sulfur ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) at various levels of nitrogen fertilization of plants. Vol. I. Research with oats and barley]. *Rocz. Nauk Rol. ser. A.* 96(4), 133–149 [in Polish].
- Grzebisz W., 2009. Nawożenie upraw. Część II. Nawozy i systemy nawożenia. Podstawy nawożenia [Fertilization of crops. Part II. Fertilizers and fertilization systems. Basics of fertilization]. PWRiL, Poznań, 376 [in Polish].
- Gupta A.K., Schnug E., 2001. Physiological, agronomic, horticultural and industrial aspects of sulphur nutrition in plants. In: Bora K.K., Singh K., Kumar A. (eds.), *Production and developmental plant physiology*. Pointer Publishers, Jaipur (India), 269–286. <http://dx.doi.org/10.1080/15592324.2022.2030082>
- Hemesh K., 2020. Role of sulphur in cereal crops: a review. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 9(6), 1864–1869.

- Hesse H., Nikiforova V., Gakićre B., Hoefgen R., 2015. Molecular analysis and control of cysteine biosynthesis: integration of nitrogen and sulphur metabolism. *J. Exp. Bot.* 55, 1283. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh136>
- Hřivná L., Kotková B., Burešová I., 2015. Effect of sulphur fertilization on yield and quality of wheat grain. *Cereal Res. Commun.* 43(2), 344–352. <https://doi.org/10.1556/CRC.2014.0033>
- Jamal A., Moon Y.S., Abidin, M.Z., 2010. Sulphur – a general overview and interaction with nitrogen. *Aust. J. Crop. Sci.* 4(7), 523–529 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-77957942823&origin=inward&txGid=6776e853addef61c9c56533f4ecb765d>
- Järvan M., Edesi L., Adamson A., 2012. Effect of sulphur fertilization on grain yield and yield components of winter wheat. *Acta Agric. Scand. sec. B, Soil Plant. Sci.* 62(5), 401–409. <https://doi.org/10.1080/09064710.2011.630677>
- Järvan M., Edesi L., Adamson A., Lukme L., Akk A., 2008. The effect of sulphur fertilization on yield, quality of protein and baking properties of winter wheat. *Agron. Res.* 6(2), 459–469. <https://agronomy.emu.ee/vol062/p6203.pdf> [access: 12.05.2024].
- Johansson E., Prieto-Linde M.L., Svensson G., 2004. Influence of nitrogen application rate and timing on grain protein composition and gluten strength in Swedish wheat cultivars. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167, 345–350. <https://doi.org/10.1002/jpln.200320332>
- Kamdi P.J., Swain D.K., Wani S.P., 2024. Improving grain quality and nitrogen use efficiency of cereal-based cropping systems on vertisols in semi-arid tropics. *Field Crops Res.* 307, 109258. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109258>
- Klikocka H., Cybulska M., 2014. Sulphur and nitrogen fertilization of spring wheat. Mineral fertilization of spring wheat. Lambert Academic Publishing, Sarrbrucken. <https://doi.org/10.17221/18/2016-PSE>
- Klikocka H., Cybulska M., Barczak B., Narolski B., Szostak B., Kobiałka A., 2016. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat. *Plant Soil Environ.* 62(5), 230–236. <https://doi.org/10.17221/18/2016-PSE>
- Klikocka H., Marks M., 2018. Sulphur and nitrogen fertilization as a potential means of agronomic biofortification to improve the content and uptake of microelements in spring wheat grain DM. *J. Chem.* 12. <https://doi.org/10.1155/2018/9326820>
- Kurmanbayeva M., Sekerova T., Tileubayeva Z., Kaiyrbekov T., Kusmangazinov A., Shapalov S., Madenova A., Burkitbayev M., Bachilova N., 2021. Influence of new sulfur-containing fertilizers on performance of wheat yield. *Saudi J. Biol. Sci.* 28(8), 4644–4655. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.073>
- Ladha J., Tirol-Padre A., Reddy C. et al. Ladha J.K., Tirol-Padre A., Reddy C.K., Cassman K.G., Verma S., Powlson D.S., van Kessel C., de Richter D. B., Chakraborty D., Pathak H., 2016. Global nitrogen budgets in cereals: a 50-year assessment for maize, rice and wheat production systems. *Sci. Rep.* 6, 19355. <https://doi.org/10.1038/srep19355>
- Litke L., Gaile Z., Ruza A., 2018. Effect of nitrogen fertilization on winter wheat yield and yield quality. *Agron. Res.* 16, 500–509. <https://doi.org/10.15159/AR.18.064>
- Luo C., Branlard G., Griffin W.B., McNeil D.L. 2000. The effect of nitrogen and sulphur fertilisation and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. *J. Cereal Sci.* 31, 185–194. <https://doi.org/10.1006/jcrs.1999.0298>
- Maćkowiak-Dryka M., Pyz-Łukasik R., Ziomek M., Szkucik K., 2020. Nutritional value of a new type of substitute caviar. *Med. Weter.* 76(5), 285–288. <https://doi.org/10.21521/mw.6404>
- Malhi S.S., Gan Y., Raney J.P., 2007. Yield, seed quality, sulfur uptake of Brassica oilseed crops in response to sulfur fertilization. *Agron. J.*, 99(2), 570–577. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0269>
- Moss H.J., Wrigley C.W., MacRichie R., Randall P.J., 1981. Sulfur and nitrogen fertilizer effects on wheat. II. Influence on grain quality. *Aust. J. Agric. Res.* 32, 213–226. <https://doi.org/10.1071/AR9810213>



- Muttucumaru N., Powers S.J., Elmore J.S., Mottram D.S., Halford N.G., 2013. Effects of nitrogen and sulfur fertilization on free amino acids, sugars, and acrylamide-forming potential in potato. *J. Agric. Food Chem.* 61(27), 6734–6742. <https://doi.org/10.1021/jf401570x>
- Naeem H.A., MacRitchie F., 2003. Effect of sulphur nutrition on agronomic and quality attributes of wheat. In: Abrol Y.P., Ahmad A. (eds), *Sulphur in plants*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-0289-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0289-8_17)
- Pilbeam D.J., 2015. Nitrogen. In: Barker A.V., Pilbeam D.J., *Handbook of plant nutrition*. second edition. CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton–London–New York, 17–63. [https://home.czu.cz/storage/737/65060\\_Books-in-soils-plants-and-the-environment-117.-Barker-Allen-V.-Handbook-of-plant-nutrition-Taylor-et-Francis-2015-.pdf](https://home.czu.cz/storage/737/65060_Books-in-soils-plants-and-the-environment-117.-Barker-Allen-V.-Handbook-of-plant-nutrition-Taylor-et-Francis-2015-.pdf) [access: 12.05.2024].
- PN-A-74041, 1977. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczanie ilości i jakości glutenu [Grains and cereal products. Determination of gluten quantity and quality]. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Podleśna A., 2005. Sulfur fertilization as a factor effected on crops metabolism and quality of agricultural products. *Pam. Puł.* 139, 161–174. [https://iung.pl/images/wyd/139/Z139\\_15.pdf](https://iung.pl/images/wyd/139/Z139_15.pdf)
- Podleśna A., Cacak-Pietrzak G., 2008. Effects of fertilization with sulfur on quality of winter wheat: a case study of nitrogen deprivation. In: *Sulfur assimilation and abiotic stress in plants*. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-76326-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-540-76326-0_17)
- Polish Pharmacopoeia IX, 2011. PTFarm, Warszawa.
- Pompa M., Giuliani M.M., Giuzio L., Gagliardi A., Di Fonzo N., Flagella Z., 2009. Effect of sulphur fertilization on grain quality and protein composition of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Ital. J. Agron./Riv. Agron.* 4, 159–170. <https://doi.org/10.4081/ija.2009.4.159>
- Raffan S., Oddy J., Halford N.G., 2020. The sulphur response in wheat grain and its implications for acrylamide formation and food safety. *Int. J. Mol. Sci.* 2, 21(11), 3876. <https://doi.org/10.3390/ijms21113876>
- Salimon J., Omar T.A., Salih N., 2014. Comparison of two derivatization methods for the analysis of fatty acids and trans fatty acids in bakery products using gas chromatography. *Sci. World J.* 906407, <https://doi.org/10.1155/2014/906407>
- Salvagiotti F., Castellarín J.M., Miralles D.J., Pedrol H.M., 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Res.* 113, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.003>
- Scherer H.W., 2001. Sulphur in crop production. *Eur. J. Agron.* 14, 81–111. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00082](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00082)
- Scope of accreditation for testing laboratory No AB 1375, issued by Polskie Centrum Akredytacji, 01-382 Warszawa, Szczotkarska 42 St. Issue 12 of 28.11.2023.
- Shivay Y.S., Pooniya V., Prasad R., Pal M., Bansal R., 2016. Sulphur-coated urea as a source of sulphur and an enhanced efficiency of nitrogen fertilizer for spring wheat. *Cereal Res. Commun.*, 44(3), 513–523. <https://doi.org/10.1556/0806.44.2016.002>
- Sindt J.J., Montgomery S.P., Farran T.B., Drouillard J.S., 2000. Refractive index: a rapid method for determination of starch availability in grains. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports* 0(1). <https://doi.org/10.4148/2378-5977.1801>
- Singleton V.L., Rossi J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16, 144–158, <http://www.ajevonline.org/content/16/3/144.full.pdf+html> [access: 13.05.2024].
- Skwierawska M., Benedycka Z., Jankowski K., Skwierawski A., 2016. Sulphur as a fertilize component determining crop yield and quality. *J. Elem.* 21(2), 609–623. <https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.3.992>
- Soofizada Q., Pescatore A., Guerrini L., Fabbri C., Mancini M., Orlandini S., Napoli M. 2022. Effects of nitrogen plus sulfur fertilization and seeding density on yield, rheological parameters,

- and asparagine content in old varieties of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy* 12, 351. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020351>
- Staugaitis G., Braziene Z., Marcinkevičius A., Mažeika R., Antanaitis Š., Staugaitienė R., 2014. Spring barley as affected by nitrogen and sulphur fertiliser rates calculated using different diagnostic methods. *Zemdirbyste-Agriculture* 101(4), 373–380. <https://doi.org/10.13080/z-a.2014.101.047>
- Tabak M., Lepiarczyk A., Filipek-Mazur B., Lisowska A., 2020. Efficiency of nitrogen fertilization of winter wheat depending on sulfur fertilization. *Agronomy* 10, 1304. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091304>
- Tea I., Genter T., Naulet N., Lummerzhim M., Kleiber D. 2007. Interaction between nitrogen and sulfur by foliar application and its effects on flour bread-making quality. *J. Sci. Food Agric.* 87(15), 2853–2859. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3044>
- Tea I., Genter T., Violleau F., Kleiber D., 2005. Changes in the glutathione thiol-disulfide status in wheat grain by foliar sulfur fertilization: consequences for the rheological properties of dough. *J. Cereal Sci.* 41, 305–315. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2004.10.003>
- van Grinsven H.J.M., Ebanyat P., Glendining M., Gu B., Hijbeek R., Lam S.K., Lassaletta L., Mueller N.D., Pacheco F.S., Quemada M., Bruulsema T.W., Jacobsen B.H., Ten Berge H.F.M. 2022. Establishing long-term nitrogen response of global cereals to assess sustainable fertilizer rates. *Nat Food.* 3(2), 122–132. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00447-x>
- Verlinden G. 2002. Sulfur dynamics in Belgian agricultural soils. *Dissertationes de Agricultura*, Nr. 506, Katholieke Universiteit Leuven, 1–172. <https://www.bdb.be/fr/base-de-connaissances/%C3%A9ditions/sulphur-dynamics-in-belgian-agricultural-soils> [access: 12.05.2024].
- Vitaglione P., Napolitano A., Fogliano V., 2008. Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends Food Sci. Technol.* 19, 451–463. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.02.005>
- Wang H., Cui S., Fu J., Gong H., Liu S., 2023. Sulfur application improves the nutritional quality of maize by regulating the amino acid balance of grains. *Agronomy* 13, 2912. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122912>
- Wilson T.L., Guttieri M.J., Nelson N.O., Fritz A., Tilley M., 2020. Nitrogen and sulfur effects on hard winter wheat quality and asparagine concentration. *J. Cereal Sci.* 93, 102969. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102969>
- WRB IUSS Working Group. World Reference Base for Soil Resources 2014. Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. In *World Soil Resources Reports*; FAO: Rome, Italy, <https://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf> [access: 12.05.2024].
- Wyzińska M., Grabiński J., 2020. The productivity of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) on the autumn sowing date. *Pol. J. Agron.* 42, 51–56. <https://doi.org/10.26114/pja.iung.417.2020.42.07>
- Yu Z., She M., Zheng T., Diepeveen D., Islam S., Zhao Y., Zhang Y., Tang G., Zhang Y., Zhang J., Blanchard C.L., Ma W., 2021. Impact and mechanism of sulphur-deficiency on modern wheat farming nitrogen-related sustainability and gliadin content. *Commun. Biol.* 4, 945. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02458-7>

**The source of funding:** The work was financed from funds for statutory activities carried out at the University of Life Sciences in Lublin under funds from the Ministry of Science and Higher Education.

Received: 22.08.2024

Accepted: 2.01.2025

Published: 18.03.2025



Department of Agroecology and Crop Production, Faculty of Agriculture and Economics,  
University of Agriculture in Kraków, Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, Poland

\* e-mail: [dorota.gala@urk.edu.pl](mailto:dorota.gala@urk.edu.pl)

DOROTA GALA-CZEKAJ<sup>ID\*</sup>, TERESA DĄBKOWSKA<sup>ID</sup>,  
TEOFIL ŁABZA

## Changes in segetal flora in a selected habitat of southern Poland from 1993 to 2022. Part 1. Species richness and biodiversity

---

Zmiany flory segetalnej w wybranym siedlisku Polski Południowej  
w latach 1993–2022. Część 1. Bogactwo gatunkowe i różnorodność biologiczna

**Abstract.** The research aimed to assess changes in segetal flora richness and biodiversity in cereal crops in a selected habitat (Małopolska voivodship; southern Poland) from 1993 to 2022. The research material consisted of 65 phytosociological relevés representing selected years of the analyzed multiannual period. The total species richness and the average number of segetal species on individual fields slightly decreased. In the first year of the study (1993), the total number of species was 56, and the average number of species in the phytosociological relevé was 23. However, in the last year (2022), the total number of species was 55, while their average number was around 20. The proportion of monocotyledonous weeds in the total weed infestation constantly increased, from 10% in 1993 to 23% in 2022. The studied flora was dominated by short-lived species (especially therophytes) throughout the entire multiannual period. The Shannon-Wiener diversity index remained at a relatively similar level for many years – in 1993 it was 0.8, and in 2022 – it was 0.9, which generally indicates a constant diversity of the studied flora of fields. The Simpson dominance index showed a decreasing trend; in the first year of the study it was 0.4, and in the last year – less than 0.3.

**Keywords:** segetal weeds, agrophytocenosis, Shannon-Wiener diversity index, Simpson dominance index, Miechów Upland

---

**Citation:** Gala-Czekaj D., Dąbkowska T., Łabza T., 2024. Changes in segetal flora in a selected habitat of southern Poland from 1993 to 2022. Part 1. Species richness and biodiversity. *Agron. Sci.* 79(4), 59–82. <https://doi.org/10.24326/as.2024.5422>

## INTRODUCTION

The species richness and diversity of field flora are the result of a number of factors, including anthropogenic impacts, which deserve much more attention than they currently receive. In recent decades, significant changes in flora and segetal communities have been observed in Europe. Numerous researchers pointed to the reduction in biodiversity, the uniformity of phytocenoses, and even the possibility of losing some of the weed species (especially applies to annual species with a narrow ecological amplitude and low competitive abilities) [Baessler and Klotz 2006, Bomanowska 2006, Tyšer et al. 2009, Kapeluszný and Haliniarz 2010, Meyer et al. 2013, Richner et al. 2015, Dąbkowska et al. 2017, Skrajna 2021]. The increasing importance of intensive agriculture is indicated as the cause of transformations in flora and segetal communities, which is related, amongst other factors, to changes in land use, intensive mineral fertilization, reduced crop rotation and tillage, purification of seed material, and the widespread use of herbicides [Storkey et al. 2012, Dąbkowska et al. 2017, Feledyn-Szewczyk et al. 2020]. Other researchers indicated importance of arable weeds in the proper maintenance of agroecosystems [Marshall et al. 2003, Trzcińska-Tacik 2003]. The role of weeds as the basis of agricultural food webs and their significance for domestic and wild pollinators was also emphasized [Bretagnolle and Gaba 2015]. These factors mean there is an urgent need to address issues related to assessing changes and even protecting flora biodiversity in agricultural ecosystems, as suggested by many authors [Marshall et al. 2003, Feledyn-Szewczyk et al. 2020].

The basis for biodiversity analyses is the richness and diversity of species occurring in the studied area. The species richness of a plant community is most often measured by the number of species and taxonomic groups (genera, families) in a given area. The species diversity is expressed by the number of life forms, growth forms, taxonomic groups, and life strategies [Falińska 2004]. When assessing biodiversity, the number of species, their proportion, and frequency of occurrence are considered. The species composition of phytocenosis depends on the flora of a given area, which is influenced by climatic and soil conditions, and its history. However, in the case of agrophytocenosis, an essential factor influencing the species composition of the flora is the crop production intensity [Stawicka et al. 2004]. Many ecological indicators have been developed to assess the biodiversity of phytocenoses. The most frequently used of these are the Shannon-Wiener diversity index ( $H$ ) and the Simpson dominance index ( $C$ ), which take into account the proportion of species and provide information about their role in the community [Shannon 1948, Simpson 1949].

The study aimed to assess changes in the species richness and diversity of weeds accompanying cereal crops in a selected habitat of southern Poland over 30 years (from 1993 to 2022).

## MATERIAL AND METHODS

The study area is located in southern Poland (Małopolska voivodship, Kraków county, municipality of Kocmyrów-Luborzyca) in the village of Goszcza (50°11'09"N, 20°03'27"E; Fig. 1, Phot. 1). According to the physical and geographical division of Poland [Kondracki 2009], the area is located within the Miechów Upland mesoregion.



Fig. 1. The location of the village of Goszcza in the Małopolska voivodship and the municipality of Kocmyrzów-Luborzyca



Fig. 2. The cereal fields included in the study area  
[photo: archive of the Department of Agroecology and Crop Production]

The research material consisted of 65 phytosociological relevés from selected years of the multiannual period, i.e., 1993, 1998, 2003, 2008, 2013, 2018, and 2022. The phytosociological relevés were made using the Braun-Blanquet method [Braun-Blanquet 1964].

In the research was applied, a 7-degree scale of the Braun-Blanquet, i.e., 5: 100–75.1% area coverage by species, 4: 75–50.1%, 3: 50–25.1%, 2: 25–5.1%, 1: 5–1%, +: <1%, r: single occurrence of plants of particular species.

Table 1. The weather conditions near the study area from 1993 to 2022

| Temperature (°C)   |       |      |      |       |      |       |       |      |       |      |      |      |               |
|--------------------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|---------------|
| Year               | Month |      |      |       |      |       |       |      |       |      |      |      | Mean for year |
|                    | I     | II   | III  | IV    | V    | VI    | VII   | VIII | IX    | X    | XI   | XII  |               |
| 1993               | −0.2  | −1.7 | 2.0  | 7.5   | 13.7 | 16.2  | 16.9  | 17.5 | 17.9  | 10.5 | −2.4 | 1.4  | 8.3           |
| 1998               | 0.0   | 2.9  | 3.6  | 9.4   | 10.0 | 13.5  | 15.5  | 14.9 | 14.1  | 5.2  | −0.1 | −1.2 | 7.3           |
| 2003               | −3.6  | −5.6 | 1.8  | 7.0   | 14.1 | 15.4  | 17.9  | 18.9 | 19.4  | 5.1  | 4.4  | −0.2 | 7.9           |
| 2008               | 2.0   | 3.3  | 4.6  | 8.6   | 14.1 | 18.5  | 19.1  | 18.2 | 12.8  | 10.7 | 5.0  | 1.1  | 9.8           |
| 2013               | −2.4  | −0.6 | −0.9 | 8.8   | 14.2 | 17.6  | 19.2  | 18.8 | 12.0  | 10.3 | 4.9  | 4.0  | 7.5           |
| 2018               | 1.0   | −3.3 | 0.9  | 14.7  | 17.5 | 18.5  | 19.9  | 20.8 | 16.1  | 10.9 | 4.6  | 1.0  | 10.2          |
| 2022               | 0.4   | 3.4  | 4.0  | 7.1   | 15.2 | 19.7  | 19.6  | 20.6 | 12.9  | 11.8 | 4.2  | 0.4  | 9.9           |
| Precipitation (mm) |       |      |      |       |      |       |       |      |       |      |      |      |               |
| Year               | Month |      |      |       |      |       |       |      |       |      |      |      | Sum for year  |
|                    | I     | II   | III  | IV    | V    | VI    | VII   | VIII | IX    | X    | XI   | XII  |               |
| 1993               | 22.1  | 17.5 | 24.4 | 19.8  | 45.1 | 58.0  | 47.1  | 63.5 | 27.5  | 30.0 | 35.4 | 20.1 | 410.5         |
| 1998               | 37.1  | 21.7 | 25.3 | 112.7 | 60.3 | 39.3  | 107.0 | 46.3 | 58.9  | 95.0 | 30.9 | 22.2 | 656.7         |
| 2003               | 32.9  | 17.9 | 26.7 | 40.9  | 33.8 | 92.3  | 40.0  | 44.8 | 16.0  | 38.7 | 14.9 | 19.7 | 418.6         |
| 2008               | 24.7  | 9.1  | 71.5 | 35.1  | 27.5 | 25.9  | 142.1 | 45.2 | 111.3 | 51.1 | 24.3 | 41.0 | 608.8         |
| 2013               | 62.0  | 22.1 | 32.3 | 20.1  | 98.8 | 213.1 | 27.2  | 25.7 | 86.1  | 13.7 | 70.8 | 47.5 | 719.4         |
| 2018               | 23.2  | 11.0 | 29.0 | 7.4   | 62.4 | 85.6  | 119.8 | 56.2 | 70.8  | 41.6 | 9.8  | 40.2 | 557.0         |
| 2022               | 21.6  | 24.4 | 14.6 | 41.0  | 20.6 | 35.2  | 85.8  | 65.2 | 51.8  | 17.4 | 39.6 | 63.4 | 480.6         |

The entire research material has been archived in the Department of Agroecology and Crop Production of the University of Agriculture in Kraków. Floristic research was conducted each year at the end of June or the beginning of July on the same set of spring and winter cereal fields. The area of the fields usually did not exceed 1 ha, and the area of each phytosociological relevé was approximately 100 m<sup>2</sup>. The present research was carried out on heavy brown rendzina classified as agricultural soil complex 3 (defective wheat com-

plex; 3Rb(c)) [Soil-agricultural map... 1992]. Based on laboratory analysis, the soil reaction was determined as neutral (pH in H<sub>2</sub>O = 7.2; pH in KCl = 6.6). The top layer of soil was rich in carbonate rock debris.

Meteorological conditions near the study area in the years of the research were varied (Tab. 1). Comparing the first and last year of the study, an increase in the average air temperature and total precipitation was observed.

Since about the mid-1990s, cereals dominated the crop structure in the study area. At the same time, in the last decade, some areas were excluded from arable use as a result of permanent sod cover or fallowing, which resulted in a reduction in the number of fields with cereal crops. During the study, traces of herbicide usage were recorded every time. Simultaneously, the number of fields where chemical weed control was used constantly increased (Tab. 2).

Table 2. The number of phytosociological relevés and the number of fields using herbicides in the study area from 1993 to 2022

| Specification                            | 1993 | 1998 | 2003 | 2008 | 2013 | 2018 | 2022 |
|------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| The number of phytosociological relevés  | 8    | 10   | 10   | 11   | 11   | 8    | 7    |
| The number of fields with herbicides use | 2    | 9    | 8    | 10   | 9    | 8    | 7    |

The aim of the research was achieved through:

1. analysis of changes in the total species richness of field flora in the study area (total number of species in the assessed set of fields) and species richness of an average plant patch (arithmetic average number of species in the phytosociological relevé);

2. analysis of flora taking into account botanical class (monocotyledonous and dicotyledonous species), persistence (short-lived species – annual and biennial, permanent species – perennial) and Raunkiaer plant life forms (therophyte, hemicryptophyte, geophyte, and chamaephyte) [Zarzycki et al. 2002, Rzymowska 2013, Skrajna 2021];

3. assessment of changes in the species diversity of phytocenoses in the study area using ecological indicators: the Shannon-Wiener diversity index ( $H$ ) [Shannon 1948] and the Simpson dominance index ( $C$ ) [Simpson 1949], which were calculated for each phytosociological relevé from the assessed multiannual period according to the following formulas:

$$H = - \sum \left( \frac{n_i}{N} \right) \log \left( \frac{n_i}{N} \right)$$

$$C = \sum \left( \frac{n_i}{N} \right)^2$$

where:  $n_i$  – the proportion of  $i$ -th species in the total area in the phytosociological relevé covered by weeds,  $N$  – the total coverage of the area by all species present in the phytosociological relevé.

The value of the diversity index ( $H$ ) increases with an increase in the number of species and their equalized proportion in the phytosociological relevé, while the decrease in

the value of the dominance index ( $C$ ) indicates an increase in the diversity of the phytocenosis [Falińska 2004];

4. assessment of the role of individual species in weed infestation of cereal crops, expressed by cover index ( $D$ ) and phytosociological constancy ( $S$ ) [Pawłowski 1972], which were calculated for every species, in each year of study.

The cover index ( $D$ ) shows the proportion of individual species in the flora of a given ecosystem:

$$D = \frac{s}{n} \cdot 100 (\%)$$

where:  $s$  – the sum of the values of the average cover by a species in the individual phytosociological relevé,  $n$  – total number of phytosociological relevés.

Phytosociological constancy ( $S$ ) determines the probability that at least one individual of a given species will occur within the soil unit covered by the research:

$$S = \frac{N}{n} \cdot 100 (\%)$$

where:  $N$  – the number of phytosociological relevés in which a given species occurred,  $n$  – total number of phytosociological relevés.

The phytosociological constancy ( $S$ ) is expressed on a 5-point scale, in which degree I means rare and sporadic species (occurring in 0.1–20.0% of phytosociological relevés within a soil unit), degree II – uncommon species (20.1–40.0% of relevés), degree III – moderately frequent species (40.1–60.0% of relevés), degree IV – frequent species (60.1–80.0% of relevés), degree V – permanent species (80.1–100.0% of relevés).

The nomenclature of the species and botanical families were given after Mirek et al. [2020].

Statistical analysis of selected results was performed a one-way analysis of variance (ANOVA) using the Statistica 13.3 software. The significance of differences between means was checked using Duncan's test with a significance level of  $p \leq 0.05$ .

## RESULTS AND DISCUSSION

In the analyzed years of research, the presence of a total of 111 species of weeds accompanying cereal crops was recorded, which belong to 29 botanical families (Tab. 3). The most frequently represented plant species were from the *Asteraceae* (20 species), *Poaceae* (13 species) and *Fabaceae* (12 species) families. Whereas the least numerous in the segetal flora in the study area (1 representative) were species from the families: *Amaranthaceae*, *Campanulaceae*, *Convolvulaceae*, *Crassulaceae*, *Equisetaceae*, *Juncaceae*, *Papaveraceae*, *Primulaceae*, *Rosaceae*, *Oxalidaceae*, *Valerianaceae* and *Violaceae*.



Tab. 3. List of segetal flora species recorded in the study area from 1993 to 2022

| No | Species                                  | Family                 | Year of study |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |       | Persistence | Life form* | Occurrence year        |
|----|------------------------------------------|------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------------|------------|------------------------|
|    |                                          |                        | 1993          |      | 1998 |      | 2003 |      | 2008 |       | 2013 |       | 2018 |       | 2022 |       |             |            |                        |
|    |                                          |                        | S             | D    | S    | D    | S    | D    | S    | D     | S    | D     | S    | D     | S    | D     |             |            |                        |
| 1  | <i>Achillea millefolium</i> L. s.str.    | <i>Asteraceae</i>      | I             | 6.3  | II   | 15.0 |      |      |      |       |      |       | I    | 6.3   |      |       | P           | H          | 1993, 1998, 2018       |
| 2  | <i>Adonis aestivalis</i> L.              | <i>Ranunculaceae</i>   | III           | 20.0 | I    | 5.0  |      |      |      |       | I    | 4.5   |      |       |      |       | SL          | T          | 1993, 1998, 2013       |
| 3  | <i>Aethusa cynapium</i> L.               | <i>Apiaceae</i>        | III           | 31.3 | III  | 25.0 |      |      |      |       | I    | 4.5   | I    | 6.3   | III  | 4.3   | SL          | T          | 1993, 1998, 2013–2022  |
| 4  | <i>Agrostis capillaris</i> L.            | <i>Poaceae</i>         |               |      |      |      |      |      |      |       | I    | 0.9   |      |       |      |       | P           | H          | 2013                   |
| 5  | <i>Amaranthus retroflexus</i> L.         | <i>Amaranthaceae</i>   |               |      |      |      |      |      |      |       |      |       | I    | 1.3   |      |       | SL          | T          | 2018                   |
| 6  | <i>Anagallis arvensis</i> L.             | <i>Primulaceae</i>     | III           | 25.0 | IV   | 35.0 |      |      | I    | 0.9   | IV   | 29.1  | III  | 10.0  | I    | 14.3  | SL          | T          | 1993, 1998, 2008–2022  |
| 7  | <i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm. | <i>Apiaceae</i>        |               |      |      |      |      |      | I    | 1.8   |      |       |      |       |      |       | P           | H          | 2008                   |
| 8  | <i>Apera spica-venti</i> (L.) P. Beauv.  | <i>Poaceae</i>         | III           | 25.0 | IV   | 45.0 | II   | 20.0 | III  | 496.5 | II   | 178.2 | II   | 220.0 | V    | 307.1 | SL          | T          | 1993–2022              |
| 9  | <i>Aphanes arvensis</i> L.               | <i>Rosaceae</i>        |               |      |      |      |      |      |      |       | I    | 4.5   |      |       |      |       | SL          | T          | 2013                   |
| 10 | <i>Arctium minus</i> (Hill) Bernh.       | <i>Asteraceae</i>      |               |      | I    | 1.0  | I    | 1.0  |      |       |      |       | I    | 1.3   | I    | 1.4   | SL          | H          | 1998, 2003, 2018, 2022 |
| 11 | <i>Arenaria serpyllifolia</i> L.         | <i>Caryophyllaceae</i> |               |      |      |      |      |      | I    | 0.9   |      |       |      |       |      |       | SL          | T          | 2008                   |
| 12 | <i>Artemisia vulgaris</i> L.             | <i>Asteraceae</i>      |               |      | II   | 11.0 | II   | 20.0 | I    | 5.5   | III  | 19.1  | II   | 8.8   | III  | 5.7   | P           | CH(H)      | 1998–2022              |
| 13 | <i>Atriplex patula</i> L.                | <i>Chenopodiaceae</i>  | II            | 12.5 |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |       | SL          | T          | 1993                   |

| No | Species                                    | Family                  | Year of study |        |      |        |      |        |      |       |      |        |      |        |      |       | Persis-<br>tence | Life<br>form* | Occurrence<br>year |
|----|--------------------------------------------|-------------------------|---------------|--------|------|--------|------|--------|------|-------|------|--------|------|--------|------|-------|------------------|---------------|--------------------|
|    |                                            |                         | 1993          |        | 1998 |        | 2003 |        | 2008 |       | 2013 |        | 2018 |        | 2022 |       |                  |               |                    |
|    |                                            |                         | S             | D      | S    | D      | S    | D      | S    | D     | S    | D      | S    | D      | S    | D     |                  |               |                    |
| 14 | <i>Avena fatua</i> L.                      | <i>Poaceae</i>          | II            | 7.5    | III  | 392.0  | V    | 2870.0 | III  | 854.5 | V    | 1100.0 | IV   | 1037.5 | V    | 364.3 | SL               | T             | 1993–2022          |
| 15 | <i>Bromus secalinus</i> L.                 | <i>Poaceae</i>          |               |        |      |        |      |        |      |       | I    | 5.5    | I    | 6.3    | II   | 264.3 | SL               | T             | 2013–2022          |
| 16 | <i>Campanula rapunculoides</i> L.          | <i>Campanulaceae</i>    | II            | 18.8   | II   | 15.0   |      |        |      |       |      |        |      |        |      |       | P                | H(G)          | 1993, 1998         |
| 17 | <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. | <i>Brassicaceae</i>     | II            | 12.5   | I    | 5.0    | I    | 5.0    | I    | 9.1   | II   | 6.4    | II   | 7.5    | III  | 37.1  | SL               | T             | 1993–2022          |
| 18 | <i>Carduus crispus</i> L.                  | <i>Asteraceae</i>       |               |        |      |        |      |        |      |       |      |        | I    | 1.3    |      |       | SL               | H             | 2018               |
| 19 | <i>Centaurea cyanus</i> L.                 | <i>Asteraceae</i>       | IV            | 31.3   | II   | 20.0   | III  | 25.0   | V    | 190.0 | IV   | 26.4   | II   | 13.8   | III  | 292.9 | SL               | T             | 1993–2022          |
| 20 | <i>Chaenorhinum minus</i> (L.) Lange       | <i>Scrophulariaceae</i> |               |        |      |        |      |        |      |       | I    | 0.9    | I    | 1.3    |      |       | SL               | T             | 2013–2018          |
| 21 | <i>Chamomilla recutita</i> (L.) Rauschert  | <i>Asteraceae</i>       | I             | 1.3    | I    | 6.0    | I    | 10.0   | I    | 0.9   | I    | 0.9    |      |        | I    | 14.3  | SL               | T             | 1993–2013, 2022    |
| 22 | <i>Chenopodium album</i> L.                | <i>Chenopodiaceae</i>   | V             | 68.8   | III  | 35.0   | IV   | 35.0   | II   | 10.0  | I    | 5.5    | IV   | 26.3   | V    | 307.1 | SL               | T             | 1993–2022          |
| 23 | <i>Cichorium intybus</i> L.                | <i>Asteraceae</i>       |               |        |      |        | I    | 5.0    |      |       |      |        |      |        |      |       | P                | H(G)          | 2003               |
| 24 | <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.          | <i>Asteraceae</i>       | IV            | 37.5   | IV   | 205.0  | IV   | 45.0   | III  | 20.0  | IV   | 29.1   | III  | 31.3   | IV   | 44.3  | P                | G             | 1993–2022          |
| 25 | <i>Consolida regalis</i> Gray              | <i>Ranunculaceae</i>    | V             | 732.5  | V    | 56.0   | III  | 41.0   | IV   | 38.2  | III  | 15.5   | II   | 20.0   | III  | 35.7  | SL               | T             | 1993–2022          |
| 26 | <i>Convolvulus arvensis</i> L.             | <i>Convolvulaceae</i>   | V             | 1675.0 | V    | 1490.0 | V    | 85.0   | V    | 245.5 | V    | 222.7  | V    | 56.3   | V    | 335.7 | P                | G(H)          | 1993–2022          |
| 27 | <i>Dactylis glomerata</i> L.               | <i>Poaceae</i>          | I             | 1.3    |      |        |      |        | I    | 1.8   | I    | 0.9    | I    | 1.3    | II   | 15.7  | P                | H             | 1993, 2008–2022    |
| 28 | <i>Daucus carota</i> L.                    | <i>Apiaceae</i>         |               |        | II   | 15.0   |      |        |      |       | I    | 0.9    | I    | 1.3    | I    | 1.4   | SL               | H(T)          | 1998, 2013–2022    |

| No | Species                                     | Family        | Year of study |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       | Persistence | Life form* | Occurrence year       |
|----|---------------------------------------------|---------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------------|------------|-----------------------|
|    |                                             |               | 1993          |      | 1998 |      | 2003 |      | 2008 |      | 2013 |       | 2018 |      | 2022 |       |             |            |                       |
|    |                                             |               | S             | D    | S    | D    | S    | D    | S    | D    | S    | D     | S    | D    | S    | D     |             |            |                       |
| 29 | <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv. | Poaceae       |               |      |      |      |      |      | I    | 4.5  | III  | 170.0 | I    | 6.3  | II   | 28.6  | SL          | T          | 2008–2022             |
| 30 | <i>Elymus repens</i> (L.) Gould             | Poaceae       | IV            | 37.5 | III  | 30.0 |      |      | II   | 19.1 | III  | 31.8  | IV   | 31.3 | IV   | 285.7 | P           | G          | 1993–1998, 2008–2022  |
| 31 | <i>Equisetum arvense</i> L.                 | Equisetaceae  |               |      |      |      |      |      | I    | 0.9  |      |       |      |      | I    | 7.1   | P           | G          | 2008, 2022            |
| 32 | <i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.           | Asteraceae    |               |      |      |      |      |      |      |      |      |       | I    | 1.3  | I    | 1.4   | SL          | H(T)       | 2018, 2022            |
| 33 | <i>Euphorbia exigua</i> L.                  | Euphorbiaceae | IV            | 43.8 |      |      |      |      | I    | 4.5  | I    | 5.5   | IV   | 21.3 |      |       | SL          | T          | 1993, 2008–2018       |
| 34 | <i>Euphorbia helioscopia</i> L.             | Euphorbiaceae | III           | 31.3 | V    | 50.0 | III  | 21.0 | III  | 15.5 | III  | 24.5  | IV   | 33.8 | I    | 7.1   | SL          | T          | 1993–2022             |
| 35 | <i>Falcaria vulgaris</i> Bernh.             | Apiaceae      | I             | 1.3  |      |      |      |      | I    | 0.9  |      |       | I    | 1.3  | I    | 1.4   | P           | H          | 1993, 2008, 2018–2022 |
| 36 | <i>Fallopia convolvulus</i> (L.) Á. Löve    | Polygonaceae  | V             | 68.8 | V    | 45.0 | IV   | 45.0 | IV   | 32.7 | IV   | 40.9  | IV   | 50.0 | V    | 357.1 | SL          | T          | 1993–2022             |
| 37 | <i>Fumaria officinalis</i> L.               | Fumariaceae   |               |      |      |      | I    | 5.0  |      |      |      |       | I    | 1.3  |      |       | SL          | T          | 2003, 2018            |
| 38 | <i>Fumaria vaillantii</i> Loisel.           | Fumariaceae   | II            | 18.8 |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       | SL          | T          | 1993                  |
| 39 | <i>Galeopsis ladanum</i> L.                 | Lamiaceae     | I             | 1.3  |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       | SL          | T          | 1993                  |
| 40 | <i>Galeopsis tetrahit</i> L.                | Lamiaceae     | III           | 25.0 | III  | 30.0 | II   | 20.0 | II   | 10.0 | II   | 14.5  | I    | 6.3  | II   | 8.6   | SL          | T          | 1993–2022             |
| 41 | <i>Galinsoga ciliata</i> (Raf.) S. F. Blake | Asteraceae    |               |      | II   | 20.0 | I    | 10.0 |      |      | I    | 4.5   | I    | 1.3  |      |       | SL          | T          | 1998–2003, 2013–2018  |
| 42 | <i>Galinsoga parviflora</i> Cav.            | Asteraceae    |               |      | I    | 5.0  |      |      |      |      |      |       |      |      | I    | 1.4   | SL          | T          | 1998, 2022            |
| 43 | <i>Galium aparine</i> L.                    | Rubiaceae     | V             | 50.0 | V    | 55.0 | IV   | 45.0 | V    | 50.0 | IV   | 45.5  | IV   | 31.3 | V    | 78.6  | SL          | T          | 1993–2022             |

| No | Species                               | Family              | Year of study |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      | Persistence | Life form* | Occurrence year              |
|----|---------------------------------------|---------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-------------|------------|------------------------------|
|    |                                       |                     | 1993          |      | 1998 |      | 2003 |      | 2008 |     | 2013 |      | 2018 |      | 2022 |      |             |            |                              |
|    |                                       |                     | S             | D    | S    | D    | S    | D    | S    | D   | S    | D    | S    | D    | S    | D    |             |            |                              |
| 44 | <i>Galium mollugo</i> L. s.str.       | <i>Rubiaceae</i>    | I             | 6.3  |      |      |      |      | I    | 0.9 |      |      |      |      |      |      | P           | H(G)       | 1993, 2008                   |
| 45 | <i>Geranium dissectum</i> L.          | <i>Geraniaceae</i>  | I             | 6.3  |      |      |      |      |      |     | I    | 0.9  |      |      |      |      | SL          | T          | 1993, 2013                   |
| 46 | <i>Geranium pusillum</i> L.           | <i>Geraniaceae</i>  |               |      | II   | 10.0 |      |      |      |     | I    | 1.8  |      |      | III  | 18.6 | SL          | T          | 1998, 2013, 2022             |
| 47 | <i>Heracleum sphondylium</i> L.s.str. | <i>Apiaceae</i>     |               |      |      |      |      |      |      |     | I    | 0.9  |      |      |      |      | P           | H          | 2013                         |
| 48 | <i>Juncus bufonius</i> L.             | <i>Juncaceae</i>    |               |      |      |      |      |      |      |     | I    | 4.5  |      |      |      |      | SL          | T          | 2013                         |
| 49 | <i>Lactuca serriola</i> L.            | <i>Asteraceae</i>   |               |      | I    | 1.0  |      |      |      |     | I    | 0.9  | II   | 7.5  | III  | 22.9 | SL          | H          | 1998, 2013–2022              |
| 50 | <i>Lamium album</i> L.                | <i>Lamiaceae</i>    |               |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      | I    | 14.3 | P           | H          | 2022                         |
| 51 | <i>Lamium amplexicaule</i> L.         | <i>Lamiaceae</i>    |               |      | I    | 5.0  |      |      |      |     | I    | 0.9  |      |      |      |      | SL          | T          | 1998, 2013                   |
| 52 | <i>Lamium purpureum</i> L.            | <i>Lamiaceae</i>    | I             | 6.3  | I    | 10.0 | I    | 1.0  |      |     | II   | 6.4  |      |      | II   | 2.9  | SL          | T          | 1993–2003, 2013, 2022        |
| 53 | <i>Lapsana communis</i> L. s.str.     | <i>Asteraceae</i>   | II            | 18.8 | III  | 25.0 | I    | 6.0  |      |     | II   | 11.8 | II   | 13.8 |      |      | SL          | T(H)       | 1993–2003, 2013–2018         |
| 54 | <i>Lathyrus tuberosus</i> L.          | <i>Fabaceae</i>     | IV            | 26.3 | III  | 30.0 | I    | 10.0 | I    | 9.1 | I    | 9.1  |      |      |      |      | P           | H          | 1993–2013                    |
| 55 | <i>Lithospermum arvense</i> L.        | <i>Boraginaceae</i> | II            | 12.5 | III  | 25.0 |      |      | I    | 5.5 | I    | 4.5  |      |      | I    | 1.4  | SL          | T          | 1993, 1998, 2008, 2013, 2022 |
| 56 | <i>Lolium multiflorum</i> Lam.        | <i>Poaceae</i>      |               |      | II   | 15.0 |      |      |      |     |      |      |      |      | III  | 22.9 | P           | H(T)       | 1998, 2022                   |
| 57 | <i>Lolium perenne</i> L.              | <i>Poaceae</i>      |               |      |      |      |      |      | I    | 0.9 | I    | 10.0 | I    | 1.3  |      |      | P           | H          | 2008–2018                    |

| No | Species                                                         | Family                  | Year of study |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Persistence | Life form* | Occurrence year        |
|----|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------------|------------------------|
|    |                                                                 |                         | 1993          |      | 1998 |      | 2003 |      | 2008 |      | 2013 |      | 2018 |      | 2022 |      |             |            |                        |
|    |                                                                 |                         | S             | D    | S    | D    | S    | D    | S    | D    | S    | D    | S    | D    | S    | D    |             |            |                        |
| 58 | <i>Matricaria maritima</i> L. subsp. <i>inodora</i> (L.) Dostál | <i>Asteraceae</i>       | II            | 7.5  | II   | 15.0 | II   | 20.0 | IV   | 29.1 | III  | 20.0 | IV   | 21.3 | III  | 31.4 | SL          | H(T)       | 1993–2022              |
| 59 | <i>Medicago lupulina</i> L.                                     | <i>Fabaceae</i>         | I             | 6.3  | I    | 5.0  | II   | 20.0 | I    | 5.5  | II   | 7.3  |      |      |      |      | SL          | H(T)       | 1993–2013              |
| 60 | <i>Melandrium album</i> (Mill.) Garcke                          | <i>Caryophyllaceae</i>  | II            | 18.8 | I    | 5.0  | II   | 15.0 | II   | 6.4  | I    | 0.9  | III  | 5.0  | I    | 14.3 | SL          | T(H)       | 1993–2022              |
| 61 | <i>Melandrium noctiflorum</i> (L.) Fr.                          | <i>Caryophyllaceae</i>  | I             | 12.5 | I    | 5.0  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | SL          | T          | 1993–1998              |
| 62 | <i>Mentha arvensis</i> L.                                       | <i>Lamiaceae</i>        |               |      | I    | 10.0 |      |      |      |      |      |      | I    | 6.3  | IV   | 20.0 | P           | G          | 1998, 2018, 2022       |
| 63 | <i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill.                             | <i>Boraginaceae</i>     | IV            | 43.8 | IV   | 40.0 | I    | 5.0  | I    | 9.1  | III  | 27.3 | I    | 12.5 |      |      | SL          | T(H)       | 1993–2018              |
| 64 | <i>Odontites serotina</i> (Lam.) Rchb. s.str.                   | <i>Scrophulariaceae</i> | IV            | 37.5 | II   | 20.0 | II   | 21.0 | I    | 164  | I    | 0.9  |      |      |      |      | SL          | T          | 1993–2013              |
| 65 | <i>Oxalis fontana</i> Bunge                                     | <i>Oxalidaceae</i>      | II            | 20.0 |      |      | I    | 5.0  |      |      | II   | 18.2 | I    | 6.3  |      |      | P           | G          | 1993, 2003, 2013, 2018 |
| 66 | <i>Papaver rhoeas</i> L.                                        | <i>Papaveraceae</i>     | IV            | 37.5 | III  | 25.0 | I    | 6.0  | III  | 16.4 | III  | 11.8 |      |      | I    | 14.3 | SL          | T          | 1993–2013, 2022        |
| 67 | <i>Phleum pratense</i> L.                                       | <i>Poaceae</i>          |               |      | I    | 5.0  | I    | 6.0  | III  | 8.2  | II   | 22.7 | II   | 13.8 | IV   | 38.6 | P           | H          | 1998–2022              |
| 68 | <i>Pimpinella saxifraga</i> L.                                  | <i>Apiaceae</i>         |               |      |      |      |      |      |      |      | I    | 0.9  |      |      | I    | 14.3 | P           | H          | 2013, 2022             |
| 69 | <i>Plantago intermedia</i> Gilib.                               | <i>Plantaginaceae</i>   |               |      |      |      |      |      |      |      | II   | 13.6 |      |      |      |      | P           | H(T)       | 2013                   |
| 70 | <i>Plantago lanceolata</i> L.                                   | <i>Plantaginaceae</i>   |               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | I    | 14.3 | P           | H          | 2022                   |
| 71 | <i>Plantago major</i> L. s.str.                                 | <i>Plantaginaceae</i>   |               |      | I    | 6.0  |      |      |      |      | I    | 4.5  | I    | 1.3  |      |      | P           | H          | 1998, 2013, 2018       |

| No | Species                                                              | Family                  | Year of study |       |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      | Persistence | Life form* | Occurrence year  |
|----|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-------------|------------|------------------|
|    |                                                                      |                         | 1993          |       | 1998 |      | 2003 |      | 2008 |     | 2013 |      | 2018 |      | 2022 |      |             |            |                  |
|    |                                                                      |                         | S             | D     | S    | D    | S    | D    | S    | D   | S    | D    | S    | D    | S    | D    |             |            |                  |
| 72 | <i>Poa annua</i> L.                                                  | <i>Poaceae</i>          |               |       |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      | I    | 14.3 | SL          | H(T)       | 2022             |
| 73 | <i>Poa trivialis</i> L.                                              | <i>Poaceae</i>          | I             | 6.3   |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      | P           | H          | 1993             |
| 74 | <i>Polygonum aviculare</i> L.                                        | <i>Polygonaceae</i>     | IV            | 50.0  | IV   | 35.0 | I    | 10.0 | I    | 5.5 | II   | 6.4  | I    | 1.3  | IV   | 42.9 | SL          | T          | 1993–2022        |
| 75 | <i>Polygonum hydropiper</i> L.                                       | <i>Polygonaceae</i>     |               |       |      |      |      |      |      |     | I    | 9.1  |      |      |      |      | SL          | T          | 2013             |
| 76 | <i>Polygonum lapathifolium</i> L. subsp. <i>pallidum</i> (With.) Fr. | <i>Polygonaceae</i>     |               |       | III  | 26.0 | I    | 10.0 | I    | 0.9 | II   | 7.3  | II   | 20.0 |      |      | SL          | T          | 1998-2018        |
| 77 | <i>Polygonum persicaria</i> L.                                       | <i>Polygonaceae</i>     | I             | 6.3   |      |      |      |      |      |     | I    | 1.8  |      |      | I    | 14.3 | SL          | T          | 1993, 2013, 2022 |
| 78 | <i>Ranunculus repens</i> L.                                          | <i>Ranunculaceae</i>    |               |       | I    | 10.0 |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      | P           | H          | 1998             |
| 79 | <i>Raphanus raphanistrum</i> L.                                      | <i>Brassicaceae</i>     |               |       | I    | 6.0  |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      | SL          | T          | 1998             |
| 80 | <i>Rhinanthus serotinus</i> (Schönh.) Oborný                         | <i>Scrophulariaceae</i> | V             | 681.3 | I    | 5.0  |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      | SL          | T          | 1993, 1998       |
| 81 | <i>Rumex crispus</i> L.                                              | <i>Polygonaceae</i>     |               |       |      |      |      |      | I    | 0.9 | I    | 0.9  |      |      |      |      | P           | H          | 2008, 2013       |
| 82 | <i>Sedum maximum</i> (L.) Hoffm.                                     | <i>Crassulaceae</i>     | I             | 6.3   |      |      |      |      | I    | 0.9 |      |      |      |      |      |      | P           | G(H)       | 1993, 2008       |
| 83 | <i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv.                                 | <i>Poaceae</i>          |               |       |      |      |      |      |      |     | II   | 19.1 | III  | 37.5 | I    | 1.4  | SL          | T          | 2013–2022        |
| 84 | <i>Sherardia arvensis</i> L.                                         | <i>Rubiaceae</i>        |               |       |      |      |      |      |      |     | I    | 5.5  | II   | 7.5  | I    | 1.4  | SL          | T          | 2013–2022        |
| 85 | <i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke                               | <i>Caryophyllaceae</i>  |               |       | II   | 15.0 | II   | 20.0 |      |     | II   | 2.7  |      |      |      |      | P           | C(H)       | 1998, 2003, 2013 |
| 86 | <i>Sinapis arvensis</i> L.                                           | <i>Brassicaceae</i>     | III           | 31.3  | IV   | 40.0 | I    | 10.0 | I    | 4.5 | I    | 2.7  | I    | 6.3  | I    | 1.4  | SL          | T          | 1993–2022        |
| 87 | <i>Solidago canadensis</i> L.                                        | <i>Asteraceae</i>       |               |       |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      | I    | 1.4  | P           | H(G)       | 2022             |

| No  | Species                                  | Family                  | Year of study |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      | Persistence | Life form* | Occurrence year        |
|-----|------------------------------------------|-------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-------------|------------|------------------------|
|     |                                          |                         | 1993          |      | 1998 |      | 2003 |      | 2008 |     | 2013 |      | 2018 |      | 2022 |      |             |            |                        |
|     |                                          |                         | S             | D    | S    | D    | S    | D    | S    | D   | S    | D    | S    | D    | S    | D    |             |            |                        |
| 88  | <i>Solidago gigantea</i> Aiton           | <i>Asteraceae</i>       |               |      |      |      |      |      |      |     | I    | 0.9  |      |      |      |      | P           | H(G)       | 2013                   |
| 89  | <i>Sonchus arvensis</i> L.               | <i>Asteraceae</i>       | IV            | 68.8 | IV   | 40.0 | I    | 10.0 |      |     | II   | 10.0 | II   | 13.8 | I    | 7.1  | P           | G(H)       | 1993–2003, 2013–2022   |
| 90  | <i>Sonchus asper</i> (L.) Hill           | <i>Asteraceae</i>       |               |      | I    | 6.0  |      |      |      |     |      |      | II   | 2.5  |      |      | SL          | T          | 1998, 2018             |
| 91  | <i>Stachys palustris</i> L.              | <i>Lamiaceae</i>        | I             | 6.3  |      |      | I    | 5.0  |      |     |      |      |      |      |      |      | P           | G          | 1993, 2003             |
| 92  | <i>Stellaria media</i> (L.) Vill.        | <i>Caryophyllaceae</i>  | III           | 31.3 | III  | 35.0 |      |      |      |     | II   | 10.0 | II   | 7.5  |      |      | SL          | T(H)       | 1993, 1998, 2013, 2018 |
| 93  | <i>Symphytum officinale</i> L.           | <i>Boraginaceae</i>     |               |      |      |      | I    | 5.0  |      |     |      |      |      |      |      |      | P           | G(H)       | 2003                   |
| 94  | <i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.   | <i>Asteraceae</i>       | III           | 37.5 | IV   | 45.0 | II   | 15.0 | I    | 0.9 | II   | 14.5 | III  | 26.3 | I    | 7.1  | P           | H          | 1993–2022              |
| 95  | <i>Thlaspi arvense</i> L.                | <i>Brassicaceae</i>     |               |      | I    | 5.0  | II   | 16.0 | I    | 5.5 | I    | 0.9  |      |      | III  | 17.1 | SL          | T(H)       | 1998–2013, 2022        |
| 96  | <i>Trifolium arvense</i> L.              | <i>Fabaceae</i>         | I             | 1.3  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      | SL          | T          | 1993                   |
| 97  | <i>Trifolium aureum</i> Pollich          | <i>Fabaceae</i>         |               |      |      |      |      |      |      |     | I    | 0.9  |      |      |      |      | P           | H          | 2013                   |
| 98  | <i>Trifolium pratense</i> L.             | <i>Fabaceae</i>         |               |      | I    | 5.0  |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      | P           | H          | 1998                   |
| 99  | <i>Trifolium repens</i> L.               | <i>Fabaceae</i>         | I             | 1.3  | I    | 5.0  |      |      | I    | 4.5 |      |      |      |      |      |      | P           | H(C)       | 1993, 1998, 2008       |
| 100 | <i>Tussilago farfara</i> L.              | <i>Asteraceae</i>       |               |      | I    | 5.0  |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      | P           | G          | 1998                   |
| 101 | <i>Valerianella dentata</i> (L.) Pollich | <i>Valerianaceae</i>    |               |      | I    | 5.0  |      |      |      |     |      |      | I    | 1.3  |      |      | SL          | T          | 1998, 2018             |
| 102 | <i>Veronica agrestis</i> L.              | <i>Scrophulariaceae</i> | I             | 6.3  |      |      |      |      |      |     | II   | 10.0 | I    | 1.3  |      |      | SL          | T          | 1993, 2013, 2018       |

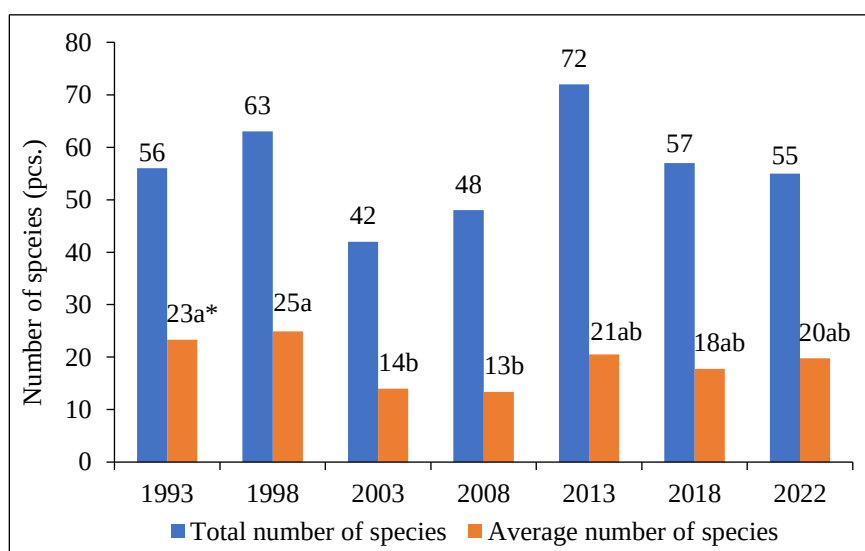
| No  | Species                               | Family                  | Year of study |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      | PERSISTENCE | Life form* | Occurrence year       |
|-----|---------------------------------------|-------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-------------|------------|-----------------------|
|     |                                       |                         | 1993          |      | 1998 |      | 2003 |      | 2008 |     | 2013 |      | 2018 |      | 2022 |      |             |            |                       |
|     |                                       |                         | S             | D    | S    | D    | S    | D    | S    | D   | S    | D    | S    | D    | S    | D    |             |            |                       |
| 103 | <i>Veronica arvensis</i> L.           | <i>Scrophulariaceae</i> |               |      |      |      | I    | 1.0  | I    | 4.5 | III  | 19.1 |      |      | II   | 15.7 | SL          | T          | 2003–2013, 2022       |
| 104 | <i>Veronica persica</i> Poir.         | <i>Scrophulariaceae</i> | II            | 18.8 | II   | 20.0 |      |      | II   | 6.4 | II   | 23.6 | IV   | 31.3 |      |      | SL          | T          | 1993, 1998, 2008–2022 |
| 105 | <i>Vicia angustifolia</i> L.          | <i>Fabaceae</i>         | II            | 25.0 | I    | 5.0  | II   | 20.0 | I    | 5.5 | II   | 6.4  |      |      |      |      | SL          | T          | 1993–2013             |
| 106 | <i>Vicia dasycarpa</i> Ten.           | <i>Fabaceae</i>         | I             | 6.3  |      |      |      |      |      |     | I    | 13.6 | II   | 2.5  |      |      | SL          | T          | 1993, 2013–2018       |
| 107 | <i>Vicia grandiflora</i> Scop.        | <i>Fabaceae</i>         |               |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      | I    | 14.3 | SL          | T          | 2022                  |
| 108 | <i>Vicia hirsuta</i> (L.) Gray        | <i>Fabaceae</i>         |               |      | III  | 25.0 | II   | 25.0 | I    | 9.1 | II   | 10.0 | I    | 1.3  | I    | 7.1  | SL          | T          | 1998–2022             |
| 109 | <i>Vicia tetrasperma</i> (L.) Schreb. | <i>Fabaceae</i>         |               |      | II   | 11.0 | II   | 20.0 | I    | 0.9 | II   | 10.0 | II   | 7.5  | I    | 7.1  | SL          | T          | 1998–2022             |
| 110 | <i>Vicia villosa</i> Roth             | <i>Fabaceae</i>         |               |      |      |      |      |      |      |     |      |      | I    | 1.3  |      |      | SL          | T(H)       | 2018                  |
| 111 | <i>Viola arvensis</i> Murray          | <i>Violaceae</i>        | II            | 18.8 | III  | 30.0 |      |      | II   | 168 | III  | 27.3 | III  | 21.3 | I    | 1.4  | SL          | T          | 1993, 1998, 2008–2022 |

S – degree of phytosociological constancy, D – cover index, P – perennial species, SL – short-lived species, C – chamaephyte, G – geophyte, H – hemicryptophyte, T – therophyte

\* The first plant life form given in the table was used for calculations



The species of field flora found in each of the assessed years of the multiannual period, which usually maintained a high area cover index, were: *Apera spica-venti* ( $D = 25.0\text{--}496.5$ ), *Avena fatua* ( $D = 7.5\text{--}2870.0$ ), *Centaurea cyanus* ( $D = 13.8\text{--}292.9$ ), *Chenopodium album* ( $D = 5.5\text{--}307.1$ ), *Cirsium arvense* ( $D = 20.0\text{--}205.0$ ), *Consolida regalis* ( $D = 15.5\text{--}732.5$ ), *Convolvulus arvensis* ( $D = 56.3\text{--}1675.0$ ), *Fallopia convolvulus* ( $D = 32.7\text{--}357.1$ ), and *Galium aparine* ( $D = 31.3\text{--}78.6$ ). In the study area, in addition to typical segetal weeds, accidental species were also recorded, entering from contact communities (usually ruderal ones). These included among others, *Erigeron annuus*, *Solidago canadensis*, *Solidago gigantea*, *Lactuca serriola*, *Plantago major*, and *Plantago lanceolata*. These species were not a permanent component of agrocenoses. However, remaining in the field edge zone, they increased the total number of species in the studied flora. The total number of species on the assessed set of fields in the multiannual period decreased slightly, comparing the first and last year of the study (Fig. 3).



\* Means with various letters are significantly different, according to Duncan test ( $p \leq 0.05$ ).

Fig. 3. The total and average number of segetal flora species in the study area in assessed years of the multiannual period from 1993 to 2022

In the first year of the study, a total of 56 species were recorded, compared to 55 in the last year of the study. The highest number of weeds – 72 species – was observed in 2013, a figure which is nearly double that observed in 2003 (the lowest total number of species). The highest average number of species in the phytosociological relevé was recorded in 1993 (23 species) and 1998 (25 species); this is significantly higher than the lowest average number of species recorded in 2008 (13 species) and in 2003 (14 species). The poverty of species in 2003 and 2008 is probably a result of the increase in the application of herbicides in the study area during this period (cf. Tab. 2). Comparing the average number of weeds in the phytosociological relevé over the multiannual period, it may be noted that a slight decrease

in the number of species in 2022 concerning the first year of the study, but the difference between these years is not significant. However, the impoverishment of flora was visible in the decrease in the constancy of occurrence or even disappearance of species, especially calciphilous (including *Adonis aestivalis*, *Fumaria officinalis*, *Fumaria vaillantii*, *Lithospermum arvense*, *Campanula rapunculoides*, *Valerianella dentata* and *Lathyrus tuberosus*) and the decrease in coverage of the area by weeds (cf. Tab. 3).

In many European regions [Tyšer et al. 2009, Meyer et al. 2013, Richner et al. 2015], including Poland [Bomanowska 2006, Dąbkowska et al. 2007, Kapeluszny and Haliniarz 2010, Dąbkowska and Sygulski 2013, Rzymowska 2013, Skrajna 2021], a decrease in the species richness of segetal flora was observed. Although consistent with this tendency, the changes recorded in our study area from 1993 to 2022 were not so radical. For example, Tyšer et al. [2009], based on research conducted in the middle and northern Bohemia during the period from 1975 to 2005, reported a reduction in species richness in phytosociological relevés, of about 46% (1975 – 33 taxa, 2005 – 18 taxa). Meyer et al. [2013] point to losses of segetal plant species in Central Germany between the 1950s/1960s and 2009. The research showed a reduction in the regional species pool of 23% (from 301 to 233 vascular species) and plot-level diversity (from medians of 24 to 7 species). Similarly as in our study, the authors noticed that disappearing species, such as *Adonis aestivalis* or *Lathyrus tuberosus*, included species associated with base-rich soils. In research conducted by Baessler and Klotz [2006], typical weed species with highly significant decrease were, e.g., *Consolida regalis* and *Lithospermum arvense*. Kapeluszny and Haliniarz [2010] indicated *Fumaria officinalis*, *Fumaria vaillantii*, *Adonis aestivalis*, *Lathyrus tuberosus*, *Campanula rapunculoides*, *Valerianella dentata* as the endangered species of segetal flora in the central-eastern Poland. Additionally, our results confirm the observations made by Dąbkowska et al. [2007], conducted in the same area (in the 1993–2005 years). The authors noted a systematic reduction in area coverage and phytosociological constancy of the above-mentioned calcareous species.

In the studied flora, a constant increase in the number and proportion of monocotyledonous species of the *Poaceae* family was observed in the weed infestation of crops (Fig. 4).

Comparing the first and last years of the study, the number of monocotyledonous species doubled (5 in 1993, 10 in 2022), and their proportion more than doubled (10% in 1993, 23% in 2022). In 1993, the occurrence of the following species was recorded in the study area: *Avena fatua* (AVEFA), *Apera spica-venti* (APESV), *Dactylis glomerata*, *Elymus repens* and *Poa trivialis*. All of these, excluding *Poa trivialis* were recorded in each analyzed year of the study. The remaining species of monocotyledonous recorded in the subsequent years of the study were *Phleum pratense* since 1998, *Echinochloa crus-galli* since 2008, *Bromus secalinus* since 2013, and *Setaria viridis* since 2018. Among the species found only once in the analyzed period were reported *Agrostis capillaris* (2013), *Poa annua* (2022) and *Lolium multiflorum* (2022). Moreover, the presence of *Lolium perenne* was also observed between 2008 and 2018.

Analyzing the threat to crops, expressed as the sum of the cover indexes, a decrease in the total coverage of the area by weeds, along with a substantial rise in the coverage of the area by monocotyledonous species, was recorded in the subsequent years of the study (Fig. 5).

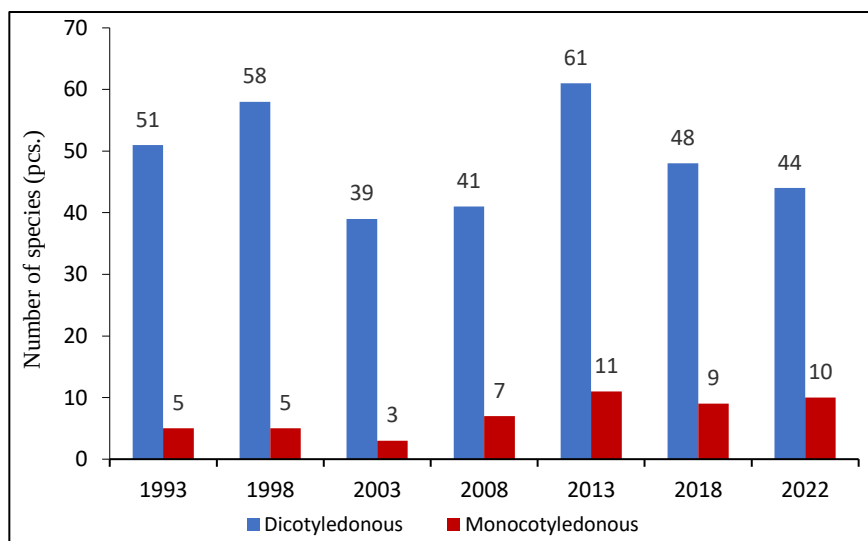


Fig. 4. The total number of monocotyledonous and dicotyledonous species of segetal flora in the study area in assessed years of the multiannual period from 1993 to 2022

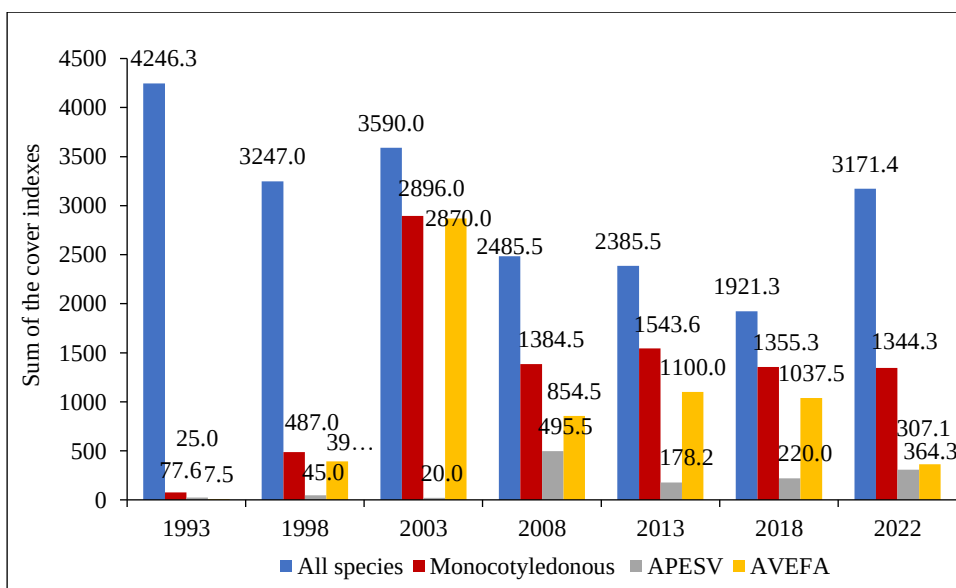


Fig. 5. Sums of the cover indexes of the cereal crop by segetal flora in the study area in assessed years of the multiannual period from 1993 to 2022

In 1993, the sum of weed cover indexes was 4246.3, including only 77.6 for monocotyledonous species. In subsequent years, a systematic decrease in the sum of cover indexes of the area caused by undesirable species was observed, indicating a reduction in the threat posed to crops by weeds. In the last year of our study, an increase in the sum of weed cover indexes was observed. This could have resulted from, among other things, errors in the selection and use of herbicides, as well as intensification of the phenomenon of weed resistance to chemical plant protection products. One year, 2003, was worthy of particular note. Then there was a slight increase in coverage of the area by weeds (compared to the previous year) and a significant increase in the proportion of monocotyledonous species which accounted for 80% of the total coverage of the area. Since 1998, the most expansive monocotyledonous species was *Avena fatua* (Fig. 6a). During the period from 1998 to 2022, the sum of cover indexes ( $D$ ) for this species ranged from 364.3 (2022) to 2870.0 (2003), attaining degrees III to V of phytosociological constancy (cf. Tab. 3). The next most expansive monocotyledonous species in the study area was *Apera spica-venti* (Fig. 6b), for which the sum of cover indexes ranged from 20.0 (2003) to 495.5 (2008). The high sums of cover indexes in the last year of the study for *Avena fatua* (given above) and *Apera spica-venti* ( $D = 307.1$ ) and degree V of phytosociological constancy, showed that, despite chemical control, they were still competitors that pose a threat to cereal crops.

Representatives of the *Poaceae* family, along with species of the *Asteraceae* and *Fabaceae* families, constituted the most numerous group in the segetal flora of the studied set of fields (cf. Tab. 3). The importance of species belonging to those families in the weed infestation of cereal crops was observed in various regions of Poland [Bomanowska 2006, Dąbkowska and Łabza 2010, Rzymowska 2013, Skrajna 2021] and Europe [Glemnitz et al. 2000, Fanfarillo et al. 2020]. Moreover, numerous authors considered attention to the increasing importance of monocotyledonous species from *Poaceae* family, in the segetal flora of agrophytocenoses in Poland in recent decades. Dąbkowska et al. [2007], Dąbkowska and Łabza [2010], Kapeluszny and Haliniarz [2010], based on the results of multianual analyses of flora in habitats of southern and central-eastern Poland, pointed to *Avena fatua* and *Apera spica-venti* as the most expansive grass weeds, posing the greatest threat to cereal crops in recent decades. As in our research, in the studies of Dąbkowska et al. [2007], Dąbkowska and Łabza [2010] as well as Kapeluszny and Haliniarz [2010], there was an apparent increase in the intensification of the proportion of *Avena fatua* in the weed infestation of cereal crops in the 1990s, especially on rendzina soils in lowland habitats. Dąbkowska et al. [2007], conducting research from 1993 to 2005 on the same land where our study was performed, noted a considerable increase in area coverage by monocotyledonous species. In 1993, the sum of cover indexes was 77.6, while in 1999 – it was nearly 10 times and in 2005 – over 20 times higher. However, Meyer et al. [2013] found a decline in the frequency and cover of most species of *Poaceae* in Central Germany, including some expansive species, such as *Avena fatua* or *Apera spica-venti*.



Fig. 6. The weed infestation of cereal crops in the study area by (a) *Avena fatua* and (b) *Apera spica-venti* (photos: archive of the Department of Agroecology and Crop Production)

In the segetal flora of cereal crops in the studied habitat short-lived species (especially therophytes) were predominant over perennial species (Fig. 7 and Fig. 8). The smallest number of short-lived species was recorded in 2003, amounting to 30, while the most significant number was in 2013 – 53.

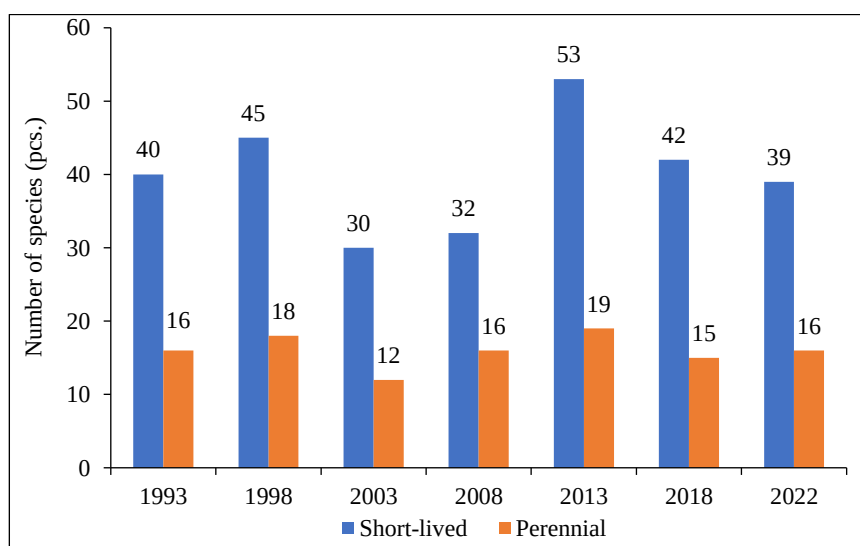


Fig. 7. The total number of short-lived and perennial species of segetal flora in the study area in assessed years of the multiannual period from 1993 to 2022

The proportion of short-lived species in the weed infestation of crops, in relation to the total number of species, oscillated in the range between 66.7% (2008) and 73.7% (2018). Moreover, an obvious predominance of therophytes over species representing other plant life forms was observed, which related to the agricultural nature of the land. The highest richness of therophytes was recorded in 2013 – 47 species (when it was the highest total species richness), and their proportion of the total number of species was 65.4%. In 2003, the lowest number of therophytes of 27 species was found, with a proportion of 64.3%. The number of hemicryptophytes fluctuated between 7 and 17 species (proportion of 16.7 to 29.8%). The number of geophytes during the multiannual period remained constant within the range of 5 to 7 species, and the number of chamaephytes stayed within the range of 0 to 2.

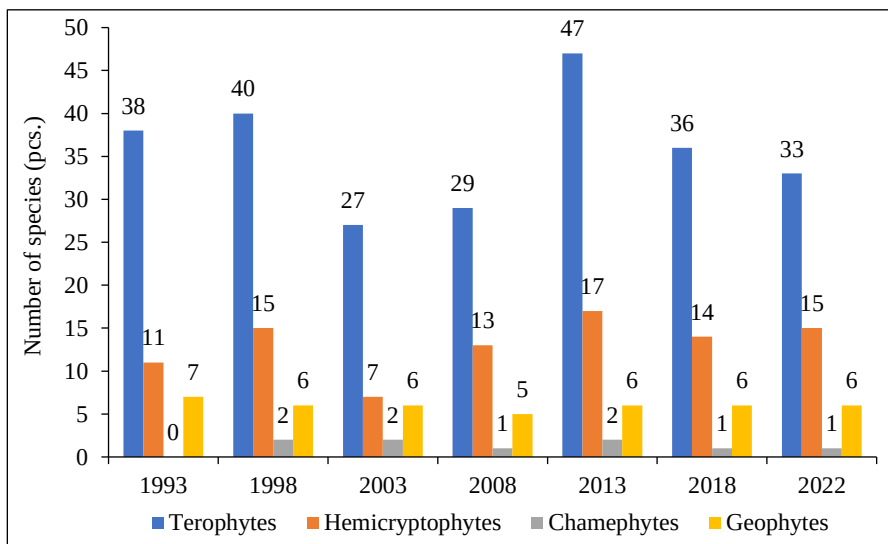
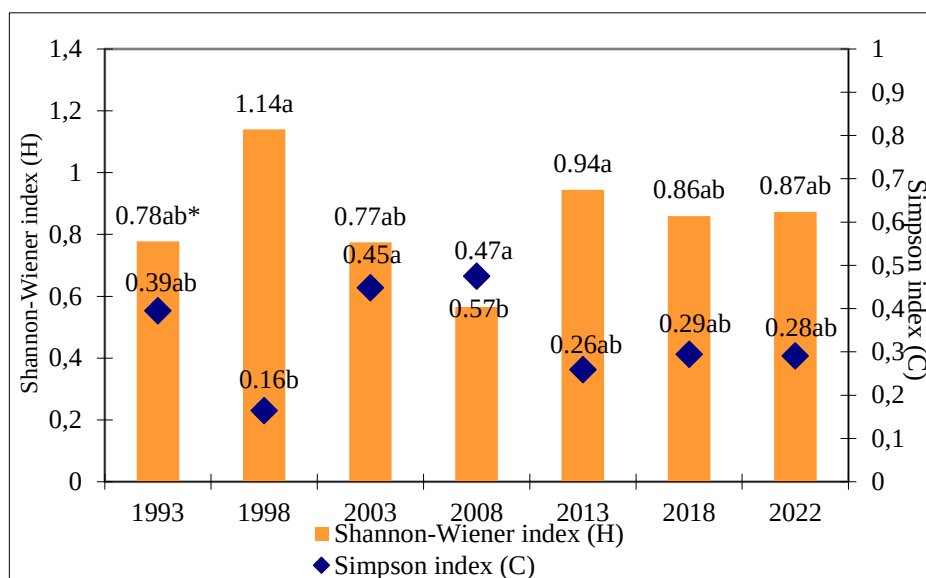


Fig. 8. The total number of plant life form of segetal flora in the study area in assessed years of the multiannual period from 1993 to 2022

Our findings are consistent with results obtained by other authors, who also underlined the predominance of short-lived species over perennial ones and therophytes over other plant life forms in the segetal flora of various regions of Poland. The results of research by Bomanowska [2006] showed the field flora of the Kampinos National Park was dominated by therophytes (46.9% of the flora), with a large proportion of hemicryptophytes (39.9%) and smaller for geophytes (9.2%) and chamaephytes (3.2%). Analysis of species persistence also revealed a slight predominance of short-lived species (51.5% of the flora) over perennial ones (48.5%). Skrajna [2021], comparing the flora of agrocenoses of the Kałuszyn Upland (eastern Poland) over a similar research period (1996 to 2021), presented that short-lived species (60%) prevailed over perennial ones (40%). Moreover, the proportion of individual plant life forms was similar to that obtained in our study, which is typical for annual crops.

The values of the Shannon-Wiener diversity index ( $H$ ) and the Simpson dominance index ( $C$ ) accurately reflect the state of the richness and species diversity of the studied agrophytocoenoses (Fig. 9).



Means with various letters are significantly different, according to Duncan test ( $p \leq 0.05$ ).

Fig. 9. The average Shannon-Wiener diversity index ( $H$ ) and Simpson dominance index ( $C$ ) of segetal flora in the study area in assessed years of the multiannual period from 1993 to 2022

For most years of the study, the average  $H$  index was at a similar level, ranging from 0.77 to 0.94, which proves that the proportion of individual segetal species in the weed infestation was relatively even. The highest value (1.14) was in 1998, and the lowest (0.57) was in 2008 (significant difference). A decrease in the Shannon-Wiener diversity index causes an increase (undesirable from the agricultural point of view) in the Simpson dominance index ( $C$ ). The lowest dominance of individual species in the study area was found in 1998 when the  $C$  index was only 0.16 and was significantly lower than in 2008 (0.47; highest value). The low value of the  $H$  index and, also the high value of the  $C$  index recorded in 2008 were related, among others, to the dominance of monocotyledonous species in the infestation of the studied crops with weeds, namely *Avena fatua* and *Apera spica-venti* (cf. Fig. 5). However, comparing the first and last year of the study, a slight increase in the  $H$  index and a decrease in the  $C$  index can be found (for a similar total number of species in both years). This fact may indicate a fairly even proportion of individual species in the flora of the studied set of fields without a precise proportion of dominant species, and on relatively effective chemical control compared to the years in which dominant species were observed.

The value of the diversity and dominance indexes for the study area are similar to those obtained by Dąbkowska et al. [2017] in studies conducted in several locations within

lowland habitats of southern Poland (assessed as favorable for intensive agricultural production) and located near the area of our research. In the research mentioned above, similar to the results of our study, the average  $H$  index was within the range of 0.7 to 1.3, while the average  $C$  index was from 0.1 to 0.3. In contrast, Dostatny [2006] found floral diversity to be much higher ( $H = 2.2\text{--}2.8$ ) for rendzinas of the Niecka Nidziańska region in the same period. As Trzcińska-Tacik [2003] pointed out, the biodiversity of segetal communities depends on, among others, habitat conditions, including soil conditions, and it is greater on fertile soils. Skrajna [2021] confirmed this by comparing biodiversity indexes in cereal crops on compact and light soils of the Kałuszyn Upland (eastern Poland). In this study, the  $H$  index oscillated within the range of 1.32 to 1.61, and the  $C$  index was within the range of 0.29 to 0.40 for light and compact soils, respectively.

#### SUMMARY

The study conducted on the composition of segetal communities and changes in their diversity over the period from 1993 to 2022 allowed the following findings conclusions.

1. The total species richness of the segetal flora of the study area over the years in question did not undergo any apparent impoverishment. However, a decrease in the average number of species recorded on individual fields and the constancy of occurrence, as well as area coverage by determined species, especially calciphilous, was observed.

2. In the weed infestation of the studied crops, there was a noticeable increase in the number of monocotyledonous species, their proportion in the weed infestation and coverage of the area. Short-lived species were predominant over perennial species, and therophytes, along with hemicryptophytes, were the most numerous plant life forms.

4. The value of the Shannon-Wiener diversity index over the multiannual period remained at a fairly similar level, indicating that the diversity of the flora of the studied set of fields remained stable over time.

5. There was a decreasing trend in the Simpson dominance index over the years in question, which may be related to an increase in the intensity of the application of chemical plant protection products compared to the initial year of the study.

6. The results indicate that it is justified to continue research into the species richness and diversity of field flora of the study area to monitor the behavior of individual plant species and groups of weeds under the effect of the intensification of agriculture.

#### REFERENCES

- Baessler C., Klotz S., 2006. Effects of changes in agricultural land-use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agric. Ecosyst. Environ.* 115(1–4), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.12.007>
- Bretagnolle V., Gaba S., 2015. Weeds for bees? A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 891–909. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0302-5>
- Bomanowska A., 2006. Wybrane cechy flory segetalnej Kampinoskiego Parku Narodowego [Some features of the segetal flora of the Kampinos National Park]. *Pam. Puł.* 143, 27–35.
- Braun-Blanquet J., 1964. *Pflanzensoziologie [Phytosociology]*. Springer, Berlin–Wien–New York, pp. 631.



- Dąbkowska T., Grabowska-Orządała M., Łabza T., 2017. The study of the transformation of segetal flora richness and diversity in selected habitats of southern Poland over a 20-year interval. *Acta Agrobot.* 70(2), 1712. <https://doi.org/10.5586/aa.1712>
- Dąbkowska T., Łabza T., 2010. Gatunki z rodziny *Poaceae* w uprawach zbóż na wybranych siedliskach Polski południowej w ostatnich 25 latach (1981–2006) [Species from *Poaceae* family in cereals in selected habitats of southern Poland over the last 25 years (1981–2006)]. *Fragm. Agron.* 27(2), 47–59.
- Dąbkowska T., Łabza T., Krańska A., 2007. Zmiany we florze chwastów segetalnych w latach 1993–2005 zagrożonych na rędzinie brunatnej Wyżyny Miechowskiej [Changes of segetal weed flora in the years 1993–2005 threatened on brown rendzina of Małopolska Upland]. *Fragm. Agron.* 24(3), 55–61.
- Dąbkowska T., Sygulski P., 2013. Variations in weed flora and the degree of its transformation in ecological and extensive conventional cereal crops in selected habitats of the Beskid Wyspowy Mountains. *Acta Agrobot.* 66(2), 123–136. <https://doi.org/10.5586/aa.2013.029>
- Dostatny D.F., 2006. Zagrożenia różnorodności w zespole *Caucalido-Scandicetum* [Threats to diversity of the *Caucalido-Scandicetum* association]. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 517, 267–276.
- Fanfarillo E., Latini M., Iberite M., Abbate G., 2020. The segetal flora of Italy: an occurrence dataset from relevés in winter cereals and allied crop type. *PhytoKeys* 161, 107–118. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.161.53915>
- Falińska K., 2004. Ekologia roślin [Plant ecology]. PWN, Warszawa, pp. 512.
- Feledyn-Szewczyk B., Smagacz J., Kwiatkowski C.A., Harasim C., Woźniak A., 2020. Weed flora and soil seed bank composition as affected by tillage system in three-year crop rotation. *Agriculture* 10, 186. <https://doi.org/10.3390/agriculture1005018>
- Glemnitz M., Czimmer G., Radics L., Hoffmann J., 2000. Weed flora composition along a north-south climate gradient in Europe. *Acta Agron. Óvár.* 42(2), 155–169.
- Kapeluszny J., Haliniarz M., 2010. Ekspansywne i zagrożone gatunki flory segetalnej w środkowo-wschodniej Polsce [Expansive and threatened segetal flora species in middle-eastern Poland]. *Annales UMCS, sec. E* 65(1), 26–33. <https://doi.org/10.2478/v10081-010-0004-2>.
- Kondracki J., 2009. Geografia regionalna Polski [Regional geography of Poland]. PWN, Warszawa, pp. 444.
- Marshall E.J.P., Brown V.K., Boatman N.D., Lutman P.J., Squire G.R., Ward L.K., 2003. The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Res.* 43(2), 77–89. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x>
- Meyer S., Wesche K., Krause B., Leuschner C., 2013. Dramatic losses of specialist arable plants in central Germany since the 1950/1960s – a cross-regional analysis. *Divers. Distrib.* 19, 1175–1187. <https://doi.org/10.1111/ddi.12102>
- Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zajac A., Zajac M., 2020. Vascular plants of Poland: an annotated checklist. Instytut Botaniki PAN, Kraków, pp. 526.
- Pawłowski F., 1972. Skład i budowa zbiorowisk roślinnych oraz metody ich badania [Composition and structure of plant communities and methods of their study]. W: W. Szafer, K. Zarzycki (eds.), *Szata roślinna Polski* [Plant cover of Poland]. PWN, Warszawa, 237–269.
- Richner N., Holderegger R., Linder H.P., Walter T., 2015. Reviewing change in the arable flora of Europe: a meta-analysis. *Weed Res.* 55(1), 1–13. <https://doi.org/10.1111/wre.12123>
- Rzymowska Z., 2013. Współczesne zmiany we florze i zbiorowiskach segetalnych Podlaskiego Przełomu Bugu [Recent changes in the flora and segetal communities of the Podlaski Przełom Bugu Mesoregion (Podlasie Bug Gorge)]. *Wyd. Naukowe UPH, Siedlce*, pp. 125.
- Shannon C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Syst. Tech. J.* 27, 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>

- Simpson E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 168, 668. <https://doi.org/10.1038/163688a0>
- Soil-agricultural map at a scale 1:5000 for the village of Goszcza, 1992 [Mapa glebowo-rolnicza w skali 1:5000 dla wsi Goszcza]. Available online [https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp\\_2.html?SRS=2180&resources=map:wms@https://mapy.geoportal.gov.pl/wss/service/pub/guest/MapaGlebowoRolnicza/MapServer/WMSServer](https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp_2.html?SRS=2180&resources=map:wms@https://mapy.geoportal.gov.pl/wss/service/pub/guest/MapaGlebowoRolnicza/MapServer/WMSServer) [accessed on 21.10.2024].
- Skrajna T., 2021. Zmiany we florze segetalnej Wysoczyzny Kałuszyńskiej w okresie 25 lat [Changes in the segetal flora of the Kałuszyn Upland over a 25-year period]. Wyd. Naukowe UPH, Siedlce, pp. 144.
- Stawicka J., Szymczak-Piątek M., Wieczorek J., 2004. Wybrane zagadnienia ekologiczne [Selected ecological issues]. SGGW, Warszawa, 173–202.
- Storkey J., Meyer S., Still K.S., Leuschner C., 2012. The impact of agricultural intensification and land-use change on the European arable flora. *Proc. R. Soc. B.* 279, 1421–1429. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.1686>
- Trzcińska-Tacik H., 2003. Znaczenie różnorodności gatunkowej chwastów segetalnych [The importance of species diversity of segetal weeds]. *Pam. Puł.* 134, 253–262.
- Tyšer L., Hamouz P., Nováková K., Nečasová M., Holec J., 2009. Changes in weed communities on selected areas with 30 years' interval. *Sci. Agric. Bohem.* 40(1), 18–25.
- Zarzycki K., Trzcińska-Tacik H., Różański W., Szelaż Z., Wołek J., Korzeniak U. 2002. Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych Polski [Ecological indicator values of vascular plants of Poland]. Instytut Botaniki PAN, Kraków, pp. 183.

**Source of funding:** This work is financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Poland.

Received: 28.08.2024

Accepted: 21.11.2024

Publication: 18.03.2025



<sup>1</sup> Zakład Uprawy Roślin i Jakości Plonu, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, Czartoryskich 8, 24-100 Puławy, Polska

<sup>2</sup> Zakład Agroekologii i Ekonomiki, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, Czartoryskich 8, 24-100 Puławy, Polska

\*e-mail: [mwyzińska@iung.pulawy.pl](mailto:mwyzińska@iung.pulawy.pl)

MARTA WYZIŃSKA <sup>1\*</sup>, ADAM KLEOFAS BERBEĆ <sup>2</sup>

## Impact of sowing date and nitrogen fertilization on two cultivars of *Tritordeum* yield potential – a Polish pilot study

---

Wpływ terminu siewu i nawożenia azotem na potencjał plonowania  
dwóch odmian *Tritordeum* – polskie badania pilotażowe

**Abstract:** Agricultural production diversity is becoming a key to solve challenges of modern agriculture – including those related to climate change. The main cereals cultivated in Europe are wheat, rye and barley. One of the new cereals introduced recently into products is *Tritordeum* – a hybrid of durum wheat and a wild form of barley. It is adapted for cultivation conditions of warm and dry climate of Mediterranean. However, recent shifts in climate make it an interesting alternative also for temperate climates. It is also a response to increasing consumer demands for food of good nutritional value. A pilot study (pot experiment) on *Tritordeum* (two cultivars) yield potential under 3 increasing nitrogen fertilization rates (N1, N2 and N3) have been established in 2019–2021 in eastern Poland. *Tritordeum* cv. Bulel and *Tritordeum* cv. Aucan performance have been compared with *Triticum durum* Desf. and *Triticum aestivum* L. performance for two sowing dates – autumn and spring. The results demonstrated that the yield level of *Tritordeum* cv. Bulel was comparable to durum wheat yields. Yields of *T. aestivum* L. were higher (only by 8% for autumn sowing and approximately 43% for spring sowing). Moreover, *Tritordeum* cv. Bulel had lower yield level than *Tritordeum* cv. Aucan (by approximately 1–8%). All tested species showed good performance under medium (N2) or even low (N1) nitrogen fertilization rate. The other traits tested (number of ears, productive tillering, thousand grains weight) placed *Tritordeum* (in particular *Tritordeum* cv. Bulel) closer to *T. durum* Desf. than to *T. aestivum* L. *Triticum aestivum* L. had higher results in terms of particularly tillering rate and number of spikes per pot than other 3 tested species. *Tritordeum* has shown that it can be a promising species for cultivation under Polish conditions as its yielding potential can reach yielding potential of *T. durum* Desf. Further field studies on performance of this crop are needed.

**Keywords:** *Tritordeum*, *Triticum durum* Desf., *Triticum aestivum* ssp. *vulgare*, yielding, nitrogen fertilization

---

**Citation:** Wyzińska M., Berbeć A.K., 2024. Impact of sowing date and nitrogen fertilization on two cultivars of *Tritordeum* yield potential – a Polish pilot study. *Agron. Sci.* 79(4), 83–103. <https://doi.org/10.24326/as.2024.5443>

## INTRODUCTION

Cereal grains are an important part of the human diet. The acreage under cereals reached over 736.0 mln ha in 2020, nearly a half of all worlds croplands (1,561.6 mln ha), indicates the great economic importance of this group of crops [FAO 2022]. The first cultivated cereals can be traced back to ancient times. Broomcorn (*Panicum miliaceum* L.) was cultivated in China at least 10,000 years ago [Hunt et al. 2011]. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) was first cultivated in Latin America between 5,000 and 7,000 years ago [Khetto et al. 2022]. In the past also rye (*Secale cereale* L.), einkorn (*Triticum boeoticum* Boiss), emmer wheat (*Triticum dicoccoides* Schweinf.), wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch), and wild oats (*Avena sterilis* L.) were the important sources of food for human population [Bar-Yosef 2011]. The most important cereals globally nowadays include wheat, rice, maize, and barley. *Triticum aestivum* L. is cultivated in Europe, east Asia, India, both Americas and in Australia. In 2022, 30% of the world's cereal grain production was wheat grain [FAOSTAT 2024]. Genetically, it is a hexaploid, which was created through hybridization of tetraploid *Triticum turgidum* L. with diploid *Aegilops tauschii* Coss [Wang et al. 2013].

The main cereals cultivated in EU are wheat, rye, barley and spelt. *T. aestivum* L. is main substrate for flour and groats production. It is also widely grown as a basic agricultural feedstuff. Rye (*S. cereale* L.) is another important cereal cultivated in Europe, historically significant and still a key crop in many parts of the region [Hagenblad et al. 2016]. Spelt, a subspecies of wheat widely cultivated in Europe before 20th century, continues to be cultivated in Europe and plays an important role as a high-value niche product [Abrouk et al. 2018]. Barley (*Hordeum vulgare* L.) has been cultivated in Europe for approximately 6,000 years [Lempiäinen-Avci et al. 2018]. This cereal crop is utilized mostly as animal feed and for beer production (malting) [Gashaw 2021]. The genetic diversity present in both wild and cultivated barley offers significant potential for breeding programmes and improving crop quality [Zhang et al. 2014]. Cereal breeding is the most important factor behind the improvement of crop productivity and thus addresses the global food security challenges [Jansone et al. 2022].

Progress in cereal breeding provides new varieties that have high yield potential, are more resistant to diseases and pests. Through breeding programs, significant advancements have been made particularly by utilizing dwarf genes and exploiting heterosis [Akbar et al. 2021]. Most of the breeding programmes are resulting in increased diversity within species and new genotypes within the same species (breeding for new cultivars). It is also possible to carry out plant breeding to create new species (eg. through hybridization process). Triticale ( $\times$  *Triticosecale* Wittmack) is a cereal crop that originated from the successful hybridization of hexaploid wheat (*T. aestivum* L.) and rye (*S. cereale* L.) in 19th century [Ma and Gustafson 2006, Alvarez et al. 2021]. This novel plant, resembling a cross between wheat and rye but morphologically more similar to wheat, was one of the first successful synthetic amphiploid cereals [McGoverin et al. 2011, Góral et al. 2020]. Breeding efforts for triticale have focused on improving its adaptability to local conditions, increased yield potential, disease resistance and nutritional quality of grain. This resulted in improved importance of this cereal in Europe over the last few decades, with production area almost doubled since 2000 to almost 3.3 million ha in 2010 [Kaltsikes et al. 1984, Alvarez et al. 2021]. Currently, according to FAOSTAT [2024] 86% of *Triticale* is cultivated in Europe (3.1 mln ha), with about 1.2 mln ha under cultivation in Poland solely [GUS 2023].

Certainly a lesser-known hybrid-cereal is *Tritordeum*. The parental forms of this species are durum wheat (*Triticum durum* Desf.) and a wild form of barley (*Hordeum chilense* Roem. and Schult) [Martin and Sanchez-Mongelaguna 1981]. The crop have been developed by Spanish National Research Council in the 70s. In 2013 it was introduced to the market. *Tritordeum*, similarly to Barley, is a drought tolerant with good wateruse efficiency. This makes it a good choice for regions with limited water resources. It is adapted to dry climates, resilient to environmental changes, and have a potential for applications in the food industry, such as breadmaking and pasta production [Landolfi and Blandino 2023, Papadopoulos et al. 2023]. The grain yield of the *Tritordeum* is not as high as *Triticum* yields, however, it has higher protein content than wheat. It contains higher levels of carotenoids, arabinoxylans, and antioxidants, with lower immunotoxic peptides compared to wheat [Visioli et al. 2020, Nitride et al. 2022]. *Tritordeum* might be considered as crop adapted to organic farming conditions, as it is showing increased rhizosphere bacterial diversity and beneficial effects on plant growth. Bread made from *Tritordeum* is of yellow colour, has fewer immunogenic epitopes than wheat, making it a potential alternative for those wishing to reduce gluten intake without compromising gut health [Haro et al. 2022]. *Tritordeum* is one of the plants where both the parental forms and the resulting hybrid are best adapted to the warm and fairly dry Mediterranean climate. It seems that, due to the climate changes taking place, there is also the possibility of cultivating this species in Poland. *Tritordeum* grain has high nutritional value, which is related to the absence of allergenic proteins and its increased lutein content.

To date, there are no scientific results on the possibility of cultivating *Tritordeum* under Polish climate conditions. Therefore, the yield potential of this cereal under Polish conditions is not known. Information on this subject can be gleaned from research results obtained under similar climatic conditions to Poland. Although *Tritordeum* is considered a thermophilic crop and is grown as a spring crop, it can also be cultivated as winter crop (under favourable conditions). In a study carried out by Martinek et al. [2003] *Tritordeum* was cultivated under central European climate conditions. A good winter hardiness and higher grain yields were found for autumn sowing of this species compared to spring sowing. The authors state that this may have been due to a mild winter and favourable staggering conditions, as well as better water supply for plants sown in autumn. The yield of plants sown in spring was 1.4–2.44 t ha<sup>-1</sup>, with a yield of 2.04–3.92 t ha<sup>-1</sup> of winter crops. As shown in the study by Vaquero et al. [2018], yielding potential of *Tritordeum* can be higher and range from 4.0 t ha<sup>-1</sup> to 5.5 t ha<sup>-1</sup>. Such research results give reason to believe that there is a possibility of growing *Tritordeum* in Poland.

Currently, there are no cultivated varieties of *Tritordeum* listed in the register of the Central Plant Variety Testing Centre, as well as in the Community Catalogue of Agricultural Varieties (CCA). Two cultivars are registered with the Community Plant Variety Office (CPVO): Aucan (in 2010) and Bulel (in 2015). A further 12 genetic lines are candidates for variety registration; and in 2018 they were tested in field trials [Różewicz and Wyzińska 2021].

The aim of the study was to assess the possibility of growing two *Tritordeum* cultivars in Poland under autumn and spring sowing conditions, as well as to evaluate the production potential of this species at different nitrogen fertilization rates with comparison to *T. aestivum* L. and *T. durum* Desf.

## MATERIAL AND METHODS

The study was carried out in 2019–2021 with harvest in 2020 and 2021 as two two-factor pot experiments, using the independent series method. Experiments were located in the Vegetation Hall belong to the Institute of Soil Science and Plant Cultivation – State Research Institute in Puławy (51.413, 21.965). Mitscherlich pots were used in four replicates per test object. The first experiment used an autumn sowing date for two *Tritordeum* cultivars and the second a spring sowing date. In both experiments, the first order factor was the nitrogen rate. Three levels of nitrogen fertilization were considered: N1 – 1.2 g N per pot; N2 – 2.4 g N per pot; N3 – 3.6 g N per pot. In both experiments, the second order factor was the cereal species. In the first experiment these were: 1) *T. durum* – Metis (winter form), 2) *Tritordeum* – Aucan cultivar, 3) *Tritordeum* – Bulel cultivar, 4) *T. aestivum* L. – Plejada cultivar (winter form). On the other hand, for the second experiment the following were selected: 1) *T. durum* Desf. – SMH 87 cultivar (spring form), 2) *Tritordeum* – Aucan cultivar, 3) *Tritordeum* – Bulel cultivar, 4) *T. aestivum* L. – Rusalka cultivar (spring form). The pots were filled with 7 kg of pseudo-polylic soil. Nitrogen was given in the form of  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , applying  $\frac{1}{2}$  dose before sowing and  $\frac{1}{2}$  dose at the stalk shooting stage. Fertilization with other nutrients was:  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 2.52 g per pot in the form of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  – 2.04 g per pot in the form of  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , Mg – 0.5 g per pot in the form of  $\text{MgSO}_4$ . In addition, iron (50 mg per pot), boron (5 mg per pot), manganese (3 mg per pot) and copper (3 mg per pot) were added to the soil substrate. The moisture content of the substrate was maintained throughout the growing season at 60% of the field water capacity. Moisture was controlled by gravimetric method, with pot weighting prior to watering (irrigation) to calculate the difference between the current weight and the target weight. Monthly temperatures during vegetation were, generally higher than average for 1981–2020, which seems to be a new reality in Poland nowadays (Tab. 1). Harvest was done at full maturity. After harvest, grain yield and yield structure elements (spikes per pot, tillering rate, thousand grain weight) were determined.

Table 1. Temperature (°C) in the experiment hall during the growing seasons of the study

| Month     | 2019/2020 | 2020/2021 | 1981–2020 average |
|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| September | 14.4      | 14.9      | 13.3              |
| October   | 10.8      | 10.4      | 8.0               |
| November  | 6.4       | 5.1       | 2.7               |
| December  | 3.1       | 1.7       | –1.4              |
| January   | 1.7       | –1.4      | –3.3              |
| February  | 3.4       | –2.7      | –2.3              |
| March     | 4.7       | 2.8       | 1.6               |
| April     | 8.9       | 6.9       | 8.7               |
| May       | 11.9      | 12.9      | 14.5              |
| June      | 19.1      | 20.0      | 17.2              |
| July      | 19.3      | 22.2      | 19.5              |
| August    | 20.3      | 17.1      | 17.8              |

Statistical comparison was done on a basis of analysis of variance ANOVA with post-hoc Tukey test at  $p \leq 0.05$ . Results were statistically processed with Statistica ver. 13.1 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA)

## RESULTS AND DISCUSSION

### Yields

In 2020, for autumn-sown cereals, *T. aestivum* L. yields (average of the 3 tested fertilization levels) were higher than those of the 3 other tested cereals. As a result of the weather pattern in 2021 (January 2021) *Tritordeum* sown in the autumn (both cultivars) did not survive the winter, and therefore no results are available for this species for 2021. No yield differences were observed between *T. durum* Desf. and *T. aestivum* L. for autumn sowing in 2021, while *T. aestivum* L. was significantly higher yielded when sown in spring (Tab. 2). Gallardo and Fereres [1993] found *Tritordeum* yields in Spain to be at the 23–53% of *T. durum* Desf. and *T. aestivum* L. yields. Suchowilska et al. [2021] found *Tritordeum* yields in Poland at a level of about 50% of *T. durum* Desf. This was not confirmed in the present study, where *Tritordeum* cv. Bulel (B) yielded generally at same level as *T. durum* Desf. and at 57–94% of *T. aestivum* L. yields. *Tritordeum* cv. Aucan (A) yields in the present study were at similar level and reached approximately 55–92% of *T. aestivum* L. yield potential. The reason behind lower levels of yield gap between *Tritordeum* and wheat may be due to scale of experiment (field experiment in Suchowilska et al. [2021] experiment vs. pot experiment in present study) and different set of cultivars tested. Currently, the global share of arable land suitable for durum wheat is 13%. Ongoing climate change could reduce this area by 19% by mid-century, and almost by half (48%) by the end of the century. On the other hand, the ongoing climate change may create favorable climate conditions for durum wheat cultivation in many areas of central and western Europe [Ceglar et al. 2021]. In Poland, such changes are visible and creating increasingly better conditions for the cultivation and breeding of pasta (durum) wheat. Compared to common wheat, yields of durum wheat are relatively resilient for drought occurring during the ripening period [Makowska et al. 2008, Harasim 2018]. In a study by Rachoń et al. [2022], the winter form of durum wheat (cv. Lapidur) yielded significantly lower than common wheat varieties. The same relationship was found for the spring form (cv. Floradur and cv. Haristide) of *T. durum* Desf. Yields of durum wheat were about 1 t ha<sup>-1</sup> lower than yields of common wheat. However, durum wheat flour has a different quality and its unique qualities make it perfect for pasta production.

Kakabouki et al. [2020] tested same *Tritordeum* cultivars as in present study (Bulel and Aucan) under mediterranean conditions and found yields of both varieties to be at the same level. However, in our own research yields of Bulel and Aucan differed significantly for spring sowing dates. Moreover, authors found yields of *Tritordeum* to be at a level of about 47–79% of yield potential of *T. aestivum* L. (lower yield potential than in present study).

Table 2. Grain yield ( $\text{g pot}^{-1}$ ) of tested crop species in 2020 and 2021 – mean for tested species (all N-levels combined)

| Harvest year | Sowing date | <i>T. durum</i> Desf. | <i>Tritordeum</i> cv. Aucan | <i>Tritordeum</i> cv. Bulel | <i>T. aestivum</i> L. |
|--------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 2020         | autumn      | 36.137 <sup>b</sup>   | 35.922 <sup>b</sup>         | 36.892 <sup>b</sup>         | 39.163 <sup>a</sup>   |
|              | spring      | 23.528 <sup>b</sup>   | 17.566 <sup>c</sup>         | 21.543 <sup>b</sup>         | 31.602 <sup>a</sup>   |
| 2021         | autumn      | 44.438 <sup>a</sup>   | n.d.                        | n.d.                        | 45.22 <sup>a</sup>    |
|              | spring      | 28.00 <sup>b</sup>    | 20.250 <sup>c</sup>         | 20.450 <sup>b</sup>         | 35.720 <sup>a</sup>   |

Different lowercase letters indicate significant differences between crop species at  $p \leq 0.05$

n.d. – no data

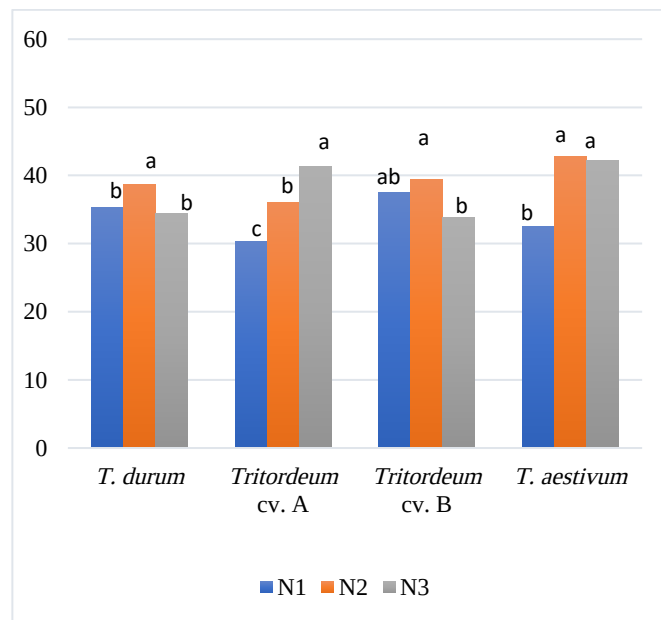
In 2020, the highest yielding *T. aestivum* L., had statistically significant reaction to N fertilization rate. Research has shown that N2 and N3 fertilization resulted in a significant increase in yield to about  $41 \text{ g pot}^{-1}$  compared to fertilization with N1 (about  $32 \text{ g pot}^{-1}$ ). For *Tritordeum*, the yield response to nitrogen fertilization was different for cultivar A and for cultivar B: *Tritordeum* A yielded the highest for N3 fertilization ( $41 \text{ g pot}^{-1}$ ) and *Tritordeum* B yielded highest for N2 fertilization ( $39 \text{ g pot}^{-1}$ ). For *T. durum* Desf., the highest yields were observed for N2 fertilization. Among of the tested species, a progressive increase in yield with increasing nitrogen fertilization rate was evident particularly for *Tritordeum* cv. A for which an increase in fertilization from N1 to N3 resulted in a yield increase of about 30%. The results also indicate a general trend of high yields already for N2 fertilization for most of the plants tested, with the exception of *Tritordeum* cv. A (Fig. 1).

Different nitrogen fertilization rate resulted in different yields of durum wheat and common wheat in 2021: nitrogen fertilization at N2 and N3 levels gave a significant yield increase compared to N1 levels. The results indicate that nitrogen fertilization above the N2 level is not justified, as it did not give a significant yield increase (Fig. 1).

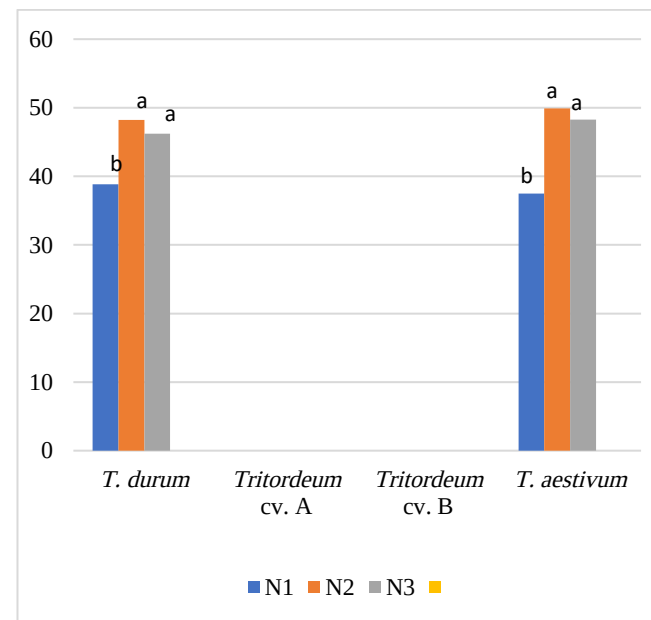
Tested spring sown cereals, in general, had lower levels of yields than autumn-sown cereals. On the other hand, *Tritordeum* sown in autumn 2020 (harvested in 2021) had significant frost damage which resulted in total crop failure. Crop failure was due to drop of temperature to about  $-20^{\circ}\text{C}$  for few days. Interestingly, at the same time, same *Tritordeum* cultivars were cultivated in field conditions (unpublished results of Authors studies) and no frost damage was recorded. The risk of frost damage was much higher at pot trials, where crop roots were not protected from frost by snow.

In 2020, similarly to autumn-sown cereals, spring-sown *T. aestivum* L. had the highest yields (average for the 3 tested fertilization levels of about  $32 \text{ g per pot}$ ). The second highest yielded in 2020 was *Tritordeum* cv. B and *T. durum* Desf. (yields level of approximately  $22 \text{ g pot}^{-1}$ ) – Table 2. Interestingly, for spring cereals harvested in 2020, there is a clear trend towards high yields with N1 fertilization rate. The highest yields with N1 fertilization were recorded for *T. aestivum* L., *T. durum* Desf. and *Tritordeum* cv. B. For *Tritordeum* cv. A, the highest yields were recorded for the N2 fertilization level (Fig. 1).





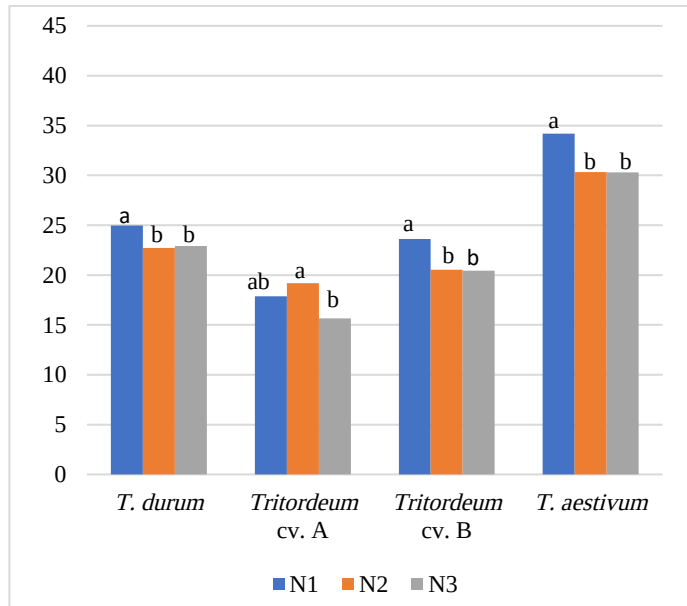
2020



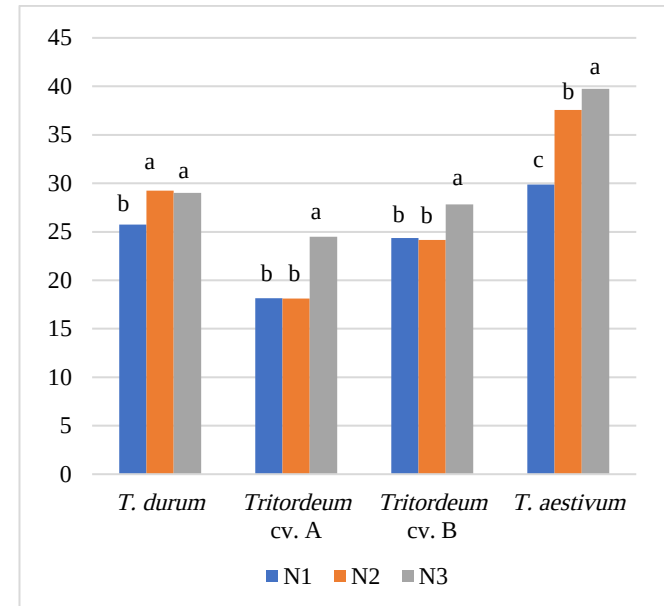
2021

Different lowercase letters indicate significant differences between fertilization levels

Fig. 1. Grain yield (g pot<sup>-1</sup>) of tested cereal species sown in autumn fertilized with different nitrogen rates



2020



2021

Different lower-case letters indicate significant differences between fertilization levels

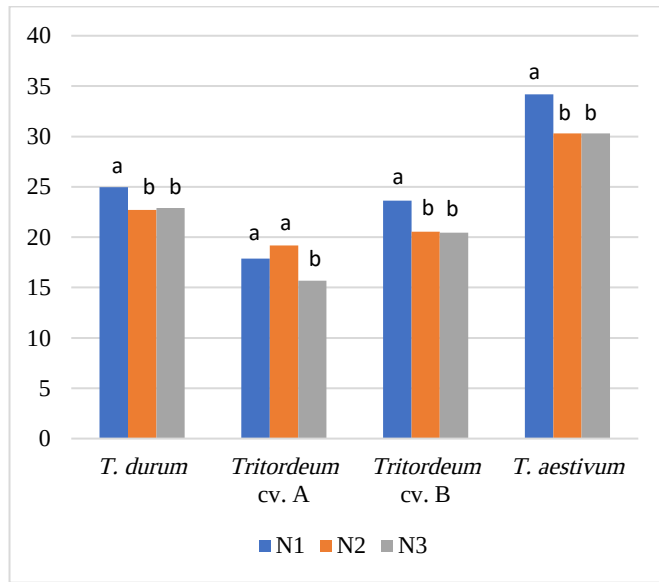
Fig. 2. Grain yield (g pot<sup>-1</sup>) of tested cereal species sown in spring fertilized with different nitrogen rates

Average performance of tested spring-sown cereals in terms of their yields was similar in 2020 and 2021, – with the highest level of yields recorded for *T. aestivum* L. in both years of the study (approx. 32 g pot<sup>-1</sup> and 35 g pot<sup>-1</sup>, respectively), followed by *T. durum* Desf. and *Tritordeum* cv. B while *Tritordeum* cv. A yields were the lowest among all four tested cereals in 2020 and in 2021 (approx. 18 g pot<sup>-1</sup> and 20 g pot<sup>-1</sup>, respectively). In 2021, higher doses of nitrogen fertilization resulted in progressive yield increase especially for *T. aestivum* L., with the highest yields obtained for N3 fertilization rate (40 g pot<sup>-1</sup>). Both tested cultivars of *Tritordeum* reacted positively in terms of yield increase for N3 fertilization, while yield increase for *T. durum* Desf. was the same for N2 and N3 fertilization rate (Fig. 2). In the study of Folina et al. [2020] cv. Bulel *Tritordeum* under NPK mineral fertilization reacted in significant (48%) increase in yield (compared to control with no fertilization), while natural fertilization with compost and manure resulted in lower yield increase of 14% and 19% respectively. Significance of nitrogen fertilization impact on crop yields is well known, and multiple studies have confirmed higher doses of nitrogen positively impacts yields. This was also confirmed for *T. durum* Desf., species closely related to *Tritordeum* [Tedone et al. 2014, Ayadi et al. 2015, Galieni et al. 2016].

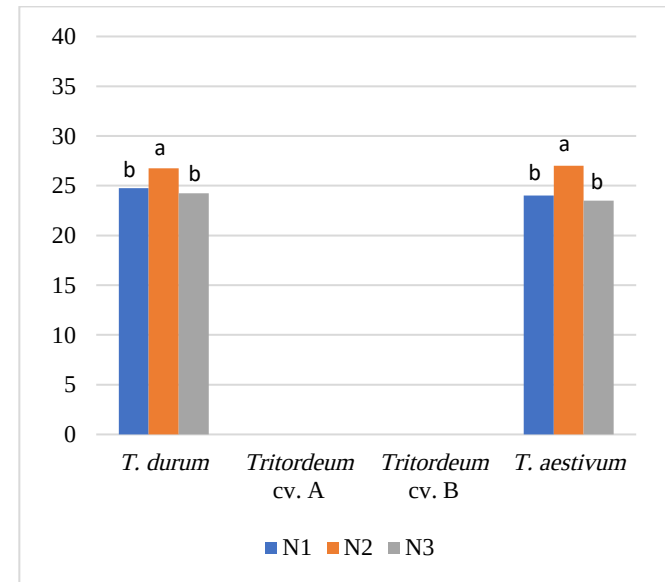
### Spikes per pot

Differences in the number of spikes (ears) per pot were evident for the species tested. In general, *T. aestivum* L. had the highest number of spikes in both 2020 and 2021, and for both autumn-sown and for spring sown crops. The only exception was 2021, where for autumn sown cereals there was no difference observed between *T. aestivum* L. and *T. durum* Desf. (both tested *Tritordeum* cultivars froze). The second highest number of ears were observed for *T. durum* Desf. and *Tritordeum* cv. Bulel for both spring and autumn sowing dates. For cereals sown in spring 2021, the second highest number of ears per pot was recorded for *Tritordeum* cv. B (Tab. 3). Montesano et al. [2021], on a basis of comparison of 5 lines of *Tritordeum* and one *T. durum* Desf. cultivar, found number of spikes of *T. durum* Desf. to be at similar level as of most *Tritordeum* lines. However, study also found one line of *Tritordeum* with significantly lower and one with significantly higher number of spikes than *Tritordeum*, which can indicate number of spikes are strongly dependent on plant genotype.

The nitrogen fertilization rate had a significant effect on the number of ears. For species sown at the autumn sowing date and harvested in 2020, higher fertilization rates resulted in a reduction in the number of ears per pot. On the other hand, autumn-sown cereals harvested in 2021 (*T. aestivum* L. and *T. durum* Desf.) showed a significant increase in the number of ears per pot for the N2 fertilization level (with no data for *Tritordeum*). For cereals sown at the spring sowing date, the fertilization level had different effects on the different species. For *Tritordeum* cv. A and *Tritordeum* cv. B, a decrease in the number of ears per pot for the N3 application rate was observed in 2020 (appropriately 19.5 and 21.5 ears). In 2021, *Tritordeum* cv. A responded with a decrease in the number of ears per pot only for the N2 fertilization rate (23 ears). For *Tritordeum* cv. B, in 2021, no response of this species to nitrogen fertilization (in terms of number of ears) was observed at the spring sowing date. Spring sown *T. aestivum* L. responded with an increase in ear number with increasing fertilization levels in 2021, and the highest number of ears for N2 fertilization in 2020 (Tab. 3, Fig. 3 and 4).



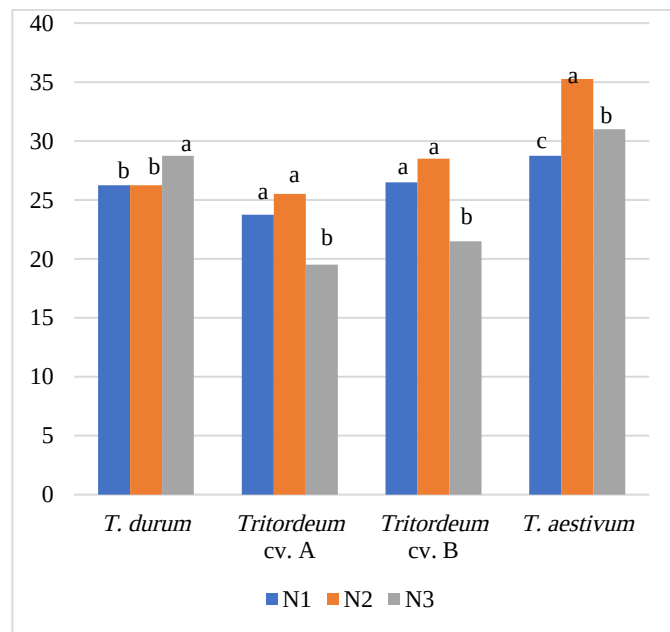
2020



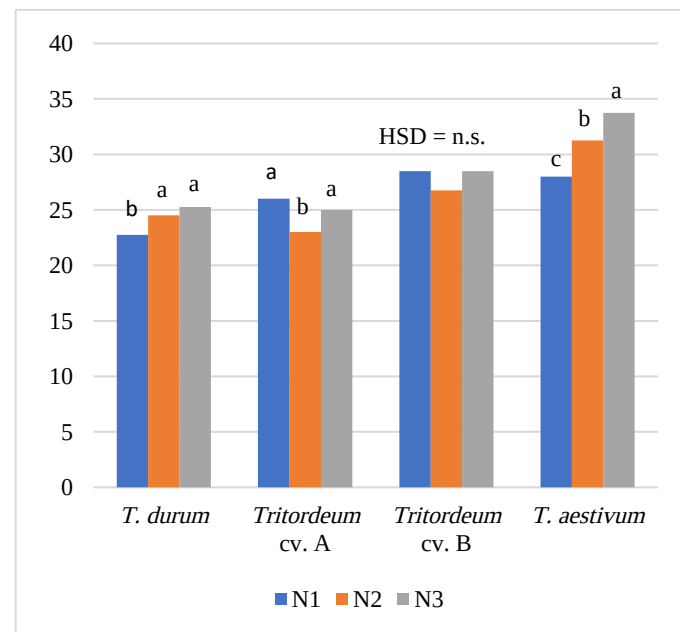
2021

Different lowercase letters indicate significant differences between fertilization levels

Fig. 3. Number of spikes (ears) per pot of tested cereal species sown in autumn fertilized with different nitrogen rates



2020



2021

Different lowercase letters indicate significant differences between fertilization levels.

Fig. 4. Number of spikes (ears) per pot of tested cereal species sown in spring fertilized with different nitrogen rates

Table 3. Number of spikes per pot of tested cereal species depending of sowing date

| Harvest year | Sowing date | <i>T. durum</i> Desf. | <i>Tritordeum</i> cv. Aucan | <i>Tritordeum</i> cv. Bulel | <i>T. aestivum</i> L. |
|--------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 2020         | autumn      | 23.527 <sup>b</sup>   | 17.566 <sup>c</sup>         | 21.543 <sup>b</sup>         | 31.602 <sup>a</sup>   |
|              | spring      | 27.083 <sup>b</sup>   | 22.916 <sup>c</sup>         | 25.500 <sup>bc</sup>        | 30.666 <sup>a</sup>   |
| 2021         | autumn      | 25.25                 | n.d.                        | n.d.                        | 24.833                |
|              | spring      | 24.166 <sup>c</sup>   | 24.666 <sup>c</sup>         | 27.916 <sup>b</sup>         | 31.000 <sup>a</sup>   |

Different lowercase letters indicate significant differences between crop species at  $p \leq 0.05$   
n.d. – no data

### Productive tillering coefficient

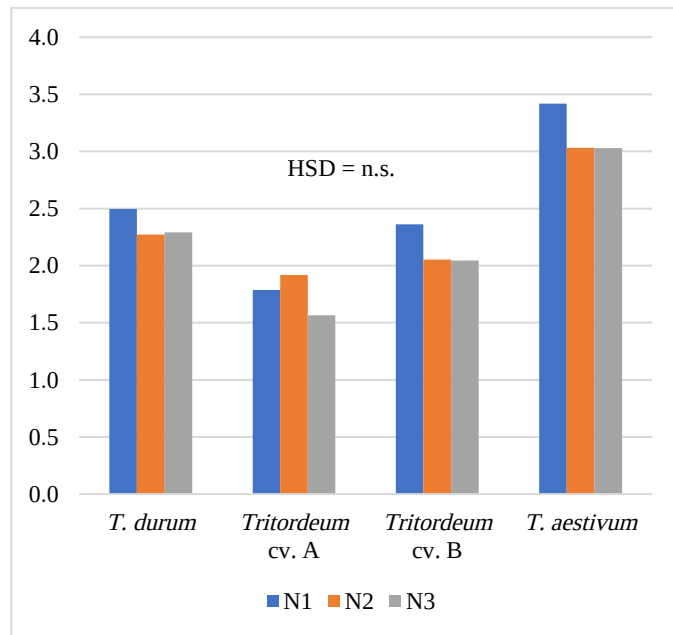
Some differences were observed between the species tested in terms of productive tillering coefficient. It was the highest for *T. aestivum* L. for both sowing dates (autumn and spring) with the exception of the autumn sowing date of 2021, where no differences were observed between *T. aestivum* L. and *T. durum* Desf. (both *Tritordeum* varieties froze). The tillering rate for winter wheat reached a value of approx. 3 (Tab. 4). Kakabouki et al. [2020] found tillering rate of *Tritordeum* cv. Bulel significantly higher than *Tritordeum* cv. Aucan. In the present study, this was only confirmed for 2020 and autumn date of sowing. Authors [Kakabouki et al. 2020], also found *Tritordeum* cv. Bulel to have higher rate of tillering than *T. aestivum* L., which wasn't confirmed in the present study. Studies found, that nitrogen deficiency in winter wheat is associated with a reduced rate of leaf appearance and tiller growth, while an increase in nitrogen application rate increases tiller density and reduces tiller mortality [Yang et al. 2019].

Fertilization rate, in most cases, had no effect on crop tillering rate. The only differences in tillering rate were recorded for spring *T. aestivum* L. In 2020, increasing the fertilization rate to N2 resulted in an increase in productive tillering to a level of 3.5., while in 2021, fertilization at the N3 rate resulted in a similar increase in productive tillering (to about 3.5) – Figures 5 and 6.

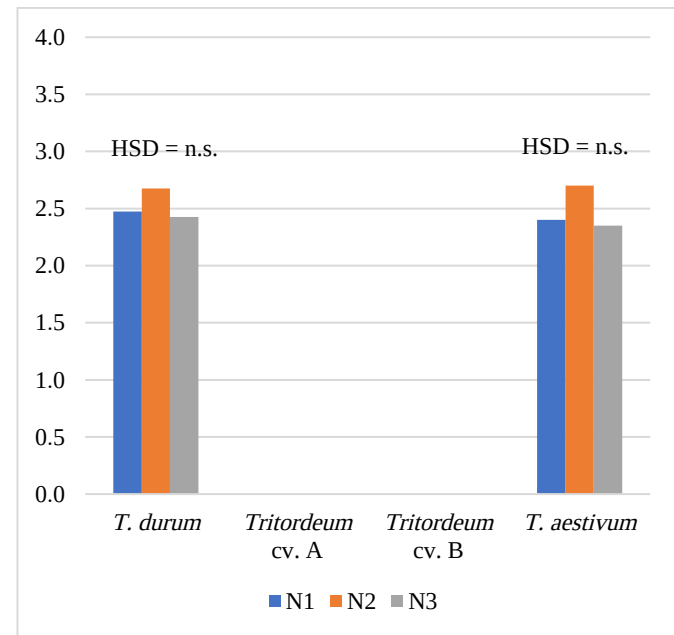
Table 4. Productive tillering coefficient of tested cereal species depending on sowing date

| Harvest year | Sowing date | <i>T. durum</i> Desf. | <i>Tritordeum</i> cv. Aucan | <i>Tritordeum</i> cv. Bulel | <i>T. aestivum</i> L. |
|--------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 2020         | autumn      | 2.353 <sup>b</sup>    | 1.756 <sup>c</sup>          | 2.154 <sup>b</sup>          | 3.160 <sup>a</sup>    |
|              | spring      | 2.708 <sup>b</sup>    | 2.291 <sup>b</sup>          | 2.550 <sup>b</sup>          | 3.166 <sup>a</sup>    |
| 2021         | autumn      | 2.525                 | n.d.                        | n.d.                        | 2.483                 |
|              | spring      | 2.416 <sup>b</sup>    | 2.466 <sup>b</sup>          | 2.791 <sup>b</sup>          | 3.100 <sup>a</sup>    |

Different lowercase letters indicate significant differences between crop species at  $p \leq 0.05$   
n.d. – no data



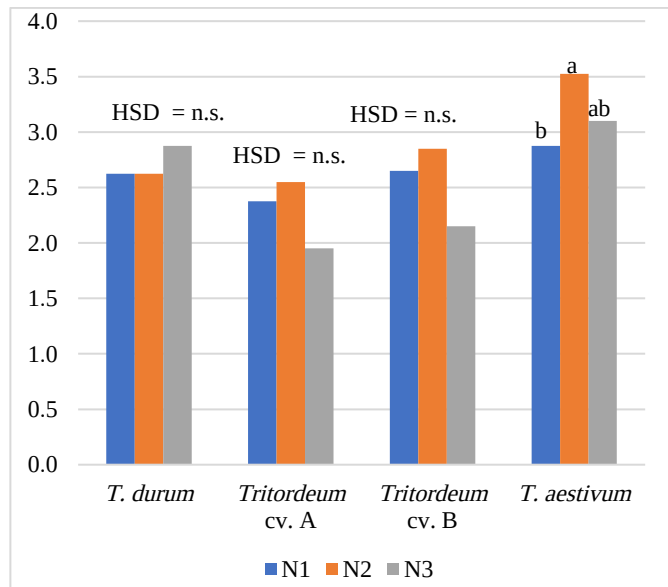
2020



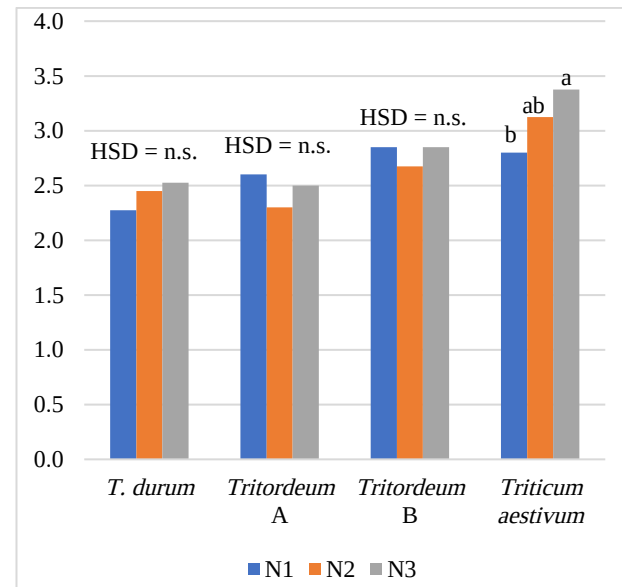
2021

Different lowercase letters indicate significant differences between fertilization levels

Fig. 5. Productive tillering coefficient of tested cereal species sown in autumn fertilized with different nitrogen rates



2020



2021

Different lowercase letters indicate significant differences between fertilization levels

Fig. 6. Productive tillering coefficient of tested cereal species sown in spring fertilized with different nitrogen rates



### Thousand grain weight

The thousand grain weight for the tested cereals sown in the autumn was significantly the lowest for *Tritordeum* cv. A in 2020. There was no differences between crop species in 2021. For spring-sown cereals, the lowest thousand-grain weight was recorded for *Tritordeum* cv. B, both in 2020 and 2021 (28.473 g and 29.406 g) – Table 5.

Table 5. Thousand grain weight of tested cereal depending on sowing date

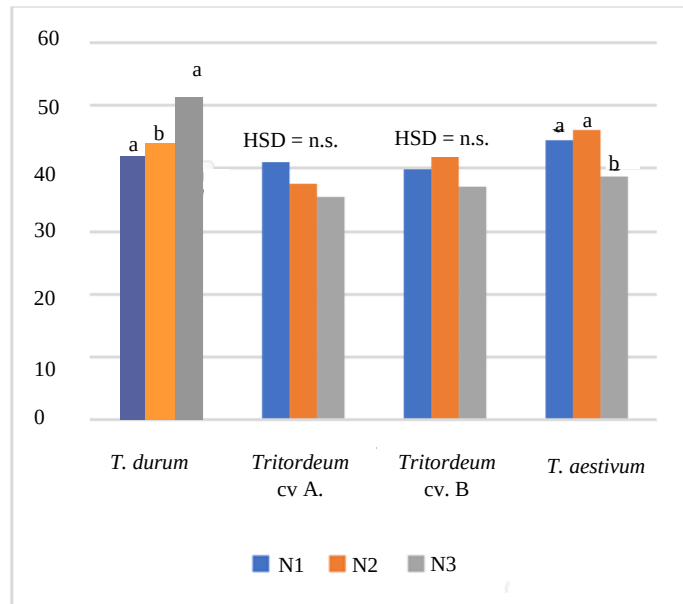
| Harvest year | Sowing date | <i>T. durum</i> Desf. | <i>Tritordeum</i> cv. Aucan | <i>Tritordeum</i> cv. Bulel | <i>T. aestivum</i> L. |
|--------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 2020         | autumn      | 44.724 <sup>a</sup>   | 37.965 <sup>b</sup>         | 39.727 <sup>ab</sup>        | 43.039 <sup>a</sup>   |
|              | spring      | 30.753 <sup>b</sup>   | 32.793 <sup>a</sup>         | 28.473 <sup>c</sup>         | 31.487 <sup>ab</sup>  |
| 2021         | autumn      | 43.648                | n.d.                        | n.d.                        | 44.747                |
|              | spring      | 37.106 <sup>a</sup>   | 30.911 <sup>bc</sup>        | 29.406 <sup>c</sup>         | 33.206 <sup>b</sup>   |

Different lowercase letters indicate significant differences between crop species at  $p \leq 0.05$

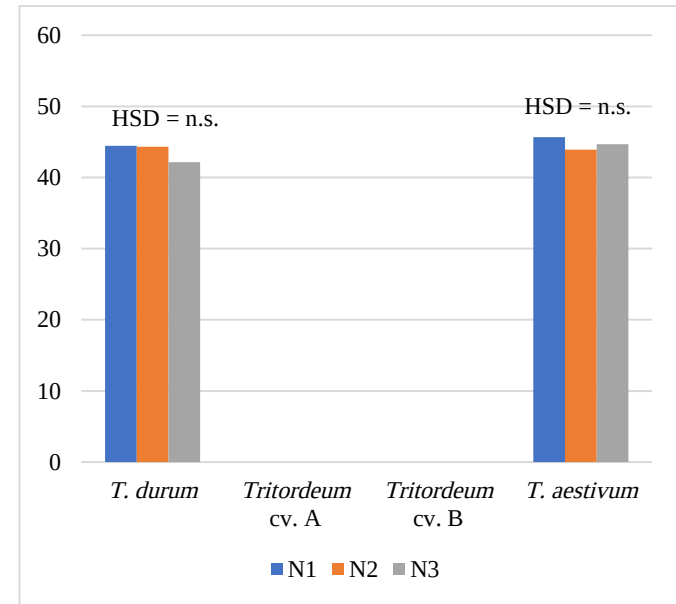
n.d. – no data

Different levels of fertilization had an effect on some of the species tested. For the autumn sowing date, in 2020, thousand grain weight increased significantly with increasing fertilization for *T. durum* Desf., while fertilization at the N3 level caused a significant reduction in thousand grain weight for *T. aestivum* L. (Fig. 7). For the spring sowing date, in 2020 only *Tritordeum* cv. A showed a decrease in thousand grain weight at increased fertilization level N2. In 2021, the same variety of *Tritordeum* showed an increase in thousand grain weight for fertilization levels of N2 and N3. Spring common wheat harvested in 2021 fertilized with higher doses of nitrogen (N2 fertilization level) had higher thousand grain mass than N1 and N3 nitrogen fertilization rates (Fig. 8). Kakabouki et al. [2020] tested different genotypes of *Tritordeum* for their thousand grain mass. Authors found *Tritordeum* cv. Aucan thousand grain mass to be significantly greater than *Tritordeum* cv. Bulel's in both years of the study (31.4 g and 28.5 g in 2019 and 31.3 and 28.7 in 2020 respectively). Therefore, the level of thousand grain mass for both *Tritordeum* cultivars found by autor was at similar level as in present study. On the other hand, study by Montesano et al. [2021] showed thousand grains mass able to reach 33.8 g–38.2 g depending on *Tritordeum* genotype.

Folina et al. [2020] found *Tritordeum* cv. Bulel 1000 grain weight to significantly increase under mineral fertilization with NPK (increase from 27.5 g to 31.9 g), compost fertilization (increase to 29 g) and manure fertilization (29.8 g). Therefore, mass of thousand grains of *Tritordeum* cv. Bulel fertilized with NPK found by authors was at lower level as *Tritordeum* cv. Bulel sown in autumn thousand grain mass found in present study (39.7 g) and on slightly higher level than for spring *Tritordeum* cv. Bulel (28.5 g in 2020 and 29.4 g in 2021).



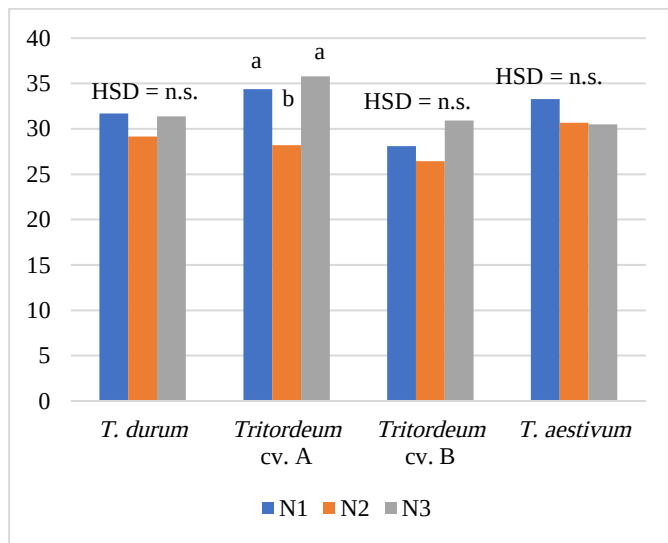
2020



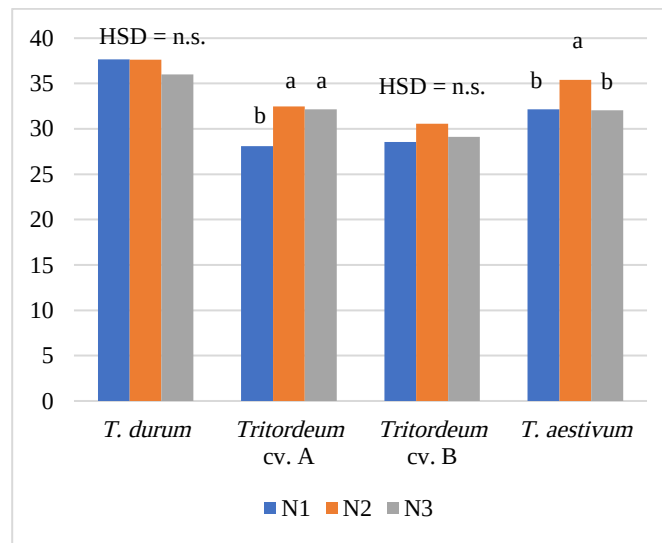
2021

Different lowercase letters indicate significant differences between fertilization levels

Fig. 7. Thousand grain weight of tested cereal species sown in autumn and fertilized with different nitrogen



2020



2021

Different lowercase letters indicate significant differences between fertilization levels

Fig. 8. Thousand grain weight of tested cereal species sown in spring and fertilized with different nitrogen

## CONCLUSIONS

The results of the pot experiment on the yield and some traits of the two *Tritordeum* hybrid varieties in relation to the two dominant wheat species in Poland: common wheat (*T. aestivum* L.) and durum wheat (*T. durum* Desf.), showed the yield level of *Tritordeum*, particularly *Tritordeum* cv. Bulel, was similar to that of *T. durum* Desf., while the yields of *T. aestivum* L. were at higher level (8% for autumn sowing and about 43% for spring sowing). Moreover, *Tritordeum* cv. Bulel, showed a slightly lower yield level than cv. Aucan (by about 1–8%).

The other traits tested (number of ears, productive tillering, thousand grains weight) placed *Tritordeum* (in particular *Tritordeum* cv. Bulel) closer to *T. durum* Desf. than to *T. aestivum* L. The latter showed higher results in terms of particularly tillering rate and number of spikes per pot. This shows, that, under Polish climate conditions (moderate climate), yields of *Tritordeum* (sown in autumn) can match-up yields of *T. durum* Desf., and be very close to *T. aestivum* L. performance. Moreover, there is a risk of frost damage to *Tritordeum* sown in autumn – which has occurred in pots. The performance of *Tritordeum* should be further tested, as currently climate of Poland is quickly shifting towards warmer climate zones. Study found, to no surprise, that nitrogen fertilization stimulates yields. However, the optimal level of fertilization depends on the species, cultivar, which also demonstrates the importance of conducting fertiliser trials to optimise the economic effects (applying only as much fertiliser as necessary) of cultivation.

## REFERENCES

- Abrouk M., Stritt C., Müller T., Keller B., Roulin A., Krattinger S.G., 2018. High-throughput genotyping of the spelt gene pool reveals patterns of agricultural history in Europe. *bioRxiv*, 481424. <https://doi.org/10.1101/481424>
- Akbar A., Ahmed A., Ahmed Z., Liaqat S., 2021. Physicochemical, rheological, and sensory evaluation of selected pa-kistani wheat varieties. *J. Food Process. Preserv.* 46(1), e16174. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16174>
- Alvarez J.M., Martínez E., Diezma B., 2021. Application of hyperspectral imaging in the assessment of drought and salt stress in magneto-primed triticale seeds. *Plants* 10(5), 835. <https://doi.org/10.3390/plants10050835>
- Ayadi S., Karmous C., Chamekh Z., Hammami Z., Baraket M., Esposito S., Rezgui S., Trifa Y., 2015. Effects of nitrogen rates on grain yield and nitrogen agronomic efficiency of durum wheat genotypes under different environments. *Ann. Appl. Biol.* 168(2), 264–273. <https://doi.org/10.1111/aab.12262>
- Bar-Yosef O., 2011. Climatic fluctuations and early farming in west and east asia. *Curr. Anthropol.* 52(S4), S175–S193. <https://doi.org/10.1086/659784>
- Ceglar A., Toreti A., Zampieri M., Royo C., 2021. Global loss of climatically suitable areas for durum wheat growth in the future. *Environ. Res. Lett.* 16, 104049, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac2d68>
- FAO, 2022. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc2211en>
- FAOSTAT, 2024. FAOSTAT data portal, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [access: 17.04.2024].

- Folina A., Kakabouki I., Kontonasaki E., Karydogianni S., Voskopoulos D., Beslemes D.F., Bilalis D., 2020. Effect of organic and inorganic fertilization on yield and quality traits of tritordeum, 'Bulel' variety under dry conditions in Greece. *Bull. Univ. Agric. Sci. Vet. Med. Cluj-Napoca, Hortic.* 77(2). <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:2020.0056>
- Galieni A., Stagnari F., Visioli, G. Marmioli N., Specia S., Angelozzi G., D'Egidio S., Pisante M., 2016. Nitrogen fertilization of durum wheat: a case study in mediterranean area during transition to conservation agriculture. *Ital. J. Agron.* 11(1), 12–23. <https://doi.org/10.4081/ija.2016.662>
- Gallardo M., Fereres E., 1993. Growth, grain yield and water use efficiency of tritordeum in relation to wheat. *Eur. J. Agron.* 2(2), 83–91. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(14\)80137-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(14)80137-8)
- Gashaw A., 2021. Review on structure, functional and nutritional composition of barley (*Hordeum vulgare*). *J. Nutr. Food Process.* 4(2). <https://doi.org/10.31579/2637-8914/046>
- GUS, 2023. Główny Urząd Statystyczny. *Rocznik statystyczny rolnictwa 2023 [Statistical Yearbook of Agriculture 2023]*. Warszawa, Poland.
- Góral H., Kosmala A., Walczak M., 2020. Evaluation of tritordeum's adaptability and grain quality in diverse environments. *J. Agron. Crop Sci.* 206(5), 623–634. <https://doi.org/10.1111/jac.12400>
- Hagenblad J., Oliveira H.R., Forsberg N., Leino M.W., 2016. Geographical distribution of genetic diversity in secale landrace and wild accessions. *BMC Plant Biol.* 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0710-y>
- Harasim E., 2018. Studia nad plonowaniem, jakością ziarna i opłacalnością produkcji ozimej formy pszenicy zwyczajnej i twardej. Monografie i rozprawy naukowe IUNG-PIB, 60.
- Haro C., Guzmán-López M. H., Marín-Sanz M., Sánchez-León S., Vaquero L., Pastor J., Comino I., Sousa C., Vivas S., Landa B.B., Barro F., 2022. Consumption of tritordeum bread reduces immunogenic gluten intake without altering the gut microbiota. *Foods* 11(10), 1439. <https://doi.org/10.3390/foods11101439>
- Hunt H.V., Campana M.G., Lawes M.C., Park Y., Bower M.A., Howe C.J., Jones M.K., 2011. Genetic diversity and phylogeography of broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) across eurasia. *Mol. Ecol.* 20(22), 4756–4771. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294x.2011.05318.x>
- Jansone Z., Bleidere M., Dinaburga G., 2022. Application of ground-based high-throughput phenotyping platforms in cereal breeding – a review. *Research for Rural Development 2022: Annual 28th International Scientific Conference Proceedings.* <https://doi.org/10.22616/rrd.28.2022.003>
- Kakabouki I., Beslemes D.F., Tigka E.L., Folina A., Karydogianni S., Zisi C., Papastylianou P., 2020. Performance of six genotypes of tritordeum compare to bread wheat under east mediterranean condition. *Sustainability* 12(22), 9700. <https://doi.org/10.3390/su12229700>
- Kaltsikes P.J., Gustafson J.P., Lukaszewski A.J., 1984. Chromosome engineering in triticale. *Can. J. Genet. Cytol.* 26(2), 105–110. <https://doi.org/10.1139/g84-018>
- Kheto A., Joseph D., Islam M., Dhua S., Das R., Kumar Y., Vashishth R., Sharanagat V.S., Kumar K., Nema P.K., 2022. Microwave roasting induced structural, morphological, antioxidant, and functional attributes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *J. Food Process. Preserv.* 46(5). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16595>
- Landolfi V., Blandino M., 2023. 2.07 – Minor cereals and new crops: Tritordeum. In: P. Ferranti (red.), *Sustainable Food Science – A Comprehensive Approach*, Elsevier, pp. 83–103. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823960-5.00023-8>
- Lempiäinen-Avcı M., Lundström M., Huttunen S., Leino M.W., Hagenblad J., 2018. Archaeological and historical materials as a means to explore Finnish crop history. *Environ. Archaeo.* 25(1), 37–52. <https://doi.org/10.1080/14614103.2018.1482598>
- Ma X.F., Gustafson J.P., 2006. Timing and rate of genome variation in triticale following allopolyploidization. *Genome* 49(8), 950–958. <https://doi.org/10.1139/g06-078>

- Makowska A., Obuchowski W., Sulewska H., Koziara W., Paschke H., 2008. Effect of nitrogen fertilization of durum wheat varieties on same characteristics important for pasta production. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 7(1), 29–39.
- Martin A., Sanchez-Mongelaguna E., 1981. Cytology and morphology of the amphiploid *Hordeum chilense* × *Triticum turgidum* conv. durum. *Euphytica* 31, 261–267.
- Martinek P.L., Ohnoutková T., Vyhnánek J., Bednář J., 2003. Characteristics of wheat-barley hybrids (× *Tritordeum* Ascherson et Graebner) under Central-European climatic conditions. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.* 226/227, 87–95.
- McGoverin C.M., Fox G., Manley M., 2011. Application of near-infrared spectroscopy to the evaluation of cereals. *J. Cereal Sci.* 54(3), 300–311. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.06.001>
- Montesano V., Negro D., De Lisi A., Urbano M., Sarli G., Laghetti G., 2021. Agronomic performance and phenolic profile of *Tritordeum* (× *Tritordeum martinii* A. Pujadas) lines. *Cereal Chem.* 98(2), 382–391. <https://doi.org/10.1002/cche.10378>
- Nitride C., D'Auria G., Dente A., Landolfi V., Picariello G., Mamone G., Blandino M., Romano R., Ferranti P., 2022. Tritordeum as an innovative alternative to wheat: A comparative digestion study on bread. *Molecules* 27(4), 1308. <https://doi.org/10.3390/molecules27041308>
- Papadopoulos A.G., Mavroeidis A., Stavropoulos P., Anastasopoulos V., Beslemes D.F., Tigka E., Kakabouki I., 2023. Tritordeum: a versatile and resilient cereal for Mediterranean agriculture and sustainable food production. *Cereal Res. Commun.* 52, 323–331. <https://doi.org/10.1007/s42976-023-00401-6>
- Rachoń L., Bobryk-Mamczarz A., Kiełtyka-Dadasiewicz A., Woźniak A., Stojek Z., Zajdel-Stępień A., 2022. Plonowanie i jakość wybranych gatunków i odmian pszenicy makaronowej. Cz. I. Plonowanie [Yielding and quality of selected species and cultivars of pasta wheat. Part I. Yielding]. *Agron. Sci.* 77(1), 53–63. <https://doi.org/10.24326/as.2022.1.5>
- Słowik E., 2018. Nowe zboże tritordeum – mieszaniec pszenicy i jęczmienia [New cereal tritordeum – a hybrid of wheat and barley]. *Prz. Zboż.-Młyn.* 62(5), 20–23.
- Różewicz M., Wyzińska M., 2021. Characteristic of *Tritordeum* and evaluation of its potential for cultivation in Poland, with considerations for the nutritional and fodder value the grains. *Pol. J. Agron.* 44, 15–21. <https://doi.org/10.26114/pja.iung.431.2021.44.03>
- Suchowilska E., Radawiec W., Wiwart M., 2021. *Tritordeum* – the content of basic nutrients in grain and the morphological and anatomical features of kernels. *Int. Agrophys.* 35(4), 343–355. <https://doi.org/10.31545/intagr/144592>
- Tedone L., Verdini L., Grassano N., Tarraf W., Mastro G.D., 2014. Optimising nitrogen in order to improve the efficiency, eco-physiology, yield and quality on one cultivar of durum wheat. *Ital. J. Agron.* 9(2), 49. <https://doi.org/10.4081/ija.2014.536>
- Vaquero L., Comino I., Vivas S., Rodríguez-Martín L., Giménez M. J., Pastor J., Sousa C., Barro F., 2018. Tritordeum: A novel cereal for food processing with good acceptability and significant reduction in gluten immunogenic peptides in comparison with wheat. *J. Sci. Food Agric.* 98(6), 2201–2209. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8705>
- Visioli G., Lauro M., Vamerali T., Dal Cortivo C., Panozzo A., Folloni S., Piazza C., Ranieri R., 2020. A comparative study of organic and conventional management on the rhizosphere microbiome, growth and grain quality traits of Tritordeum. *Agronomy* 10(11), 1717. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10111717>
- Wang J., Luo M., Chen Z., You F. M., Wei Y., Zheng Y., Dvořák J., 2013. *Aegilops tauschii* single nucleotide polymorphisms shed light on the origins of wheat D-genome genetic diversity and pinpoint the geographic origin of hexaploid wheat. *New Phytol.* 198(3), 925–937. <https://doi.org/10.1111/nph.12164>

- Yang D., Cai T., Luo Y., Wang Z., 2019. Optimizing plant density and nitrogen application to manipulate tiller growth and increase grain yield and nitrogen-use efficiency in winter wheat. *Peer J* 7, e6484. <https://doi.org/10.7717/peerj.6484>
- Zhang M., Mao W., Zhang G., Wu F., 2014. Development and characterization of polymorphic est-ssr and genomic ssr markers for tibetan annual wild barley. *PLoS ONE* 9(4), e94881. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094881>

**The source of funding:** The work was done as part of an internal project in Institute of Soil Science and Plant Cultivation in Puławy.

Received: 13.09.2024  
Accepted: 31.12.2024  
Published: 18.03.2025







Department of Plant Protection, Faculty of Horticulture and Landscape Architecture,  
University of Life Sciences in Lublin, 20-950 Lublin, Poland

\* e-mail: [weronika.kursa@up.lublin.pl](mailto:weronika.kursa@up.lublin.pl)

WERONIKA KURSA \*, AGNIESZKA JAMIOŁKOWSKA 

## Effect of selected plant extracts on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) plant growth stimulation and flag leaf infection by fungal pathogens

---

Wpływ wybranych ekstraktów roślinnych na stymulację wzrostu roślin  
i indeks porażenie liścia flagowego pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.)  
przez patogeny grzybowe

**Abstract.** The aim of the study was to assess the effect of plant extracts from hemp inflorescences (H) as well as a mixture of extracts from hemp inflorescences, sage leaves and tansy leaves (M) on the stimulation of plant growth and the infection index of the flag leaf of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by fungal pathogens in a two-year field experiment. The analysis of selected biometric parameters in both growing seasons (2022/2023 and 2023/2024) showed a beneficial effect of both types of extracts, regardless of the type and concentration of the extract, on the length of ears, fresh weight of the aerial part of plants and the mass of one thousand wheat grains. The study also analyzed the intensity of the occurrence of wheat flag leaf diseases (septoria leaf blotch, tan spot of wheat, and brown leaf rust of cereals), in two growing seasons. In the case of septoria leaf blotch, the lowest infection index (IP) of the flag leaf was recorded after spraying the plants with a mixture of extracts (M) in the 2022/2023 season (4.91%) and after spraying the plants with hemp extract (H) in the 2023/2024 growing season (2.13%). Similarly, in the case of tan spot of wheat, in both growing seasons, the infection of the flag leaf with the pathogen was most effectively limited by hemp extract (H) in the 2022/2023 season: 24.43%; in the 2023/2024 season: 6.23%. In turn, the infection with brown leaf rust of cereals was strongly correlated with weather conditions, and the lowest index of infection with this pathogen was recorded only after the application of chemical protection (F: 2022/2023: 0.33% and 2023/2024: 6.38%). The presented results constitute the basis for the production of a biological preparation that will contribute to the biostimulation of plants and optimize the protection of wheat against fungal diseases.

**Keywords:** plant protection, plant extracts, biostimulation, tan spot of wheat, septoria leaf blotch, brown leaf rust of cereals

---

**Citation:** Kursa W., Jamiołkowska A., 2024. Effect of selected plant extracts on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) plant growth stimulation and flag leaf infection by fungal pathogens. Agron. Sci. 79(4), 105–124. <https://doi.org/10.24326/as.2024.5442>

## INTRODUCTION

Wheat (*Triticum* L.) is one of the most important cereal crops worldwide. In Poland, it is considered the most valuable cereal species, requiring good quality soils and a sufficiently long growing season [Dobosz et al. 2023]. The greatest threat to wheat cultivation arises from pathogenic fungi, which can cause substantial and destructive yield losses [Kayim et al. 2022]. Agrochemicals used to date, such as fertilizers and pesticides, have led to serious negative environmental effects, such as water and soil pollution, destruction of soil structure, nutrient depletion and loss of biodiversity [Bastos et al. 2020, Soto-Gómez and Pérez-Rodríguez 2022, Szpunar-Krok et al. 2022]. The reduction of chemical use in agriculture and the growing interest in environmentally friendly protection methods have led to intensified research into the development of eco-friendly plant protection strategies [Rohr et al. 2019, Rouphael and Colla 2020, Szpunar-Krok et al. 2022, Kursa et al. 2024a, 2024b]. Among the main recommendations in wheat cultivation, in addition to the selection of appropriate varieties adapted to environmental conditions, are the protection of the flag leaf and the proper scheduling of agronomic practices [Kayim et al. 2022]. Nutrients supplied by the flag leaf are essential building materials for quality grain filling [Rădoi et al. 2022]. Infection of the flag leaf leads to a reduction in yield and economic losses [Alam et al. 2013, Kayim et al. 2022]. The most threatening fungal diseases affecting wheat leaves include: septoria leaf blotch caused by *Zymoseptoria tritici*, tan spot of wheat caused by *Pyrenophora tritici-repentis*, brown leaf rust of cereals caused by *Puccinia recondita*, and powdery mildew caused by *Blumeria graminis* [Panasiewicz et al. 2008, El Jarroudi et al. 2022, Abdel-Kader et al. 2023, Schierenbeck et al. 2023]. The use of natural biostimulants of plant origin is increasing significantly. Current research confirms the protective and stimulating potential of plant extracts [Baltazar et al. 2021, Kisiriko et al. 2021, Kursa et al. 2024a]. Biostimulants positively affect both the qualitative and quantitative yield parameters, biochemical characteristics of plants and can mitigate abiotic stresses [Zulfiqar et al. 2020, Ma et al. 2022]. Furthermore, the biostimulatory effects of plant extracts have been confirmed to improve plant growth and development, including fruiting, seed germination and emergence, root development, and shoot elongation, as well as increasing nutrient and water uptake [Baltazar et al. 2021, Kisiriko et al. 2021]. The positive influence of biostimulants is attributed to improving soil microbial activity as well as increasing the presence of factors responsible for the solubility of nutrients in the soil. Moreover, the wide-range effects of biostimulants can be attributed to the biosynthesis of phytohormones, enhanced photosynthetic efficiency, improved carbon and nitrogen metabolism, and increased sugar content as a carbon source [Elzaawely et al. 2017, Zulfiqar et al. 2020]. Pannacci et al. [2022] proved that aqueous extract of mugwort (*Artemisia vulgaris* L.) stimulates seed germination and seedling growth in vegetable crops (onion, carrot, tomato, rapeseed, cauliflower and lettuce). Extracts from herbal plants (John's wort, giant goldenrod, common dandelion, red clover, nettle, valerian) positively affect the yield, chemical composition and antioxidant activity of celeriac (*Apium graveolens* L. var. *rapaceum*) [Godlewska et al. 2020]. Ben-Jabeur et al. [2019] confirmed that coating wheat kernels with thyme essential oil improved drought resistance in wheat.

The aim of the present research was to evaluate the effects of selected plant extracts on specific biometric traits of winter wheat (*Triticum aestivum* L.), including the fresh and dry weight of roots and aerial parts, the length and thickness of stem, as well as yield, and the health status of the flag leaf.

## MATERIAL AND METHODS

**Field experiment**

The field experiment was conducted between 2022 and 2024 on a farm located in Skrzynice, Lublin Voivodeship (51°11'67"N, 22°25'00"E) on soil with varying levels of available mineral nutrients (Tab. 1). The experiment was set up using a randomized block design in an independent arrangement, with four replicates. The area of the individual experimental plot was 10 m<sup>2</sup> (2 m × 5 m). Winter wheat, cultivar Venecja (Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR, Strzelce, Poland), was sown at a rate of 270 kg ha<sup>-1</sup> in the third decade of September (2022/2023 and 2023/2024 growing seasons) on a field previously used for potato cultivation. Soil preparation for winter wheat included a set of post-harvest tillage operations, ploughing, pre-sowing fertilization, and cultivator seed drill preparation, followed by pre-sowing fertilization based on prior soil analysis and in accordance with fertilizer recommendations.

Table 1. Content of bioavailable forms of mineral nutrients in soil during the growing seasons 2022/2023 and 2023/2024

| Growing season | pH  | Reaction        | Assimilable mineral forms                                                |           |                                                            |           |                                              |           |                                             |           |
|----------------|-----|-----------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------|-----------|
|                |     |                 | Phosphorus – P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(mg kg <sup>-1</sup> soil) |           | Potassium – K <sub>2</sub> O<br>(mg kg <sup>-1</sup> soil) |           | Magnesium – Mg<br>(mg kg <sup>-1</sup> soil) |           | Nitrogen – N min.<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) |           |
|                |     |                 | content                                                                  | abundance | content                                                    | abundance | content                                      | abundance | content                                     | abundance |
| 2022/2023      | 4.7 | acidic          | 77.0                                                                     | low       | 90.0                                                       | low       | 43.0                                         | low       | 95.9                                        | high      |
| 2023/2024      | 6.2 | slightly acidic | 97.0                                                                     | low       | 179.0                                                      | moderate  | 54.0                                         | low       | 117.4                                       | very high |

**Preparation and application of plant extracts**

The field experiment is a continuation of several years of laboratory research conducted with plant extracts to assess their biocidal activity [Kursa et al. 2022, Kursa et al. 2024a, 2024b]. Plant extracts with the strongest antimicrobial properties such as tansy, sage, hemp were selected for further field research. The plant extracts were prepared on the basis of dried leaves of sage (*Salvia officinalis* L.), tansy (*Tanacetum vulgare* L.) and dried lateral inflorescences of hemp (*Cannabis sativa* L.). The plant extracts were prepared according to the methodology described by Kursa et al. [2022]. The following experimental combinations were used in the study:

C – spraying plants with water (absolute control),

F – spraying plants with a fungicide (Tarcza Łan Extra 250 EW, active ingredient –tebuconazole, dose 250 g/l; relative control),

H – spraying plants with a 20% hemp inflorescence extract,

M – spraying plants with a 20% mixture of extracts from hemp, sage, and tansy.

Potassium silicate (0.17%) and glycerin (1%) were added to each type of plant extract. The mixture of extracts, containing pure (100%) plant extracts, was prepared from the hemp extract, sage extract, and tansy extract in a 2 : 2 : 1 ratio. For all experimental combinations, three foliar applications were performed at a rate of 300 dm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> during the following wheat developmental stages: BBCH 29 (the end at tillering stage), BBCH 37–39 (the flag leaf stage), and BBCH 55 (the earing stage). Foliar treatments were conducted using a Kwazar Orion sprayer at a pressure of 0.2 MPa. Other plant protection measures were carried out in accordance with the recommended practices for plant protection for the years 2022–2024 [Program Ochrony Roślin Rolniczych 2022, 2023, 2024].

### Weather conditions

Weather conditions are presented based on data from the Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute, sourced from the synoptic station in Radawiec Duży, Konopnica municipality (51°13'00"N, 22°23'35"E, altitude 238 m). Selyaninov's hydrothermal coefficient (k) was used to assess the weather conditions during the growing season of the plants, calculated according to the following formula:

$$k = \frac{P}{0.1 \times \sum t}$$

where: P – total monthly precipitation (mm),  $\sum t$  – monthly sum of air temperatures >10°C [Kopcińska et al. 2018] according to the scale developed by Skowera and Puła [2004] for the territory of Poland. The analyzed parameters are divided into ten classes based on the values of the k coefficient with the following ranges:  $k \leq 0.4$  (ss – extremely dry);  $0.4 < k \leq 0.7$  (bs – very dry);  $0.7 < k \leq 1.0$  (s – dry);  $1.0 < k \leq 1.3$  (ds – fairly dry);  $1.3 < k \leq 1.6$  (o – optimal);  $1.6 < k \leq 2.0$  (dw – fairly wet);  $2.0 < k \leq 2.5$  (w – wet);  $2.5 < k \leq 3.0$  (bw – very wet);  $k > 3.0$  (sw – extremely wet).

### Assessment of fresh and dry weight of plant, internode length and thickness

The fresh and dry weights of the roots as well as aerial parts of the plants were analyzed. The assessment of these parameters was conducted three weeks after the experimental treatments, which corresponded to the BBCH 59–61 developmental stages (end of heading – beginning of flowering). These parameters were evaluated on 50 plants from each experimental combination. The fresh weight of the roots and aerial parts was expressed in g f.w. plant<sup>-1</sup>. The plant material was dried for 7 days in a ventilated room at 23–25°C. It was subsequently weighed, and the results were expressed in g d.w. plant<sup>-1</sup>. The length and thickness of the internode were measured between the first and second nodes, while the thickness was measured above the first node. Measurements were taken using an electronic caliper (Limit CDN-NT IP67).

### Assessment of the flag leaf infection index

Wheat health status was assessed at the plant flowering stage (BBCH 61–69) by determining the percentage of the flag leaf area infected by the following pathogens: tan spot of wheat (*P. tritici-repentis*), septoria leaf blotch (*Z. tritici*) and brown leaf rust of cereals (*P. recondita*), using EPPO PP 1/26(4) methodology [EPPO 2012]. Randomly sampled

flag leaves were evaluated for each experimental combination (50 randomly selected leaves in 4 replicates, 200 in total). The assessment of the degree of infection of the analyzed leaf area was conducted using a 4-point scale: 1° – 1–25% of the area with infection symptoms; 2° – 26–50% of the area with infection symptoms; 3° – 51–75% of the area with infection symptoms; 4° – 76–100% of the area with infection symptoms. Subsequently, the leaf infection index (IP) was calculated according to the formula:

$$IP = \left[ \frac{(n \times 1^0) + (n \times 2^0) + (n \times 3^0) + (n \times 4^0)}{i \times N} \right] \times 100\%$$

where:  $n$  = the number of leaves at a given level of infection,  $N$  = total number of leaves,  $i$  = the highest degree of the scale.

### Evaluation of ear length and thousand-grain weight (TGW)

Ear length was measured in 50 plants from each experimental combination during the BBCH 89–91 developmental stages (fully ripe of grain). Thousand-grain weight (TGW) was assessed by analyzing 200 ears from each experimental combination at the BBCH 89–91 developmental stages.

### Statistical analysis

The collected data were analyzed using Statistica software version 13.3 (1984–2017 TIBCO Software INC, Palo Alto, CA, USA). A one-way analysis of variance (ANOVA) was conducted, and the significance of differences was assessed using Tukey's post hoc test and Kruskal-Wallis test at a significance level of  $p = 0.05$ .

- As part of the assessment of the linear relation between variables (quantitative traits):
- flag leaf infection index (IP%) and ear length (cm), and thousand-grain weight (g) of wheat,
  - weather conditions (coefficient  $k$ ) vs. flag leaf infection index (IP%).

Pearson's linear correlation coefficient ( $r$ ) was determined, and the interpretation was based on the following Matyja [2014] scale: negligible correlation:  $0 < r < |0.1|$ ; weak correlation:  $|0.1| \leq r < |0.3|$ ; moderate correlation:  $|0.3| \leq r < |0.5|$ ; strong correlation:  $|0.5| \leq r < |0.7|$ ; very strong correlation:  $|0.7| \leq r < |0.9|$ ; nearly perfect correlation:  $|0.9| \leq r < |1|$ .

## RESULTS

### Weather conditions

High variability in weather conditions was recorded throughout the experiment. Weather conditions had a significant impact on the development of flag leaf diseases in winter wheat. In the 2022/2023 growing season, the average monthly temperatures from March to July were close to the long-term averages (Fig. 1). In the corresponding period of the 2023/2024 season, the average monthly temperature exceeded the long-term average by 1–4°C. At the same time, the average monthly temperatures during the autumn and winter months (September–February) of both growing seasons were generally higher than the long-term average. The distribution of rainfall during the two-year study period was

uneven. In the first year, autumn rainfall (September–November) was lower than the long-term average, while in the winter months (December–February), it was higher, and in the spring and summer, it was close to the long-term averages (except for April and June). In contrast, the following growing season was characterized by significant variability. From October to March, as well as in June and July, precipitation levels were higher compared to the long-term average, whereas low rainfall was recorded in April, May, and August (Fig. 1)

### Assessment of fresh and dry plant weight, internode length and thickness

The fresh and dry weight of plant included an analysis of the roots and aerial parts. Root dry weight was higher in the 2022/2023 season than in the 2023/2024 season. The plants treated with a 20% mixture of plant extracts (M) consistently had the highest dry and fresh root weight each year. However, only in the second year of the study were these differences statistically significant compared to the values obtained in the control trials (C, F) – Table 2. The average fresh weight of the aerial part was highest in the 2022/2023 growing season for plants treated with a 20% hemp extract (H – 8.50 g plant<sup>-1</sup>). This value

Table 2. Fresh and dry weight of wheat roots and aerial parts

| Experimental combination                  | Fresh weight (g plant <sup>-1</sup> ) ±SD |                             |                             |                             | Dry weight (g plant <sup>-1</sup> ) ±SD |                             |                            |                             |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                                           | root                                      |                             | aerial part                 |                             | root                                    |                             | aerial part                |                             |
|                                           | 2022/2023                                 | 2023/2024                   | 2022/2023                   | 2023/2024                   | 2022/2023                               | 2023/2024                   | 2022/2023                  | 2023/2024                   |
| Absolute control                          | 0.52<br>±0.25 <sup>a</sup>                | 0.40<br>±0.15 <sup>bc</sup> | 6.50<br>±1.54 <sup>c</sup>  | 6.87<br>±1.51 <sup>b</sup>  | 0.14<br>±0.07 <sup>a</sup>              | 0.17<br>±0.08 <sup>bc</sup> | 2.50<br>±1.24 <sup>a</sup> | 2.50<br>±0.41 <sup>b</sup>  |
| Spraying with fungicide                   | 0.49<br>±0.29 <sup>a</sup>                | 0.32<br>±0.17 <sup>c</sup>  | 7.10<br>±1.49 <sup>bc</sup> | 7.11<br>±1.30 <sup>ab</sup> | 0.14<br>±0.07 <sup>a</sup>              | 0.15<br>±0.08 <sup>c</sup>  | 2.70<br>±1.28 <sup>a</sup> | 2.80<br>±0.52 <sup>ab</sup> |
| Spraying with hemp flower extract         | 0.45<br>±0.24 <sup>a</sup>                | 0.54<br>±0.22 <sup>ab</sup> | 8.50<br>±1.24 <sup>a</sup>  | 8.13<br>±1.31 <sup>a</sup>  | 0.13<br>±0.07 <sup>a</sup>              | 0.23<br>±0.10 <sup>ab</sup> | 3.00<br>±1.18 <sup>a</sup> | 3.19<br>±0.75 <sup>a</sup>  |
| Spraying with a mixture of plant extracts | 0.65<br>±0.28 <sup>a</sup>                | 0.58<br>±0.23 <sup>a</sup>  | 8.20<br>±1.89 <sup>ab</sup> | 7.28<br>±1.62 <sup>ab</sup> | 0.18<br>±0.10 <sup>a</sup>              | 0.28<br>±0.13 <sup>a</sup>  | 3.00<br>±1.43 <sup>a</sup> | 3.06<br>±0.86 <sup>a</sup>  |

a, b, c – values in columns marked with the same letter do not differ significantly at a significance level of  $p \leq 0.05$

was significantly different from the control combinations (C – 6.50 g plant<sup>-1</sup> and F – 7.10 g plant<sup>-1</sup>). Similarly, in the second year of the study, the highest value of fresh weight for the aerial part was recorded for plants treated with hemp extract (H – 8.13 g plant<sup>-1</sup>), although this value differed significantly only from the absolute control (C – 6.87 g plant<sup>-1</sup>). The dry weight of the aerial plant part was higher in the 2022/2023 season than in the 2023/2024 season. The narrowest statistically significant values compared to the control were obtained for plants treated with the mixture of plant extracts (M). They were significantly higher only compared to the absolute control (C) and did not differ significantly from the combination treated with hemp extract and fungicide (Tab. 2). The studies also

indicated that the plant extracts applied as a spray had a beneficial effect on the length and thickness of wheat internode. The longest internodes were obtained in both growing seasons following the application of the plant extract mixture (M: 2022/2023 – 8.32 cm; 2023/2024 – 9.08 cm), with their length being statistically greater than that of the control group (C: 2022/2023 – 7.01 cm; 2023/2024 – 7.95 cm) – Table 3. Spraying the plants with hemp inflorescence extract also increased internode length, but the values obtained were not significantly higher compared to the control (Tab. 3). The influence of plant extracts on internode thickness was observed only in the first year of the study, and only in the case of spraying the plants with the mixture of extracts (M – 4.68 mm) – Table 3. This trend was not confirmed in the second year of the study, although the results did not differ significantly between the experimental combinations.

Table 3. Average internode length (cm) and thickness (mm)

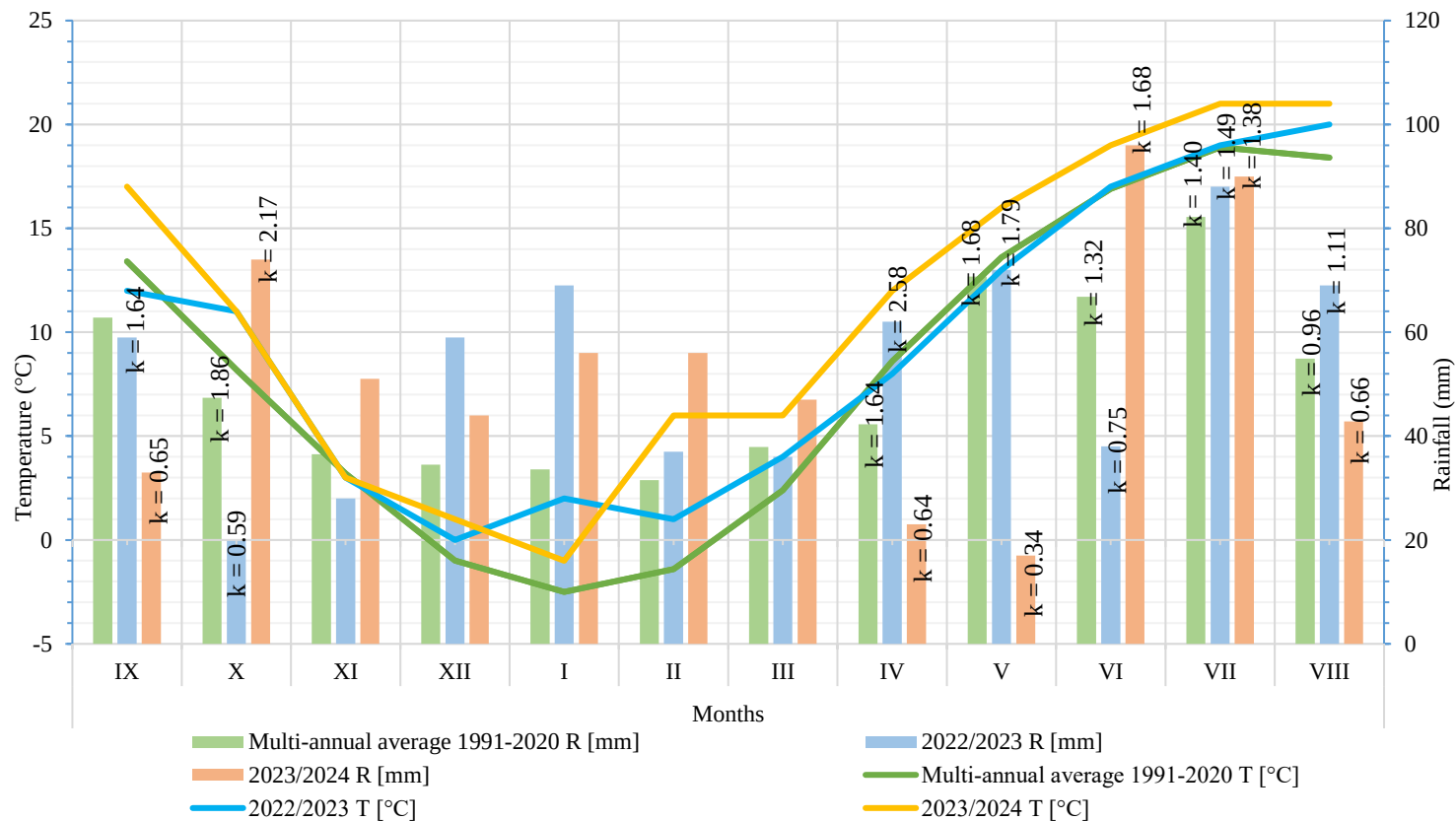
| Experimental combination                  | Internode length (cm) $\pm$ SD |                               | Internode thickness (mm) $\pm$ SD |                              |
|-------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
|                                           | 2022/2023                      | 2023/2024                     | 2022/2023                         | 2023/2024                    |
| Absolute control                          | 7.01 $\pm$ 1.42 <sup>b</sup>   | 7.95 $\pm$ 0.76 <sup>b</sup>  | 3.83 $\pm$ 0.49 <sup>b</sup>      | 4.60 $\pm$ 0.45 <sup>a</sup> |
| Spraying with fungicide                   | 7.60 $\pm$ 1.41 <sup>ab</sup>  | 8.03 $\pm$ 1.26 <sup>ab</sup> | 4.00 $\pm$ 0.51 <sup>b</sup>      | 4.15 $\pm$ 0.65 <sup>a</sup> |
| Spraying with hemp flower extract         | 7.91 $\pm$ 1.20 <sup>ab</sup>  | 8.15 $\pm$ 0.75 <sup>ab</sup> | 4.10 $\pm$ 0.64 <sup>b</sup>      | 4.25 $\pm$ 0.68 <sup>a</sup> |
| Spraying with a mixture of plant extracts | 8.32 $\pm$ 1.51 <sup>a</sup>   | 9.08 $\pm$ 1.44 <sup>a</sup>  | 4.68 $\pm$ 0.59 <sup>a</sup>      | 4.23 $\pm$ 0.91 <sup>a</sup> |

a, b – values in columns marked with the same letter do not differ significantly at a significance level of  $p \leq 0.05$

### Flag leaf infection index

Analyses conducted between 2022 and 2024 revealed the presence of septoria leaf blotch (*Z. tritici*), tan spot of wheat (*P. tritici-repentis*), and brown leaf rust of cereals (*P. recondita*) on flag leaves (Fig. 2.). The intensity of these diseases on the flag leaf varied depending on the protective treatments applied and weather conditions during the growing season (Fig. 3, Tab 4). The most severe infection of the flag leaf by *P. tritici* was recorded in the 2023/2024 season for the control combination (C – 74.75%), while the lowest infection was observed in the 2022/23 season for the fungicide combination (F – 0.33%) and the plant extract mixture (M – 3.66%) – Figure 3. Pearson's linear correlation coefficient ( $r$ ) showed a very high relationship between disease intensity and prevailing weather conditions ( $r = -0.77$ ) – Table 4.

During the two-year field trials, flag leaves were the least affected by septoria leaf blotch. The disease occurred in both growing seasons at a relatively low level (IP: 2–9%). An exceptionally high infection index was recorded in the 2023/2024 season for the control combination (C – 22.99%). After spraying the plants with hemp extract and a mixture



T – mean daily air temperature, R – monthly precipitation, k – Selyaninov's hydrothermal coefficient

Fig. 1. Average monthly temperatures (°C) and total precipitation (mm) for 2022–2024, compared with the long-term averages from 1991–2020



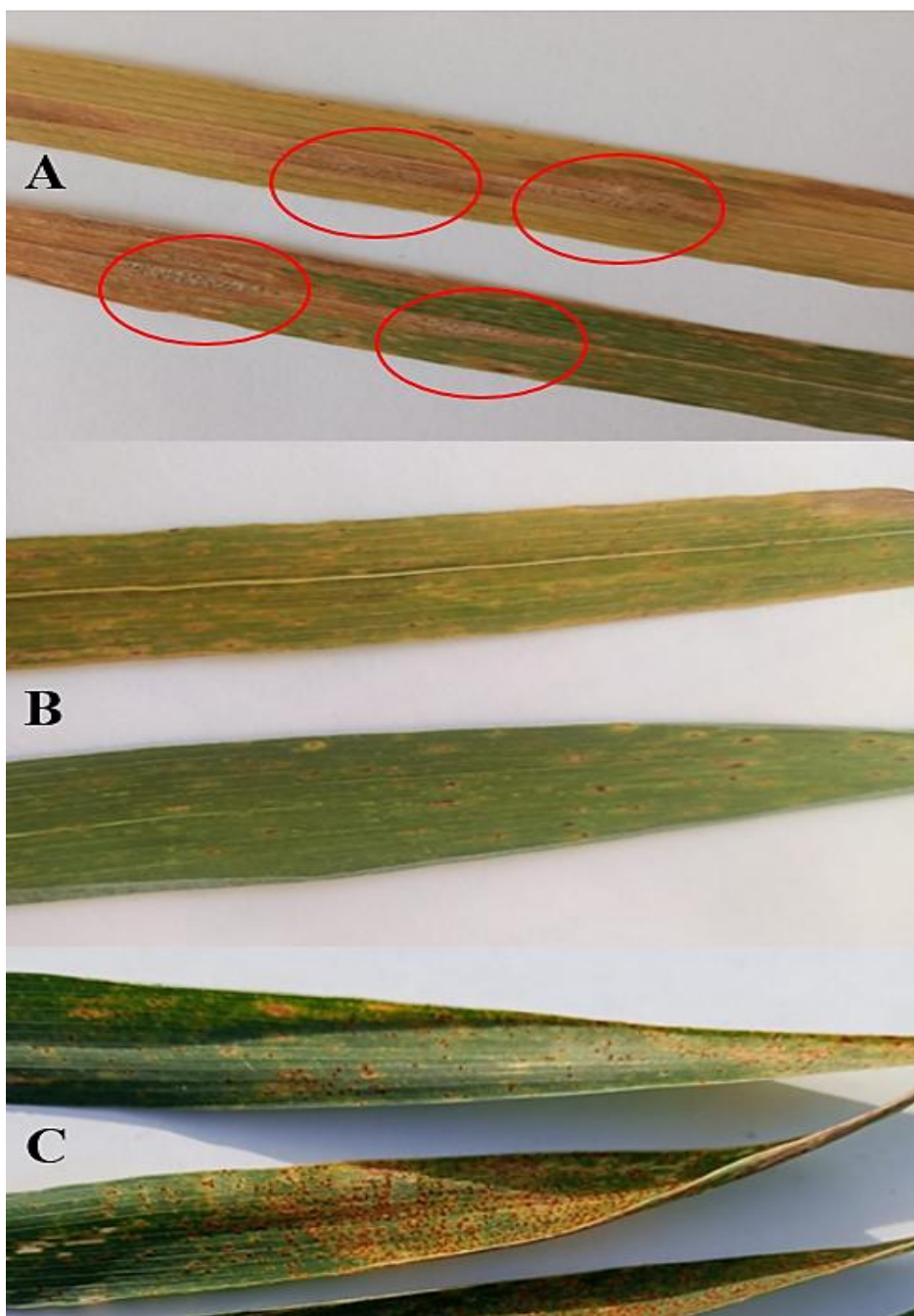
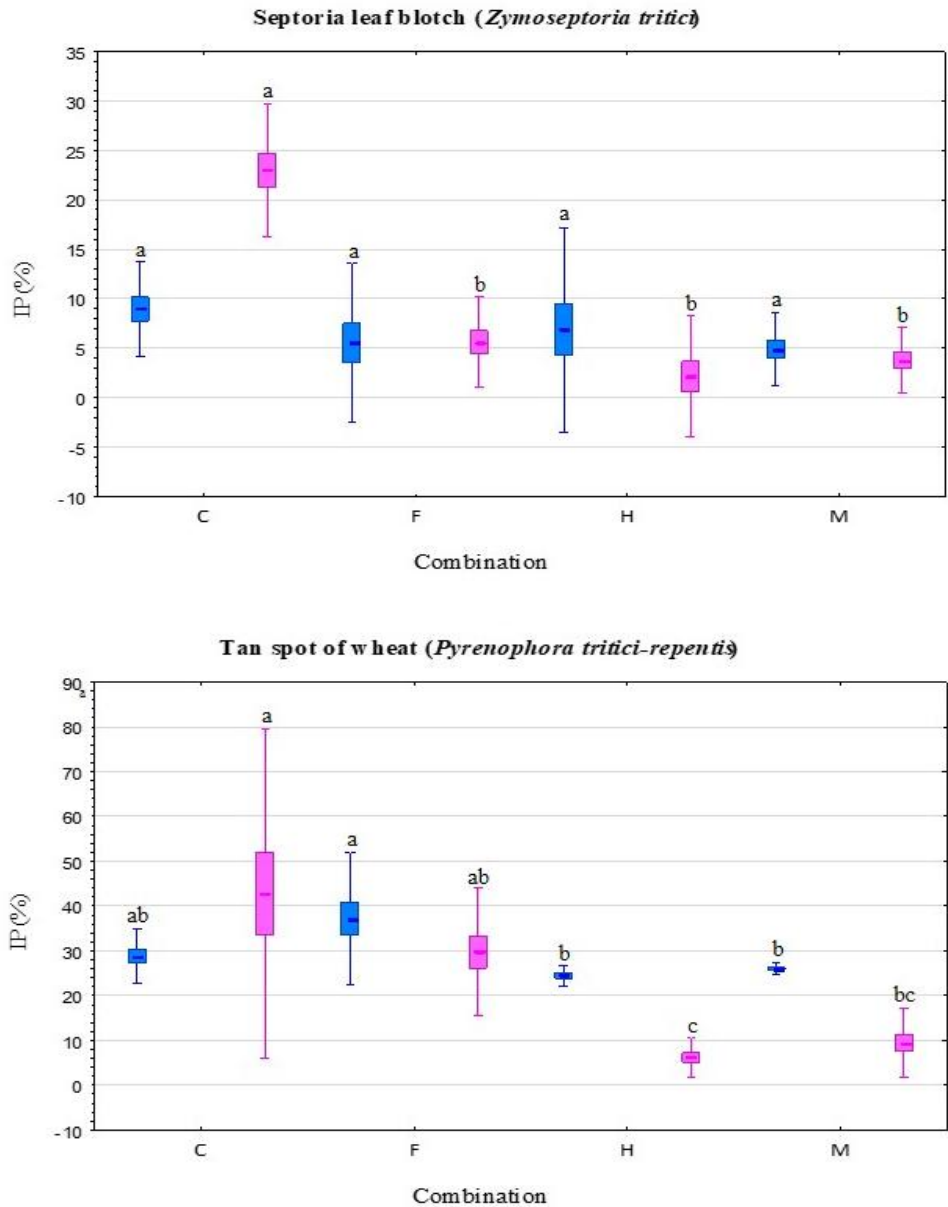
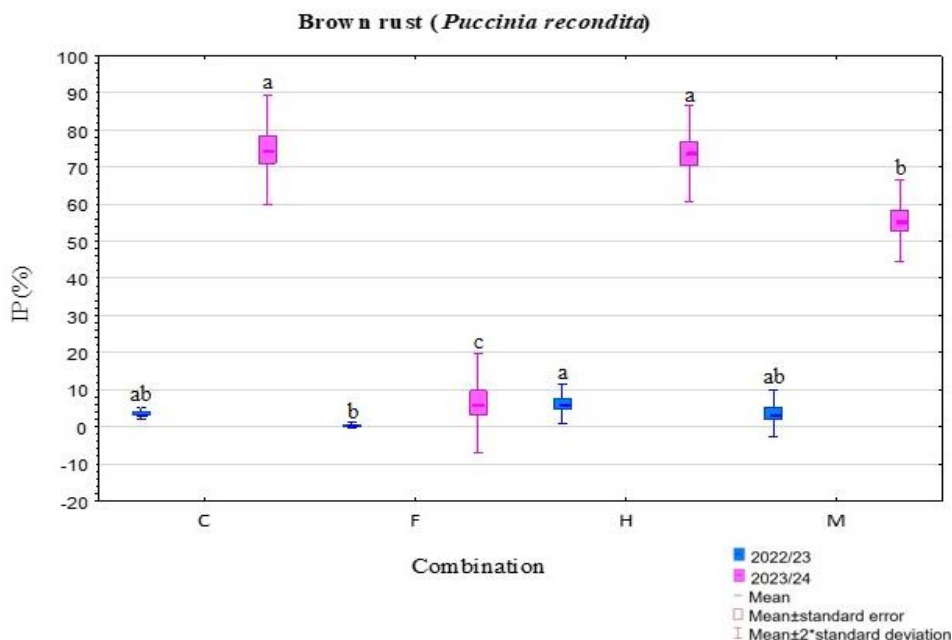


Fig. 2. Symptoms of diseases on winter wheat leaves: A – septoria leaf blotch (*Z. tritici*), B – tan spot of wheat (*P. tritici-repentis*), C – brown leaf rust of cereals (*P. recondita*)

of plant extracts, the flag leaves were less affected by *Z. tritici*. However, significant differences in the infection index compared to the control were only observed in the 2023/2024 season (H – 2.13%, M – 3.8%) – Figure 3. Pearson’s linear correlation coefficient (r) showed a weak association with prevailing weather conditions and disease in the analyzed growing seasons (Tab. 4).





C – absolute control, F – spraying with fungicide, H – spraying with hemp flower extract, M – spraying with a mixture of plant extracts

a, b, c – values marked with the same letter do not differ significantly at a significance level of  $p \leq 0.05$

Fig. 3. Infection index (IP%) of wheat flag leaves by septoria leaf blotch (*Z. tritici*), tan spot of wheat (*P. tritici-repentis*), and brown leaf rust of cereals (*P. recondita*)

The flag leaves were also affected by *P. tritici-repentis*, with the infection index ranging between 6.23% and 42.80%. Stronger pathogen infection was observed in the first year of the study in all experimental combinations, except for the absolute control (C). Spraying plants with plant extracts did not result in significantly lower infection rates (H – 24.43%, M – 26.05%) compared to the control (C – 28.92%), but it was significantly lower than after fungicide application (F – 37.27%). In the second year of the study, the highest infection index for flag leaves caused by tan spot of wheat was recorded in the control combination (C – 42.80%), as well as after fungicide application (F – 29.75%). On the other hand, plants sprayed with plant extracts (H – 6.23%, M – 9.50%) had a lower flag leaf infection index compared to the control plants. However, only after the application of hemp extract did the degree of leaf infection differed significantly from both controls (C and F), while the use of the extract mixture reduced infection only in comparison to the absolute control (C) – Figure 2, Table 4. Pearson's linear correlation coefficient ( $r$ ) between the flag leaf infection index due to tan spot of wheat and weather conditions indicated a weak relationship between these factors ( $r = 0.26$ ) – Table 4.

Table 4. Pearson's linear correlation coefficient (r) and interpretation of the relationship

| Specification                        | Flag leaf infection index (IP%) |                   |                            |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------|
|                                      | septoria leaf blotch            | tan spot of wheat | brown leaf rust of cereals |
| Weather conditions:<br>Coefficient k | −0.15<br>weak                   | 0.26<br>weak      | −0.77*<br>very high        |

r – correlation coefficient between the flag leaf infection index, weather conditions and experimental combinations; results significant at a significance level of  $p \leq 0.05$  are denoted by \*

### Ear length and thousand-grain weight (TGW)

Ear length and thousand-grain weight are presented in table 4. Additionally, the correlation coefficient (r) was determined between the specified parameters and the assessed diseases of the flag leaf (Tab. 5). The study showed that the plant extracts (M, H) applied in the form of foliar sprays had a beneficial effect on ear length and thousand-grain weight. In both growing seasons, the longest ears were observed in plants sprayed with hemp extract (2022/2023: H – 10.32 cm; 2023/24: H – 10.92 cm), with these measurements significantly differing from the control group (2022/2023: C – 9.64 cm; F – 9.75 cm; 2023/2024: C – 9.89 cm; F – 10.24 cm). Spraying the plants with a mixture of extracts (M) in both study years, also increased ear length, and the values obtained were significantly different from the absolute control (C), but did not differ from the fungicide trial (F) (Tab. 5). The highest thousand-grain weight in both growing seasons was recorded for the treatment sprayed with a 20% mixture of plant extracts (M) (2022/2023 – 40.45 g; 2023/2024 – 44.13 g). However, only in the second year of the study were these values statistically

Table 5. Ear length (cm) and thousand-grain weight (TGW)

| Experimental combination                  | Ear length (cm) $\pm$ SD       |                                | TGW (g) $\pm$ SD               |                                |
|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                                           | 2022/2023                      | 2023/2024                      | 2022/2023                      | 2023/2024                      |
| Absolute control                          | 9.64 $\pm$ 0.95 <sup>c</sup>   | 9.89 $\pm$ 1.12 <sup>c</sup>   | 39.83 $\pm$ 0.59 <sup>ab</sup> | 42.44 $\pm$ 0.98 <sup>bc</sup> |
| Spraying with fungicide                   | 9.75 $\pm$ 1.02 <sup>bc</sup>  | 10.24 $\pm$ 0.72 <sup>bc</sup> | 39.32 $\pm$ 0.47 <sup>b</sup>  | 43.98 $\pm$ 0.60 <sup>ab</sup> |
| Spraying with hemp flower extract         | 10.32 $\pm$ 0.88 <sup>a</sup>  | 10.92 $\pm$ 0.97 <sup>a</sup>  | 40.16 $\pm$ 0.51 <sup>ab</sup> | 41.16 $\pm$ 0.53 <sup>c</sup>  |
| Spraying with a mixture of plant extracts | 10.16 $\pm$ 0.84 <sup>ab</sup> | 10.40 $\pm$ 0.88 <sup>ab</sup> | 40.45 $\pm$ 0.36 <sup>a</sup>  | 44.13 $\pm$ 1.19 <sup>a</sup>  |

a, b, c – values marked with the same letter do not differ significantly at a significance level of  $p \leq 0.05$

higher than the control (C – 42.44 g) – Table 5. Pearson's linear correlation coefficient ( $r$ ) showed that the flag leaf infection with tan spot of wheat had the greatest negative effect on yield parameters (Tab. 6). In the 2022/2023 season, an increase in *P. tritici-repentis* infection decreased ear length ( $r = -0.51$ ) and thousand-grain weight ( $r = -0.49$ ). In the 2023/2024 season, it was only associated with a decrease in ear length ( $r = -0.61$ ). A negative correlation was also observed between septoria leaf blotch and the analyzed parameters during both growing seasons. The strongest (high) correlation of this type occurred in the 2023/2024 season for ear length ( $r = -0.57$ ). On the other hand, the occurrence of brown leaf rust of cereals (*P. triticina*) showed a weak correlation with yield parameters in both growing seasons, except for thousand-grain weight in the 2023/2024 season, where the correlation was high ( $r = -0.58$ ) – Table 6.

Table 6. Pearson's linear correlation coefficient ( $r$ ) and interpretation of the relationship

| Flag leaf diseases<br>(IP%) | 2022/2023         |                    | 2023/2024      |                     |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------------------|
|                             | ear length        | TGW                | ear length     | TGW                 |
| Septoria leaf blotch        | –0.38<br>moderate | –0.18<br>weak      | –0.57*<br>high | –0.08<br>negligible |
| Tan spot of wheat           | –0.51*<br>high    | –0.49*<br>moderate | –0.61*<br>high | 0.11<br>weak        |
| Brown leaf rust of cereals  | 0.19<br>weak      | 0.39<br>moderate   | 0.14<br>weak   | –0.58*<br>high      |

$r$  – correlation coefficient between the flag leaf infection index and yield parameters

TGW – thousand-grain weight

\* results significant at  $p \leq 0.05$

## DISCUSSION

European herbaceous plants are a rich source of numerous biologically active compounds and contain numerous phenolic compounds, terpenes and alkaloids [Acheuk et al. 2022, Szparaga 2023].

The biostimulatory effects of these compounds are analyzed in terms of their impact on plant growth, physical traits, and yield [Drobek et al. 2019]. The literature reports on the biostimulatory properties of plant extracts on crops, while also highlighting the selectivity of their action [Pannacci et al. 2022, Szparaga 2023]. Maksoud and coauthors [2023] also confirmed the biostimulatory effect of extract from the leaves of henna (*Lawsonia inermis*) on the yield, growth of shoots and root systems, as well as certain biochemical traits of winter wheat. The biostimulatory effect of extract from dodder (*Cuscuta reflexa*) on the growth and yield of wheat seeds under stress conditions has been attributed to increased seed germination enzyme activity and enhanced antioxidant defense mechanisms [Ali et al. 2020]. Nevertheless, there is a limited number of studies on the use of plant extracts in the cultivation of winter wheat under European conditions. Baltazar et al. [2021] highlighted the need to identify the molecular mechanisms of biostimulants, as well

as to define their functional roles in cultivated plants. Our research confirmed the limited scientific reports in this area, indicating that extracts from herbaceous plants based on hemp, sage, and tansy act as biostimulants, improving the growth and yield of winter wheat.

Gupta et al. [2022] also indicated the potential application of biostimulants in alleviating biotic stress in plants. Secondary metabolites contained in plants are the main group of bioactive compounds characterized not only by biostimulatory effects, but also by bioprotective properties [Mrid et al. 2021].

Gebashe et al. [2021] emphasized the role of biostimulants in controlling plant diseases. This creates a need to evaluate the effectiveness of these substances for their antimicrobial properties. Szparaga [2023] reported a high biocidal potential of water extracts (decoctions, infusions, and macerates) from the roots of burdock and lovage, flax seeds, mugwort leaves, and verbascum flowers against the fungi *Botrytis cinerea* Pers., *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc, *F. culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc., *F. sambucinum* (Fuckel), *F. solani* (Mart.) Sacc., *Rhizoctonia solani* (J.G. Kühn), *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib. de Bary) and *Thielaviopsis basicola* (Berk. i Broome). Kursa et al. [2022] also confirmed the high effectiveness of sage and tansy plant extracts at a concentration of 20% in inhibiting the growth of *Fusarium* isolated from cereal grains (especially on *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*) in *in vitro* tests.

Due to the necessity to reduce pesticide usage in the European Union [Directive 2009/128/EC, European Commission 2019], numerous attempts are being made to find alternative methods for plant protection [Montanarella and Panagos 2021, Kursa et al. 2024b]. Many studies still focus on assessing the biocidal effects of plant extracts under laboratory conditions [Fierascu et al. 2015, Korpinen et al. 2021, Kursa et al. 2022, Wens and Geuens 2022, Szparaga 2023]. Recent scientific studies indicate that plant extracts are more effective against fungal phytopathogens than synthetic preparations. It has been demonstrated, among other findings, that extracts from clove, ginger, and cinnamon were more effective than the fungicide Amistar 250 SC (active ingredient: azoxystrobin) in controlling wheat stem rust, and that cinnamon bark extract outperformed Mancozeb 75 WG (active ingredient: mancozeb) against *Rhizoctonia solani* [Singh et al. 2019, El-Gamal et al. 2022]. The increasing phenomenon of pathogen resistance to pesticides also underscores the necessity of reducing fungicide application. Chen et al. [2021] documented a high resistance of field populations of *Fusarium graminearum* to tebuconazole. In this context, it is worth noting the promising prospect of alternating the use of synthetic fungicides with products of natural origin [Szczygieł et al. 2024]. Da Silva Santana and colleagues [2022] also highlighted the role of plant extracts as inducers of plant resistance, attributed to the presence of bioactive compounds such as ethylene, jasmonic acid, salicylic acid, abscisic acid, brassinosteroids, gibberellins, auxins, and cytokinins, which are involved in the plant defensive response [Bari and Jones 2009, Mukherjee and Patel 2020]. Jamiołkowska [2020] and El-Gamal et al. [2022] described the beneficial effect of plant extracts on the total phenolic content and oxidative enzymes, which are responsible for inducing plant resistance to pathogenic factors.

Field trials confirmed the beneficial effect of the tested plant extracts in reducing the infection index of the winter wheat flag leaf caused by septoria leaf blotch, tan spot of wheat, and brown leaf rust of cereals. Until now, research on the effects of active substances on crop health, both in Poland and worldwide, has focused primarily on chemical substances [Panasiewicz et al. 2008, Tsialtas et al. 2018]. Only in recent years has there

been increased interest in the use of substances of natural origin, most of which, however, focused on their biostimulatory effects [Carvalho et al. 2021, Łozowicka et al. 2022, Pannacci et al. 2022, Szpunar-Krok et al. 2022]. The results of the conducted research demonstrate that the intensity of fungal diseases in wheat cultivation is determined not only by weather conditions but also by the protective treatments applied using a mixture of plant extracts based on hemp, sage, and tansy. In many cases, the application of plant extracts was more effective than the chemical protection based on tebuconazole used in the experiment. It was also found that the application of a mixture of plant extracts was more effective in protecting the flag leaf than the application of a single-component hemp extract. It can be assumed that the positive effects of using plant extracts demonstrated in the current study were also related to the addition of a small amount of silicon to the mixture. As a micronutrient, silicon enhances plant resistance to biotic stress. Sakr [2016] reported that the saturation of cell walls with silicon increased plant resistance to fungal diseases by forming a physical barrier that hindered pathogen penetration into plant cells (preventive action as a physical protection mechanism). Additionally, silicon actively participates in the expression of natural defense mechanisms. The role of silicon in reducing wheat diseases (tan spot of wheat and *Fusarium* head blight) has been confirmed by numerous researchers [Zamojska et al. 2018, Pazdiora et al. 2021]. Dallagnol et al. [2020] described the influence of silicon on stimulating plant defense mechanisms not only against fungal pathogens but also against abiotic factors. The development and health of the wheat flag leaf are undoubtedly influenced by the weather conditions during the growing season. Hýsek et al. [2017] reported that temperature and rainfall from March to June strongly correlated with the prevalence of fungal pathogens. Brown leaf rust of cereals (*P. recondita*) is a disease strongly correlated with weather conditions, such as high temperatures and humidity, sunny and dry conditions in spring and early summer, and the presence of dew at night and/or before rainfall. This correlation has been documented in previous studies [Kolmer 2013, Caubel et al. 2017, Rodríguez-Moreno et al. 2020, Pietrusińska-Radzio and Żurek 2024] and is further confirmed by our own research. Simultaneously, the observed reduction in the duration of developmental phases during the second year of the study may have contributed to increased pathogen pressure on the plants [Simón et al. 2020].

## CONCLUSIONS

This study described the effects of hemp, sage and tansy extracts on the growth, yield and health of winter wheat leaf flag under field conditions. The two-year field trial has indicated that the mixture of extracts under study can be applied as a potential biopreparation for wheat protection. The comprehensive effects of plant extracts demonstrated in the present study may address the needs of modern agriculture, which aims to reduce pesticide use and counteract the issue of pathogen resistance. The research conducted allows to formulate the following conclusions:

- plant extracts based on hemp, sage, and tansy (particularly their mixture) can be utilized as a biostimulant in winter wheat cultivation (stimulating fresh and dry weight, length and thickness of stem, ear length, and thousand-grain weight),
- plant extracts reduced the development of septoria leaf blotch (*Z. tritici*) and tan spot of wheat (*P. tritici-repentis*) on the flag leaf of winter wheat,

- the tested extracts had no significant effect on limiting the development of brown leaf rust of cereals (*P. recondita*), and the progression of this disease was determined by the prevailing weather conditions.

The present research represents the first stage of analyses conducted as part of a two-year field trial. Mycological analysis of plants, assessment of soil biological activity, chlorophyll content and morphological analysis of leaves will allow a more comprehensive evaluation of the effects of plant extracts on wheat plants and its cultivation environment. Comprehensive analyses will enable the determination of the composition of the extract mixture, which will form the basis for developing a biostimulant and biocidal product for use in cereal cultivation, particularly in organic farming systems.

#### REFERENCES

- Abdel-Kader M.M., El-Mougy N.S., Khalil M.S.A., El-Gamal N.G., Attia M., 2023. Soil drenching and foliar spray with bioagents for reducing wheat leaf diseases under natural field conditions. *J. Plant Dis. Prot.* 130(2), 279–291. <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00705-z>
- Acheuk F., Basiouni S., Shehata A.A., Dick K., Hajri H., Lasram S., Yilmaz M., Emekci M., Tsiamis G., Spona-Friedl M., May-Simera H., Eisenreich W., Ntougias S., 2022. Status and prospects of botanical biopesticides in Europe and Mediterranean countries. *Biomolecules* 12(2), 311. <https://doi.org/10.3390/biom12020311>
- Alam M.A., Mandal M.S.N., Wang C., Ji W., 2013. Chromosomal location and SSR markers of a powdery mildew resistance gene in common wheat line N0308. *Afr. J. Microbiol. Res.* 7(6), 477–482. <https://doi.org/10.5897/AJMR12.1816>
- Ali Q., Perveen R., El-Esawi M.A., Ali S., Hussain S.M., Amber M., Iqbal N., Rizwan M., Alyemeni M.N., El-Serehy H.A., Al-Misned F.A., Ahmad P., 2020. Low doses of *Cuscuta reflexa* extract act as natural biostimulants to improve the germination vigor, growth, and grain yield of wheat grown under water stress: Photosynthetic pigments, antioxidative defense mechanisms, and nutrient acquisition. *Biomolecules* 10(9), 1212. <https://doi.org/10.3390/biom10091212>
- Baltazar M., Correia S., Guinan K. J., Sujeeth N., Bragança R., Gonçalves B., 2021. Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: An overview. *Biomolecules* 11(8), 1096. <https://doi.org/10.3390/biom11081096>
- Bari R., Jones J.D., 2009. Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Mol. Biol.* 69, 473–488. <https://doi.org/10.1007/s11103-008-9435-0>
- Bastos L.M., Carciocchi W., Lollato R.P., Jaenisch B.R., Rezende C.R., Schwalbert R., Vara Prasad P.V., Zhang G., Fritz A.K., Foster C., Wright Y., Young S., Bradley P., Ciampitti I.A., 2020. Winter wheat yield response to plant density as a function of yield environment and tillering potential: A review and field studies. *Front. Plant Sci.* 11, 54. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00054>
- Ben-Jabeur M., Vicente R., López-Cristoffanini C., Alesami N., Djéali N., Gracia-Romero A., Dolores Serret M., López-Carbonell M., Araus J.L., Hamada W., 2019. A novel aspect of essential oils: coating seeds with thyme essential oil induces drought resistance in wheat. *Plants* 8(10), 371. <https://doi.org/10.3390/plants8100371>
- Carvalho R.D.S., Silva M.A.D., Borges M.T.M.R., Forti V.A., 2021. Plant extracts in agriculture and their applications in the treatment of seeds. *Ciência Rural* 52(5), e20210245. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210245>
- Caubel J., Launay M., Ripoche D., Gouache D., Buis S., Huard F., Huber L., Brun F., Bancal M.O., 2017. Climate change effects on leaf rust of wheat: Implementing a coupled crop-disease model



- in a French regional application. Eur. J. Agron. 90, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.004>
- Chen J., Wei J., Fu L., Wang S., Liu J., Guo Q., Jiang J., Tian Y., Che Z., Chen G., Liu, S. 2021. Tebuconazole resistance of *Fusarium graminearum* field populations from wheat in Henan Province. J. Phytopathol. 169(9), 525–532. <https://doi.org/10.1111/jph.13021>
- Dallagnol L.J., Ramos A.E.R., da Rosa Dorneles K., 2020. Silicon use in the integrated disease management of wheat: Current knowledge. In: Current Trends in Wheat Research. IntechOpen, London, 113–125.
- Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. Off. J. Eur. Union L 2009, 309, 71–86.
- Dobosz A., Winiszewska G., Jakubowska M., 2023. Znaczenie nicieni – pasożytów roślin w uprawie pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.) ze szczególnym uwzględnieniem formy ozimej [The importance of plant parasitic nematodes in the cultivation of wheat (*Triticum aestivum* L.) with particular interest in the winter form. Prog. Plant Prot. 63(2), 80–85 [in Polish]. <http://dx.doi.org/10.14199/ppp-2023-009>
- Drobek M., Frąć M., Cybulska J., 2019. Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress – A review. Agronomy 9(6), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- El Jarroudi M., Kouadio L., Junk J., Maraite H., Tychon B., Delfosse P., 2022. Assessing the interplay between weather and septoria leaf blotch severity on lower leaves on the disease risk on upper leaves in Winter wheat. J. Fungi 8(11), 1119. <https://doi.org/10.3390/jof8111119>
- El-Gamal N.G., El-Mougy N.S., Khalil M.S.A., Abdel-Kader M.M., 2022. Effectiveness of plant extracts for repressing stem rust disease severity of wheat caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Pers under field conditions. Egypt. J. Biol. Pest Control 32, 109. <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00608-5>
- Elzaawely A.A., Ahmed M.E., Maswada H.F., Xuan T.D., 2017. Enhancing growth, yield, biochemical, and hormonal contents of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) sprayed with moringa leaf extract. Arch. Agron. Soil Sci. 63(5), 687–699. <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1234042>
- EPPO, 2012. EPPO PP1/026(4) Foliar and ear diseases on cereals. European and Mediterranean Plant Protection Organization.
- European Commission, 2019. The European Green Deal. COM(2019) 640 final.
- Fierascu I., Ungureanu C., Avramescu S.M., Fierascu R.C., Ortan A., Soare L.C., Paunescu A., 2015. In vitro antioxidant and antifungal properties of *Achillea millefolium* L. Rom. Biotechnol. Lett. 20(4), 10626–10636.
- Gebashe F., Gupta S., Van Staden J., 2021. Disease management using biostimulants. In: Biostimulants for crops from seed germination to plant development. Academic Press, 411–425. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823048-0.00005-8>
- Godlewska K., Pacyga P., Michalak I., Biesiada A., Szumny A., Pachura N., Piszcz U., 2020. Field-scale evaluation of botanical extracts effect on the yield, chemical composition and antioxidant activity of celeriac (*Apium graveolens* L. var. *rapaceum*). Molecules 25(18), 4212. <https://doi.org/10.3390/molecules25184212>
- Gupta S., Doležal K., Kulkarni M.G., Balázs E., Van Staden J., 2022. Role of non-microbial biostimulants in regulation of seed germination and seedling establishment. Plant Growth Regul. 97(2), 271–313. <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00794-6>
- Hýšek J., Vavera R., Růžek P., 2017. Influence of temperature, precipitation, and cultivar characteristics on changes in the spectrum of pathogenic fungi in winter wheat. Int. J. Biometeorol. 61, 967–975. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1276-y>

- Jamiołkowska A., 2020. Natural compounds as elicitors of plant resistance against diseases and new biocontrol strategies. *Agronomy* 10(2), 173. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020173>
- Kayim M., Nawaz H., Alsalmo A., 2022. Fungal diseases of wheat. In: *Wheat-recent advances*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98157>
- Kisiriko M., Anastasiadi M., Terry L.A., Yasri A., Beale M.H., Ward J.L., 2021. Phenolics from medicinal and aromatic plants: Characterisation and potential as biostimulants and bioprotectants. *Molecules* 26(21), 6343. <https://doi.org/10.3390/molecules26216343>
- Kolmer J., 2013. Leaf rust of wheat: pathogen biology, variation and host resistance. *Forests* 4(1), 70–84. <https://doi.org/10.3390/f4010070>
- Kopcińska J., Skowera B., Wojkowski J., Zając E., Ziernicka-Wojtaszek A., 2018. Identyfikacja miesięcy suchych i wilgotnych w województwie opolskim na podstawie wybranych wskaźników klimatycznych (1981–2010) [Identification of the dry and the wet months in the opolskie voivodeship on the basis of chosen climate indexes (1981–2010)]. *Infrastrukt. Ekol. Teren. Wiej.* 2(1), 421–434. <https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2018.2.1.028> [in Polish].
- Korpinen R.I., Välimaa A.L., Liimatainen J., Kunas S., 2021. Essential oils and supercritical CO<sub>2</sub> extracts of Arctic Angelica (*Angelica archangelica* L.), marsh Labrador tea (*Rhododendron tomentosum*) and common tansy (*Tanacetum vulgare*) – chemical compositions and antimicrobial activities. *Molecules* 26(23), 7121. <https://doi.org/10.3390/molecules26237121>
- Kursa W., Jamiołkowska A., Skwaryło-Bednarz B., Kowalska G., Gałązka A., 2024a. Impact of selected plant extracts on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings: growth, plant health status and soil activity. *Agriculture* 14(6), 959. <https://doi.org/10.3390/agriculture14060959>
- Kursa W., Jamiołkowska A., Wyrstek J., Kowalski R., 2024b. Attempts to use hemp (*Cannabis sativa* L. var. *sativa*) inflorescence extract to limit the growth of fungi occurring in agricultural crops. *Appl. Sci.* 14(4), 1680. <https://doi.org/10.3390/app14041680>
- Kursa W., Jamiołkowska A., Wyrstek J., Kowalski R., 2022. Antifungal effect of plant extracts on the growth of the cereal pathogen *Fusarium* spp. – An in vitro study. *Agronomy* 12, 3204 <https://doi.org/10.3390/agronomy12123204>
- Łozowicka B., Iwaniuk P., Konecki R., Kaczyński P., Kuldybayev N., Dutbayev Y., 2022. Impact of diversified chemical and biostimulator protection on yield, health status, mycotoxin level, and economic profitability in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivation. *Agronomy* 12(2), 258. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020258>
- Ma Y., Freitas H., Dias M.C., 2022. Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. *Front. Plant Sci.* 13, 1024243. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1024243>
- Maksoud S.A., Gad K.I., Hamed, E.Y., 2023. The potentiality of biostimulant (*Lawsonia inermis* L.) on some morphophysiological, biochemical traits, productivity and grain quality of *Triticum aestivum* L. *BMC Plant Biol.* 23(1), 95. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04083-4>
- Matyja M., 2014. Social side of agricultural co-operatives. The case of agricultural production co-operatives in the Opole voivodeship. *J. Agribus. Rural Dev.* 33(3), 113–124.
- Montanarella L., Panagos P., 2021. The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal. *Land Use Policy* 100, 104950. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104950>
- Mrid R.B., Benmrid B., Hafsa J., Boukcim H., Sobeh M., Yasri A., 2021. Secondary metabolites as biostimulant and bioprotectant agents: A review. *Sci. Total Environ.* 777, 146204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146204>
- Mukherjee A., Patel J.S., 2020. Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 17(1), 553–558. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02442-z>

- Panasiewicz K., Sulewska H., Koziara W., 2008. Efficacy of biological and chemical active compounds in protection of *Triticum durum* against fungal diseases. J. Res. Appl. Agric. Eng. 53(4), 30–32.
- Pannacci E., Baratta S., Falcinelli B., Farneselli M., Tei F., 2022. Mugwort (*Artemisia vulgaris* L.) Aqueous extract: Hormesis and biostimulant activity for seed germination and seedling growth in vegetable crops. Agriculture 12(9), 1329. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091329>
- Pazdiora P.C., da Rosa Dorneles K., Morello T.N., Nicholson P., Dallagnol L.J., 2021. Silicon soil amendment as a complement to manage tan spot and *fusarium* head blight in wheat. Agron. Sustain. Dev. 41, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00677-0>
- Pietrusińska-Radzio A., Żurek M., 2024. Wpływ rdzy brunatnej na uprawy pszenicy w kontekście zmian klimatu. [The impact of leaf rust on wheat crops in the context of climate change]. Biul. Inst. Hod. Aklim. Roś. 301, 63–68. <https://doi.org/10.37317/biul-2024-0007> [in Polish].
- Program Ochrony Roślin Rolniczych [Agricultural Plant Protection Program], 2022. Argo Wydawnictwo, Suchy Las [in Polish].
- Program Ochrony Roślin Rolniczych [Agricultural Plant Protection Program], 2023. Argo Wydawnictwo, Suchy Las [in Polish].
- Program Ochrony Roślin Rolniczych [Agricultural Plant Protection Program], 2024. Argo Wydawnictwo, Suchy Las [in Polish].
- Rădoi D. M., Bonciu E., Păunescu G., Roșculete C. A., Roșculete E., 2022. A brief review on the influence of flag leaf on cereals production. Ann. Univ. Craiova, ser. Agric. Montanol. Cadastre 52(1), 320–327. <https://doi.org/10.52846/aamc.v52i1.1351>
- Rodríguez-Moreno V.M., Jiménez-Lagunes A., Estrada-Avalos J., Mauricio-Ruvalcaba J.E., Padilla-Ramírez J.S., 2020. Weather-data-based model: an approach for forecasting leaf and stripe rust on winter wheat. Meteorol. Appl. 27, e1896. <https://doi.org/10.1002/met.1896>
- Rohr J.R., Barrett C.B., Civitello D.J., Craft M.E., Delius B., DeLeo G.A., Hudson P.J., Jouanard N., Nguyen K.N., Delius B., Ostfeld R.S., Remais J.V., Riveau G., Sokolow S.H., Tilman D., 2019. Emerging human infectious diseases and the links to global food production. Nat. Sustain. 2(6), 445–456. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0293-3>
- Rouphael Y., Colla G., 2020. Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. Agronomy 10(10), 1461. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>
- Sakr N., 2016. The role of silicon (Si) in increasing plant resistance against fungal diseases. Hellenic Plant Prot. J. 9(1), 1–15. <https://doi.org/10.1515/hppj-2016-0001>
- Schierenbeck M., Fleitas M.C., Simón M.R., 2023. The interaction of fungicide and nitrogen for aboveground biomass from flag leaf emergence and grain yield generation under tan spot infection in wheat. Plants 12(1), 212. <https://doi.org/10.3390/plants12010212>
- da Silva Santana A., Baldin E. L. L., dos Santos T.L.B., Baptista Y.A., dos Santos M.C., Lima A.P.S., Tanajura L.S., Vieira T.M., Crotti A.E.M., 2022. Synergism between essential oils: A promising alternative to control *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). Crop Prot. 153, 105882. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105882>
- Simón M.R., Fleitas M.C., Castro A.C., Schierenbeck M., 2020. How foliar fungal diseases affect nitrogen dynamics, milling, and end-use quality of wheat. Front. Plant Sci. 11, 569401. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.569401>
- Singh J., Bhatnagar S.K., Tomar A., 2019. Study on fungicidal effect of plant extracts on plant pathogenic fungi and the economy of extract preparation and efficacy in comparison to synthetic/chemical fungicides. J. Appl. Nat. Sci. 11(2), 333–337. <https://doi.org/10.31018/jans.v11i2.2053>

- Skowera B., Pula J., 2004. Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000 [Pluviometric extreme conditions in spring season in Poland in the years 1971–2000]. *Acta Agrophys.* 3(1), 171–177 [in Polish].
- Soto-Gómez D., Pérez-Rodríguez P., 2022. Sustainable agriculture through perennial grains: Wheat, rice, maize, and other species. A review. *Agric. Ecosys. Environ.* 325, 107747. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107747>
- Szczygieł T., Koziróg A., Otlewska A., 2024. Synthetic and natural antifungal substances in cereal grain protection: a review of bright and dark sides. *Molecules* 29(16), 3780. <https://doi.org/10.3390/molecules29163780>
- Szparaga A., 2023. From biostimulant to possible plant bioprotectant agents. *Agric. Eng.* 27(1), 87–98. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2023-0007>
- Szpunar-Krok E., Depciuch J., Drygaś B., Jańczak-Pieniążek M., Mazurek K., Pawlak R., 2022. The influence of biostimulants used in sustainable agriculture for antifungal protection on the chemical composition of winter wheat grain. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19(20), 12998. <https://doi.org/10.3390/ijerph192012998>
- Tsialtas J.T., Theologidou G.S., Karaoglanidis G.S., 2018. Effects of pyraclostrobin on leaf diseases, leaf physiology, yield and quality of durum wheat under Mediterranean conditions. *J. Crop Prot.* 113, 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.07.008>
- Wens A., Geuens J., 2022. *In vitro* and *in vivo* antifungal activity of plant extracts against common phytopathogenic fungi. *J. BioSci. Biotechnol.* 11(1), 15–21.
- Zamojska J., Danielewicz J., Jajor E., Wilk R., Horoszkiewicz-Janka J., Dworżańska D., Węgorzek P., Korbas M., Bubniewicz P., Ciecierski W., Narkiewicz-Jodko, J., 2018. The influence of foliar application of silicon on insect damage and disease occurrence in field trials. *Fresenius Environ. Bull.* 27(5A), 3300–3305.
- Zulfiqar F., Casadesús A., Brockman H., Munné-Bosch S., 2020. An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts. *Plant Sci.* 295, 110194. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110194>

**The source of funding:** This research received no external funding.

Received: 16.10.2024

Accepted: 26.11.2024

Published: 18.03.2025



<sup>1</sup> Instytut Agroekologii i Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
pl. Grunwaldzki 24A, 50-365 Wrocław, Polska

<sup>2</sup> Katedra Genetyki i Biotechnologii, Uniwersytet Południowoczeski w Českých Budějovicach,  
Studentská 1668, 370 05 České Budějovice, Republika Czeska

\*e-mail: marcin.kozak@upwr.edu.pl

MAGDALENA SERAFIN-ANDRZEJEWSKA <sup>1</sup>,  
WIESŁAW WOJCIECHOWSKI <sup>1</sup>, MARIE PICHOVÁ <sup>2</sup>,  
MARCIN KOZAK <sup>1\*</sup>

## **Dochodowość uprawy bobiku *Vicia faba* var. *minor* L. na nasiona w zależności od aplikacji bakterii symbiotycznych**

---

Profitability of growing field beans *Vicia faba* var. *minor* L. for seeds depending  
on the application of symbiotic bacteria

---

**Abstrakt.** Opłacalność uprawy bobiku w Polsce zależy od wielu czynników. Celem badań było określenie wpływu aplikacji dwóch preparatów zawierających bakterie wiążące azot atmosferyczny na opłacalność produkcji nasion bobiku. Analizę dochodowości przeprowadzono na podstawie wyników badań pochodzących z doświadczenia przeprowadzonego w latach 2022–2023 na polach Stacji Naukowo-Dydaktycznej w Swojczycach, należącej do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Za główne determinanty warunkujące opłacalność produkcji bobiku w Polsce uznano wielkość uzyskanego plonu nasion z 1 hektara, cenę sprzedaży nasion oraz stopień wsparcia finansowego do uprawy roślin strączkowych na nasiona. Aplikacja bakterii symbiotycznych w technologii uprawy bobiku może przyczynić się do istotnego zwiększenia plonów nasion, co jednak nie gwarantuje uzyskania satysfakcjonujących wyników finansowych dla jego producentów. Aby uprawa bobiku wraz z dopłatami do produkcji roślin strączkowych na nasiona przyniosła dodatni dochód, konieczne jest uzyskanie plonów nasion przekraczających 3,5 t z 1 hektara.

**Słowa kluczowe:** bobik, plon, białko, dochodowość, bakterie symbiotyczne

---

**Cytowanie:** Serafin-Andrzejewska M., Wojciechowski W., Pichová M., Kozak M., 2024. Dochodowość uprawy bobiku *Vicia faba* var. *minor* L. na nasiona w zależności od aplikacji bakterii symbiotycznych. Agron. Sci. 79(4), 125–135. <https://doi.org/10.24326/as.2024.5443>

## WSTĘP

Znaczenie gospodarcze roślin bobowatych grubonasiennych wynika przede wszystkim z wysokiej zawartości białka w nasionach. Są one cennym komponentem białkowym pożywienia człowieka oraz podstawowym źródłem surowcowym do produkcji pasz dla zwierząt [Florek i in. 2012, Oleksiak i Bronisz 2021]. Bobik (*Vicia faba* var. *minor* L.) zaliczany jest do ważniejszych gospodarczo roślin z rodziny bobowatych [Jarecki i Bobrecka-Jamro 2015]. Produkcja bobiku na świecie prowadzona jest głównie w Chinach, Afryce Północnej, Europie, Australii oraz Azji Zachodniej [Rawal i Navarro 2019]. W Polsce powierzchnia uprawy bobowatych grubonasiennych w latach 2022 i 2023 wynosiła odpowiednio 413 tys. ha i 625 tys. ha, w tym bobiku 34,3 tys. ha i 37,9 tys. ha [ARiMR 2022, 2023]. Jak podają Kezeya Sepngang i in. [2020], Polska zajmuje ósme miejsce wśród producentów nasion bobiku w Unii Europejskiej. Według Eurostatu [2023] produkcja nasion bobiku w Europie w 2023 r. wyniosła 1 160 tys. ton, natomiast w Polsce 94 tys. ton.

Bardzo ważną cechą roślin bobowatych jest zdolność do wiązania azotu atmosferycznego przez bakterie korzeniowe, co ma duże znaczenie zarówno ekonomiczne, jak i proekologiczne [Śmiglak-Krajewska i Łukowski 2013]. Powszechnie wiadomo, że bakterie symbiotyczne z rodzaju *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* przyczyniają się do powstawania na korzeniach bobiku brodawek, w których zachodzi proces przekształcania azotu atmosferycznego do formy amonowej, niezbędnej dla wzrostu i rozwoju roślin [Martyniuk 2019]. Swego rodzaju rewolucją na rynku preparatów zawierających bakterie wiążące azot atmosferyczny z powietrza jest preparat o nazwie handlowej BlueN. Środek ten stosuje się nalistnie w uprawach rolniczych. Cechuje go zawartość unikatowych bakterii *Methylobacterium symbioticum* SB0023/3 T, które zasiedlają części nadziemne roślin, a pobieranie azotu odbywa się poprzez liście [Torres Vera i in. 2024]. Bakterie symbiotyczne mogą istotnie wpływać na wielkość uzyskiwanych plonów nasion roślin bobowatych, co w konsekwencji znacząco wpływa na opłacalność prowadzonej produkcji. Dotychczas w krajowej literaturze brakuje danych dotyczących możliwości wykorzystania nowych preparatów mikrobiologicznych w uprawie bobiku, co stało się bezpośrednią inspiracją do podjęcia niniejszych badań.

Celem badań było określenie wpływu aplikacji preparatów zawierających zróżnicowane bakterie wiążące azot atmosferyczny na opłacalność produkcji nasion bobiku. Jednocześnie badania te były próbą odpowiedzi na pytanie dotyczące zasadności stosowania dostępnych na rynku preparatów o charakterze mikrobiologicznym w uprawie bobiku.

## MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2022–2023, jako jednoczynnikowe w układzie losowanych bloków, w czterech powtórzeniach. Zlokalizowane było na polach Stacji Naukowo-Dydaktycznej w Swojczycach (51°11'N, 17°14'E) należącej do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Czynnikiem badawczym był sposób aplikacji dwóch różnych bakterii symbiotycznych:

- obiekt kontrolny – brak aplikacji bakterii symbiotycznych,
- oprysk nalistny preparatem BlueN (Corteva Agriscience) w fazie BBCH 13,

– przedsiewne szczepienie nasion nitraginą (Nitragia Biofood SC. ZPHU) w fazie BBCH 00,

– przedsiewne szczepienie nasion nitraginą (Nitragia Biofood SC. ZPHU) w fazie BBCH 00 + oprysk nalistny preparatem BlueN (Corteva Agriscience) w fazie BBCH 13.

Fazy rozwojowe roślin podano zgodnie ze skalą Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie (BBCH) [Adamczewski i Matysiak 2011].

Nitragina dedykowana dla bobiku z firmy Biofood zawierała bakterie *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*, natomiast preparat BlueN oparty był na *Methylobacterium symbioticum* SB0023/3 T. Obydwa preparaty stosowano w doświadczeniu w dawkach zgodnych z zaleceniami poszczególnych producentów. Przed siewem bobiku nie wykonano zaprawiania chemicznego nasion ze względu na brak substancji aktywnych dopuszczonych przez MRiRW w latach 2022–2023 do aplikacji w tym celu.

W doświadczeniu wykorzystano niskotaninową odmianę bobiku Domino (Hodowla Roślin Strzelce sp. z o.o. Grupa IHAR), ze względu na przeznaczenie zebranych nasion na cele paszowe. Zgodnie z zaleceniami hodowcy bobik wysiewano w liczbie 60 nasion o pełnej wartości użytkowej na 1 m<sup>2</sup>. Siew wykonano 14 kwietnia 2022 r. i 29 marca 2023 r. siewnikiem rzędowym na głębokość 6–8 cm, w rozstawie rzędów 15 cm. Agrotechnikę bobiku prowadzono zgodnie z „Metodyką integrowanej ochrony i produkcji bobiku” [Strażyński i Mrówczyński 2016]. Doświadczenie założono corocznie na glebie typu mada rzeczna (2F gs:ps, F – mada rzeczna, 2F – kompleks pszenny dobry, gs – glina średnia, ps – piasek słabo gliniasty, RIII b). Powierzchnia pojedynczego poletka do zbioru wynosiła 15 m<sup>2</sup>. Zbiór wykonano kombajnem poletkowym 8 sierpnia 2022 r. i 23 sierpnia 2023 r.

Analizie statystycznej poddano uzyskany plon nasion bobiku, który sprowadzono do stałej wilgotności wynoszącej 15%, oraz plon białka z 1 ha obliczony jako iloczyn suchej masy plonu nasion z jednostki powierzchni i zawartości białka ogółem w nasionach. Zawartość białka ogółem w nasionach oznaczono w laboratorium Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej UPWr metodą Kjeldahla – oznaczono azot ogólny, a następnie, stosując współczynnik 6,25, obliczono zawartość białka ogółem.

Analizę wariancji (ANOVA) wykonano zgodnie z metodyką doświadczeń polowych w układzie losowanych bloków [Elandt 1964] oddzielnie dla każdego roku badawczego. Wyniki oceniono testem t-Studenta za pomocą NIR (najmniejsza istotna różnica) przy poziomie ufności  $P = 0,05$ . Do obliczeń statystycznych wykorzystano programy: AWA [Bartkowiak 1978], Statistica 13.3 PL oraz Microsoft Excel.

Ze względu na odmienny sposób naliczania przez Agencję Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR) płatności bezpośrednich i dopłat do produkcji roślin strączkowych uprawianych na nasiona w latach 2022 i 2023 dochodowość produkcji bobiku wyliczono odrębnie dla obydwu lat badań.

Koszty produkcji nasion bobiku skalkulowano na podstawie danych opublikowanych przez Pomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Lubaniu [[https://podr.pl/wp-content/uploads/2022/08/Kalkulacje-rolnicze\\_2022.pdf](https://podr.pl/wp-content/uploads/2022/08/Kalkulacje-rolnicze_2022.pdf), <https://podr.pl/wp-content/uploads/2023/05/Bobik.pdf>] oraz danych komercyjnych [CGFP 2024]. Efektywność ekonomiczną produkcji nasion bobiku określono na podstawie uzyskanego dochodu z działalności z dopłatami / bez dopłat do 1 ha, który wyliczono jako różnicę wartości produkcji (przychody ze sprzedaży nasion wraz z dopłatami / bez dopłat) oraz sumy kosztów ogółem (bezpośrednich i pośrednich). Powyższą analizę przeprowadzono wg Kopcia [1983] metodą porównawczą.

Koszty ogółem to suma wysokości nakładów (koszty bezpośrednie + koszty pośrednie) wymagana do wytworzenia produktu lub usługi [Chmielewski 2008]. W badaniach własnych w kalkulacji kosztów ogółem uwzględniono koszty bezpośrednie i pośrednie oraz sumy kosztów poniesione w poszczególnych latach badań w uprawie bobiku w zależności od sposobu aplikacji bakterii symbiotycznych. Do kosztów bezpośrednich przyporządkowane zostały te elementy kosztów, które można zaliczyć do kosztów danego produktu [Skarżyńska 2017]. W badaniach własnych koszty bezpośrednie poniesione na 1 ha plantacji bobiku obejmowały: zabiegi uprawowe, szczepionki, materiał siewny i siew, nawozy i nawożenie, środki ochrony roślin i ochrona plantacji, zbiór nasion oraz ich transport do gospodarstwa. Sumaryczne koszty bezpośrednie wynosiły: 5070,00–5355,00 zł w roku 2022 i 5210,00–5495,00 zł w 2023. Koszty pośrednie stanowiły: podatek rolny (132,00 zł) i narzut od kosztów eksploatacji maszyn (5% kosztów bezpośrednich).

Skarżyńska [2017] definiuje różnicę między roczną wartością produkcji (przychody ze sprzedaży) z 1 ha, a poniesionymi kosztami bezpośrednimi jako nadwyżkę bezpośrednią. W badaniach własnych średnia nadwyżka bezpośrednia została wyliczona z uwzględnieniem dopłat oraz bez uwzględniania dopłat przysługujących producentowi do uprawy bobiku na nasiona. W rachunku ekonomicznym przyjęto wykonanie wszystkich prac agrotechnicznych przy wykorzystaniu maszyn i narzędzi własnych.

W badaniach własnych przyjęto, że dopłaty do 1 ha produkcji bobiku na nasiona były uzależnione od aktualnych stawek obowiązujących w danym roku badawczym. Takie postępowanie pozwoliło dodatkowo wskazać zależności / rozbieżności wynikające ze zmian uwarunkowań ekonomicznych produkcji roślin strączkowych na nasiona. Jako sumę płatności wynikających z funkcjonowania w ramach wspólnej polityki rolnej przyjęto: jednolitą płatność obszarową (2022 r.) / podstawowe wsparcie dochodów do celów zrównoważoności (2023 r.), płatność do uprawy roślin strączkowych na nasiona (lata 2022 i 2023), płatność do zazieleniania (2022 r.), płatność redystrybucyjną (2023 r.), dopłatę do zużytego materiału siewnego w stopniu kwalifikowanym C1 (lata 2022 i 2023). W obliczeniach nie ujęto kosztów ubezpieczenia uprawy. Wartość produkcji dla poszczególnych obiektów badawczych wynikała z uzyskanego plonu nasion bobiku oraz średniej krajowej ceny sprzedaży. Cenę sprzedaży 1 t nasion bobiku (1050,00 zł) ustalono na podstawie średnich cen skupu w latach 2022–2023. W przeprowadzonych badaniach nie uwzględniono potencjalnych korzyści ekonomicznych z uprawy bobiku jako przedplonu dla gatunków następczych.

#### WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W Polsce w ostatnich latach obserwujemy tendencję wzrostową areалу uprawy [Bojarszczuk i Książak 2018, Eurostat 2023] i zbiorów roślin bobowatych grubonasiennych po okresie stagnacji, jaka miała miejsce w latach 2004–2008. Wynika ona głównie ze wzrostu powierzchni uprawy, a nie plonowania roślin [Kopiński i Matyka 2012, Eurostat 2023]. Ponadto Florek i Czerwińska-Kayzer [2018] zwracają uwagę na fakt, że korzyści biologiczne z uprawy roślin bobowatych, oprócz wielkości uzyskiwanego plonu, powinny być uwzględniane w rachunku opłacalności przy podejmowaniu decyzji produkcyjnych dotyczących całego gospodarstwa. W badaniach własnych plony nasion bobiku, uzyskane zarówno w 2022, jak i 2023 r., kształtowane były przez rodzaj aplikowanych bakterii symbiotycznych (tab. 1, 2). Istotnie najniższe plony nasion (odpowiednio 2,60



i  $3,65 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) uzyskano na obiektach kontrolnych, natomiast stosowanie bakterii w postaci szczepienia nasion (Nitragina), oprysku dolistnego (BlueN) lub połączonego szczepienia (Nitragina) i oprysku dolistnego (BlueN), w każdym roku badań powodowało zwiększenie plonowania. W roku 2022 każdy wariant aplikacji bakterii symbiotycznych powodował wzrost plonu nasion w odniesieniu do kontroli (tab. 1). Z kolei w 2023 roku najlepszym efektem plonotwórczym odznaczało się szczepienie nasion Nitraginą lub połączone kolejno zabiegi szczepienia nasion Nitraginą i oprysku preparatem BlueN (tab. 2). Uzyskane plony białka z 1 ha były wypadkową wielkości plonu i zawartości białka w nasionach. W obydwu sezonach wegetacyjnych istotnie najwyższe plony białka z 1 ha uzyskano po aplikacji Nitraginy w fazie BBCH 00 i BlueN w fazie BBCH 13 (tab. 1, 2).

Śmiglak-Krajewska i Łukowski [2013] wskazują, że producenci rolni obawiają się podejmować decyzji o uprawie roślin bobowatych ze względu na ich niską opłacalność produkcji oraz niestabilność plonów. Ważnym powodem w tym zakresie był często wskazywany także brak rynków zbytu, co jednak w ostatnim czasie ulega w Polsce i Europie znacznym zmianom.

Tabela 1. Plony nasion, białka ogółem oraz zawartość białka ogółem w nasionach bobiku w 2022 r.

Table 1. Seed yield, total proteins and total protein content in horse bean seeds in 2022

| Wyszczególnienie<br>Specification                  | Plon nasion<br>Seed yield<br>( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) | Zawartość białka ogółem<br>w nasionach<br>Content of total protein<br>in seeds ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | Plon białka ogółem<br>Total protein yield<br>( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Kontrola/Control                                   | 2,60                                                             | 303,8                                                                                                              | 671                                                                               |
| BlueN                                              | 3,09                                                             | 293,6                                                                                                              | 770                                                                               |
| Nitragina                                          | 3,11                                                             | 291,2                                                                                                              | 768                                                                               |
| Nitragina + BlueN                                  | 3,25                                                             | 316,3                                                                                                              | 875                                                                               |
| NIR ( $\alpha = 0,05$ )<br>LSD ( $\alpha = 0,05$ ) | 0,150                                                            | –                                                                                                                  | 38,7                                                                              |

Tabela 2. Plony nasion, białka ogółem oraz zawartość białka ogółem w nasionach bobiku w 2023 r.

Table 2. Seed yield, total proteins and total protein content in horse bean seeds in 2023

| Wyszczególnienie<br>Specification                  | Plon nasion<br>Seed yield<br>( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) | Zawartość białka ogółem<br>w nasionach<br>Content of total protein in<br>seeds ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | Plon białka ogółem<br>Total protein yield<br>( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Kontrola/Control                                   | 3,65                                                             | 306,0                                                                                                              | 949                                                                               |
| BlueN                                              | 3,93                                                             | 293,6                                                                                                              | 981                                                                               |
| Nitragina                                          | 4,10                                                             | 291,3                                                                                                              | 1015                                                                              |
| Nitragina + BlueN                                  | 4,06                                                             | 316,4                                                                                                              | 1091                                                                              |
| NIR ( $\alpha = 0,05$ )<br>LSD ( $\alpha = 0,05$ ) | 0,085                                                            | –                                                                                                                  | 21,7                                                                              |

W badaniach własnych koszty ogółem uprawy 1 ha bobiku (tab. 3, 4) kształtowały się od 5545,50 zł do 5901,75 zł, a wykazane różnice zależały głównie od kosztów zakupu i aplikacji preparatów Nitragina i BlueN. Biorąc pod uwagę zebrane w 2022 r. plony nasion oraz przychody uzyskane z ich sprzedaży łącznie z dopłatami okazało się, że żaden wariant badawczy nie zapewnił uzyskania przez producenta / rolnika dodatniej wartości nadwyżki bezpośredniej (tab. 3). Wynika z tego, że plony w zakresie od 2,60 do 3,25 t nasion z 1 ha oraz stopień wsparcia dopłatami do produkcji bobiku w 2022 r. były wysoce niekorzystne. Szczególnie uwidoczniło się to w odniesieniu do obliczonej nadwyżki bezpośredniej bez dopłat, której ujemne wartości kształtowały się w zakresie od –1884,50 zł do –2340,00 zł (tab. 3).

Tabela 3. Kalkulacje kosztów i dochodów uprawy bobiku na nasiona ( $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) w 2022 r.  
Table 3. Calculations of costs and income of growing horse bean for seeds ( $\text{PLN} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) in 2022

| Wyszczególnienie<br>Specification                                                                      | Control<br>Control | BlueN    | Nitragina | Nitragina<br>+ BlueN |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|-----------|----------------------|
| Plon nasion / Seed yield ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ )                                           | 2,60               | 3,09     | 3,11      | 3,25                 |
| Przychody ze sprzedaży + dopłaty<br>Sales revenue + subsidies                                          | 4384,17            | 4898,67  | 4919,67   | 5066,67              |
| Produkcja główna (przychody<br>ze sprzedaży bez dopłat)<br>Main production (sales revenue – subsidies) | 2730,00            | 3244,50  | 3265,50   | 3412,50              |
| Jednolita płatność obszarowa (JPO)<br>Single area payment                                              | 518,01             |          |           |                      |
| Specjalna płatność dla roślin strączkowych<br>Special payment for legumes                              | 673,50             |          |           |                      |
| Zazielenienie/ Greening                                                                                | 347,66             |          |           |                      |
| Dopłata do materiału siewnego roślin<br>strączkowych<br>Subsidy for seed of legumes                    | 115,00             |          |           |                      |
| Koszty ogółem / Total cost                                                                             | 5455,50            | 5670,75  | 5539,50   | 5754,75              |
| Koszty bezpośrednie / Direct costs                                                                     | 5070,00            | 5275,00  | 5150,00   | 5355,00              |
| Koszty pośrednie / Indirect costs                                                                      | 385,50             | 395,75   | 389,50    | 399,75               |
| Nadwyżka bezpośrednia<br>Gross margin                                                                  | –685,83            | –376,33  | –230,33   | –288,33              |
| Nadwyżka bezpośrednia bez dopłat<br>Gross margin (without subsidies)                                   | –2340,00           | –2030,50 | –1884,50  | –1942,50             |
| Koszt produkcji 1 t nasion<br>Production cost of 1 t of seeds                                          | 2098,26            | 1835,19  | 1781,19   | 1770,69              |
| Plon białka / Total protein yield<br>( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )                              | 671                | 770      | 768       | 875                  |
| Koszt produkcji 1 kg białka<br>Production cost of 1 kg of protein                                      | 8,13               | 7,36     | 7,21      | 6,58                 |
| Dochód z działalności z dopłatami<br>Income from activity with subsidies                               | –1071,33           | –772,08  | –619,83   | –688,08              |
| Dochód z działalności bez dopłat<br>Income from activity without subsidies                             | –2725,50           | –2426,25 | –2274,00  | –2342,25             |

Jednocześnie stwierdzono, że najwyższym kosztem produkcji 1 t nasion bobiku (2098,26 zł) odznaczał się obiekt kontrolny (bez aplikacji bakterii symbiotycznych). Z kolei koszt produkcji 1 kg białka z nasion bobiku był wysoki i w zależności od wariantu badawczego wynosił w 2022 r. od 6,58 do 8,13 zł. Zarówno dochód z działalności wraz z dopłatami, jak i bez dopłat, w żadnej kombinacji badawczej, nie osiągnął wartości dodatniej, co jest przesłanką wysoce zniechęcającą rolników do uprawy tego gatunku (tab. 3). Majchrzycki i in. [2002] twierdzą, że przed podjęciem decyzji o rozpoczęciu produkcji roślin bobowatych na paszę należy obliczyć, czy wartość uzyskanej produkcji przewyższa jej koszty oraz czy koszt wyprodukowania białka w gospodarstwie jest niższy od ceny białka śruty poekstrakcyjnej sojowej oferowanej na rynku.

W 2023 r. wprowadzono w Polsce częściowo nowe zasady wsparcia do produkcji rolnej, co wpłynęło na zwiększenie zainteresowania uprawą roślin strączkowych na nasiona. W badaniach własnych uzyskane plony nasion bobiku wahały się od 3,65 do 4,10 t·ha<sup>-1</sup>. Pozwoliło to na uzyskanie przychodów ze sprzedaży (wraz z dopłatami) na poziomie 5639,72 – 6112,22 zł z 1 ha (tab. 4). Biorąc pod uwagę koszty ogółem, które były w 2023 r. zbliżone do kosztów poniesionych na uprawę bobiku w 2022 r., udało się wygenerować dodatnią nadwyżkę bezpośrednią w zakresie od 429,72 zł do 822,22 zł z 1 ha. Największą nadwyżkę bezpośrednią (obliczaną wraz z dopłatami) uzyskano w uprawie bobiku, w której stosowano przedsięwzięcie szczepienie nasion preparatem Nitragina (tab. 4).

Florek [2017] oraz Jerzak i Mikulski [2017] twierdzą, że obecne wsparcie finansowe ze strony państwa zachęcające do produkcji roślin bobowatych grubonasiennych spełnia tylko funkcję stabilizującą dochody producentów, nie przekładając się na towarowość nasion. Pozytywnych zmian upatrują w powiązaniu dopłat do roślin bobowatych z wielkością produkcji, a nie powierzchnią upraw. W omawianym aspekcie wskazują na wzrastające zainteresowanie kwalifikowanym materiałem siewnym roślin bobowatych grubonasiennych.

W badaniach własnych uzyskano odmienne wartości nadwyżki bezpośredniej bez dopłat. Żaden z wariantów aplikacji bakterii symbiotycznych w roku 2023 nie zapewniał uzyskania dodatnich wartości. Koszt produkcji 1 t nasion bobiku był niższy niż w 2022 r. i wahał się od 1386,95 zł (aplikacja Nitraginy) do 1534,93 (kontrola – bez aplikacji). Jednakże biorąc pod uwagę średnią cenę 1 t nasion bobiku (1050,00 zł) oferowanych do sprzedaży na cele paszowe w latach 2022–2023, przedstawione wyniki są wysoce niesatysfakcjonujące dla producentów rolnych. Z kolei koszt produkcji 1 kg białka z nasion bobiku kształtował się na poziomie 5,41–5,93 zł, i był najniższy w przypadku przedsięwzięcia szczepienia nasion Nitraginą (BBCH 00) i aplikacji BlueN w postaci oprysku dolistnego (BBCH 13). W 2023 r., odmiennie niż w 2022, dochód z działalności wraz z dopłatami osiągnął w każdym wariantcie badawczym wartości dodatnie. Najwyższy dochód (z dopłatami) 425,72 zł przyniosła uprawa bobiku, w której aplikowano bakterie symbiotyczne w postaci szczepionki (Nitragina). Z kolei najniższy dochód (37,22 zł) uzyskano na obiekcie kontrolnym (tab. 4.). Jednocześnie stwierdzono, że stosowanie bakterii symbiotycznych w produkcji nasion bobiku w żadnym wariantcie badawczym nie zapewniało w 2023 r. dodatnich dochodów z działalności bez dopłat. Świadczy to o istotnej roli finansowego wsparcia produkcji nasion roślin bobowatych w postaci dopłat, bez którego często nie jest możliwe uzyskanie zadowalających efektów ekonomicznych.

Tabela 4. Kalkulacje kosztów i dochodów uprawy bobiku na nasiona ( $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) w 2023 r.  
 Table 4. Calculations of costs and income of growing horse bean for seeds ( $\text{PLN} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) in 2023

| Wyszczególnienie<br>Specification                                                                                        | Kontrola<br>Control | BlueN    | Nitragina | Nitragina +<br>BlueN |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|-----------|----------------------|
| Plon nasion / Seed yield ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ )                                                             | 3,65                | 3,93     | 4,10      | 4,06                 |
| Przychody ze sprzedaży + dopłaty<br>Sales revenue + subsidies                                                            | 5639,72             | 5933,72  | 6112,22   | 6070,22              |
| Produkcja główna (przychody<br>ze sprzedaży bez dopłat)<br>Main production (sales revenue –<br>subsidies)                | 3832,50             | 4126,50  | 4305,00   | 4263,00              |
| Podstawowe wsparcie dochodów<br>do celów zrównoważoności<br>(PWD)<br>Basic income support<br>for sustainability purposes | 502,35              |          |           |                      |
| Płatność redystrybucyjna<br>Redistributive payment                                                                       | 180,96              |          |           |                      |
| Specjalna płatność dla roślin<br>strączkowych<br>Special payment for legumes                                             | 823,91              |          |           |                      |
| Dopłata do materiału siewnego<br>roślin strączkowych<br>Subsidy for seed of legumes                                      | 300,00              |          |           |                      |
| Koszty ogółem / Total cost                                                                                               | 5602,50             | 5817,75  | 5686,50   | 5901,75              |
| Koszty bezpośrednie / Direct costs                                                                                       | 5210,00             | 5415,00  | 5290,00   | 5495,00              |
| Koszty pośrednie / Indirect costs                                                                                        | 392,50              | 402,75   | 396,50    | 406,75               |
| Nadwyżka bezpośrednia<br>Gross margin                                                                                    | 429,72              | 518,72   | 822,22    | 575,22               |
| Nadwyżka bezpośrednia<br>bez dopłat<br>Gross margin (without subsidies)                                                  | –1377,50            | –1288,50 | –985      | –1232,00             |
| Koszt produkcji 1 t nasion<br>Production cost of 1 t of seeds                                                            | 1534,93             | 1480,34  | 1386,95   | 1453,63              |
| Plon białka / Total protein yield<br>( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )                                                | 949                 | 981      | 1015      | 1091                 |
| Koszt produkcji 1 kg białka<br>Production cost of 1 kg of protein                                                        | 5,90                | 5,93     | 5,60      | 5,41                 |
| Dochód z działalności z dopłatami<br>Income from activity<br>with subsidies                                              | 37,22               | 115,97   | 425,72    | 168,47               |
| Dochód z działalności bez dopłat<br>Income from activity<br>without subsidies                                            | –1770,00            | –1691,25 | –1381,50  | –1 638,75            |

Augustyńska i Bębenista [2020] podają, że różnice w poziomie nadwyżki bezpośredniej (bez dopłat) i w dochodzie z działalności bez dopłat uzyskanych z uprawy roślin bobowatych a analogicznymi wynikami porównywanymi z nimi dochodów z uprawy zbóż są bardzo wysokie. Wskazuje to, że dopłaty do produkcji nasion bobowatych powinny być utrzymane także w przyszłości. Z kolei Czerwińska-Kayzer [2015] twierdzi, że dopłaty do upraw roślin bobowatych spełniają funkcje im przypisywane, tj. dochodową, rekompensacyjną i stymulującą. Jednak należy się zastanowić, czy obecnie funkcjonujący system wsparcia finansowego, w którym już uwzględnia się rozdzielnie stawek pomiędzy rodzaje działalności, nie powinien być rozszerzony o podział stawek według gatunku lub odmiany roślin, z uwzględnieniem np. poziomu opłacalności produkcji bądź wykorzystania produktu na rynku albo korzyści dla środowiska. Ponadto Czerwińska-Kayzer i Florek [2012a,b] przekonują, że kolejnym elementem, który powinien zostać uwzględniony w rachunku kosztów produkcji roślin bobowatych są korzyści zaoszczędzonych kosztów w uprawie następczej, wynikające z wprowadzenia do gleby m.in. przyswajalnego azotu. Niestety wielokrotnie nie prowadzi się takich symulacji i badań w układzie rośliny przedplonowa (np. bobowata) – rośliny następca (np. zbożowa).

Ze sformułowanych przez Jerzaka i in. [2012] konkluzji wynika, że w Polsce, w której żywienie zwierząt oparte jest w 80% na importowanej śrucie sojowej, ze względu na bezpieczeństwo żywnościowe zarówno ludzi, jak i zwierząt istotnym problemem jest wskazanie alternatywnego źródła białka w żywieniu zwierząt. Rozwiązaniem tego problemu może być rozwój produkcji roślin bobowatych do których należy bobik.

#### WNIOSKI

1. Wielkość uzyskanego plonu nasion z 1 ha, cena sprzedaży nasion oraz stopień wsparcia finansowego uprawy roślin strączkowych na nasiona są głównymi determinantami warunkującymi opłacalność produkcji bobiku w Polsce.

2. Aplikacja bakterii symbiotycznych w technologii uprawy bobiku może przyczynić się do istotnego zwiększenia plonów nasion, co jednak w latach badań nie gwarantowało uzyskania satysfakcjonujących wyników finansowych.

3. Aktualnie dla uzyskania dodatniego dochodu z uprawy bobiku wraz z dopłatami do produkcji roślin strączkowych na nasiona konieczne jest uzyskanie plonów nasion przekraczających 3,5 t z 1 ha.

#### PIŚMIENNICTWO

- Adamczewski K., Matysiak K., 2011. Klucz do określania faz rozwojowych roślin jedno- i dwuliściennych w skali BBCH. Instytut Ochrony Roślin – PIB, Poznań, 56–58.
- Augustyńska I., Bębenista A., 2020. Opłacalność uprawy łubinu słodkiego i grochu pastewnego na tle wybranych zbóż ozimych. Zag. Ekon. Rol./ Probl. Agric. Econ. 2(363), 109–129. <https://doi.org/10.30858/zer/121484>
- Bartkowiak A., 1978. Analiza wariancji dla układów ortogonalnych. Program AWA. W: Opis merytoryczny programów statystycznych opracowanych w Instytucie Informatyki Uniwersytetu Wrocławskiego. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 43–60.

- Bojarszczuk J., Książak J., 2018. Stan obecny i perspektywy uprawy roślin strączkowych w Polsce. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrobiz.* 20(5), 15–20. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.6674>
- CGFP, 2024. Dostępne na: <http://www.cgfp.pl/uslugi-rolnicze/> [dostęp: 15.10.2024]
- Chmielewski A., 2008. Rachunkowość w rolnictwie – wybrane zagadnienia wymogów ewidencyjnych. *Zesz. Nauk. Szk. Gł. Gospod. Wiej. Warsz., Ekon. Organ. Gospod. Żywn.* 66, 203–212. <https://doi.org/10.22630/EIOGZ.2008.66.60>
- Czerwińska-Kayzer D., 2015. Wpływ dopłat na dochodowość uprawy roślin strączkowych. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrobiz.* 17(3), 72–78.
- Czerwińska-Kayzer D., Florek J., 2012a. Dochodowość uprawy wybranych roślin strączkowych a ryzyko dochodowe i produkcyjne. *Zesz. Nauk. Szk. Gł. Gospod. Wiej., Probl. Rol. Świat.* 12(4), 25–36. <https://doi.org/10.22630/PRS.2012.12.4.53>
- Czerwińska-Kayzer D., Florek J., 2012b. Opłacalność wybranych upraw roślin strączkowych. *Fragm. Agron.* 29(4), 36–44.
- Elandt R., 1964. *Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego.* PWN, Warszawa.
- Eurostat, 2023. [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/APRO\\_CPSH1\\_\\_custom\\_13295106/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/APRO_CPSH1__custom_13295106/default/table?lang=en) [dostęp: 15.10.2024]
- Florek J., 2017. Możliwości wykorzystania roślin strączkowych do produkcji pasz w Polsce. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrobiz.* 19(4), 40–45. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.5162>
- Florek J., Czerwińska-Kayzer D., 2018. Korzyści biologiczne z uprawy roślin strączkowych w planowaniu rolniczej produkcji roślinnej. *Optimum Econ. Stud.* 4(94), 62–71. <https://doi.org/10.15290/oes.2018.04.94.06>
- Florek J., Czerwińska-Kayzer D., Jerzak M.A., 2012. Aktualny stan i wykorzystanie produkcji upraw roślin strączkowych. *Fragm. Agron.* 29(4), 45–55.  
[https://podr.pl/wp-content/uploads/2022/08/Kalkulacje-rolnicze\\_2022.pdf](https://podr.pl/wp-content/uploads/2022/08/Kalkulacje-rolnicze_2022.pdf)  
<https://podr.pl/wp-content/uploads/2023/05/Bobik.pdf>
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., 2015. Reakcja roślin bobiku na dawkę startową azotu oraz dokarmianie doliśne. *Fragm. Agron.* 32(3), 44–53.
- Jerzak M.A., Czerwińska-Kayzer D., Florek J., Śmigłak-Krajewska M., 2012. Determinanty produkcji roślin strączkowych jako alternatywnego źródła białka – w ramach nowego obszaru polityki rolnej w Polsce. *Rocz. Nauk Rol., ser. G* 99(1), 113–120.
- Jerzak M.A., Mikulski W., 2017. Znaczenie dopłat do produkcji roślin strączkowych w odbudowie rynku rodzimych surowców białkowych pochodzenia roślinnego w Polsce. *Zag. Ekon. Rol.* 2(351), 152–163. <https://doi.org/10.30858/zer/83026>
- Kezeya Sepngang B., Muel F., Smadja T., Stauss W., Stute I., Simmen M., Mergenthaler M., 2020. Report on legume markets in the EU. Deliverable D3.1 of the EU project LegValue.
- Kopeć B., 1983. *Metodyka badań ekonomicznych w gospodarstwach rolnych. Wybrane zagadnienia.* Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław.
- Kopiński J., Matyka M., 2012. Regionalne zróżnicowanie produkcji i opłacalności upraw roślin strączkowych pastewnych na nasiona w Polsce. *Pol. J. Agron.* 10, 9–15.
- Majchrzycki D., Pepliński B., Baum R., 2002. Opłacalność uprawy roślin strączkowych jako alternatywnego źródła białka paszowego. *Rocz. AR Pozn.* 343, Ekon. 1, 129–136.
- Martyniuk S., 2019. Biologiczne wiązanie N<sub>2</sub>, bakterie symbiotyczne roślin bobowatych w glebach Polski i oszacowywanie ich liczebności. *Pol. J. Agron.* 38, 52–65. <https://doi.org/10.26114/pja.iung.390.2019.38.07>
- Rawal V., Navarro D.K., 2019. *The global economy of Pulses.* FAO, Rome, ss. 190.

- Oleksiak T., Bronisz D., 2021. Stan i perspektywy produkcji nasiennej roślin bobowatych grubonasiennych w Polsce. Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl. 296, 43–52. <https://doi.org/10.37317/biul-2021-0012>
- Skarżyńska A., 2017. Koszty jednostkowe i dochody wybranych produktów w 2015 roku – wyniki badań w systemie Agrokoszty. Zag. Ekon. Rol. 2(351), 178–203. <https://doi.org/10.5604/00441600.1240801>
- Strażyński P., Mrówczyński M., (red.), 2016. Metodyka integrowanej ochrony i produkcji bobiku. Instytut Ochrony Roślin – PIB, Poznań.
- Śmiglak-Krajewska M., Łukowski H.S., 2013. Czynniki wpływające na rozwój produkcji roślin strączkowych w wielkoobszarowych przedsiębiorstwach rolnych. Zagad. Doradztwa Rol. 2, 90–97.
- Torres Vera R., Bernabé G., Antonio J., Carmona Á., Francisco J., Martínez Ruiz J., Fernández M.F., 2024. Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize and strawberry crops. Folia Microbiol. 69, 121–131. <https://doi.org/10.1007/s12223-023-01078-4>

**Źródło finansowania:** Projekt wewnętrzny UP we Wrocławiu.

**Abstract.** The profitability of faba bean cultivation in Poland depends on many factors. The aim of the conducted research was to determine the effect of applying two preparations containing bacteria that fix atmospheric nitrogen on the profitability of faba bean seed production. The profitability analysis was carried out based on the results of research from the experiment conducted in 2022–2023 in the fields of the Scientific and Didactic Station in Swojczyce belonging to the University of Environmental and Life Sciences in Wrocław. The size of the obtained seed yield from 1 ha, the selling price of seeds and the level of financial support for the cultivation of legumes for seeds were considered the main determinants conditioning the profitability of faba bean production in Poland. The application of symbiotic bacteria in faba bean cultivation technology can contribute to a significant increase in seed yields, which, however, does not guarantee satisfactory financial results for its producers. Currently, in order to obtain income from faba bean cultivation together with subsidies for the production of legumes for seeds, it is necessary to obtain seed yields at a level exceeding 3.5 tons per hectare.

**Keywords:** field bean, yield, protein, profitability, symbiotic bacteria

Otrzymano/Received: 16.10.2024  
Zaakceptowano/Accepted: 14.11.2024  
Opublikowano/Published: 18.03.2025







Department of Industrial and Medicinal Plants, University of Life Sciences in Lublin,  
Akademicka 15, 20-950 Lublin, Poland

e-mail: [beata.krol@up.lublin.pl](mailto:beata.krol@up.lublin.pl)

BEATA KRÓL 

## **Effect of foliar application of biostimulants on the yield and quality of Greek oregano herb (*Origanum vulgare* L. subsp. *hirtum* (Link.) Ietswaart)**

Wpływ dolistnego stosowania biostymulatorów na plon i jakość ziela greckiego  
oregano (*Origanum vulgare* L. subsp. *hirtum* (Link.) Ietswaart)

**Abstract.** The field experiment was carried out on a private farm in Trębanów, Świętokrzyskie Province, in 2020–2022. The aim of the study was to determine the effect of selected biopreparations on the morphological traits of plants, the size and structure of yields, and the content and yield of Greek oregano essential oil. Natural biostimulants Stimplex (2 dm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), Tecamin Max (1.5 dm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), and Kendal (1 dm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) were used in the study. The results demonstrated positive effects of the foliar application of the biostimulants on the morphological, performance, and quality parameters of Greek oregano. The most effective treatment was the application of the biostimulant containing extracts of *Ascophyllum nodosum algae* (Stimplex), followed by the preparation containing amino acids (Tecamin Max). They increased the plant growth rate, the number of lateral branches, and the raw material yield and had a positive effect on the content of essential oil. The size and quality of the Greek oregano yield also depended on the age of the plants and varied between the study years. Higher raw material and oil yields were obtained from two-year plantations. The drought in 2022 limited plant growth and resulted in a lower yield; nevertheless, the essential oil content in the herb increased in these conditions.

**Keywords:** yield, essential oil, seaweed, *Ascophyllum nodosum*, amino acids

## INTRODUCTION

The genus *Origanum* (family Lamiaceae) comprises 43 species widely distributed in the Mediterranean, Euro-Siberian, and South-Asian regions [Skoula and Harborne 2002]. The *Origanum vulgare* L. species includes six subspecies (subsp. *vulgare*, *glandulosum*, *gracile*, *hirtum*, *virens*, and *viridulum*), which differ in both their morphological features and the chemical composition [Morshedloo et al. 2018, Euro+Med 2024]. In Poland, oregano raw material is mainly obtained from *Origanum vulgare* L. subsp. *vulgare* (common oregano), which grows in natural sites or is cultivated [Nurzyńska et al. 2012, Kosakowska and Czupa 2018]. In turn, *Origanum vulgare* L. subsp. *hirtum* (Link) Letswaart, so-called Greek oregano, is used most frequently as a spice and medicinal plant worldwide [Sarrou et al. 2017, Kosakowska et al. 2019, Alekseeva et al. 2020]. Greek oregano is a perennial herbaceous plant growing in the Mediterranean basin and North Africa. In these regions, the raw material is obtained from natural sites and plantations [Vokou et al. 1993, Skoufogianni et al. 2019]. Recent studies indicate the possibility of cultivation of this subspecies in the moderate climate of Central Europe [Grevsen et al. 2009, Baranauskiene et al. 2013, Kosakowska et al. 2019, Król et al. 2020, Węglarz et al. 2020].

Greek oregano is rich in essential oil (approximately 5%), with carvacrol and thymol as its main components. Additionally, it contains non-volatile phenolic compounds, e.g. flavonoids (luteolin and apigenin), phenolic acids (dominated by rosmarinic and lithospermic acids), tannins, resins, bitter substances, and sterols [Grevsen et al. 2009, Lukas et al. 2015, Gutiérrez-Grijalva et al. 2017, Król et al. 2019, Panagiotidou et al. 2024]. This raw material exhibits various pharmacological activities, e.g. antimicrobial, antioxidant, expectorant, choleric, antispasmodic, and anticancer effects [Milos et al. 2000, Kosakowska et al. 2021, Jafari Khorsand et al. 2022]. Oregano extracts have been used in medicine in the treatment of gastrointestinal disorders, to stimulate bile secretion, and externally in skin and mucous membrane inflammations [Singletary 2010, Chishti et al. 2013]. It is widely used not only in the pharmaceutical industry but also as a culinary spice, food preservative, and flavoring agent [Rodriguez-Garcia et al. 2016, Veenstra and Johnson 2019, Jaiswal et al. 2024].

Healthy and sustainable food production and environmental protection have become the most important priorities in modern agriculture. In this context, new technological solutions are sought to ensure high yields of good quality crops and limit the use of pesticides and mineral fertilizers that have a negative impact on the ecosystem and human health. One of such actions is the use of biostimulant preparations in plant cultivation [Le Mire et al. 2016, Jiang et al. 2024]. As specified by the European Biostimulants Industry Council (EBIC), a biostimulant is a product containing substances and/or microorganisms whose function upon application to plants or the rhizosphere is to stimulate natural processes that enhance the efficiency of nutrient uptake and utilization, tolerance to abiotic stress, and/or crop quality, regardless of the nutrient content in the product [Ricci et al. 2019]. Preparations containing algal extracts, free amino acids, effective microorganisms, and humin and humic acids are being increasingly applied in agriculture [du Jardin 2015]. The action of active ingredients present in these preparations takes place at different metabolic levels, which has a beneficial effect on the absorption, translocation, and utilization of nutrients, thus stimulating plant development and growth. They can also increase plant tolerance to abiotic (drought, frost, salinity) and biotic (pest and pathogen activity) stress conditions

and facilitate regeneration upon the action of stress factors [Calvo et al. 2014, Wozniak et al. 2020, Bell et al. 2022, Mandal et al. 2023, Alvarez et al. 2024, Johnson et al. 2024].

Biostimulants are gaining interest and are increasingly often used in plant cultivation, as evidenced by the doubling of the global biostimulant market in 2015–2023 (1.4 billion dollars and 2.8 billion dollars, respectively). The value of this market is predicted to increase further to 4.6 billion dollars in 2030 [Market Analysis Report 2023]. The effectiveness of biostimulants depends on their type, concentration, application methods (foliar or soil), and crop species and variety [Calvo et al. 2014, Bulgari et al. 2015, Paradiković et al. 2019, Kumari et al. 2023, Sun et al. 2024].

The few available reports on the effect of biostimulants on Greek oregano are focused on the Mediterranean region [Abdali et al. 2023, Amato et al. 2024, Farruggia et al. 2024a]. In turn, there is no information on the use of biostimulants in the cultivation of this species in the moderate climate conditions of Poland. Therefore, the study was undertaken to determine the effect of selected biostimulants on the morphological traits, yield size and structure, and content and yield of essential oil in Greek oregano. Literature data indicate that the use of biopreparations has a positive effect on the yield of herbal plants [Mehrafarin et al. 2015, Elansary et al. 2016, Nassar et al. 2020, Shafie et al. 2021, Rahimi et al. 2022, Velička et al. 2022, Farruggia et al. 2024b, 2024c]; hence, the research hypothesis assumes a positive effect of the preparations used on the yield and quality of the Greek oregano raw material. Based on available reports on the application of biostimulants on Greek oregano [Abdali et al. 2023, Amato et al. 2024, Farruggia et al. 2024a], it was hypothesized that seaweed extract would have the best effect on this species, especially under water stress conditions.

## MATERIAL AND METHODS

The field study was conducted in 2020–2022 in Trębanów (Świętokrzyskie Province; 50°51'06"N, 21°29'10"E) on a lessive soil developed from loess (good wheat complex, quality class III). The soil in the experimental plots was characterized by high potassium content (175–191 mg K kg<sup>-1</sup> soil), moderate phosphorus (119–134 mg P kg<sup>-1</sup> soil), magnesium (56–68 mg kg<sup>-1</sup> soil), and humus (17–21 g kg<sup>-1</sup>) levels, and neutral reaction (pH in 1 mol KCl 6.9–7.1). The experiment was conducted using the randomized block method in four replications in 6 m<sup>2</sup> plots established on a production plantation managed using the integrated method. In the third ten-day period of April, Greek oregano seeds (obtained from Hild Samen GmbH Marbach am Neckar, Germany) were sown (3 kg ha<sup>-1</sup>) directly into the plot soil using a garden seeder at a row spacing of 40 cm. Root crops or vegetables were the forecrops. All the experimental plots received mineral fertilization: N – 70 kg ha<sup>-1</sup>, P – 60 kg ha<sup>-1</sup>, and K – 50 kg ha<sup>-1</sup>. In the first year of plant growth, nitrogen was applied twice (½ dose before sowing the seeds and ½ three weeks after the plants emerged). In the second year, half of the fertilizer dose was applied in April and the rest was used after the first harvest of the herb. Phosphorus and potassium fertilization was applied at full doses before the establishment of the plantation and in early spring in the second year. Since there are no registered herbicides approved for use in oregano cultivation, the protection against weeds consisted in manual and mechanical removal thereof (hoe, burner). To reduce the risk of fungal diseases, Miedzian 50 WP was used as part of prophylaxis. In 2021, the plants were infected with fungal diseases; therefore, they were sprayed with the Caspara 400 SC fungicide (1 dm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

The use of the biostimulants was the experimental factor (dose per one spray): Stimplex ( $2 \text{ dm}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), Tecamin Max ( $1.5 \text{ dm}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), and Kendal ( $1 \text{ dm}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). The detailed composition of the preparations used in the experiment is presented in Table 1. All the biostimulants were applied as foliar sprays. One-year-old plants were sprayed twice: in the phase of intensive vegetative growth (third ten days of June) and after another three weeks. Three spray treatments were applied in the two-year plantations: in the phase of vegetative growth (third ten days of April), after another three weeks, and after the first harvest (first-second ten days of July). The control plants were sprayed with pure water at the same time points.

Table 1. Components of the biostimulants used in the experiment ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ )

| Name of biostimulants                      | Composition of preparations                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stimplex<br>(Arramara Teoranta; Ireland) * | extract of seaweed <i>Ascophyllum nodosum</i> ; amino acids 3–6; lipid – 1; Alginic acid 12–18; Mannitol 5–6; carbohydrates 10–20; cytokinin 0.01; mikroelements (Fe, Zn) |
| Tecamin Max<br>(Agri Tecno Co, Spain.)     | total amino acids 14.4, free L – amino acids 12, organic substances 60 (phytohormones, organic acids, oligosaccharides, enzymes), nitrogen 7                              |
| Kendal<br>(Valagro SpA, Italy)             | total nitrogen 3.5; potassium oxide ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – 15.5; organic carbon (C) 3.0; oligosaccharides; glutathione; saponins                                      |

\* Maker

The herb from the one-year plantation was harvested once (third ten days of September) when approximately 40–50% of plants were in the flowering phase (the flowering was incomplete due to the short vegetation period). The two-year-old plants were harvested twice when 80–90% of the plants were flowering (second half of June and first-second ten days of September). Before harvesting, 24 plants underwent biometric measurements of the height and the number of lateral shoots. The harvested herb was dried at a temperature of  $35^\circ\text{C}$  in a dryer with forced air circulation. Subsequently, the yield of the air-dried herb and the percentage of the herbal raw material (leaves and inflorescences) and stems were determined (morphological plant parts were separated from 3-kg samples of dried herb taken from each object and their proportion was calculated). Next, samples of the herbal raw material were taken to determine the content of essential oil using the pharmacopoeial method [Farmakopea Polska XI 2017]. The numerical data were processed statistically using the variance analysis method and verified with the Tukey test at a significance level of  $\alpha = 0.05$ .

## RESULTS AND DISCUSSION

The weather conditions in the study years were determined from data on the precipitation sum and average air temperatures (Fig. 1). The humidity and thermal conditions in the study years varied and had an impact on the Greek oregano growth and yield. The most

favorable weather conditions were recorded in the 2020 growing season, with the precipitation sum (377 mm) and average temperature (15.5°C) close to long-term averages (LTAs). Moreover, during the intensive growth period (June–August), the air temperature was optimal for the oregano growth and development, i.e. in the range of 18–22°C, as reported by Kyriakos et al. [2020]. Such conditions promoted the intensive oregano growth and contributed to the high yields of the raw material. In 2021, the highest precipitation sum (435 mm) was recorded during the growing season, whereas the temperature had the lowest values (average 13.9°C), compared to the other vegetation seasons. The low temperatures in April and May 2021 delayed the emergence and initial development of Greek oregano plants. In August, the particularly high precipitation together with low air temperatures promoted the development of fungal infections of the plants. The 2022 growing season was characterized by low precipitation levels (precipitation sum 258 mm); combined with high temperatures (average 16.7°C), they had an adverse effect on the growth and yield of the plants.

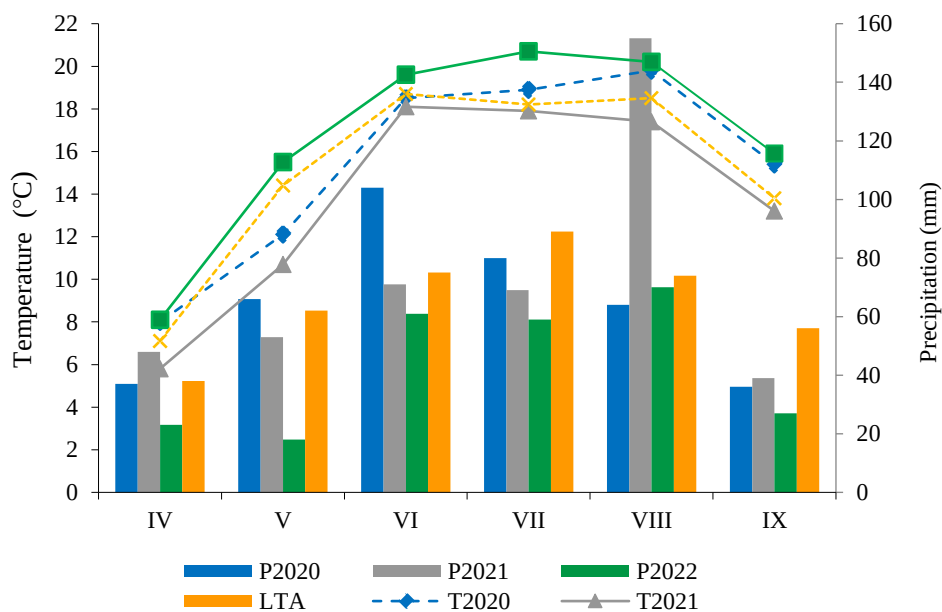


Fig. 1. Comparison of average air temperature and precipitation sums in 2020–2022 with the 1981–2010 long-term averages (LTAs)

Regardless of the biostimulants used, the Greek oregano plants reached a height of 30.8 cm in the first year of growth and produced on average 13.2 lateral shoots. In the second year, the plants were higher (35.4 cm) and produced a greater number of lateral shoots (18.3) – Table 2. These values were comparable to those reported by Król et al. [2020] and Węglarz et al. [2020], who conducted their research in the climatic conditions of Poland. Oregano plants growing in the Mediterranean region were higher and more intensely branched [Dordas 2009, Sarrou et al. 2017, Goncariuc et al. 2021].

Table 2. Greek oregano plant height and number of shoots

| Biostimulants                     | 1-year old plants                      |                   |                   | 2-years old plants                     |                   |                   |
|-----------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                                   | 2020                                   | 2021              | mean              | 2021                                   | 2022              | mean              |
| plant height (cm)                 |                                        |                   |                   |                                        |                   |                   |
| Stimplex                          | 35.7                                   | 31.5              | 33.6 <sup>a</sup> | 40.9                                   | 36.5              | 38.7 <sup>a</sup> |
| Tecamin Max                       | 34.9                                   | 30.9              | 32.9 <sup>a</sup> | 39.7                                   | 35.1              | 37.4 <sup>a</sup> |
| Kendal                            | 31.3                                   | 27.2              | 29.3 <sup>b</sup> | 35.9                                   | 31.5              | 33.7 <sup>b</sup> |
| Control                           | 29.2                                   | 25.5              | 27.4 <sup>b</sup> | 34.1                                   | 29.4              | 31.8 <sup>b</sup> |
| Mean                              | 32.8 <sup>A</sup>                      | 28.8 <sup>B</sup> | 30.8              | 37.7 <sup>A</sup>                      | 33.1 <sup>B</sup> | 35.4              |
| HSD <sub>(0.05)</sub> for:        | BS – 2.81<br>Y – 2.75<br>BS × Y – 2.27 |                   |                   | BS – 2.12<br>Y – 2.31<br>BS × Y – 2.38 |                   |                   |
| number of shoots (unit per plant) |                                        |                   |                   |                                        |                   |                   |
| Stimplex                          | 15.7                                   | 12.9              | 14.3 <sup>a</sup> | 22.3                                   | 17.3              | 19.8 <sup>a</sup> |
| Tecamin Max                       | 15.4                                   | 12.3              | 13.9 <sup>a</sup> | 21.8                                   | 16.6              | 19.2 <sup>a</sup> |
| Kendal                            | 14.1                                   | 11.1              | 12.6 <sup>b</sup> | 20.5                                   | 14.7              | 17.6 <sup>b</sup> |
| Control                           | 13.5                                   | 10.5              | 12.0 <sup>b</sup> | 19.5                                   | 13.8              | 16.7 <sup>b</sup> |
| Mean                              | 14.7 <sup>A</sup>                      | 11.7 <sup>B</sup> | 13.2              | 21.0 <sup>A</sup>                      | 15.6 <sup>B</sup> | 18.3              |
| HSD <sub>(0.05)</sub> for:        | BS – 0.84<br>Y – 0.82<br>BS × Y – 0.93 |                   |                   | BS – 0.99<br>Y – 1.09<br>BS × Y – 0.96 |                   |                   |

BS – biostimulants; Y – years; BS × Y – interaction

Mean values indicated by the same letters are not statistically significant at the 0.05 level, according to Tukey's test

The application of the biostimulants had a beneficial effect on the morphometric traits of Greek oregano (Tab. 2). The greatest plant height and number of lateral shoots were recorded after the use of the biostimulant containing algal extracts (Stimplex). This was associated with the presence of natural growth hormones (auxin and cytokinin), which stimulate cell division and contribute to an increase in plant height [Marhoon and Abbas 2015]. An increase in the number of lateral shoots may also be caused by the presence of cytokinins, which stimulate cell division and contribute to the growth of lateral shoots and plant branching [Wu and Lin 2000]. As shown by the results of the study, the biostimulant

containing amino acids (Tecamin Max) had a significant effect on the morphological parameters of Greek oregano. Amino acids can directly or indirectly influence plant growth and development, e.g. they are involved in the biosynthesis of hormones [Kawade et al. 2023]. The amino acid tryptophan is a precursor of the synthesis of auxin, which regulates the process of cell division and elongation [Zhao 2012]. Phenylalanine participates in the synthesis of gibberellins, which play an important role in the elongation of internodes and support the initiation and emergence of lateral buds, thereby increasing the height of the plant and the number of shoots [Bajguz and Piotrowska-Niczyporuk 2023]. Similarly, an increase in the height and number of shoots was found in the Kendal-treated objects; however, these differences were statistically insignificant.

The average yield of dry Greek oregano herb in the present study was  $1494 \text{ kg ha}^{-1}$  in the first year and  $2461 \text{ kg ha}^{-1}$  in the second year (Tab. 3). Similar yields were reported by Baranauskiene et al. [2013], Król et al. [2020], and Abdali et al. [2023]. In turn, higher yields were obtained by Grevsen et al. [2009], Karamanos and Sotiropoulou [2013], Goncariuc et al. 2021], and Farruggia et al. [2024a]. It is worth emphasizing, however, that the yields of dry Greek oregano herb in other studies [Król et al. 2019] were at the level of  $2198\text{--}4401 \text{ kg ha}^{-1}$  depending on developmental phase of plants. The lower yields in the present study were related to the unfavorable weather conditions prevailing in 2021–2022.

The beneficial effect of the biostimulants on the morphological traits of the plants was manifested in an increase in the dry mass yield (Tab. 3, Fig. 2). A similar effect of the biostimulants used was noted in both growing seasons. The highest dry herb yield was achieved in the Stimplex spraying variant. It was slightly lower after the application of Tecamin Max, and the lowest and statistically insignificant increase in the dry mass of the plants (compared to the control object) was found after the Kendal treatment, with the exception of 2021, when a significant increase was caused by the application of the biostimulant to the two-year-old plants.

The raw material (leaves and inflorescences) and waste stems, in which the lowest amounts of essential oil accumulate [Morshedloo et al. 2017], were obtained after rubbing and cleaning the herb. In the first year of the Greek oregano growth, the average raw material yield was  $953 \text{ kg ha}^{-1}$ . In the second year, the average yield was  $1422 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tab. 3, Fig. 2), which was comparable to the results reported by Król et al. [2020], Węglarz et al. [2020], and Amato et al. [2024] but lower than in the studies conducted by Grevsen et al. [2009], Giannoulis et al. [2020], and Kyriakos et al. [2020]. The most beneficial results were obtained after the application of Stimplex (an average yield increase of  $320 \text{ kg ha}^{-1}$  compared to the control), a slightly weaker effect was exerted by the Tecamin Max biostimulant (an increase of  $212 \text{ kg ha}^{-1}$ ), and the lowest effect was found in the objects sprayed with Kendal (an increase of  $111 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Many authors have confirmed the beneficial effect of biostimulants containing *Ascophyllum nodosum* algal extracts on the morphological traits and yields of herbal plants. In studies on Greek oregano [Abdali et al. 2023, Amato et al. 2024, Farruggia et al. 2024a], the application of a biostimulant had a beneficial effect on the morphological parameters of plants and increased their mass. A similar plant response was reported in studies on yarrow [Shafie et al. 2021], thyme [Rahimi et al. 2022], mint and basil [Elansary et al. 2016], rosemary and sage [Farruggia et al. 2024b, 2024c], marjoram [Nassar et al. 2020, Król 2023], and hyssop [Pirani et al. 2020]. Such a beneficial effect is attributed to compounds present in *Ascophyllum nodosum* algae, which increase photosynthetic activity and chlorophyll content in plants [De Saeger et al. 2020, Baltazar et al. 2021, Kumari et al. 2023].

Table 3. Yield of Greek oregano dry herb and raw material (leaves and inflorescences)

| Biostimulants                                                            | 1-year old plants                       |                   |                   | 2-years old plants                       |                   |                   |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                                                                          | 2020                                    | 2021              | mean              | 2021                                     | 2022              | mean              |
| yield of dry herb (kg ha <sup>-1</sup> )                                 |                                         |                   |                   |                                          |                   |                   |
| Stimplex                                                                 | 1922                                    | 1291              | 1607 <sup>a</sup> | 3012*                                    | 2292              | 2652 <sup>a</sup> |
| Tecamin Max                                                              | 1913                                    | 1257              | 1585 <sup>a</sup> | 2924                                     | 2256              | 2590 <sup>a</sup> |
| Kendal                                                                   | 1675                                    | 1154              | 1415 <sup>b</sup> | 2953                                     | 1813              | 2383 <sup>b</sup> |
| Control                                                                  | 1647                                    | 1095              | 1371 <sup>b</sup> | 2646                                     | 1794              | 2220 <sup>b</sup> |
| Mean                                                                     | 1789 <sup>A</sup>                       | 1199 <sup>B</sup> | 1494              | 2884 <sup>A</sup>                        | 2039 <sup>B</sup> | 2461              |
| HSD <sub>(0.05)</sub> for:                                               | BS – 85.9<br>Y – 97.4<br>BS × Y –102.6  |                   |                   | BS –163.7<br>Y –168.5<br>BS × Y – 176.4  |                   |                   |
| yield of raw material (leaves and inflorescences) (kg ha <sup>-1</sup> ) |                                         |                   |                   |                                          |                   |                   |
| Stimplex                                                                 | 1252                                    | 952               | 1102 <sup>a</sup> | 1791*                                    | 1391              | 1591 <sup>a</sup> |
| Tecamin Max                                                              | 1193                                    | 793               | 993 <sup>b</sup>  | 1618                                     | 1350              | 1484 <sup>b</sup> |
| Kendal                                                                   | 1034                                    | 754               | 894 <sup>c</sup>  | 1652                                     | 1112              | 1382 <sup>c</sup> |
| Control                                                                  | 955                                     | 692               | 824 <sup>c</sup>  | 1411                                     | 1051              | 1231 <sup>d</sup> |
| Mean                                                                     | 1109 <sup>A</sup>                       | 798 <sup>B</sup>  | 953               | 1618 <sup>A</sup>                        | 1226 <sup>B</sup> | 1422              |
| HSD <sub>(0.05)</sub> for:                                               | BS – 89.5<br>Y – 93.7<br>BS × Y – 101.2 |                   |                   | BS – 96.2<br>Y – 101.2<br>BS × Y – 122.6 |                   |                   |

\* Data represents means of two harvest

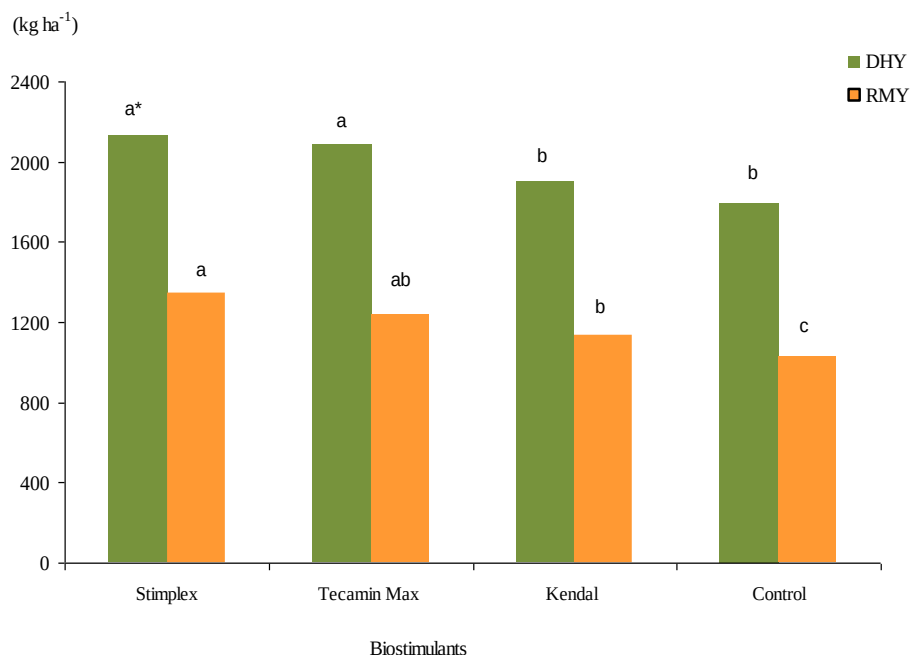
BS – biostimulants; Y – years; BS × Y – interaction

Mean values indicated by the same letters are not statistically significant at the 0.05 level, according to Tukey's test

Plant response to amino acid-containing biostimulants depends on the species and variety. Their beneficial effect on morphological traits and yields has been demonstrated in studies on Greek oregano [Amato et al. 2024], yarrow [Shafie et al. 2023], lemon balm [Mehrafarin et al. 2015], sage [Farruggia et al. 2024c], mint [Velička et al. 2022], rosemary [Farruggia et al. 2024b], and thyme [Rahimi et al. 2022]. As reported by Mezeyova et al. [2022], the effect of the Tecamin Max biostimulant on basil depended on the plant variety. Similar results were obtained in a study on chamomile [Omrani et al. 2023]. In contrast, Majkowska-Gadomska et al. [2022] did not observe an increase in the growth



and yield of savory, marjoram, and lemon balm plants after the application of biostimulants containing amino acids.

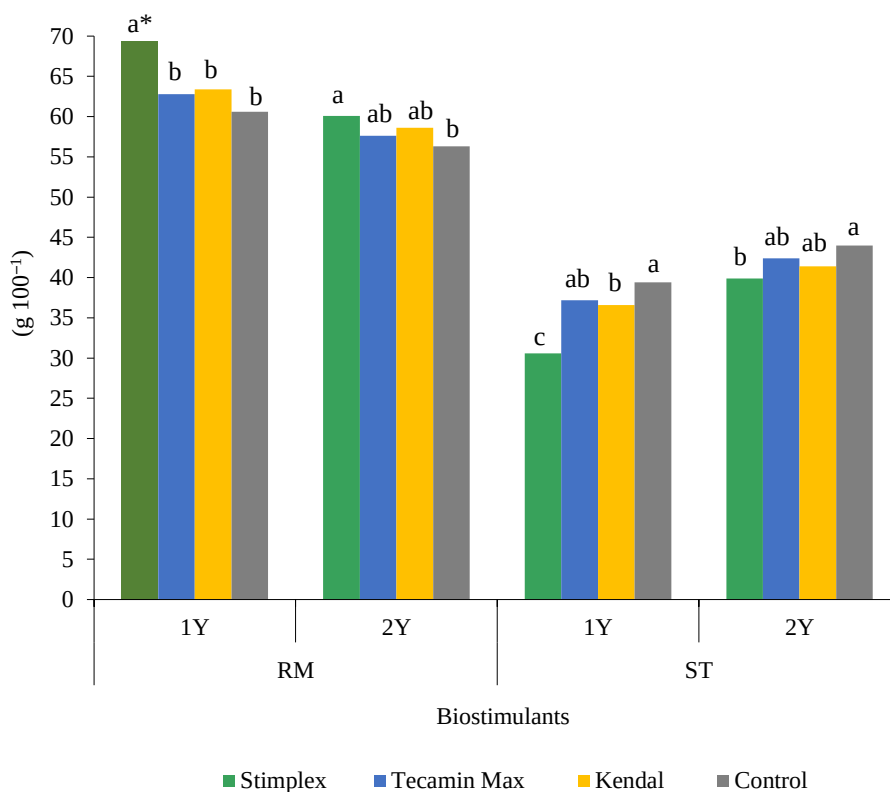


\* the same letters indicate no significant differentiation

Fig. 2. Dry herb yields (DHY) and raw material yields (leaves and inflorescences – RMY) of Greek oregano depending on the biostimulants (irrespective of year of vegetation)

The Kendal preparation stimulated the growth and yield of thyme [Król and Kiełtyka-Dadasiewicz 2019], blueberry [Chitu et al. 2012], and peppers [Paradiković et al. 2012]. In turn, Król [2023] reported no significant increase in the yield of marjoram herb after the application of the Kendal biostimulant.

The analysis of the parameter that directly determines the raw material yield, i.e. the share of rubbed herb in the yield, showed a significant increase in the value of this trait only in the Stimplex biostimulant application variant, compared to the control, which may indicate that this biostimulant improved plant foliage (Fig. 3). This was also confirmed in other studies [Amato et al. 2024, Farruggia et al. 2024a], which demonstrated higher proportions of oregano leaves and inflorescences after treatment with a biostimulant containing extracts from *Ascophyllum nodosum* algae. The analysis of the amounts of leaves and stems depending on plant age showed a greater share of leaves in the case of the one-year-old plants. The amount of leaves decreased and the share of stems increased with the age of the plants, which is consistent with the results reported by Farruggia et al. [2024a].



\* the same letters indicate no significant differentiation

RM – raw material; ST – stems; 1Y – 1-year-old plants; 2Y – 2-year-old plants

Fig. 3. Effect of biostimulants on the share of Greek oregano raw material (leaves and inflorescences) and stems

In the present study, the oregano plant growth and biomass production depended on the atmospheric conditions prevailing during the vegetation period. The smallest and least intensely branched plants were observed in 2022 (Tab. 2), hence the decrease in the plant dry mass and the raw material yield, while the highest yields were recorded in 2020 (Tabs 2 and 3). There was also an interaction between the study years and the preparations used. In the dry and hot season of 2022 when the plants were exposed to water shortage stress, the best results (compared to the control object) were obtained using the biostimulants containing extracts of seaweed and amino acids, as the bioactive compounds present in these formulations improved plant performance in stress conditions [Drobek et al. 2019, Shukla et al. 2019, Rahimi et al. 2022, Abdali et al. 2023]. As reported by Greek oregano growers and shown in this study, one of the problems of cultivation of this plant in colder climate conditions is the occurrence of fungal diseases, as recorded in 2021. The application of the Kendal and Stimplex biostimulants in the 2021 growing season reduced the prevalence of fungal diseases and increased the biomass yield. As demonstrated in various

studies, both preparations increase plant resistance to pathogen attack [Jayaraman et al. 2011, Paradiković et al. 2012, Sidhu and Nandwani 2017].

Table 4. Essential oil content and yield in Greek oregano raw material

| Biostimulants                                           | 1-year old plants                         |                   |                   | 2-years old plants                        |                   |                   |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                                                         | 2020                                      | 2021              | mean              | 2021                                      | 2022              | mean              |
| essential oil content (ml 100g <sup>-1</sup> DW)        |                                           |                   |                   |                                           |                   |                   |
| Stimplex                                                | 2.61                                      | 2.42              | 2.52 <sup>a</sup> | 3.54                                      | 3.93              | 3.74 <sup>a</sup> |
| Tecamin Max                                             | 2.55                                      | 2.39              | 2.47 <sup>a</sup> | 3.46                                      | 3.98              | 3.72 <sup>a</sup> |
| Kendal                                                  | 2.29                                      | 2.15              | 2.22 <sup>b</sup> | 3.02                                      | 3.43              | 3.23 <sup>b</sup> |
| Control                                                 | 2.31                                      | 2.16              | 2.24 <sup>b</sup> | 3.14                                      | 3.54              | 3.34 <sup>b</sup> |
| Mean                                                    | 2.44 <sup>A</sup>                         | 2.28 <sup>B</sup> | 2.36              | 3.29 <sup>B</sup>                         | 3.72 <sup>A</sup> | 3.51              |
| HSD <sub>(0.05)</sub> for:                              | BS – 0.154<br>Y – 0.182<br>BS × Y – 0.193 |                   |                   | BS – 0.226<br>Y – 0.263<br>BS × Y – 0.287 |                   |                   |
| essential oil yield (dm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |                                           |                   |                   |                                           |                   |                   |
| Stimplex                                                | 32.7                                      | 23.0              | 27.9 <sup>a</sup> | 63.4                                      | 54.7              | 59.0 <sup>a</sup> |
| Tecamin Max                                             | 30.4                                      | 19.0              | 24.7 <sup>b</sup> | 55.7                                      | 53.7              | 54.7 <sup>b</sup> |
| Kendal                                                  | 23.7                                      | 16.2              | 19.9 <sup>c</sup> | 50.5                                      | 38.1              | 44.3 <sup>c</sup> |
| Control                                                 | 22.1                                      | 14.9              | 18.5 <sup>c</sup> | 44.3                                      | 37.2              | 40.8 <sup>d</sup> |
| Mean                                                    | 27.2 <sup>A</sup>                         | 18.3 <sup>B</sup> | 22.7              | 53.5 <sup>A</sup>                         | 45.9 <sup>B</sup> | 49.7              |
| HSD <sub>(0.05)</sub> for:                              | BS – 1.49<br>Y – 1.36<br>BS × b – 1.54    |                   |                   | a – 2.85<br>b – 3.37<br>a × b – 3.64      |                   |                   |

BS – biostimulants; Y – years; BS × Y – interaction

Mean values indicated by the same letters are not statistically significant at the 0.05 level, according to Tukey's test

Essential oil is the main active substance in the Greek oregano raw material. Previous studies demonstrated that its content depended on environmental and genetic factors, phenological growth phases, and agronomic practices [Vokou et al. 1993, Kokkini et al. 1994, Tibaldi et al. 2011, Baranauskiene et al. 2013, Sarrou et al. 2017, Król et al. 2019, Ninou et al. 2021]. The raw material obtained in the present study contained different amounts of essential oil, depending on the age of the plants, the biostimulant used, and the year of the study (Tab. 4). The one-year-old plants accumulated lower amounts of essential oil (on average  $2.36 \text{ ml } 100 \text{ g}^{-1}$ ) than those from the two-year cultivation (on average  $3.51 \text{ ml } 100 \text{ g}^{-1}$ ). This can be explained by the lower share of flowers, which accumulate greater amounts of essential oil than leaves, in the raw material [Król et al. 2019, Kyriakos et al. 2020]. It was found that the application of Stimplex and Tecamin Max increased the content of essential oil, compared to the control object (by  $0.34$  and  $0.31 \text{ ml } 100 \text{ g}^{-1}$ , respectively). Similarly, other authors reported a positive effect of biostimulants containing brown algae and amino acids on the content of essential oil in Greek oregano herb [Abdali et al. 2023, Farruggia et al. 2024a]. In studies on other herbal plants, the use of biostimulants increased its concentration in mint and basil [Elansary et al. 2016], rosemary [Tawfeeq et al. 2016], savory [Mehrabi et al. 2013], and thyme [Rahimi et al. 2022]. Different results were obtained by Amato et al. [2024], who reported a decrease in the content of essential oil in Greek oregano raw material upon the application of a biostimulant containing *Ascophyllum nodosum* algae. In turn, there was slight decrease in the content of essential oil in the Greek oregano herb in the Kendal-sprayed objects, which is consistent with studies on thyme and marjoram [Król and Kiełtyka-Dadasiewicz 2019, Król 2023]

The accumulation of essential oil also depended on the weather prevailing in the study years. Its lowest content was found in the cold year 2021, while the highest accumulation was recorded in the dry and hot season in 2022 when the plants were exposed to water shortage stress (tab. 4). Greater amounts of metabolites are produced in plants in response to water shortage stress, and these substances prevent oxidation in cells [Laftouhi et al. 2023, Skrypnik et al. 2024]. This was confirmed in other studies [Azizi et al. 2009, Ninou et al. 2017, Abdali et al. 2023], which showed that water deficiency during vegetation caused an increase in the content of essential oil in Greek oregano herb. A significantly higher yield of essential oil was obtained in the objects treated with the tested preparations, compared to the control, which was associated with both its higher content in the raw material and the higher raw material yields.

## CONCLUSIONS

1. The results of this study revealed positive effects of the foliar application of the biostimulants on the morphological, performance, and quality parameters of Greek oregano.
2. All the biostimulants increased the growth of the plants, number of lateral branches, and raw material yields, compared to the control object. The application of the biostimulant containing algal extracts (Stimplex) and amino acids (Tecamin Max) was the most effective approach. In the water stress condition and fungal diseases, the best results were obtained using the biostimulant containing extracts of seaweed.
3. The biostimulants used (except for Kendal) had a positive effect on the content of essential oil in the raw material and, consequently, on its yield per unit area.

4. The size and quality of the Greek oregano yield also depended on the age of the plants and varied between the study years. Higher raw material yields and essential oil content and yields were obtained from the two-year plantations. The water deficiency observed during the vegetation period in 2022 limited plant growth, which resulted in lower raw material yields but increased the essential oil content.
5. The research results suggest that biostimulants can be part of a good practice used to maximize the efficiency of Greek oregano cultivation, especially in the event of abiotic (drought) and biotic (pathogens) stresses.

## REFERENCES

- Alekseeva M., Zagorcheva T., Atanasov I., Rusanov K., 2020. *Origanum vulgare* L. – a review on genetic diversity, cultivation, biological activities, and perspectives for molecular breeding. *Bulg. J. Agric. Sci.* 26, 1183–1197.
- Abdali R., Rahimi A., Siavash Moghaddam S., Heydarzadeh S., Arena C., Vitale E., Zamanian M., 2023. The role of stress modifier biostimulants on adaptive strategy of oregano plant for increasing productivity under water shortage. *Plants* 12(24), 4117. <https://doi.org/10.3390/plants12244117>
- Alvarez I.Z., Ahmed M., McSorley G., Dunlop M., Lucas I., Hu Y., 2024. An overview of biostimulant activity and plant responses under abiotic and biotic stress conditions. *Syst. Microbiol. Biomanuf.* 4(1), 39–55. <https://doi.org/10.1007/s43393-023-00182-3>
- Amato G., Cardone L., Cicco N., Denora M., Perniola M., Casiello D., Candido V., 2024. Morphological traits yield antioxidant activity and essential oil composition of oregano as affected by biostimulant foliar applications. *Ind. Crop. Prod.* 22, 119702. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119702>
- Azizi A., Yan F., Honermeier B., 2009. Herbage yield, essential oil content and composition of three oregano (*Origanum vulgare* L.) populations as affected by soil moisture regimes and nitrogen supply. *Ind. Crop. Prod.* 29, 554–561. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.11.001>
- Bajguz A., Piotrowska-Niczyporuk A., 2023. Biosynthetic pathways of hormones in plants. *Metabolites* 13(8), 884. <https://doi.org/10.3390/metabo13080884>
- Baltazar M., Correia S., Guinan K.J., Sujeeth N., Bragança R., Gonçalves B., 2021. Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: An overview. *Biomolecules* 11(8), 1096. <https://doi.org/10.3390/biom11081096>
- Barauskiene R., Venskutonis P.R., Dambrauskienė E., Viškelis P., 2013. Harvesting time influences the yield and oil composition of *Origanum vulgare* ssp. *vulgare* and ssp. *hirtum*. *Ind. Crops Prod.* 49, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.024>
- Bell J.C., Bound S.A., Buntain M., 2022. Biostimulants in agricultural and horticultural production. *Hortic. Rev.* 49, 35–95. <https://doi.org/10.1002/9781119851981.ch2>
- Bulgari R., Cocetta G., Trivellini A., Vernieri P., Ferrante A., 2015. Biostimulants and crop responses: A review. *Biol. Agric. Hort.* 31, 1–17. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>
- Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W., 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil.* 383(1–2), 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Chishti S., Kaloo Z.A., Sultan P., 2013. Medicinal importance of genus *Origanum*: A review. *J. Pharmacogn. Phytother.* 5, 170–177. <https://doi.org/10.5897/JPP2013.0285>
- Chitu V., Chitu E., Ancu I., Mladin P., Nicolae S., 2012. Foliar nutrients impact on fruit quality and yield of highbush blueberry. *Fruit Grow. Res.* XXVIII, 112–117.
- De Saeger J., Van Praet S., Vereecke D., Park J., Jacques S., Han T., Depuydt S., 2020. Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *J. Appl. Phycol.* 32(1), 573–597. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9>

- Dordas C.A., 2009. Foliar application of calcium and magnesium improves growth, yield, and essential oil yield of oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*). Ind. Crops Prod. 29, 599–608. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.11.004>
- Drobek M., Frąc M., Cybulska J., 2019. Plant biostimulants: The importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress – A review. Agronomy 9, 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- Elansary H.O., Yessoufou K., Shokralla S., Mahmoud E.A., Skalicka-Wozniak K., 2016. Enhancing mint and basil oil composition and antibacterial activity using seaweed extracts. Ind. Crops Prod. 92, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.048>
- Euro+Med, 2024. Euro+Med PlantBase – the information resource for Euro-Mediterranean plant diversity. <http://ww2.bgbm.org/EuroPlusMed/> [access:18.09.2024].
- Farmakopea Polska XI, 2017. PTF, Warszawa.
- Farruggia D., Di Miceli G., Licata M., Urso G., Leto C., Novak J., 2024a. Seaweed extract and fulvic acid application affect the biomass performance, the essential oil yield and composition of Sicilian oregano grown in an organic agricultural system. Ind. Crops Prod. 222, 119790. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119790>
- Farruggia D., Tortorici N., Iacuzzi N., Alaimo F., Leto C., Tuttolomondo T., 2024b. Biostimulants Improve plant performance of rosemary growth in agricultural organic system. Agronomy 14(1), 158. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010158>
- Farruggia D., Di Miceli G., Licata M., Leto C., Salamone F., Novak J., 2024c. Foliar application of various biostimulants produces contrasting response on yield, essential oil and chemical properties of organically grown sage (*Salvia officinalis* L.). Front. Plant Sci. 15, 1397489. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1397489>
- Giannoulis K.D., Kamvoukou C.A., Gougoulis N., Wogiatzi E., 2020. Irrigation and nitrogen application affect Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) dry biomass, essential oil yield and composition. Ind. Crops Prod. 150, 112392. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112392>
- Gonceariuc M., Muntean M.V., Butnaraș V., Duda M.M., Benea A., Jelezneac T., Botnarenco P., 2021. Quality variation of the Moldovan *Origanum vulgare* L. ssp. *vulgare* L. and *Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* (Link) Ietsw. Varieties in Drought Conditions. Agriculture 11(12), 1211. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121211>
- Grevsen K., Frette X.C., Christensen L.P., 2009. Content and composition of volatile terpenes, flavonoids and phenolic acids in Greek oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum*) at different development stages during cultivation in cool temperate climate. Eur. J. Hort. Sci. 74(5), 193–220.
- Gutiérrez-Grijalva E.P., Picos-Salas M.A., Leyva-López N., Criollo-Mendoza M.S., Vazquez-Olivo G., Heredia J.B., 2017. Flavonoids and phenolic acids from oregano: Occurrence, biological activity and health benefits. Plants 7, 2. <https://doi.org/10.3390/plants7010002>
- Jafari Khorsand G., Morshedloo M.R., Mumivand H., Emami Bistgani Z., Maggi F., Khademi A., 2022. Natural diversity in phenolic components and antioxidant properties of oregano (*Origanum vulgare* L.) accessions, grown under the same conditions. Sci. Rep. 12, 5813. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09742-4>
- du Jardin P., 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. Sci. Hortic. 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Jiang Y., Yue Y., Wang Z., Lu C., Yin Z., Li Y., Ding X., 2024. Plant Biostimulant as an Environmentally Friendly Alternative to Modern Agriculture. J. Agric. Food Chem. 72(10), 5107–5121. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c09074>
- Jaiswal A., Verma M., Pandey S., Chitnavis S., Pathak R., Shah K., Chauhan D.N., Chauhan N.S., 2024. Health benefits of oregano extract. in plant-based bioactive compounds and food ingredients. Apple Academic Press, Palm Bay, FL, USA, 271–284.
- Johnson R., Joel J.M., Puthur J.T., 2024. Biostimulants: The futuristic sustainable approach for alleviating crop productivity and abiotic stress tolerance. J. Plant Growth Regul. 43, 659–674. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11144-3>

- Jayaraman J., Norrie J., Punja Z.K., 2011. Commercial extract from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* reduces fungal diseases in greenhouse cucumber. *J. Appl. Phycol.* 23, 353–361. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9547-1>
- Karamanos A., Sotiropoulou D., 2013. Field study of nitrogen application on Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart) essential oil during two cultivation seasons. *Ind. Crops Prod.* 46, 246–252. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.01.021>
- Kawade K., Tabeta H., Ferjani A., Hirai M.Y., 2023. The roles of functional amino acids in plant growth and development. *Plant Cell Physiol.* 64(12), 1482–1493. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcad071>
- Kokkini S., Karousou R., Vokou D., 1994. Pattern of geographic variations of *Origanum vulgare* trichomes and essential oil content in Greece. *Biochem. Syst. Ecol.* 22(5), 517–528. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(94\)90046-9](https://doi.org/10.1016/0305-1978(94)90046-9)
- Kosakowska O., Czupa W., 2018. Morphological and chemical variability of common oregano (*Origanum vulgare* L. subsp. *vulgare*) occurring in eastern Poland. *Herba Pol.* 64, 11–21. <https://doi.org/10.2478/hepo-2018-0001>
- Kosakowska O., Węglarz Z., Bączek K., 2019. Yield and quality of ‘Greek oregano’ (*Origanum vulgare* L. subsp. *hirtum*) herb from organic production system in temperate climate. *Ind. Crops Prod.* 141, 111782. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111782>
- Kosakowska O., Węglarz Z., Pióro-Jabruka E., Przybył J.L., Kraśniewska, K., Gniewosz M., Bączek K., 2021. Antioxidant and antibacterial activity of essential oils and hydroethanolic extracts of Greek oregano (*O. vulgare* L. subsp. *hirtum* (Link) Ietswaart) and common oregano (*O. vulgare* L. subsp. *vulgare*). *Molecules* 26(4), 988. <https://doi.org/10.3390/molecules26040988>
- Król B., Kiełtyka-Dadasiewicz A., 2019. Effectiveness of foliar fertilizers in integrated crop production of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Agron. Sci.* 74(2), 15–23. <http://dx.doi.org/10.24326/as.2019.2.2>
- Król B., Kołodziej B., Kędzia B., Holderna-Kędzia E., Sugier D., Luchowska K., 2019. Date of harvesting affects yields and quality of *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart. *J. Sci. Food Agric.* 99(12), 5432–5443. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9805>
- Król B., Sęczyk Ł., Kołodziej B., Paszko T., 2020. Biomass production, active substance content, and bioaccessibility of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart) following the application of nitrogen. *Ind. Crops Prod.* 148, 112271. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112271>
- Król B., 2023. Ocena efektów stosowania biostymulatorów w integrowanej uprawie majeranku ogrodowego (*Origanum majorana* L.) [Evaluation of biostimulants application in integrated crop production of sweet marjoram (*Origanum majorana* L.)]. *Agron. Sci.* 78(4), 115–126. <https://doi.org/10.24326/as.2023.5271>
- Kumari S., Sehrawat K.D., Phogat D., Sehrawat A.R., Chaudhary R., Sushkova S.N., Voloshina M.S., Rajput V.D., Shmaraeva A.N., Marc R.A., Shende S.S., 2023. *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis, a pivotal biostimulant toward sustainable agriculture: A comprehensive review. *Agriculture* 13(6), 1179. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061179>
- Kyriakos D., Giannoulis Ch.A., Kamvoukou N.G., Wogiatzi E., 2020. Irrigation and nitrogen application affect Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) dry biomass, essential oil yield and composition. *Ind. Crops Prod.* 150, 112392. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112392>
- Laftouhi A., Eloutassi N., Ech-Chihbi E., Rais Z., Abdellaoui A., Taleb A., Taleb M., 2023. The impact of environmental stress on the secondary metabolites and the chemical compositions of the essential oils from some medicinal plants used as food supplements. *Sustainability* 15(10), 7842. <https://doi.org/10.3390/su15107842>
- Le Mire G., Nguyen M. L., Fassotte B., du Jardin P., Verheggen F., Delaplace P., Jijakli M.H., 2016. Implementing plant biostimulants and biocontrol strategies in the agroecological management of cultivated ecosystems. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 20, 299–313. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.12717>

- Lukas B., Schmiderer C., Novak J., 2015. Essential oil diversity of European *Origanum vulgare* L. (Lamiaceae). *Phytochemistry* 119, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.09.008>
- Majkowska-Gadomska J., Jadwisieńczyk K., Francke A., Kaliniewicz Z., 2022. Effect of biostimulants on the yield and quality of selected herbs. *Appl. Sci.* 12, 1500. <https://doi.org/10.3390/app12031500>
- Mandal S., Anand U., López-Bucio J., Kumar M., Lal M. K., Tiwari R. K., Dey A., 2023. Biostimulants and environmental stress mitigation in crops: A novel and emerging approach for agricultural sustainability under climate change. *Environ. Res.* 233, 116357. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116357>
- Market Analysis Report, 2023. Biostimulants market size, share & trends analysis report by active ingredients (acid based, microbial), by crop type, by application (foliar, soil treatment), by region, and segment forecasts, 2023–2030. [www.grandviewresearch.com/industry-analysis/biostimulants-market](http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/biostimulants-market) [access: 28.09.2024].
- Marhoon I.A., Abbas M.K., 2015. Effect of foliar application of seaweed extract and amino acids on some vegetative and anatomical characters of two sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *Int. J. Res. Stud. Agric. Sci.* 1, 35–44.
- Mehrabi S., Mehrafarin A., Badi H.N., 2013. Clarifying the role of methanol and amino acids application on savory (*Satureja hortensis* L.). *Ann. Biol. Res.* 4(4), 190–195.
- Mehrafarin A., Qavami N., Tahmasebi Z., Naghdi Badi H., Abdossi V., Seif Sahandi M., 2015. Phytochemical and morpho-physiological responses of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) to biostimulants application. *J. Med. Plants.* 14(55), 29–42.
- Mezeyova I., Fabianova J., Secanska K., 2022. Influence of amino acid-based stimulants on selected quantitative and qualitative parameters in basil (*Ocimum basilicum*). *J. Int. Sci. Publ., Agric. Food* 10, 391–399. <https://www.scientific-publications.net/en/article/1002495/>
- Milos M., Mastelic J., Jerkovic I., 2000. Chemical composition and antioxidant effect of glycosidically bound volatile compounds from Oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum*). *Food Chem.* 71(1), 79–83. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00144-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00144-8)
- Morshedloo M.R., Mumivend H., Craker L.E., Maggi F., 2017. Chemical composition and antioxidant activity of essential oils in *Origanum vulgare* subsp. *gracile* at different phenological stages and plant parts. *J. Food. Process. Preserv.* 42(2), 1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13516>
- Morshedloo M.R., Salami S.A., Nazeri V., Maggi F., Craker L., 2018. Essential oil profile of oregano (*Origanum vulgare* L.) populations grown under similar soil and climate conditions. *Ind. Crops Prod.* 119, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.049>
- Nassar M.A., EL-Kobisy O.S., Shaaban S.A., Abdelwahab H.M., 2020. Seaweed extract enhancing growth, fresh herb and essential oil of sweet marjoram (*Origanum majorana* L.). *Plant Arch.* 20, Supp.1. 3094–3101.
- Ninou E., Paschalidis K., Mylonas I., 2017. Essential oil responses to water stress in Greek oregano populations. *J. Essent. Oil Bear. Plants* 20(1), 12–23. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2016.1264278>
- Ninou E., Cook C.M., Papathanasiou F., Aschonitis V., Avdikos I., Tsivelikas A.L., Mylonas I., 2021. Nitrogen effects on the essential oil and biomass production of field grown Greek oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*) populations. *Agronomy* 11(9), 1722. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091722>
- Nurzyńska-Wierdak R., Bogucka-Kocka A., Sowa I., Szymczak G., 2012. The composition of essential oil from three ecotypes of *Origanum vulgare* L. ssp. *vulgare* cultivated in Poland. *Farmacia* 2(60), 571–577.
- Omrani M., Ghasemi M., Modarresi M., Salamon I., 2023. Alternations in physiological and phytochemical parameters of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) varieties in response to amino acid fertilizer and plasma activated-water treatments. *Horticulturae* 9(8), 857. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9080857>



- Panagiotidou C., Bouloumpasi E., Irakli M., Chatzopoulou P., 2024. Characterization of natural bioactive compounds from Greek oregano accessions subjected to advanced extraction techniques. *Plants* 13(21), 3087. <https://doi.org/10.3390/plants13213087>
- Paradiković N., Čosić J., Baličević R., Vinković T., Vrandečić K., Ravlić M., 2012. Utjecaj kemijskih bioloških mjera na rast i razvoj presadnica paprika i suzbijanje fitopatogenih gljiva *Pythium ultimum* i *Rhizoctonia solani*. *Glas. Zašt. Bilja* 35(3) 50–56.
- Paradiković N., Teklić T., Zeljković S., Lisjak M., Špoljarević M., 2019. Biostimulants research in some horticultural plant species – A review. *Food Energy Secur.* e00162. <https://doi.org/10.1002/fes3.162>
- Pirani H., Ebadi M.T., Rezaei A., 2020. Effect of seaweed fertilizer foliar application on growth parameters, yield, and essential oil content and composition of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Iranian J. Med. Aromatic Plants Res.* 36(3), 376–389.
- Rahimi A., Mohammadi M.M., Siavash Moghaddam S., Heydarzadeh S., Gitari H., 2022. Effects of stress modifier biostimulants on vegetative growth nutrients and antioxidants contents of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under water deficit conditions. *J. Plant Growth Regul.* 41(5), 2059–2072. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10604-6>
- Ricci M., Tilbury L., Daridon B., Sukalac K., 2019. General principles to justify plant biostimulant claims. *Front Plant Sci.* 10, 494. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00494>
- Rodriguez-Garcia I., Silva-Espinoza B.A., Ortega-Ramirez L.A., Leyva J.M., Siddiqui M.W., Cruz-Valenzuela M.R., Gonzalez Aguilar G.A., Ayala-Zavala J.F., 2016. Oregano essential oil as an antimicrobial and antioxidant additive in food products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 56(10), 1717–1727. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.800832>
- Sarrou E., Tselivika N., Chatzopoulou P., Tsakalids G., Menexes G., Mavromatis A., 2017. Conventional breeding of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) and development of improved cultivars for yield potential and essential oil quality. *Euphytica* 213, 104. <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1889-1>
- Shafie F., Bayat H., Aminifard M.H., Daghighi S., 2021. Biostimulant effects of seaweed extract and amino acids on growth, antioxidants and nutrient content of yarrow (*Achillea millefolium* L.) in the field and greenhouse conditions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 52(9), 964–975. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1872596>
- Shukla P.S., Mantin E.G., Adil M., Bajpai S., Critchley A.T., Prithiviraj B., 2019. *Ascophyllum nodosum* – based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Front. Plant Sci.* 10, 655. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>
- Singletary K., 2010. Oregano: overview of the literature on health benefits. *Nutr. Today* 45(3), 129–138. <https://doi.org/10.1097/NT.0b013e3181dec789>
- Sidhu V., Nandwani D., 2017. Effect of Stimplex® on yield performance of tomato in organic management system. *Ann. Adv. Agric. Sci.* 1(1), 11–15. <https://doi.org/10.22606/as.2017.11002>
- Skoula M., Harborne J.B., 2002. Taxonomy and chemistry of *Origanum*. In: S.E. Kintzios (ed.), *Oregano: the genera Origanum and Lippia*. CRC Press, Taylon & Francis, London UK. 67–108. <https://doi.org/10.1201/b12591>
- Skoufogianni E., Solomou A.D., Danalatos N.G., 2019. Ecology, cultivation and utilization of the aromatic Greek oregano (*Origanum vulgare* L.): A review. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj Napoca* 47(3), 545–552. <https://doi.org/10.15835/nbha47311296>
- Skrypnik L., Maslennikov P., Antipina M., Katserov D., Feduraev P., 2024. Comparative study on the response of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.), salvia (*Salvia officinalis* L.), and oregano (*Origanum vulgare* L.) to drought stress under foliar application of selenium. *Plants* 13(21), 2986. <https://doi.org/10.3390/plants13212986>
- Sun W., Shahrajabian M. H., Kuang Y., Wang N., 2024. Amino acids biostimulants and protein hydrolysates in agricultural sciences. *Plants* 13(2), 210. <https://doi.org/10.3390/plants13020210>

- Tawfeeq A., Culham A., Davis F., Reeves M., 2016. Does fertilizer type and method of application cause significant differences in essential oil yield and composition in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L). Ind. Crop. Prod. 88, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.026>
- Tibaldi G., Fontana E., Nicola S., 2011. Growing conditions and postharvest management can affect the essential oil of *Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart. Ind. Crop Prod. 34, 1516–1522. <https://doi.org/10.1016/J.indcrop.2011.05.008>
- Węglarz Z., Kosakowska O., Przybył J.L., Pióro-Jabrucka E., Bączek K., 2020. The quality of Greek oregano (*O. vulgare* L. subsp. *hirtum* (Link) Ietswaart) and common oregano (*O. vulgare* L. subsp. *vulgare*) cultivated in the temperate climate of central Europe. Foods 9(11), 1671. <https://doi.org/10.3390/foods9111671>
- Wozniak E., Blaszczyk A., Wiatrak P., Canady M., 2020. Biostimulant mode of action: impact of biostimulant on whole-plant level. In: D. Geelen, L. Xu (eds), Chemical biology of plant biostimulants, 205–227. <https://doi.org/10.1002/9781119357254.ch8>
- Wu Y.T., Lin C.H., 2000. Analysis of cytokinin activity in commercial aqueous seaweed extract. Gartenbauwissenschaft 65, 170–173.
- Veenstra J.P., Johnson J.J., 2019. Oregano (*Origanum vulgare*) extract for food preservation and improvement in gastrointestinal health. Int. J. Nutr. 3(4), 43. <https://doi.org/10.14302/issn.2379-7835.ijn-19-2703>
- Velička A., Tarasevičienė Ž., Hallmann E., Kiełtyka-Dadasiewicz A., 2022. Impact of foliar application of amino acids on essential oil content odor profile and flavonoid content of different mint varieties in field conditions. Plants 11(21), 2938. <https://doi.org/10.3390/plants11212938>
- Vokou D., Kokkini S., Bessiere J.M., 1993. Geographic variation of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) essential oils. Biochem. Syst. Ecol. 21(2), 287–295.
- Zhao Y., 2012. Auxin biosynthesis: a simple two-step pathway converts tryptophan to indole-3-acetic acid in plants. Mol. Plant 5(2), 334–338. <https://doi.org/10.1093/mp/ssr104>

**The source of funding:** Grant for support of the research potential from the Ministry of Science and Higher Education.

Received: 6.12.2024

Accepted: 7.01.2025

Published: 18.03.2025



Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Łąkarstwa i Kształtowania Krajobrazu,  
ul. Akademicka 15, 20-950, Lublin  
e-mail: [szymon.chmielewski@up.lublin.pl](mailto:szymon.chmielewski@up.lublin.pl)

SZYMON CHMIELEWSKI , TERESA WYŁUPEK 

## **Wpływ rozwoju zadrzewień śródpolnych na ekspozycję czynną punktów widokowych – studium przypadku krajobrazu rolniczego Rostocza**

The impact of field coppices on viewsheds: A case study of the agricultural  
landscape of Rostocze

**Streszczenie.** W dyskursie o utracie bioróżnorodności agrocenoz, wskazuje się na istotną rolę zadrzewień śródpolnych jako elementu krajobrazu sprzyjającego kształtowaniu różnorodności biologicznej. Każda zmiana sposobu użytkowania terenu, zarówno ta planowana, jak i zachodząca drogą sukcesji wtórnej, wpływa jednak na zasoby fizjonomiczne krajobrazu. Zadrzewienia śródpolne, jako element krajobrazu rolniczego mogą formować harmonijne, liniowe układy, towarzyszące wielowstęgowym rozłogom polnym, ale równocześnie mogą tworzyć szczelne kurtyny widokowe ograniczające pole ekspozycji czynnej punktów widokowych. Celem artykułu jest zbadanie wpływu funkcjonujących w krajobrazie zadrzewień śródpolnych na wielkość i przestrzenny zasięg pola ekspozycji czynnej punktów widokowych. Badania prowadzone były na przykładzie otuliny Rostoczańskiego Parku Narodowego (RPN) metodą geoprzetwarzania danych przestrzennych. Na ich podstawie stwierdzono, że w otulinie RPN powierzchnia zadrzewień śródpolnych wynosi 10 003,6 ha. Równocześnie we wszystkich czterech analizowanych punktach widokowych odnotowano istotne zmiany w zasięgu pola ekspozycji czynnej (spadek pola powierzchni od 43,2% do 18,3%). Wyniki pozwalają wydać rekomendacje do minimalizacji potencjalnych konfliktów przestrzennych między potrzebą wzmacniania bioróżnorodności przez utrzymanie istniejących i wprowadzanie nowych zadrzewień śródpolnych, a zachowaniem zasobów widokowych krajobrazu.

**Słowa kluczowe:** zadrzewienia śródpolne, zasoby widokowe, punkty widokowe, ekspozycja czynna, 3D-GIS

---

**Cytowanie:** Chmielewski S., Wyłupek T., 2024. Wpływ rozwoju zadrzewień śródpolnych na ekspozycję czynną punktów widokowych – studium przypadku krajobrazu rolniczego Rostocza. *Agron. Sci.* 79(4), 155–167. <https://doi.org/10.24326/as.2024.5445>

## WSTĘP

Zadrzewienia śródpolne (ZŚ) to grupy drzew i krzewów występujące w obrębie pól uprawnych, mogą to być pojedyncze drzewa, ale także większe skupiska roślinności wysokiej w formie płatów lub charakterystycznych liniowych układów uformowanych wzdłuż miedz lub ciągów komunikacyjnych. Występowanie ZŚ w obrębie agrocenoz wiąże się z ich wzajemnym oddziaływaniem będącym przedmiotem badań przede wszystkim agroekologii. Pierwsze angielskojęzyczne prace naukowe dotyczące ZŚ omawiają ich rolę w procesach hamowania erozji gleb, zmniejszenia ryzyka suszy, osłony przed silnym wiatrem, kształtowania centrów różnorodności biologicznej oraz walorów krajobrazowych [Smith 1929]. Pierwsze polskojęzyczne prace naukowe dotyczące ZŚ omawiają ich wpływ na wielkość plonów ziemniaka [Gałęcka 1962], mikroklimat [Jakuszczyński 1967] i gospodarkę wodną agrocenoz [Kuter 1956], bioróżnorodność fauny [Łuczak 1980] oraz dotyczą zagadnień ogólnych związanych z rozwojem ZŚ w Polsce [Wilusz 1962]. Obecnie, w dobie dyskursu o utracie bioróżnorodności, konieczności intensywnego nawadniania i chemizacji wielkopowierzchniowych agrocenoz, koncepcja powrotu do systemów rolno-leśnych, w których rolnictwo korzysta z usług ekosystemowych [Ehrlich 1997] świadczone przez ZŚ, zyskuje na popularności. Systemy rolno-leśne to obszary, na których roślinność drzewiasta jest w sposób celowy zintegrowana z uprawami rolniczymi – praktyka użytkowania tego typu gruntów określana jest jako agroleśnictwo [Borek i in. 2021]. Samo przestrzenne współwystępowanie ZŚ i gruntów ornych nie wyczerpuje wszystkich cech systemu rolno-leśnego. Niemniej jednak wiedza z zakresu agroekologii i ekologicznych właściwości ekosystemów zadrzewień [Dąbrowska-Prot 1987] oraz struktury ekologicznej krajobrazu rolniczego [Santos i in. 2021] wskazuje na bezpośredni wpływ ZŚ na wzrost bioróżnorodności, a tym samym poprawę stabilności ekologicznej agrocenoz [Symonides 2010]. Wykazana w badaniach naukowych zależność znalazła swoje implikacje choćby w postaci Rozporządzenia Rady Wspólnot Europejskich [2078/92/EWG] z 1992 r., dotyczącego metod produkcji rolniczej zgodnej z wymogami ochrony środowiska i ochrony krajobrazu wraz z uszczegóławiającym Rozporządzeniem [746/96/WE] z 1996 r., wprowadzającym w Polsce pomoce finansowe za ekstensyfikację produkcji rolniczej, odłogowanie gruntów rolnych i wykorzystanie ich na cele związane z ochroną środowiska [Ryckowski i Błazy 2002]. Nie bez znaczenia na rozwój ZŚ był postępujący od lat 90. XX w. Krajowy Program Zwiększania Lesistości Polski (KPZLP), którego efektem jest nie tylko zwiększenie powierzchni leśnej, ale również zadrzewień. KPZLP nadał ZŚ rangę równorzędnego czynnika ochrony i użytkowania przestrzeni przyrodniczej, a sam udział i rozmieszczenie ZŚ miały stanowić integralny element programów przestrzennego zagospodarowania województw i gmin w zakresie ochrony środowiska i gospodarki rolnej [Kaliński 2016]. Obecnie Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa oferuje m.in. wsparcie finansowe na inwestycje i interwencje leśne lub zadrzewieniowe (program PS WPR 2023–2027) w tym zalesianie gruntów rolnych, tworzenie zalesień śródpolnych, zakładanie systemów rolno-leśnych, celem zwiększania bioróżnorodności. Podjęte na przestrzeni lat działania sprzyjające rozwojowi ZŚ znajdują swoje odzwierciedlenie również w świadomości mieszkańców wsi na temat pozytywnego oddziaływania ZŚ na agrocenozy i ogólny wzrost plonów [Dudek i Polak 2016]. Programy promujące ZŚ, zarówno te zrealizowane, jak i trwające, teoretycznie powinny przyczynić się do wzrostu udziału ZŚ w agrocenozach. W praktyce dane ilościowe na ten temat nie są dostępne. Jak wskazuje Wayssenhoff [2010] brak dostępności do tego typu danych wynika z braku jednolitej meto-

dyki ich opracowania. Niniejsza praca, opierająca się w części analitycznej na danych teledetekcyjnych i metodach opisanych m.in. przez Madsen i in. [2020] oraz Zhao i in. [2021], proponuje techniczne rozwiązanie detekcji ZŚ metodami geoprzetwarzania.

W ujęciu ogólnym agroleśnictwo traktowane jest jako rozwiązanie innowacyjne [Wroniecka 2020]. Wpływ takiej innowacji na zasoby widokowe krajobrazu, pomimo pewnych oczywistych zależności [Fisher 1992, Bartie in. 2011], pozostaje wciąż nierozpoznany. Podejmowane dotychczas prace dotyczące funkcjonowania ZŚ w krajobrazie skupiały się przede wszystkim na opisie funkcji ekologicznych (np. strefy buforowe), percepcji układów zadrzewień towarzyszących ciągom komunikacyjnym (np. podkreślenie rangi drogi, oznaczenie przebiegu trasy zimą) [Wroniecka 2020] czy formowaniu linowych elementów i naturalnych akcentów w treści panoram widokowych [Michalik-Śnieżek i Chmielewski 2012], a także występowaniu w randze naturalnych wyróżników krajobrazu [Niedźwiecka-Filipiak 2009]. Wpływ ZŚ na zasoby widokowe krajobrazu, a w szczególności na efekt przesłaniania przedpola panoram widokowych, pozostaje nierozpoznany do dziś. Promująca ZŚ zmiana sposobu użytkowania terenu ma swoje naukowe i praktyczne uzasadnienie, wypracowane głównie na gruncie agroekologii. Celem pracy jest ocena wpływu ZŚ na wielkość i przestrzenny zasięg pola ekspozycji czynnej punktów widokowych.

Widok jest zasobem krajobrazowym [Bogdanowski 1999] i jednym z czynników kształtujących atrakcyjność turystyczną danego regionu. Autorzy pracy wychodzą z założenia, że wzmacnianie zasobów bioróżnorodności biologicznej i stabilności ekologicznej agrocenoz nie powinno odbywać się kosztem utraty zasobów krajobrazowych. Zaproponowany w pracy tok postępowania analitycznego pozwala uniknąć potencjalnych konfliktów przestrzennych pomiędzy dwoma współzależnymi zasobami.

## METODY

### Ogólny tok postępowania metodycznego

Na potrzeby prac badawczych wybrano cztery punkty widokowe zlokalizowane w otulinie RPN [Arway-Podhalańska 1998], zapewniające widok panoramiczny na krajobraz rolniczy z wyraźnie rozwiniętymi ZŚ. W punktach widokowych wykonano dokumentację fotograficzną.

Zakłada się, że rozwój ZŚ sprzyja formowaniu kurtyn widokowych, a tym samym prowadzi do częściowej utraty zasobów widokowych krajobrazu, tj. panoramy widokowej. Posługując się cyfrowym modelem krajobrazu, porównano pola ekspozycji czynnej czterech punktów widokowych w wariancie uwzględniającym ZŚ jako kurtyny widokowe oraz w wariancie pozbawionym kurtyn. Porównanie ilościowe (zmiana pola powierzchni) pozwala wnioskować o skali zjawiska. Porównanie przestrzennego rozkładu pola ekspozycji czynnej daje podstawy do rekomendacji w zakresie formowania ZŚ w zgodzie z zasobami widokowymi krajobrazu rolniczego. Przyjęta metoda opiera się na geoprzetwarzaniu danych przestrzennych w oprogramowaniu 3D-GIS i obejmuje przygotowanie numerycznych modeli pokrycia terenu (NMPT) oraz wyznaczenie pola ekspozycji czynnej metodą viewshed [Felleman 1979].

Prace rozpoczęto od zebrania danych przestrzennych w postaci trójwymiarowej chmury punktów pozyskanej metodą lotniczego skaningu laserowego oraz cyfrowej

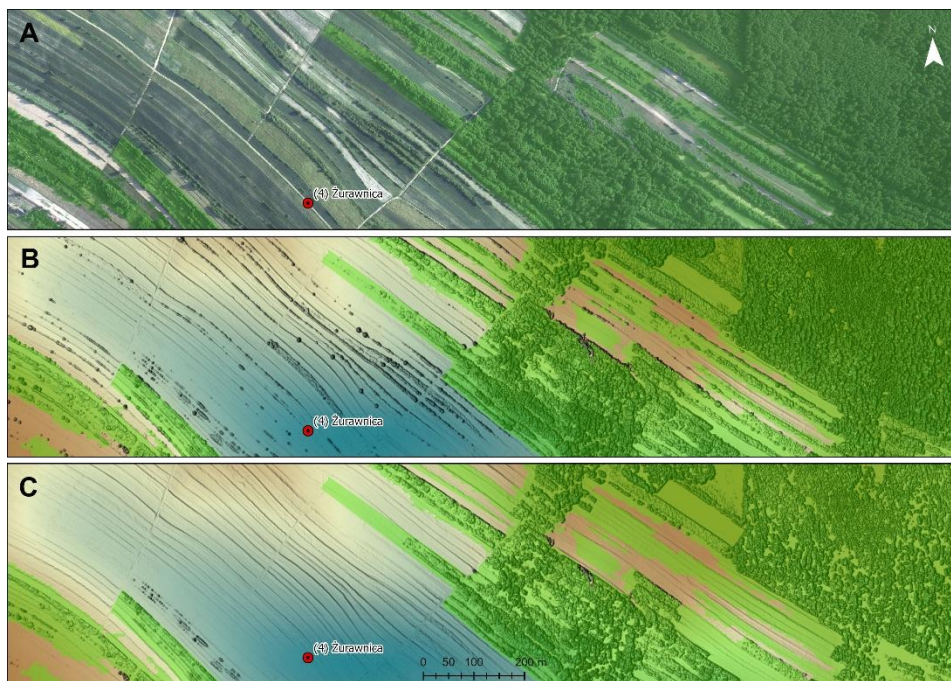
ortofotomapy RPN. Użyte w pracy dane 3D udostępnione zostały przez Dyрекcję RPN. Zbiór obejmował 414 arkuszy danych w formacie LAS wersja 1.2 o łącznej objętości 307 GB i całkowitym pokryciu parku wraz z jego otuliną. Chmurę punktów pozyskana została w 2014 r. ze średnią gęstością 20 pkt./m<sup>2</sup>. Chmurę punktów poddano filtracji celem przygotowania numerycznego modelu terenu (NMT) oraz numerycznego modelu powierzchni terenu (NMPT). Przygotowano dwa warianty NMPT: NMPT1 – uwzględniający wszystkie istotne elementy pokrycia terenu, w tym ZŚ (klasa 2, 3, 4, 5, 6) oraz NMPT2 – w którym celowo usunięto ZŚ (metodę detekcji zadrzewień śródpolnych oraz przygotowania NMPT2 opisano poniżej). Oba modele powierzchni terenu przycięto do zewnętrznej granicy otuliny RPN i zapisano w formacie rastrowym (plik TIFF) o terenowej wielkości piksela 1 m. Na ich podstawie, metodą viewshed, wyznaczono pola ekspozycji czynnej punktów widokowych. Dla wszystkich punktów widokowych przyjęto wysokość 1,6 m nad poziom gruntu, tak aby model ekspozycji uwzględniał również wysokość obserwatora [Kułaga i in. 2011]. Jako dane pomocnicze, do badań wykorzystano również cyfrową ortofotomapę o terenowej wielkości piksela 0,25 m, zarejestrowaną w 2022 r. i udostępnianą przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGIK).

### **Metoda detekcji zadrzewień śródpolnych na podstawie chmury punktów 3D oraz Bazy Danych Obiektów Topograficznych**

Z przestrzennego punktu widzenia jako ZŚ traktuje się pojedyncze drzewa i krzewy lub ich skupiska rosnące poza lasem i obszarami miejskimi [PWN 2024]. Na tej podstawie przyjęto, że zbiorowiska roślinności wysokiej oraz średniej (zgodnie ze standardem LAS 1.2) znajdujące się poza obszarami leśnymi i obszarami zabudowanymi, a towarzyszące uprawom na gruntach ornych oraz trwałym użytkom zielonym, stanowią ZŚ. Ogólnodostępne bazy danych przestrzennych nie wyróżniają odrębnej klasy ZŚ, dlatego w toku postępowania metodycznego zasięg przestrzenny klasy ZŚ wyróżniono w drodze selekcji kilku warstw tematycznych Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT), związanych z nieleśnym użytkowaniem gruntów. Występujące w obrębie tych warstw BDOT zadrzewienia zidentyfikowano metodą filtracji sklasyfikowanej chmury punktów 3D.

W praktyce zasięg przestrzenny ZŚ ograniczono do terenów sklasyfikowanych w BDOT jako: uprawy na gruntach ornych, zadrzewienia, roślinność trawiasta oraz tereny podmokłe; równocześnie wykluczono tereny sklasyfikowane jako las oraz tereny zabudowane. W drodze łączenia i przecinania wymienionych powyżej warstw wektorowych BDOT, wyznaczono obszar, w granicach którego zadrzewienia i krzewy spełniają formalny warunek klasy ZŚ. Obszarowi nadano roboczą nazwę Strefa ZŚ. W obrębie Strefy ZŚ metodą filtracji chmury punktów 3D zidentyfikowano drzewa i krzewy (wybrano klasy 2, 3 i 6), wynik filtracji zapisano w formacie rastrowym, warstwę nazwano NMPT-bezZŚ. Celem dokładnego opisu struktury przestrzennej zidentyfikowanych drzew i krzewów, metodą algebry map rastrowych obliczono ich względną wysokość, a wynik przedstawiono w formie kartograficznej i opisowej.

Metodą maskowania i mozaikowania rastrowych zastąpiono oryginalne piksele warstwy NMPT1 (klasy 2, 3, 4, 5, 6) pikselami warstwy NMPT-bezZŚ, uzyskując w ten sposób NMPT2 – model pokrycia terenu bez drzew i krzewów w obszarach pozaleśnych, tj. śródpolnych. Zbiór NMPT2 był podstawą do wyznaczenia pola ekspozycji czynnej w wariancie bez ZŚ. W celach poglądowych wizualne porównanie przygotowanych NMPT1 i NMPT2 przedstawiono na rycinie 1.



Ryc. 1. Wizualne porównanie danych wejściowych przygotowanych na potrzeby analiz:

A) cyfrowa ortofotomapa z widocznymi zadrzewieniami śródpolnymi, B) NMPT1 z widocznymi zadrzewniewniami śródpolnymi, C) NMPT2 pozbawiony zadrzewień śródpolnych; (fragment obszaru badań w okolicach punktu widokowego nr 4)

Fig. 1. Visual comparison of analysis input data: A) digital orthophotomap with visible field coppices, B) DSM1 with visible field coppices, C) DSM2 without field coppices; (the research area near viewpoint no. 4)

### Metoda wyznaczania pola ekspozycji czynnej (viewshed)

Algorytm viewshed [Felleman 1979] jest uznaną w literaturze naukowej metodą wyznaczania pola ekspozycji czynnej. Algorytm dzieli piksele rastra na widoczne (wartość 1) i niewidoczne (wartość 0) z perspektywy pojedynczego piksela wskazanego jako punkt obserwacyjny. W ramach prowadzonych badań zastosowano algorytm viewshed, dostępny w oprogramowaniu Q-GIS (grupa narzędzi visibility analysis). Lokalizację punktów widokowych wskazano w formie warstwy punktowej, przypisując obserwatorowi wysokość 1,6 m nad poziom gruntu [Schirpke i in. 2013]. Dla każdego z czterech analizowanych punktów widokowych analizę viewshed przeprowadzono dwukrotnie – raz na podstawie NMPT1, wyznaczając pole ekspozycji biernej uwzględniające ZŚ, oraz drugi raz na podstawie NMPT2 pozbawionego ZŚ, wynik zapisano w formacie rastrowym. Metodą algebry map rastrowych obliczono różnicę obu modeli viewshed i na tej podstawie określono przestrzenny zasięg stref wyłączonych z ekspozycji czynnej na skutek przesłaniania przez ZŚ. Analizę porównawczą uzupełniono informacją o ilościowej zmianie powierzchni pola ekspozycji czynnej. Wyniki przedstawiono w formie kartograficznej i opisowej.

## WYNIKI

**Dokumentacja panoram widokowych – zasoby widokowe analizowanej części krajobrazu**

Dokumentacja planu ochrony RPN wskazuje dwadzieścia punktów widokowych przewidzianych do monitoringu zasobów krajobrazowych [Arway-Podhalańska 1998]. Trzy z nich leżą bezpośrednio w granicach RPN, pozostałych 17 zlokalizowanych jest w otulinie Parku. W strukturze pokrycia terenu RPN dominują tereny leśne (94%), natomiast charakterystyczny dla Roztocza krajobraz rozłogów polnych z towarzyszącymi im ZŚ zlokalizowany jest m.in. w zachodniej części otuliny RPN, obejmującej miejscowości: Żurawnica, Szozdy, Panasówka. Wyniki badań zostały omówione na przykładzie 4 punktów wyznaczonych w tych miejscowościach: punkt nr 1) Bukowa Góra, punkt nr 2) Wzgórze Polak, punkt nr 3) Nad Tereszpołem oraz punkt nr 4) Żurawnica. W dokumentacji planu ochrony RPN [Arway-Podhalańska 1998], punkty te odpowiednio posiadają następującą numerację: 1, 12, 15, 18.

W ramach przeprowadzonej w terenie dokumentacji fotograficznej w każdym z czterech punktów widokowych zarejestrowano panoramy widokowe typu 360°, części panoram zapewniających wgląd bezpośrednio na ZŚ przedstawiono na ryc. 2 A–D. Charakterystyczna dla Roztocza liniowa struktura ZŚ widoczna jest w treści panoram widokowych z punktów 1 oraz 3, w panoramach widokowych z punktów 2 oraz 4 ZŚ przybierają formę bardziej rozproszonych płatów. W żadnym z czterech analizowanych punktów widokowych ZŚ nie ingerują w przedpole widokowe, co mogłoby skutkować nadmiernym przesłanianiem widoku; ZŚ są elementem dalszych planów panoramy.

**Struktura przestrzenna zarośli śródpolnych otuliny RPN**

Na podstawie analizy zasięgu wektorowych warstw tematycznych BDOT ustalono, że obszary leśne w obrębie Parku i jego otuliny zajmują 28 086,28 ha (61,17% powierzchni), natomiast obszary nieleśne, związane z rolniczym użytkowaniem w formie: upraw na gruntach ornych, zadrzewień, roślinności trawiastej oraz terenów podmokłych, zajmują odpowiednio: 9958,28 ha, 32,79 ha, 4837,06 ha, 12,56 ha, co łącznie stanowi 32,32% powierzchni. W wyniku połączenia wyżej wymienionych warstw BDOT utworzono nową warstwę tematyczną Strefy ZŚ, jej przestrzenny zasięg przedstawiono na rycinie 3.

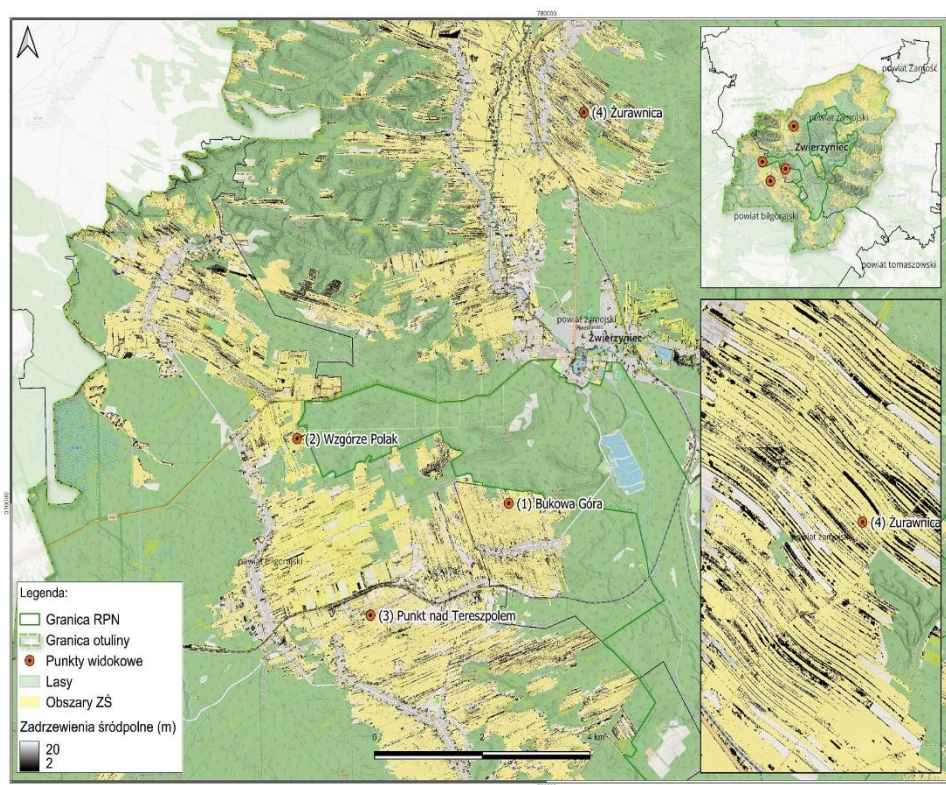




Ryc. 2. Krajobraz rolniczy z zadrzewniami śródpolnymi: A) widok z punktu nr 1, B) widok z punktu nr 2, C) widok z punktu nr 3, D) widok z punktu nr 4  
Fig. 2. Agricultural landscape with field coppices: A) view from point no. 1, B) view from point no. 2, C) view from point no. 3, D) view from point no. 4

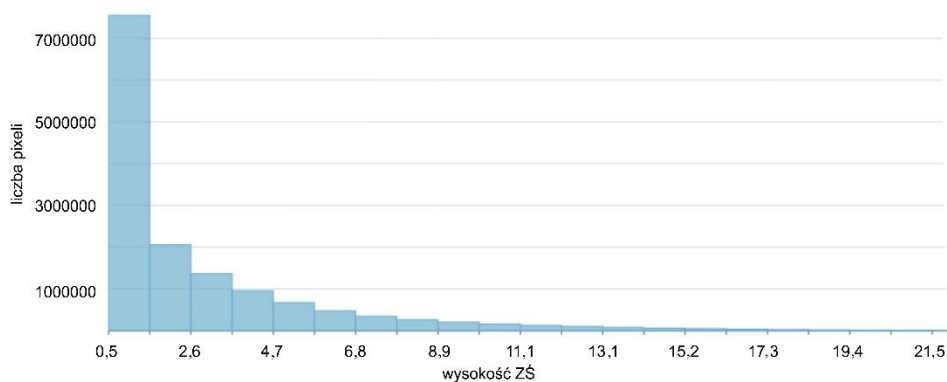
W wyniku filtracji chmury punktów 3D w granicach Strefy ZŚ wskazano obszary wegetacji średniej i wysokiej o łącznej powierzchni 1982,10 ha. Zidentyfikowane w ten sposób ZŚ tworzą dwa rodzaje układów przestrzennych, liniowe wzdłuż miedz odgraniczających działki rolne o wydłużonym kształcie lub układy rozproszone w postaci nieregularnie występujących płatów zadrzewień i pojedynczych drzew. Forma układów liniowych, widoczna na ryc. 1, ryc. 2A, 2C oraz ryc. 3, może być traktowana jako wyróżnik krajobrazu [Niedźwiecka-Filipiak 2009] Roztocza, szczególnie w odniesieniu do Roztocza Szczepieszyńskiego.

Na podstawie histogramu wysokości ZŚ (ryc. 4) stwierdzono, że średnia wysokość ZŚ na analizowanym terenie wynosi 2,8 m, najliczniej reprezentowana jest wegetacja w przedziale wysokości od 0,5 do ok. 10 m, wyższe zadrzewienia mają marginalny udział. Leśny charakter RPN powoduje, że klasa ZŚ występuje praktycznie wyłącznie w otulinie Parku, gdzie zajmuje powierzchnię 1982,1 ha.



Ryc. 3. Struktura przestrzenna zadrzewień śródpolnych otuliny RPN  
(część zachodnia objęta badaniami)

Fig. 3. Spatial structure of field coppices in the RPN buffer zone (West part of research area study)



Ryc. 4. Struktura wysokościowa zidentyfikowanych ZS (histogram)

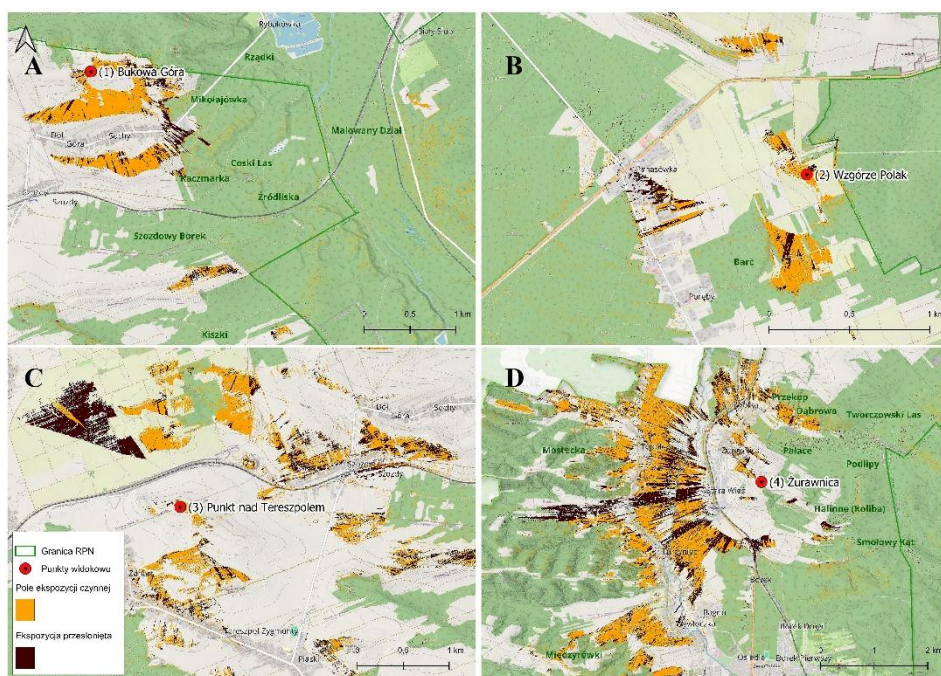
Fig. 4. Height structure of identified field coppices (histogram)



### Pole ekspozycji czynnej punktów widokowych – wyniki analizy porównawczej wraz z rekomendacją do zarządzania krajobrazem rolniczym

Wielkość pola ekspozycji czynnej analizowana dla czterech punktów widokowych, mieściła się w przedziale od 66,52 do 583,30 ha.

Największe pole ekspozycji czynnej, a tym samym najbardziej rozległą panoramę widokową, można obserwować z punktu widokowego nr 4. Zasięgiem pole ekspozycji czynnej obejmuje dolinę rzeki Wieprz pomiędzy miejscowościami Wywłóczka, Turzyniec i Topólcza (ryc. 5A). Zadrzewienia śródpolne znajdujące się bezpośrednio w przedpolu widokowym punktu widokowego, pomimo relatywnie niewielkiej powierzchni i niskiej wysokości, powodują istotne przesłonięcie pola ekspozycji czynnej, wynoszące 43,2%. Wśród obszarów przesłoniętych znajdują się przede wszystkim tereny miejscowości Topólcza, w tym oddalone od punktu widokowego śródlęśne płaty pól uprawnych na wyniesionych wierzchołkach (ryc. 5C).



Ryc. 5. Pole ekspozycji czynnej punktów widokowych wraz z efektem przesłonięcia przez ZŚ: A) punkt widokowy Bukowa Góra, B) punkt widokowy Wzgórze Polak, C) punkt widokowy Nad Tereszpołem, D) punkt widokowy Żurawnica  
Fig. 5. Viewshed and the effect of view obscuration by the field coppices : A) Bukowa Góra viewpoint, B) Wzgórze Polak viewpoint, C) Nad Tereszpołem viewpoint, D) Żurawnica viewpoint

Kolejnym punktem widokowym charakteryzującym się rozległym polem ekspozycji czynnej jest punkt nr 3. Panorama widokowa z tego miejsca obejmuje obszary szczytów Góry Marchwianego (323 m n.p.m), Wysokiej Góry (321 m n.p.m), Kamiennej Góry

(326 m n.p.m.). W wyniku przesłaniania widoku przez ZŚ z treści panoramy widokowej wyłączone zostały widoki na Kwaśną Górę (325 m n.p.m.) oraz Marcowiznę (319 m n.p.m.) – ryc. 5C. W ujęciu ogólnym ZŚ przesłaniają 47,16% pola ekspozycji czynnej punktu widokowego nr 3.

Effekt przesłaniania w mniejszym stopniu dotyczy punktów widokowych nr 1 i 2 (ryc. 5A i 5B), w których pole ekspozycji czynnej zredukowane zostało odpowiednio o 18,34% i 20,78%. Wynika to z faktu, że ZŚ znajdują się poza przedpołem widokowym i pierwszym planem panoramy, dodatkowo w przypadku punktu widokowego nr 2 czynnikiem ograniczającym efekt przesłaniania jest ukształtowanie terenu w formie wyraźnego obniżenia terenu tuż za przedpołem widokowym. Szczegółowe wartości opisujące powierzchnię pola ekspozycji czynnej oraz jej część przesłoniętą przez ZŚ przedstawiono w tabeli 1.

Na podstawie zmierzonych wartości przesłoniętego pola ekspozycji czynnej stwierdzono silny (punkty widokowe nr 3 i 4) oraz umiarkowany (punkty widokowe nr 1 i 2) wpływ ZŚ na możliwość obserwowania rozległych panoram widokowych. Efekt przesłaniania nasila się przede wszystkim w sytuacji, gdy ZŚ tworzone są bezpośrednio w przedpołu widokowym. Spostrzeżenie to pozwala sformułować zalecenie dotyczące wprowadzenia zabiegów ochrony czynnej zasobów widokowych krajobrazu poprzez redukcję ZŚ bezpośrednio w przedpołu widokowym. Zadrzewienia śródpolne wprowadzane w najbliższym sąsiedztwie punktów widokowych (obszar przedpoła widokowego) powinny mieć charakter wegetacji niskiej (wysokość do 1 m), co pozwoli na zachowanie walorów widokowych krajobrazu. Równocześnie, rozpoznanie i utrwalenie liniowych układów w krajobrazie rolniczym sprzyja harmonijnemu formowaniu ZŚ zlokalizowanych w dalszych planach panoram widokowych.

Tabela 1. Wielkość pola ekspozycji czynnej zmierzona w wariancie z ZŚ i bez ZŚ

| Punkty widokowe | Wielkość pola ekspozycji czynnej |             | Różnica        |       |
|-----------------|----------------------------------|-------------|----------------|-------|
|                 | z ZŚ (ha)                        | bez ZŚ (ha) | ha (viewshed)  | %     |
| 1               | 140,53                           | 166,31      | 25,78 (28,8)   | 18,34 |
| 2               | 66,52                            | 80,34       | 13,82 (16,3)   | 20,78 |
| 3               | 272,70                           | 401,30      | 128,6 (137,3)  | 47,16 |
| 4               | 583,30                           | 835,37      | 252,07 (266,5) | 43,21 |

#### DYSKUSJA

Na podstawie przygotowanych modeli geoinformacyjnych pola ekspozycji czynnej, wykazano, że ZŚ mogą istotnie wpływać na ograniczenie zasobów widokowych krajobrazu, jeśli zlokalizowane są w przedpołu widokowym. Przedstawione wyniki uzyskane zostały na podstawie modeli geoinformacyjnych oraz geoprzetwarzania metodą viewshed [Felleman 1979]. Dokładność tak opracowanego modelu przestrzennego zależy od rozdzielczości i aktualności danych wejściowych, samego algorytmu oraz przyjętych parametrów wejściowych (np. wysokość obserwatora, zasięg analizy). Użyte w pracy dane źródłowe w postaci trójwymiarowej chmury punktów, charakteryzują się wysoką dokładnością pozycyjną (15 cm) co pozwala na uzyskanie wiarygodnych numerycznych modeli

pokrycia terenu [Tukaj 2004], na podstawie których przygotowano analizy viewshed. Dynamiczna natura analizowanego zjawiska i procesy sukcesji wtórnej ZŚ powodują, że kluczowym aspektem wpływającym na dokładność wykonanych analiz jest aktualność danych źródłowych. Pomimo że cały obszar Polski pokryty jest danymi pomiarowymi LiDAR [ISOK 2012], miejscami pozyskanymi dla kilku okresów czasowych, to najnowsze tego typu dane zarejestrowane na obszarze RPN pochodzą z 2014 r. W przeciągu 10 lat (lata 2014–2024) struktura przestrzenna ZŚ uległa zmianie [Hościło 2004, Kowalska 2009], tym samym przedstawione wyniki dotyczące wielkości oraz przestrzennego zasięgu pola ekspozycji czynnej nie mogą być interpretowane jako aktualne – opisana skala zjawiska dotyczy stanu z 2014 r., wypracowane rekomendacje mają charakter uniwersalny.

Opisane w pracy ZŚ zidentyfikowane zostały autorskim sposobem interpretacji geodanych. Na podstawie BDOT wyznaczono obszary nieleśne związane z rolniczym użytkowaniem terenu i w takich granicach, w drodze filtracji chmury punktów 3D, wyznaczono obszary roślinności średniej i niskiej. Klasa ZŚ nie jest wyróżniana w ogólnodostępnych bazach danych (nie w formie powierzchniowej), co powoduje, że przyjęcie nieco innego sposobu klasyfikacji ZŚ, niż ten opisany w części 2.2, może skutkować uzyskaniem wyników wskazujących na inną skalę analizowanego zjawiska. Standaryzacja sposobu identyfikacji ZŚ pozostaje zadaniem do zrealizowania.

Algorytm viewshed, którym wyznaczono pole ekspozycji czynnej, jak każdy model używany w nauce, jest uproszczeniem rzeczywistości, tym samym jego zastosowanie wiąże się z pewnym błędem pomiarowym. Wieczorek i in. [2024] wskazują, że ogólna dokładność tak opracowanego modelu sięga 80%, tym samym omawiany w niniejszej pracy wpływ ZŚ na wielkość pola ekspozycji czynnej w momencie faktycznej obserwacji krajobrazu może okazać się mniejszy lub większy niż ten obliczony metodą viewshed. Przedstawienie wyników oceny dokładności modeli geoinformacyjnych użytych w niniejszych badaniach wymaga dostępu do możliwie aktualnych danych o ukształtowaniu i pokryciu terenu oraz serii pomiarów terenowych weryfikujących modele widoczności. Ponadto należy uwzględnić fakt, że obserwacja krajobrazu wiąże się z postrzeganiem obiektów jako większe lub mniejsze w zależności od odległości. Użyta w pracy metoda viewshed ma charakter binarny, tzn. dzieli analizowany obszar na widoczny i niewidoczny z pozycji obserwatora. To kolejne uproszczenie modelu geoinformacyjnego rzutuje na realny wpływ ZŚ na ekspozycję czynną punktów widokowych. Zniwelowanie efektu wpływu odległości na wielkość postrzeganych obiektów może być osiągnięte metodą modelowania rozmytego [Fisher 1992] lub modelowania widoczności metodą widoków ukośnych [Chmielewski i Grabowski 2023].

Z punktu widzenia potrzeby kształtowania centrów bioróżnorodności w obrębie krajobrazu przyrodniczo-kulturowego typu rolniczego [Chmielewski i in. 2015] zagadnienie potencjalnego konfliktu z zasobami widokowym tegoż krajobrazu nie było dotąd przedmiotem badań naukowych, tym samym trudno jest odnieść uzyskane wyniki do innych autorów. Opisany w pracy wpływ, określony jako silny i umiarkowany w zależności od topografii analizowanego punktu widokowego, może być traktowany jako przesłanka do świadomego kształtowania przestrzeni rolniczej – dobrze zaplanowane zadrzewienia mogą wzbogacić estetykę otoczenia, tworząc bardziej naturalne wrażenia wizualne.

Aby zachować zasoby widokowe, rekomenduje się pozostawienie przedpola widokowego wolnego od ZŚ, natomiast określenie fizycznych wymiarów takiej strefy powinno być ustalone indywidualnie dla analizowanego punktu widokowego np. w drodze modelowania metodą viewshed. W takiej analizie zaleca się uwzględnienie uwarunkowań topograficznych punktu widokowego oraz konkretnych treści panoramy widokowej będących przedmiotem ochrony. Z technicznego punktu widzenia, różne wysokości i różne układy

przestrzenne ZŚ mogą być rozpatrywane za pomocą rastrowych NMPT (grupy, kępy, układy liniowe wzdłuż miedzy, remizy, soliery lub szpalery), natomiast ustalenie ich przestrzennej formy i lokalizacji następuje indywidualnie dla każdego punktu widokowego w drodze konfrontacji priorytetów ochrony zasobów widokowych i wyników wielowariantowego modelowania metodą viewshed. Z tego powodu wydanie uniwersalnych wytycznych dotyczących wielkości strefy wolnej od ZŚ nie jest rozważane. Równocześnie podkreśla się, iż proces doboru ZŚ powinien uwzględniać nie tylko ich skład gatunkowy, ale również lokalizację i formę przestrzenną, zaprojektowaną w drodze analiz przestrzennych.

Warto zatem rozważyć równowagę między koniecznością ochrony pola ekspozycji czynnej punktów widokowych zlokalizowanych w krajobrazie rolniczym, a korzyściami ekologicznymi i estetycznymi, jakie niosą ze sobą ZŚ.

#### PODSUMOWANIE

Roztoczański Park Narodowy i jego otulina to obszar, w którym zadrzewienia śródpolne odgrywają istotną rolę zarówno w kształtowaniu bioróżnorodności biologicznej jak i struktury krajobrazu. Przeprowadzone analizy wykazały, że obecność tych zadrzewień zmniejsza pole ekspozycji czynnej punktów widokowych w zakresie od 18,3% do 43,2%. Choć zadrzewienia sprzyjają wzrostowi stabilności ekologicznej agrocenoz, mogą jednocześnie wpływać na percepcję krajobrazu, ograniczając jego walory widokowe. W związku z tym konieczne jest monitorowanie procesów sukcesji wtórnej oraz świadome planowanie nowych nasadzeń śródpolnych z zastosowaniem narzędzi geoinformacyjnych; pozwoli to na optymalne łączenie funkcji ekologicznych i krajobrazowych regionu.

#### PIŚMIENNICTWO

- Niedźwiecka-Filipiak I., 2009. Wyróżniki krajobrazu w architekturze wsi Polski Południowo-Zachodniej. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław, 1–228.
- PWN, 2024. Zadrzewienia śródpolne. W Encyklopedia PWN, <https://encyklopedia.pwn.pl> [dostęp 06.06.2024].
- Rozporządzenie Rady (EWG) nr 2078/92 z dnia 30 czerwca 1992 r. w sprawie metod produkcji rolniczej zgodnych z wymaganiami ochrony środowiska i utrzymania krajobrazu wiejskiego. Dz.U. L 215 z 30.7.1992, p. 85–90. <http://data.europa.eu/eli/reg/1992/2078/oj> [dostęp 06.06.2024].
- Rozporządzenie Komisji (WE) nr 746/96 z dnia 24 kwietnia 1996 r. ustanawiające szczegółowe zasady stosowania rozporządzenia Rady (EWG) nr 2078/92 w sprawie metod produkcji rolniczej zgodnych z wymaganiami ochrony środowiska i utrzymania krajobrazu wiejskiego. Dz.U. L 102 z 25.4.1996, p. 19–27. <http://data.europa.eu/eli/reg/1996/746/oj> [dostęp 06.06.2024].
- Ryczkowski L., Błazy S., 2002. Rola zadrzewień w programie zalesiania Polski. *Post. Nauk Rol.* 3, 131–145.
- Santos J.S., Dodonov P., Oshima J.F., Martello F., Santos A., Ferreira E.M., Silva-Neto C., Ribeiro M.C., Collevatti R.G., 2021. Landscape ecology in the Anthropocene: an overview for integrating agroecosystems and biodiversity conservation. *Persp. Ecol. Cons.* 19(1), 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.11.002>
- Schirpke U., Tasser E., Tappeiner U., 2013. Predicting scenic beauty of mountain regions. *Landscape and Urban Planning*, 111 (1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.11.010>

- Smith R., 1929. Tree crops: a permanent agriculture. Harcourt, Brace and Company, New York, 1–333.
- Symonides E., 2010. Znaczenie powiązań ekologicznych w krajobrazie rolniczym. Woda Środ. Obszary Wiej. 10(4), 249–263.
- Tukaj R., 2004. Dokładność opracowań z wykorzystaniem pomiaru metodą skaningu laserowego. Arch. Fotogram. Kartogr. Teledetekcji 15, 41–47.
- Wayssenhoff H., 2010. Zadrzewienia – stary sposób na nowe problemy. W: Bałazy S. (red.), Warunkowanie ochrony i restytucji zadrzewień na obszarach wiejskich. Poznań, 139–144.
- Wieczorek I., Chojnacka K., Wojtaszko M., Chmielewski S., 2024. Analiza widoczności algorytmem viewshed – czy można jej ufać. W: M. Babicz, B. Nowakowicz-Dębek, A. Gawryluk (red.), Wybrane zagadnienia z zakresu ochrony i zagrożeń środowiska, t. 4. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, Lublin. <https://doi.org/10.24326/mon.2024.13>
- Wilusz Z., 1962. Stan badań i perspektywy rozwoju zadrzewień w Polsce. Kosmos 8, 387–399.
- Wroniecka K., 2020. Zadrzewienia w krajobrazie rolniczym. Kujawsko-Pomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Minikowie, Minikowo, 1–22.
- Zhao Y., Liu X., Wang Y., Zheng Z., Zheng S., Zhao D., Bai Y., 2021. UAV-based individual shrub aboveground biomass estimation calibrated against terrestrial LiDAR in a shrub-encroached grassland. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 101(102358), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102358>

**Źródło finansowania:** projekt nr NdS-II/SP/0588/2023/01 pt. „Innowacyjne badania geobotaniczne mokradel Lubelszczyzny z wykorzystaniem metod teledetekcyjnych” jest realizowany od 24.10.2023 r. do 24.10.2026 r., finansowany ze środków budżetu państwa, przyznanych przez Ministra Edukacji i Nauki w ramach programu „Nauka dla Społeczeństwa II” w obszarze Nauka dla Innowacyjności.

**Abstract.** In the discourse agrocenoses biodiversity lost, the important role of field coppices is indicated as a landscape element that favours the formation of biodiversity. However, each change in the way of land use, both planned and occurring through secondary succession, affects the physiognomic resources of the landscape. Field coppices, as an element of the agricultural landscape, can form harmonious, linear arrangements accompanying multi-ribbon field beds. Still, at the same time, they can create tight viewing curtains limiting the field of active exposure of viewing points. The article examines the influence of field coppices functioning in the landscape on the size and spatial range of the field of active exposure of viewing points. The research is conducted using the example of the Roztocze National Park buffer zone using the geoprocessing method of spatial data. Based on the obtained results, it was found that in the buffer zone of the RPN, the area of mid-field coppice is 10003.6 ha, at the same time, in all four analyzed viewpoints significant changes were noted in the range of the active exposure area (a decrease in the area from 18.3% to 43.2%). The obtained results allow recommendations on how to minimise potential spatial conflicts between the need for biodiversity enhancement and new field coppices introduction landscape scenic resources preservation.

**Keywords:** field coppices, visual landscape resources, vantage points, viewshed, 3D-GIS

Otrzymano/Received: 24.10.2024  
Zaakceptowano/Accepted: 11.12..2024  
Opublikowano/Published: 18.03.2025







<sup>1</sup> Wydział Nauk Technicznych, Zakład Rolnictwa, Akademia Bialska im. Jana Pawła II,  
ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska, Polska

<sup>2</sup> Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza,  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, Polska

<sup>3</sup> Katedra Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa, Zakład Agrometeorologii,  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, Polska

\* e-mail: a.baranowska@dyd.akademiabialska.pl

ALICJA BARANOWSKA <sup>1\*</sup>, BARBARA SKOWERA <sup>2</sup>,  
ALICJA WĘGRZYN <sup>3</sup>

## Wpływ warunków meteorologicznych i zabiegów agrotechnicznych na wynik produkcyjny i ekonomiczny uprawy maliny jesiennej – studium przypadku

Impact of meteorological conditions and agrotechnical treatments on the production  
and economic result of autumn raspberry cultivation – case study

**Abstrakt.** Badania polowe przeprowadzono w latach 2021–2023 na plantacji produkcyjnej, założonej na glebie lekkiej. Materiał badawczy stanowiły dane dotyczące uprawy maliny jesiennej odmiany Polonez. Celem badań była ocena wpływu warunków meteorologicznych i wykonywanych zabiegów agrotechnicznych na wynik produkcyjny i ekonomiczny uprawy maliny jesiennej w warunkach gospodarstwa produkcyjnego, położonego w północno-wschodniej części województwa lubelskiego. Stwierdzono, że zróżnicowany przebieg warunków meteorologicznych w latach 2021–2023 (zwłaszcza długotrwała susza w 2023 r.) wpływał na wielkość i jakość plonów owoców maliny. W 2023 r. plon owoców był najmniejszy, również średnia cena sprzedaży owoców była niższa w porównaniu z pozostałymi latami badań, co znacząco wpłynęło na wynik ekonomiczny uprawy maliny jesiennej. W strukturze kosztów uprawy maliny największy udział (53,6%) stanowił ręczny zbiór owoców. Jednak średnia wartość produkcji maliny w latach 2021–2023 była wyższa od poniesionych kosztów, o czym świadczy wartość nadwyżki bezpośredniej – średnio na poziomie 13 653,7 zł·ha<sup>-1</sup> oraz dochodu rolniczego netto, który wynosił średnio 11 776,75 zł·ha<sup>-1</sup>.

**Słowa kluczowe:** malina jesienna, warunki meteorologiczne, zabiegi agrotechniczne, plon, koszty

---

**Cytowanie:** Baranowska A., Skowera B., Węgrzyn A., 2024. Wpływ warunków meteorologicznych i zabiegów agrotechnicznych na wynik produkcyjny i ekonomiczny uprawy maliny jesiennej – studium przypadku. *Agron. Sci.* 79(4), 169–182. <https://doi.org/10.24326/as.2024.5410>

## WSTĘP

Malina właściwa (*Rubus idaeus* L.) jest jednym z ważniejszych krzewów jagodowych, powszechnie uprawianych w strefie klimatu umiarkowanego. Jednak w wyniku ponad stuletniej tradycji prowadzenia prac hodowlanych (selekcja i krzyżowanie odmian) oraz optymalizacji warunków produkcji, malina uprawiana jest również w innych strefach klimatycznych [Yang i in. 2020, Zhang i in. 2022]. Aktualnie światowa produkcja maliny koncentruje się głównie w Europie Wschodniej i Rosji [Kim i in. 2016].

W zależności od odmiany, barwa owoców maliny może być różna: od jasnoczerwonej do ciemnoczerwonej, fioletowej, czarnej, żółtej, czy białej [Danek 2014]. Ze względu na walory sensoryczne i korzyści zdrowotne największym uznaniem konsumentów cieszą się owoce maliny czerwonej (*Rubus idaeus* L. subsp. *idaeus*) [Baldassi i in. 2024]. Owoce maliny czerwonej są bogate w witaminy, kwas foliowy, antocyjany, elagotaniny i pierwiastki mineralne. Zawierają również cukry proste, kwasy organiczne, pektyny oraz związki śluzowe i inne fitochemikalia. Wyniki badań naukowych potwierdzają działanie prewencyjne składników bioaktywnych występujących w owocach maliny w stosunku do wielu chorób cywilizacyjnych [Krauze-Baranowska i in. 2014, Bobinaitė i in. 2016, Kim i in. 2016]. Maliny dostępne są w handlu w postaci świeżej, mrożonej, jak również przetworzonej (np. koncentraty, soki, syropy, dżemy, kompoty, likiery) [Bulatović, 2020].

Należy zaznaczyć, że produkcja malin na świecie wzrosła z 590,0 tys. ton (w 2012 r.) do 947,8 tys. ton (w 2022 r.). W ostatnich latach 22,47% światowej produkcji malin pochodziło z Rosji, a pozostałe kraje: Meksyk, Serbia, Polska i Stany Zjednoczone Ameryki Północnej odpowiadały za 72,34% produkcji [Zaremba 2014, World Data Atlas Agriculture 2024]. Obserwowany jest również wzrost nasadzeń malin na Ukrainie, gdzie dominują wielkopowierzchniowe plantacje (przekraczające 10 ha). Natomiast w Polsce i Serbii obszary upraw są bardziej rozproszone [Wróblewska in. 2019]. Wartość rynku świeżych owoców jagodowych, do których zaliczana jest również malina, szacowana jest na 26,56 mld USD w 2024 r. i oczekuje się, że do 2029 r. osiągnie ona wartość 31,86 mld USD [Industry Reports 2024]. Polska jest jednym z ważniejszych producentów malin na świecie. Według danych GUS powierzchnia uprawy malin w Polsce w roku 2023 wynosiła: 21,38 tys. ha, a plony kształtowały się średnio na poziomie 4,5 t·ha<sup>-1</sup>. Najwięcej malin uprawiano w województwie lubelskim. Powierzchnia uprawy malin wynosiła tutaj 15,45 tys. ha, a średni plon 4,7 t·ha<sup>-1</sup> [GUS 2023].

Oplacalność i konkurencyjność produkcji maliny zależy od szeregu czynników ekonomicznych i klimatycznych, jak również od indywidualnych decyzji podejmowanych przez producentów [Paszko 2008]. Malina jest rośliną trudną w uprawie. Ze względu na płytki system korzeniowy (najwięcej korzeni znajduje się w warstwie gleby od 0 do 25 cm) jest krzewem szczególnie wrażliwym zarówno na nadmiar, jak również niedobór wody w glebie. Nawet krótkotrwała susza wpływa bardzo niekorzystnie na wzrost i owocowanie roślin [Danek 2009].

Należy podkreślić, że w ostatnich dekadach, w dobie ocieplenia klimatu (średnia temperatura Ziemi w latach 2011–2020 była wyższa o 1,09°C w porównaniu do lat 1850–1900) [IPCC 2021], jednym z ważniejszych czynników decydujących o wysokości i jakości plonów roślin są warunki pogodowe [Ciebień i Rachon 2021, Baranowska i in. 2023].

Rolnictwo jest sektorem gospodarki, który najdotkliwiej odczuwa skutki postępującego ocieplenia klimatu. W województwie lubelskim najwyższym odsetkiem strat w rolnictwie charakteryzuje się część północno-wschodnia województwa, szczególnie powiat

bialski. Przyczynami strat w produkcji roślinnej były tutaj, między innymi: ujemne skutki przezimowania upraw, przymrozki wiosenne, susza, podtopienia, silny wiatr, grad oraz deszcz nawalny [Siwiec 2022].

Dlatego też badania na temat wpływu zabiegów agrotechnicznych i warunków meteorologicznych na produkcję roślinną są ważne i mają duże znaczenie praktyczne. Celem badań była ocena wpływu warunków meteorologicznych i zabiegów agrotechnicznych na wynik produkcyjny i ekonomiczny uprawy maliny jesiennej, w warunkach gospodarstwa produkcyjnego położonego w północno-wschodniej części województwa lubelskiego, w powiecie bialskim.

#### MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2021–2023 na plantacji produkcyjnej zlokalizowanej w gminie Biała Podlaska (52°02'68"N, 23°00'52"E), w województwie lubelskim. Gmina Biała Podlaska położona jest w północnej części województwa, na granicy dwóch makroregionów: Niziny Południowopodlaskiej i Polesia Zachodniego. Północno-wschodnia część Lubelszczyzny charakteryzuje się równinną rzeźbą terenu. Znaczna część makroregionu położona jest nie wyżej, niż 150–200 m n.p.m. Dominują tutaj gliny i piaski zwałowe [Kondracki 2002]. Na badanym obszarze przeważają gleby lekkie (podatne na suszę) zaliczane do klasy bonitacyjnej IVa i IVb [Witek i Górski 1977].

Według Kozyry i Górskiego [2004] wskaźnik agroklimatu obszaru gminy Biała Podlaska oceniany jest na poziomie 90–92 punktów (w skali 100-punktowej).

Materiałem badawczym były dane dotyczące plonowania, kosztów produkcji i cen maliny jesiennej odmiany Polonez. Hodowcą odmiany Polonez jest Sadowniczy Zakład Doświadczalny Instytutu Ogrodnictwa w Brzeznej. Odmiana ta została wpisana do rejestru odmian w 2015 r. Polonez to odmiana maliny deserowej, owocującej na pędach jednoročných, powtarzających owocowanie na pędach dwuletnich. Jest to odmiana pełna, której owoce są jasnoczerwone, błyszczące, dość duże i smaczne (nadają się również do mrożenia). Może być uprawiana bez podpór. Krzew o średniej sile wzrostu, o pędach sztywnych z kolcami. Zbiór owoców może rozpoczynać się już w lipcu, pełnia owocowania przypada na drugą dekadę sierpnia i trwa do pierwszych przymrozków [Sadowniczy Zakład Doświadczalny w Brzeznej 2024].

Plantację malin założono na glebie lekkiej, o  $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,8$  o wysokiej zasobności w przyswajalny fosfor, potas i magnez. Nasadzenia krzewów zostały wykonane w rozstawie rzędów  $4,0 \times 0,5$  m. Przed założeniem plantacji zastosowano nawóz wapniowo-magnezowy, pochodzenia naturalnego o składzie chemicznym: (CaO 30% + MgO 20%) w dawce  $500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . W kolejnych latach badań, każdego roku jesienią (po zbiorach owoców) plantację nawożono obornikiem w dawce  $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Nawożenie organiczne uzupełniano nawozami mineralnymi: fosforowo-potasowymi (10%  $\text{P}_2\text{O}_5$  + 10%  $\text{K}_2\text{O}$ ) w dawce  $250 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Wiosną wysiewano nawozy azotowe (N 15%,  $\text{N-NO}_3$  13,8%,  $\text{N-NH}_4$  1,2%, CaO 26%, Br 0,3%) w dawce  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  oraz nawóz wieloskładnikowy z mikroelementami (N – 12%, P – 11%, K – 18%, Mg – 2,7%, S – 8% + mikroelementy) w dawce  $450 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . W trakcie wegetacji stosowano dwukrotne dokarmianie dolistne roślin preparatem Asvit w dawce  $50 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , zawierającym pożyteczne mikroorganizmy oraz makro- i mikroelementy.

Przed chorobami grzybowymi (szarą pleśnią i zamieraniem pędów maliny) plantację chroniono preparatem Switch 62,5 WG w dawce  $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (oprysk dwukrotny). Następnie

stosowano dwukrotne opryskiwanie fungycydem Zato 50 WG (rdza maliny, zamieranie pędów maliny) w dawce  $200 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Od szarej pleśni plantację chroniono preparatem Signum 33 WG (szara pleśń, przypąkowe zamieranie pędów malin) w dawce  $1,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (oprysk dwukrotny). Przeciw szkodnikom malin stosowano insektycyd Mospilan 20 SP  $0,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  + adiuwant Slippa  $0,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (dwa zabiegi). Chwasty zwalczano herbicydem: Select Super 120 EC w dawce  $2 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Maliny zbierano ręcznie w terminie od trzeciej dekady lipca do trzeciej dekady października w fazie pełnej dojrzałości zbiorczej owoców. Średnie ceny materiałów i plonu przyjęto według faktycznych cen zakupu i sprzedaży z lat 2021–2023. Wartość plonu malin obliczono na podstawie iloczynu zebranego plonu i cen sprzedaży owoców (hurt, detal).

Ocenę efektywności ekonomicznej uprawy 1 ha malin przeprowadzono w dwóch kategoriach. Pierwszą kategorią dochodową była nadwyżka bezpośrednia (tj. wartość produkcji uzyskana z 1 ha uprawy pomniejszona o koszty poniesione bezpośrednio na wytworzenie tej produkcji). Drugą kategorią był dochód rolniczy netto, czyli nadwyżka bezpośrednia pomniejszona o koszty pośrednie.

W ocenie ekonomicznej uwzględniono wartość produkcji z 1 ha owoców malin (obliczoną na podstawie iloczynu zebranego plonu i cen sprzedaży owoców – średnia dla lat 2021–2023, doliczając Jednolitą Płatność Obszarową). Do kosztów bezpośrednich zaliczono nakłady według faktycznego stanu zakupu i zużycia środków produkcji (zakup certyfikowanych sadzonek malin, nawozy naturalne i mineralne, środki ochrony roślin, pracę najemną do zbioru malin, zakup opakowań). Następnie obliczono wartość nadwyżki bezpośredniej, którą stanowiła wartość produkcji uzyskanej z 1 ha uprawy malin pomniejszona o koszty bezpośrednie poniesione na wytworzenie tej produkcji [Abramczuk i in. 2013, Skarżyńska i Jabłoński 2016]. Uwzględnienie kosztów pośrednich pozwoliło wykazać wynik w postaci dochodu rolniczego netto [Kujawsko-Pomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego 2024]. Dochód rolniczy netto to wartość nadwyżki bezpośredniej pomniejszona o koszty pośrednie produkcji. Wśród kosztów pośrednich wyodrębniono pracę maszyn własnych, podatki, ubezpieczenia [Skarżyńska i Jabłoński 2016, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego 2024].

Do oceny przebiegu warunków meteorologicznych w latach 2021–2023 wykorzystano wartości dobowe średniej temperatury powietrza i sumy opadów atmosferycznych ze Stacji meteorologicznej, należącej do Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych w Ciciborze Dużym, w gminie Biała Podlaska. Przebieg warunków meteorologicznych w okresie badań (lata 2021–2023) odniesiono do obowiązującej normy klimatycznej, dla lat 1991–2020. W celu identyfikacji niekorzystnych warunków meteorologicznych podczas wegetacji malin (w latach 2021–2023), obliczono wskaźnik termiczno-opadowy A w literaturze przedmiotu badań określany wskaźnikiem suchości Ped’a. Metodę obliczeń wskaźnika A opisano w pracach: Bartoszek i in. [2021] i Skowera i in. [2023].

Wskaźnik termiczno-opadowy A przyjmuje wartości dodatnie dla okresów suchych, co koresponduje z dodatnią anomalią temperatury powietrza i ujemną anomalią miesięcznych sum opadów. Analogicznie wartości ujemne wskaźnika są konsekwencją ujemnej anomalii średniej miesięcznej temperatury powietrza i dodatniej anomalii sum opadów. Wartości wskaźnika A informują o wystąpieniu anomalnych warunków termiczno-opadowych: między innymi suszy atmosferycznej o różnym nasileniu lub też warunków nadmiernie wilgotnych. Według Skowery i in. [2023] przyjęto, że wartości:  $A < -1$  to miesiące wilgotne;  $-1 \leq A < 1$  – miesiące optymalne;  $1 \leq A < 2$  – miesiące z oznakami suszy;  $2 \leq A < 3$  – miesiące z umiarkowaną suszą;  $A \geq 3$  – miesiące z silną suszą. Na podstawie testu

Kruskalla–Wallisa (K–W) określono, czy występowały istotne statystyczne różnice w przebiegu temperatury i opadów atmosferycznych pomiędzy latami badań, tj. 2021–2023.

#### WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Jednym z najważniejszych czynników decydujących o opłacalności i konkurencyjności produkcji maliny jest przebieg warunków pogodowych podczas wegetacji roślin, zwłaszcza na plantacjach nienawadnianych [Zbancă i in. 2018]. W tabeli 1 przedstawiono średnie wieloletnie wartości temperatury powietrza (T) i miesięcznych sum opadów (P) dla obszaru badań (1991–2020).

Stwierdzono, że średnia roczna temperatura powietrza w wieloleciu (1991–2020) wynosiła 8,3°C, a średnia roczna suma opadów ok. 570 mm (opracowanie własne na podstawie danych IMGW–PIB i COBORU). W najcieplejszych miesiącach roku, tj. w lipcu i w sierpniu średnia temperatura powietrza wynosiła odpowiednio: 19,5°C i 18,6°C, natomiast w najchłodniejszych; styczniu i lutym: –2,7°C oraz –1,3°C (tab. 1). Na wykresie 1 przedstawiono dekadowy przebieg średniej temperatury powietrza i sum opadów atmosferycznych w latach prowadzenia badań (2021–2023).

Na podstawie porównania wartości średnich wieloletnich temperatury powietrza i sum opadów (tab. 1) z wartościami miesięcznymi i dekadowymi tych parametrów w latach prowadzenia badań (tj. 2021–2023; rys. 1) stwierdzono, że lata 2021, 2022 i 2023 były cieplejsze w porównaniu z wieloleciem. Natomiast sumy opadów tylko w latach 2021 i 2022 (w miesiącach od VII do IX, tj. w okresie kwitnienia i owocowania maliny jesiennej) były większe od normy. W 2023 r. w miesiącach tych sumy opadów były mniejsze od wieloletnich oraz mniejsze od sum opadów odnotowanych w latach 2021, 2022 (ryc. 1).

Zróznicowanie czasowe przebiegu dobowej temperatury powietrza i sum opadów atmosferycznych w okresie badań potwierdził nieparametryczny test istotności Kruskalla–Wallisa (KW). Na podstawie testu stwierdzono istotne statystycznie zróznicowanie średniej dobowej temperatury powietrza pomiędzy latami (2021–2023) w miesiącu kwietniu (KW-H = 6,89) i od czerwca do września (VI; KW-H = 6,43, VII; KW-H = 17,87; VIII; KW-H = 24,03; IX; KW-H = 49,54 przy  $p \leq 0,05$ ). Natomiast w przypadku dobowych sum opadów istotne statystycznie różnice stwierdzono tylko w maju KW-H = 6,21 i w październiku KW-H = 12,29 ( $p \leq 0,05$ ).

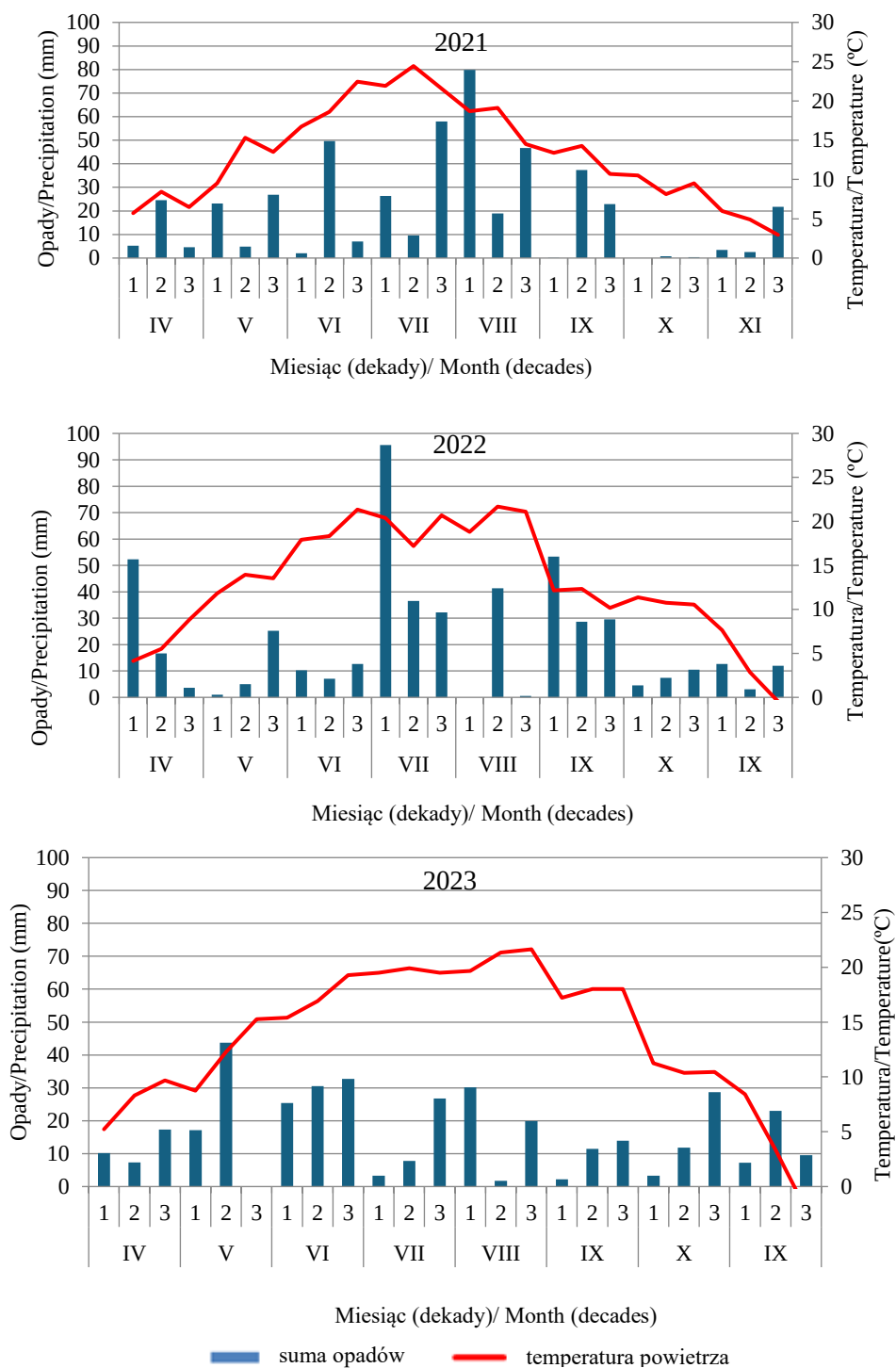
Przebieg warunków meteorologicznych w latach badań odzwierciedlają wartości wskaźnika termiczno-opadowego A (tab. 2). W 2023 r. od lipca do października obserwowano nasilanie suszy atmosferycznej – występowały warunki z oznakami suszy, umiarkowaną suszą i silną suszą. Bartoszek i in. [2021] wykazali, że występowanie suszy w okresie wegetacyjnym na obszarze Lubelszczyzny jest związane z istotnym statystycznie wzrostem temperatury powietrza w kwietniu, czerwcu, lipcu i sierpniu oraz brakiem tendencji zmian opadów w półroczu ciepłym. Zagrożenie suszą rolniczą krzewów owocowych dla gminy Biała Podlaska potwierdza System Monitoringu Suszy Rolniczej IUNG–PIB [Zagrożenie suszą na poziomie gminy 2023] – w lipcu 2023 r. aż 72% powierzchni upraw krzewów owocowych było zagrożone suszą rolniczą. Okres ten przypadał na czas kwitnienia i zawiązywania owoców malin jesiennych. W 2022 r. susza rolnicza wystąpiła wcześniej (tj. w maju i czerwcu) na 82% powierzchni upraw krzewów owocowych, natomiast w 2021 susza praktycznie nie występowała (zaledwie ok. 3% powierzchni plantacji krzewów owocowych było zagrożonych suszą rolniczą).

Tabela 1. Średnia temperatura powietrza (T) i sumy opadów atmosferycznych (P) w Ciciborze Dużym w wieloletniu 1991–2020 i w okresie badań (2021–2023)  
 Table 1. Average air temperature (T) and total precipitation (P) in Cicibór Duży over the multiannual period (1991–2020) and the research period (2021–2023)

| Okres<br>Period | Wskaźnik<br>Index | I    | II   | III | IV  | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI  | XII  | IV–X  | I–XII |
|-----------------|-------------------|------|------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------|-------|-------|
| 1991–<br>2020   | T (°C)            | –2,7 | –1,3 | 2,3 | 8,6 | 14,0  | 17,5  | 19,5  | 18,6  | 13,3  | 8,1   | 3,4 | –1,0 | 14,2  | 8,3   |
|                 | P (mm)            | 32   | 29   | 30  | 37  | 64    | 71    | 81    | 62    | 52    | 42    | 35  | 35   | 408   | 570   |
| 2021            | T (°C)            | –2,0 | –3,3 | 2,6 | 6,9 | 12,8↓ | 19,3  | 22,6↑ | 17,3  | 12,8  | 9,4   | 4,6 | –2,1 | 14,4  | 8,4   |
|                 | P (mm)            | 63   | 23   | 12  | 35  | 55    | 59↓   | 94    | 145↑  | 60    | 1,0↓  | 28  | 26   | 449↑  | 601↑  |
| 2022            | T (°C)            | –0,1 | 2,6  | 2,5 | 6,2 | 13,1  | 19,2↑ | 19,5  | 20,6↑ | 11,6  | 10,9↑ | 3,3 | –0,7 | 14,4  | 9,0↑  |
|                 | P (mm)            | 36   | 26   | 13  | 73  | 31↓   | 30↓   | 164↑  | 42↓   | 112↑  | 22↓   | 28  | 62   | 474↑  | 639↑  |
| 2023            | T (°C)            | 2,6  | 0,8  | 4,2 | 8,4 | 12,4↓ | 17,0  | 19,7  | 21,3↑ | 18,0↑ | 10,3↑ | 3,2 | 1,1  | 15,3↑ | 9,9↑  |
|                 | P (mm)            | 80   | 34   | 37  | 35  | 61    | 89    | 38↓   | 52↓   | 28↓   | 44    | 40  | 59   | 345↓  | 595↑  |

Strzałki przy wartościach liczbowych w tabeli oznaczają anomalię temperatury i opadów w odniesieniu do wartości normalnej 1991–2020; ↑– dodatnia anomalia,  
 ↓– ujemna anomalia

The arrows next to the numerical values in the table indicate the anomaly of temperature and precipitation in relation to the normal value 1991–2020; ↑– positive anomaly,  
 ↓– negative anomaly



Ryc. 1. Dekadowy przebieg średniej temperatury powietrza i sum opadów atmosferycznych – stacja meteorologiczna Cicibór Duży, gmina Biała Podlaska  
 Fig. 1. Decadal course of average air temperature and precipitation totals at the Cicibór Duży meteorological station, Biała Podlaska commune

Tabela 2. Wartości wskaźnika termiczno-opadowego A w okresie badań (2021–2023)  
Table 2. Values of the thermal and precipitation index A during the research period (2021–2023)

| Okres<br>Period | I    | II   | III | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X   | XI   | XII  | IV–X | I–XII |
|-----------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|
| 2021            | –1,5 | –0,1 | 1,3 | –0,9 | –0,4 | 1,7  | 1,9  | –3,1 | –0,6 | 2,4 | 1,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1   |
| 2022            | 0,6  | 1,5  | 1,2 | –3,4 | 0,7  | 2,3  | –1,8 | 2,1  | –3,0 | 2,5 | 0,6  | –1,2 | –0,1 | 0,2   |
| 2023            | –0,9 | 0,3  | 0,4 | 0,1  | –0,9 | –0,6 | 1,2  | 2,4  | 4,0  | 1,4 | –0,3 | –0,5 | 1,1  | 0,5   |

$A < -1$  – miesiące wilgotne;  $-1 \leq A < 1$  – miesiące optymalne;  $1 \leq A < 2$  – miesiące z oznakami suszy;  $2 \leq A < 3$  – miesiące z umiarkowaną suszą;  $A \geq 3$  – miesiące z silną suszą [Skowera i in. 2023]

$A < -1$  – humid months;  $-1 \leq A < 1$  – optimal months;  $1 \leq A < 2$  – months with signs of drought;  $2 \leq A < 3$  – months with moderate drought;  $A \geq 3$  – months with severe drought [Skowera et al. 2023]

Przebieg warunków meteorologicznych w latach 2021–2023 (zwłaszcza długotrwała susza w 2023 r.), wpływał na wielkość i jakość plonów owoców maliny deserowej odmiany Polonez, uprawianej na glebie lekkiej (podatnej na suszę). Nedeljković i in. [2024] wskazują na tendencję spadkową plonów maliny w następstwie niekorzystnego przebiegu pogody podczas wegetacji roślin. W warunkach postępującego ocieplenia klimatu ryzykiem uprawy krzewów owocowych, zwłaszcza na glebach lekkich jest susza atmosferyczna, której następstwem może być susza rolnicza [System Monitoringu Suszy... 2023]. Koniecznością zatem staje się interwencyjne nawadnianie plantacji malin.

W analizowanym gospodarstwie w latach 2021–2023 średni plon owoców maliny z 1 ha wynosił  $5010 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , natomiast średnia cena sprzedaży 1 kilograma owoców – 11,48 zł (sprzedaż owoców detaliczna i hurtowa). Najmniejszy plon owoców, wynoszący średnio  $4400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  zebrano w 2023 r. Natomiast w 2021 i 2022 r. średnie plony owoców były wyższe w porównaniu z 2023 r. i wynosiły odpowiednio:  $5180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  i  $5450 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Średnia cena sprzedaży 1 kg owoców maliny była najwyższa w 2021 roku w porównaniu do pozostałych lat badań i wynosiła 13,95 zł, a najniższa w 2023 r. i wynosiła średnio 8,00 zł. Tak niska cena owoców maliny jesiennej w 2023 r. wynikała między innymi z obniżenia cen malin w Serbii (głównego importera owoców maliny na rynek Polski), wzrostu importu tanich owoców maliny z Ukrainy oraz niskich cen oferowanych w punktach skupu tych owoców [Nosecka 2023]. Według Hamulczuk i Stańko [2011] kształtowanie się cen w rolnictwie jest wypadkową nie tylko relacji popytowo-podażowych w danym kraju, ale także wpływu sytuacji na kluczowych rynkach światowych. Zdaniem Paszko i in. [2016] na rynku maliny występują wahania koniunktury z dłuższymi okresami wysokich cen (4–5 letnie) i krótszymi niskich (2–3 letnie). W krajach, które produkują głównie owoce maliny na potrzeby przemysłu przetwórczego, np. Ukraina, Serbia, Polska występują duże wahania cen skupu. Natomiast w krajach, w których produkuje się owoce przede wszystkim na rynek owoców świeżych (Hiszpania, Niemcy, Austria, Chile), wahania te są dużo mniejsze [Beba i Poczta 2014, Paszko i in. 2016].

W tabeli 3 przedstawiono dane dotyczące wybranych elementów oceny efektywności ekonomicznej uprawy maliny jesiennej odmiany Polonez.



Tabela 3. Wybrane elementy oceny efektywności ekonomicznej uprawy 1 ha maliny jesiennej odmiany Polonez (średnia z lat 2021–2023)  
Table 3. Selected elements of the assessment of the economic efficiency of growing 1 ha of raspberry cv. Polonez (average from 2021–2023)

| Wyszczególnienie<br>Specification             |                                              | Ilość<br>Quantity                     | Wartość (zł)<br>Value (PLN) | Struktura kosztów (%)<br>Costs structure |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| Wartość produkcji/ Production value           |                                              | –                                     | 58 429,6                    | –                                        |
| Wartość plonu malin/ Value of raspberry yield |                                              | –                                     | 57 514,8                    | –                                        |
| JPO*                                          |                                              | –                                     | 914,8                       | –                                        |
| koszty bezpośrednie/ direct costs             |                                              |                                       |                             |                                          |
| Sadzonki/Seedlings                            |                                              | 4 000 szt.                            | 10 000,0                    | 21,4                                     |
| Nawozy<br>Fertilizers                         | razem/total                                  | –                                     | 6 735,0                     | 14,4                                     |
|                                               | wapniowo-magnezowe/ calcium and magnesium    | 500 kg·ha <sup>-1</sup>               | 280,0                       | 0,6                                      |
|                                               | obornik/manure                               | 30 t·ha <sup>-1</sup>                 | 2 400,0                     | 5,1                                      |
|                                               | fosforowo-potasowe/ phosphorus and potassium | 250 kg·ha <sup>-1</sup>               | 330,0                       | 0,7                                      |
|                                               | azotowe/nitrogen                             | 300 kg·ha <sup>-1</sup>               | 670,0                       | 1,4                                      |
|                                               | wieloskładnikowe/multi-component             | 450 kg·ha <sup>-1</sup>               | 2 430,0                     | 5,2                                      |
|                                               | dolistne/foliar                              | 100 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> | 625,0                       | 1,4                                      |
| Środki ochrony<br>roślin<br>Plant protection  | razem/total                                  | –                                     | 2 116,4                     | 4,6                                      |
|                                               | herbicydy/herbicides                         | 2 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>   | 196,0                       | 0,4                                      |
|                                               | fungicydy/fungicides                         | 6 kg·ha <sup>-1</sup>                 | 1 660,0                     | 3,6                                      |
|                                               | insektycydy/insecticides                     | 0,4 kg·ha <sup>-1</sup>               | 171,8                       | 0,4                                      |
|                                               | adiuwant/adjuvant                            | 0,4 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> | 88,6                        | 0,2                                      |

| Wyszczególnienie<br>Specification              |                                                                | Ilość<br>Quantity     | Wartość (zł)<br>Value (PLN) | Struktura kosztów (%)<br>Costs structure |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| Koszty specjalistyczne<br>Specific costs       | razem/total                                                    | –                     | 25 924,5                    | 55,6                                     |
|                                                | zbiór ręczny malin/ manual harvesting of raspberries           | –                     | 24 984,5                    | 53,6                                     |
|                                                | opakowania (pojemniki 0,5 kg)<br>packaging (0.5 kg containers) | 2 350 szt.            | 940,0                       | 2,0                                      |
| Razem koszty bezpośrednie/ Direct costs total  |                                                                | –                     | 44 775,9                    | 96,0                                     |
| Nadwyżka bezpośrednia/ Gross margin            |                                                                | –                     | 13 653,7                    | –                                        |
| Koszty pośrednie<br>Indirect costs             | razem/total                                                    | –                     | 1 877,0                     | 4,0                                      |
|                                                | praca maszyn własnych/ work of own machines                    | –                     | 1 270,0                     | 2,7                                      |
|                                                | podatki i ubezpieczenia/ taxes and insurance                   | –                     | 157,0                       | 0,3                                      |
|                                                | pozostałe koszty/ other costs                                  | –                     | 450,0                       | 1,0                                      |
| Razem koszty całkowite/ Total costs in total   |                                                                | –                     | 46 652,9                    | 100                                      |
| Koszt jednostkowy/ Unit cost                   |                                                                | zł·kg <sup>-1</sup> – | –                           | –                                        |
| Dochód rolniczy netto/ Net agricultural income |                                                                | –                     | 11 776,75                   | –                                        |

JPO\* – jednolita płatność obszarowa, płatność za zazielenienie, płatność dodatkowa/ single area payment, greening payment, additional payment

Analizując koszty bezpośrednie (tab. 3), stwierdzono, że relatywnie największą pozycję w układzie łącznym kosztów stanowił najem siły roboczej do ręcznego zbioru malin – wynosił on średnio  $24\,984,5\text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ , co stanowiło 53,6% kosztów uprawy (tab. 3). W strukturze kosztów uprawy znaczący udział miał również zakup certyfikowanych sadzonek malin, stanowił on 21,4% kosztów uprawy (tab. 3). Zdaniem Wróblewskiej i in. [2019] produkcja ogrodnicza wymaga znacznego kapitału i jest czaso- i kosztochłonna, a koszty produkcji i najemnej pracy ludzkiej mają tendencję wzrostową. W badaniach Urošević i in. [2011] koszt zbioru ręcznego owoców stanowił nawet 70% całkowitych kosztów produkcji malin. Zdaniem Kowalczyka [2006] w uprawach sadowniczych nakłady robocizny są nawet trzykrotnie większe niż w gospodarstwach prowadzących typową produkcję rolniczą. Według Babović i in. [2005] sadownictwo jest jedną z najbardziej produktywnych gałęzi rolnictwa, w której na jednostkę powierzchni zatrudnionych jest 20 razy więcej pracowników, niż w przypadku produkcji zbóż. Na Węgrzech brak siły roboczej do ręcznego zbioru malin był m.in. powodem spadku produkcji, niezależnie od warunków kosztowych [Apáti 2014]. Wobec problemu niedoboru siły roboczej, z którymi borykają się plantatorzy owoców jagodowych, koniecznością staje się zmechanizowanie zbiorów, zwłaszcza na dużych plantacjach. Pozwoli to na skrócenie czasu pracy, zmniejszenie liczby zatrudnianych pracowników, zwiększenie produktywności i obniżenie kosztów produkcji. Zdaniem Marković i in. [2017] zbiór mechaniczny owoców kombajnem do malin jest 3–4 razy tańszy niż zbiór ręczny. Z drugiej strony jakość owoców zbieranych mechanicznie jest nieco gorsza w porównaniu z owocami zbieranymi ręcznie, ale owoce nadal nadają się do przetwórstwa [Mika i in. 2016].

W strukturze kosztów uprawy maliny nawozy mineralne i organiczne stanowiły średnio 14,4% kosztów (tab. 3). Wśród nich najdroższe było stosowanie nawozu mineralnego wieloskładnikowego z mikroelementami, co stanowiło średnio 5,2% kosztów uprawy malin. Koszt zakupu środków ochrony roślin wraz z adiuwantem wynosił średnio  $21\,164\text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  i stanowił 4,6% kosztów uprawy (tab. 3). Najdroższe było dwukrotne stosowanie fungicydów (Switch 62,5 WG w dawce  $1\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Zato 50 WG w dawce  $200\text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Signum 33 WG w dawce  $1,8\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), co stanowiło średnio 3,6% kosztów uprawy malin. Zdaniem Krawca [2020] na plantacjach malin alternatywą dla standardowych zabiegów środkami ochrony roślin stają się środki biologiczne, które wykazują wysoką skuteczność przeciw chorobom grzybowym i przechowalniczym.

Koszty pośrednie uprawy maliny odmiany Polonez były niewielkie w odniesieniu do kosztów bezpośrednich i wynosiły średnio 4% w łącznym układzie kosztów (tab. 3).

W analizowanym gospodarstwie, pomimo wysokich kosztów produkcji i trudnych warunków pogodowych w sezonie wegetacyjnym 2023 r., średnia wartość produkcji maliny jesiennej odmiany Polonez w latach 2021–2023 była wyższa od poniesionych kosztów, o czym świadczy wartość nadwyżki bezpośredniej – średnio  $13\,653,7\text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  – oraz dochodu rolniczego netto, który wynosił średnio  $11\,776,75\text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

#### WNIOSKI

1. Zróżnicowany przebieg warunków meteorologicznych w latach badań determinował wielkość zebranych plonów maliny jesiennej. Najmniejszy plon owoców zebrano w 2023 r., tj. w najbardziej suchym roku badanego okresu. Również cena sprzedaży

- owoców w 2023 r. była najniższa w porównaniu z pozostałymi latami badań i wynosiła średnio  $8,00 \text{ zł} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
2. W strukturze kosztów bezpośrednich uprawy maliny odmiany Polonez dominował koszt ręcznego zbioru owoców, który stanowił 53,6% kosztów uprawy. Znaczny udział miał również koszt zakupu sadzonek malin (21,4%) oraz nawozów mineralnych i organicznych, które stanowiły 14,4% kosztów uprawy.
  3. Średnia wartość produkcji maliny odmiany Polonez w latach 2021–2023 była wyższa od poniesionych kosztów, o czym świadczy wartość nadwyżki bezpośredniej – średnio  $13\,653,7 \text{ zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

#### PIŚMIENNICTWO

- Abramczuk Ł., Augustyńska-Grzymek I., Czulowska M., Idzik M., Jabłoński K., Skarżyńska A., Żekało M., 2013. Nadwyżka bezpośrednia z wybranych produktów rolniczych w 2012 roku oraz projekcja dochodów na 2015 rok. IERiGŻ–PIB, Warszawa.
- Apáti F., 2014. Farm economic evaluation of raspberry production. *Int. J. Hort. Sci.* 20(3–4), 53–56. <https://doi.org/10.31421/IJHS/20/3-4/1135>
- Babović J., Lazić B., Malešević M., Gajić Ž., 2005. Agrobiznis u ekološkoj proizvodnji hrane. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, University of Novi Sad [in Serbian].
- Baldassi C., Lee C., Dossett M., Castellarin S.D., 2024. High-throughput color determination of red raspberry puree and correlation of color parameters with total anthocyanins. *Plant Methods* 20, 78. <https://doi.org/10.1186/s13007-024-01197-0>
- Baranowska A., Skowera B., Węgrzyn A., 2023. Niedobory i nadmiary opadów atmosferycznych w uprawie pszenicy ozimej na Lubelszczyźnie w latach 1971–2020. *Agron. Sci.* 78(4), 15–25. <https://doi.org/10.24326/as.2023.5237>
- Bartoszek K., Baranowska A., Kukla Ł., Skowera B., Węgrzyn A., 2021. Spatiotemporal assessment and meteorological determinants of atmospheric drought in agricultural areas of East-Central Poland. *Agronomy* 11, 2405. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122405>
- Beba P., Począ W., 2014. Miejsce sektora rolno-spożywczego w gospodarce polskich regionów. *J. Agric. Rural Dev.* 2(32), 5–16. <https://doi.org/10.17306/JARD.2015.2>
- Bobinaйтė R., Viškėlis P., Petras R., Venskutonis P.R., 2016. Chemical composition of raspberry (*Rubus* spp.) cultivars, W: M.S.J. Simmonds, V.R. Preedy (red.), *Nutritional Composition of fruit cultivars*. Academic Press, 713–731.
- Bulatović L.M., 2020. The state and forecast of fruit production and processing in Serbia. Faculty of Agriculture, University of Novi Sad.
- Ciebień M., Rachoń L., 2023. Ocena plonowania malin odmian powtarzających owocowanie w zależności od zagęszczenia pędów w rzędach w warunkach Padołu Zamojskiego. *Agron. Sci.* 78(2), 55–67. <https://doi.org/10.24326/as.2023.4600>
- Danek J., 2014. Uprawa maliny i jeżyny. Hortpress, Warszawa.
- GUS, 2023. Rocznik statystyczny rolnictwa. [https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5509/9/22/1/produkcja\\_upraw\\_rolnych\\_i\\_ogrodniczych\\_w\\_2023.xlsx](https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5509/9/22/1/produkcja_upraw_rolnych_i_ogrodniczych_w_2023.xlsx) [dostęp: 21.05.2024].
- Hamulczuk M., Stańko S., 2011. Prognozowanie cen surowców rolnych – uwarunkowania i metody. *Komun. Rap. Ekspert.* 547. IERiGŻ–PIB, Warszawa.
- Industry Reports, 2024. Fresh berries market size. Mordor Intelligence™. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/fresh-berries-market/market-size> [dostęp: 21.06.2024].
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change], 2014. Summary for policymakers. In *climate change 2013 – the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth Assessment*

- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 1–30.
- Kim M., Sutton K., Harris G., 2016. Raspberries and related fruits. Academic Press, Oxford. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00586-9>
- Kondracki J., 2002. Geografia regionalna Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Kowalczyk Z., 2006. Poziom i struktura nakładów pracy w wybranych gospodarstwach sadowniczych. Inż. Rol. 11, 209–214.
- Kozyra J., Górski T., 2004. Wpływ zmian klimatu na uprawę roślin w Polsce. W: Klimat – Środowisko – Człowiek. Polski Klub Ekologiczny, Okręg Dolnośląski, Wrocław.
- Krauze-Baranowska M., Majdan M., Kula M., 2014. Owoce maliny właściwej i maliny zachodniej źródłem substancji biologicznie aktywnych. Post. Fitoter. 1, 32–39.
- Krawiec P., 2020. Warzywa i owoce miękkie. Naturalne rozwiązanie w ochronie malin. Większy plon i mniej pozostałości. [https://www.warzywaiowoce.pl/articles/gatunki-owocow/naturalne-rozwiazanie-w-ochronie-malin-wiekszy-plon-i-mniej-pozostalosci-2351566#google\\_vignette](https://www.warzywaiowoce.pl/articles/gatunki-owocow/naturalne-rozwiazanie-w-ochronie-malin-wiekszy-plon-i-mniej-pozostalosci-2351566#google_vignette) [dostęp: 16.11.2024]
- Kujawsko-Pomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego, 2020. Kalkulacje rolnicze 2020 – wersja uaktualniona. <https://ekonomika.kpodr.pl/wp-content/uploads/2021/01/Kalkulacje-rolnicze-2020-wersja-uaktualniona.pdf> [dostęp: 21.04.2024].
- Marković T., Kokot Z., Makaš M., 2017. Ekonomski efekti primenemehanizacije u berbi maline. Works Fac. Agric. Food Sci. 62, 568–575 [in Serbian].
- Mika A., Buler Z., Rabcewicz J., Białkowski P., Konopacka D., 2016. Horizontal canopy for plums mechanically harvested in continuous motion. Acta Sci. Pol. Hort. Cult. 15(6), 49–59.
- Nedeljković M., Ćosić M., Marin F.M., 2024. Raspberry production trends in Serbia. Sciendo. Proceedings of the 18th International Conference on Business Excellence 2024, <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/picbe-2024-0263> [dostęp: 5.06.2024].
- Nosecka B. (red.), 2023. Rynek Owoców i Warzyw. Stan i Perspektywy 63. Analizy Rynkowe. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Paszko D., 2008. Wpływ zmienności kosztów siły roboczej na opłacalność produkcji owoców jagodowych. Zesz. Nauk. Inst. Sadow. Kwiac. Skiern. 16, 223–234.
- Paszko D., Pawlak J., Wróblewska W., 2016. Wahanie koniunktury w produkcji owoców jagodowych w Polsce i na świecie. Probl. Rol. Świat. 16(31), 301–312.
- Sadowniczy Zakład Doświadczalny w Brzeźnie, 2024. [www.brzezna.pl](http://www.brzezna.pl) [dostęp: 21.06.2024].
- Siwiec E. (red.), 2022. Atlas skutków zjawisk ekstremalnych w Polsce. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, [https://klimada2.ios.gov.pl/files/2023/Atlas\\_skutkow\\_zjawisk\\_ekstremalnych\\_w\\_Polsce.pdf](https://klimada2.ios.gov.pl/files/2023/Atlas_skutkow_zjawisk_ekstremalnych_w_Polsce.pdf) [dostęp: 10.06.2024].
- Skarżyńska A., Jabłoński K., 2016. Koszty jednostkowe i dochody wybranych produktów w 2014 roku – wyniki badań w systemie agrokosztów. Wyd. Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa. <https://open.icm.edu.pl/handle/123456789/10336> [dostęp: 04.05.2024].
- Skowera B., Baranowska A., Pokrývková J., 2023. Variability of thermal and precipitation conditions in the area north-eastern Lublin region in the aspect of atmospheric drought risk in the period from 1971 to 2020. Acta Sci. Pol., Formatio Circumietus 22(4), 5–21. <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/2023.22.4.15>
- Zagrożenie suszą na poziomie gminy, 2023. System Monitoringu Suszy Rolniczej IUNG-PIB. <https://susza.iung.pulawy.pl/wykazy/2023,0601032/> [dostęp: 10.05.2024].
- Urošević M., Radojević R., Petrović D., Bižić M., 2011. Opravdanost uvođenjamehanizovane berbe maline u Srbiji. Poljopr. 3, 79–86 [in Serbian].
- Witek T., Górski T., 1977. Przyrodnicza bonitacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. Geodezyjne, Warszawa.
- World Data Atlas Agriculture, 2024. The production of raspberries in the World. Knoema, <https://knoema.com/data/agriculture-indicators-production+raspberries> [dostęp: 06.05.2024].

- Wróblewska W., Pawlak J., Paszko D., 2019. Economic aspects in the raspberry production on the example of farms from Poland, Serbia and Ukraine. *J. Hortic Res.* 27(2), 71–80. <https://doi.org/10.2478/johr-2019-0019>
- Yang J., Cui, J., Chen J., Yao J., Hao Y., Fan Y., Liu, Y. 2020. Evaluation of physicochemical properties in three raspberries (*Rubus idaeus*) at five ripening stages in northern China. *Sci. Hortic.* 263(109146), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109146>
- Zaremba Ł., 2014. Polski i światowy rynek malin i ich przetworów. *Probl. Rol. Świat.* 14(1), 148–156. <https://doi.org/10.22630/PRS.2014.14.1.15>
- Zbancă A., Negritu G., Stratan D., 2018. Benchmarking of investment and their recoverability in the berries sector. *Sci. Papers, Ser. Manag. Econom. Eng. Agric. Rural Dev.* 18, 529–536.
- Zhang S., Liu Z., Li X., Abubaker M., Liu X., Li Z., Wang X., Zhu X., Zhang J., Chen X., 2022. Comparative study of three raspberry cultivar (*Rubus idaeus* L.) leaves metabolites: metabolome profiling and antioxidant activities. *Appl. Sci.* 12(3/990). <https://doi.org/10.3390/app120309904>

**Źródło finansowania:** Badania zostały sfinansowane w ramach projektu, numer PB/26/2020, Akademii Białskiej im. Jana Pawła II.

**Abstract.** The field research was conducted in the years 2021–2023 on the production plantation set up on light soil. The research material comprised data on the cultivation of autumn raspberry variety Polonez. The objective of the study was to assess the impact of meteorological conditions and the performed agrotechnical treatments on the production and economic result of autumn raspberry cultivation in the conditions of a production farm situated in the north-eastern part of the Lublin Province. It was noted that the diverse course of meteorological conditions in the years 2021–2023 (in particular, the long-term drought in 2023) affected the quantity and quality of raspberry fruit yields. In 2023, the fruit yield was the lowest, similar to the average selling price of fruits compared to the other analysed years, which significantly impacted the economic result of autumn raspberry cultivation. In the cost structure of raspberry cultivation, manual fruit picking constituted the largest share (53.6%). However, the average value of raspberry production in the years 2021–2023 was higher than the costs incurred, as evidenced by the value of the direct surplus – on average at the level of 13 653,7 PLN·ha<sup>-1</sup> and net agricultural income, which on average amounted to 11 776,75 PLN·ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** autumn raspberry, meteorological conditions, agrotechnical treatments, yield, costs

Otrzymano/Received: 17.07.2024  
Zaakceptowano/Accepted: 22.01.2025  
Opublikowano/Published: 18.03.2025

## **Lista recenzentów List of reviewers**

- dr Marek Angowski (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Polska)
- prof. Malgozhata Berova (Agricultural University of Plovdiv, Bulgaria)
- dr Gunita Bimšteine (Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia)
- dr Robert Borek (Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, Polska)
- dr Anna Budzyńska (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Polska)
- dr Katarzyna Bzdęga (Uniwersytet Śląski w Katowicach, Polska)
- dr Szymon Chmielewski (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)
- dr hab. Eugenia Czernyszewicz, prof. ucz. (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)
- dr hab. inż. Tomasz Dudek, prof. UR (Uniwersytet Rzeszowski, Polska)
- dr hab. Agnieszka Faligowska, prof. UPP (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Polska)
- dr inż. Dorota Gala-Czekaj (Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Polska)
- dr inż. Adam Gawryluk (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)
- dr hab. Małgorzata Haliniarz, prof. ucz. (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)
- dr hab. inż. Mariusz Hamulczuk (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Polska)
- prof. dr hab. Dorota Jadczyk (Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Polska)
- dr hab. inż. Maria Janicka (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Polska)
- dr hab. inż. Wacław Jarecki, prof. UR (Uniwersytet Rzeszowski, Polska)
- dr Aneta Jarosz-Angowska (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)
- prof. dr hab. inż. Dariusz Jaskulski (Politechnika Bydgoska, Polska)
- dr hab. Magdalena Kapłan, prof. ucz. (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)
- dr inż. Agnieszka Klarzyńska (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Polska)
- dr hab. inż. Agnieszka Klimek-Kopyra, prof. URK (Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Polska)
- Larisa Kocun (Lesya Ukrainka Volyn National University, Ukraine)

dr hab. inż. Beata Kołodziej, prof. ucz. (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)

prof. dr hab. Jolanta Korzeniowska (Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy we Wrocławiu, Polska)

dr hab. Aleksandra Kowalska, prof. UMCS (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Polska)

prof. dr hab. Stanisław Krasowicz (Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, Polska)

dr Renata Kubik (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)

prof. dr hab. Cezary Kwiatkowski (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)

dr hab. inż. Marek Liszewski, prof. UPWr (Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Polska)

dr hab. Leszek Majchrzak, prof. UPP (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Polska)

prof. Bruno Mezzetti (Università Politecnica delle Marche, Italy)

dr hab. Anna Milczarek, prof. ucz. (Uniwersytet w Siedlcach, Polska)

dr hab. Anna Nowak, prof. ucz. (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)

dr hab. Edyta Paczos-Grzęda, prof. ucz. (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)

dr hab. Katarzyna Panasiewicz, prof. UPP (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Polska)

dr inż. Adam Pawlewicz (Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Polska)

prof. Hennadii Pinkovskyi (National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, Ukraine)

dr hab. inż. Wojciech Pizło, prof. SGGW (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Polska)

prof. dr hab. Grażyna Podolska (Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, Polska)

dr hab. inż. Adam Radkowski, prof. URK (Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Polska)

dr hab. inż. Elżbieta Radzka, prof. ucz. (Uniwersytet w Siedlcach, Polska)

dr hab. Kamila Rybczyńska-Tkaczyk, prof. ucz. (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)

prof. dr hab. Barbara Sawicka (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)

prof. Antin Shuvar (West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine)

prof. dr hab. Tadeusz Sikora (Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Polska)

dr hab. Anetta Siwik-Ziomek, prof. PBŚ (Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Polska)

dr hab. Barbara Skowera, prof. URK (Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Polska)

dr hab. Monika Skowrońska, prof. ucz. (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)

dr hab. Teresa Skrajna, prof. ucz. (Uniwersytet w Siedlcach, Polska)

dr Maja Słupczyńska (Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Polska)

dr hab. Janusz Smagacz, prof. IUNG-PIB (Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, Polska)



dr hab. Grażyna Soika, prof. IO (Instytut Ogrodnictwa – Państwowy Instytut Badawczy w Skierniewicach, Polska)

prof. dr hab. Danuta Sosnowska (Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy w Poznaniu, Polska)

dr hab. inż. Piotr Stachowski, prof. UPP (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Polska)

dr hab. Arkadiusz Stępień (Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Polska)

dr hab. Alicja Sułek (Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, Polska)

prof. dr hab. Barbara Symanowicz (Uniwersytet w Siedlcach, Polska)

dr hab. Anna Szafranek-Nakonieczna, prof. KUL (Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Polska)

dr hab. Wojciech Szewczyk, prof. URK (Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Polska)

prof. dr hab. Piotr Szulc (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Polska)

prof. dr hab. Wiesław Szulc (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Polska)

dr Grażyna Szymańska (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Polska)

dr hab. Przemysław Tkaczyk (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)

dr hab. Anna Tratwal, prof. IOR-PIB (Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy w Poznaniu, Polska)

dr hab. Krzysztof Treder (Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Boninie, Polska)

dr inż. Wojciech Truszkowski (Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Polska)

Oksana Tsos (Lesya Ukrainka Volyn National University, Ukraine)

dr hab. Alina Urbisz (Uniwersytet Śląski w Katowicach, Polska)

prof. dr hab. Wanda Wadas (Uniwersytet w Siedlcach, Polska)

dr hab. Marek Wajdzik, prof. URK (Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Polska)

dr hab. Ludwik Wicki, prof. ucz. (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Polska)

prof. dr hab. Jadwiga Wierzbowska (Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Polska)

prof. dr hab. Małgorzata Wiśniewska (Uniwersytet Gdański, Polska)

dr hab. inż. Wiesław Wojciechowski, prof. ucz. (Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Polska)

prof. dr hab. Andrzej Woźniak (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)

dr hab. Małgorzata Wójcik, prof. UMCS (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Polska)

dr hab. Elżbieta Wójcik-Gront, prof. SGGW (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Polska)

dr hab. inż. Barbara Wróbel, prof. ITP-PIB (Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Falentach, Polska)

dr inż. Wioletta Wróblewska (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska)

Liudmyla Yeremko (Poltava State Agrarian Academy, Ukraine)

prof. dr İsmet Yildirim (Düzce University, Turkey)

prof. dr hab. Krystyna Zarzecka (Uniwersytet w Siedlcach, Polska)

dr Monika Żurek (Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Państwowy Instytut Badawczy  
w Radzikowie, Polska)