ISSN 2544-4476
e-ISSN 2544-798X

AGRONOMY SCIENCE

wcześniej – formerly

Annales UMCS sectio E Agricultura

VOL. LXXXI (3) 2026

U N I W E R S Y T E T P R Z Y R O D N I C Z Y W L U B L I N I E

RADA NAUKOWA – SCIENTIFIC BOARD

Imran Aslan (Bingöl, Turcja), Jan Buczek (Polska), Alessandra Carruba (Palermo, Italy),
Dorota Gawęda (Lublin, Polska), Krzysztof Jankowski (Olsztyn, Polska), Elvyra Jariene (Kowno, Litwa),
Barbara Kołodziej (Lublin, Polska), Ali Hulail Noaema (Al-Muthanna, Irak), Eleni G. Papazoglou (Ateny, Grecja),
Ivan Shuvar (Dublany, Ukraina), Danuta Sugier (Lublin, Polska), Wiesław Wojciechowski (Wrocław, Polska),
Alena Yakimovich (Mińsk, Białoruś)

REDAKTOR NACZELNY – EDITOR-IN-CHIEF

Aleksandra Głowacka

REDAKTOR WYDAWNICZY – PUBLISHING EDITOR

Anna Wypychowska
Renata Zelik

SKŁAD I ŁAMANIE – TYPESETTING TEXT

Małgorzata Grzesiak

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie – Wydawnictwo, Lublin 2026
© Copyright by Authors, Lublin 2026
Artykuły dostępne na licencji CC BY 4.0.

ISSN 2544-4476

e-ISSN 2544-798X

Czasopismo jest indeksowane przez – Covered by:

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

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

Table of contents
Spis treści

DOROTA GALA-CZEKAJ, TERESA DĄBKOWSKA, TEOFIL ŁABZA
Changes in segetal flora in a selected habitat of southern Poland over the period from 1993 to 2022. Part 2. Anthropogenic transformations 5

KRYSTYNA ZARZECKA, EMILIA RZĄŻEWSKA, IWONA MYSTKOWSKA, MAREK GUGAŁA, MAGDALENA ZAWODNIAK
Nitrates content and herbicide residues in edible potato tubers under biostimulants and herbicide application conditions 19

AGATA KOBYŁKA, JAKUB WALCZAK
Zagrody edukacyjne jako narzędzie edukacji realizowanej w gospodarstwach rolnych 29
Educational farms as a tool for education conducted on agricultural farms 44

ANNA MAJCHROWSKA-SAFARYAN, MAGDA NESTEROWICZ
Seasonal dominance of *Metarhizium* spp. in soils of cereal monocultures in Eastern Poland 47

ANDRZEJ WOŹNIAK
Effects of cropping systems on weed infestation, soil properties, yield, and grain quality of winter durum wheat 57

ANDRZEJ SAMBORSKI
Zmienność wartości współczynnika Selyaninova w okolicach Zamościa jako wskaźnik zmian agroklimatu 67
Variability of the Selyaninova coefficient in the vicinity of Zamość as an indicator of agroclimatic changes 79

CEZARY TRAWCZYŃSKI
Wpływ stosowania nawożenia mineralnego azotem i nawozu organicznego Rosahumus na wielkość plonu i jakość bulw ziemniaka 81
The effect of use of mineral nitrogen fertilization and organic fertilizer Rosahumus on the yield and quality of potato tubers 90

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI (3) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5662

DOROTA GALA-CZEKAJ[1], TERESA DĄBKOWSKA[2], TEOFIL ŁABZA[3]

Changes in segetal flora in a selected habitat of southern Poland from 1993 to 2022. Part 2. Anthropogenic transformations

Abstract. The study aimed to assess changes in the degree and direction of segetal flora transformation under anthropogenic impacts in cereal crops within a selected habitat (Małopolska voivodship; southern Poland) from 1993 to 2022. The research material comprised 65 phytosociological relevés collected over selected years of the analysed period. Changes in the proportion of species representing different geographical-historical groups were assessed using applicable anthropogenic transformation indices, namely: synanthropisation, anthropophytisation, archaeophytisation, kenophytisation, and modernisation. The flora of the study area was strongly transformed anthropogenically, as indicated by the high and steadily increasing value of the synanthropisation index, which reached 100.0% in 2022, compared with 89.3% in 1993. Alien species (anthropophytes) dominated the weed flora of the investigated crops over native species (spontaneophytes). The anthropophytisation index amounted to 53.6% in the first year of the study and increased to 60.0% in the last year. The number of archaeophytes remained relatively stable, with the archaeophytisation index decreasing slightly from 48.2% in 1993 to 47.3% in 2022. In the early years of the study, the proportion of kenophytes in the flora of the research area was low; however, their importance increased over time. This trend is reflected in the doubling of the kenophytisation index (from 5.4% in 1993 to 12.7% in 2022) as well as in the modernisation index (from 10.0% in 1993 to 21.2% in 2022).

Keywords: agroecosystems, field weeds, anthropophytes, spontaneophytes, synanthropisation index

INTRODUCTION

Contemporary agroecosystems are undergoing dynamic transformations driven by human activity, one of the most evident manifestations of which is a change in the composition of segetal flora. Anthropogenic factors such as the intensification of agriculture, increased use of agrochemicals,

[1] Department of Agroecology and Crop Production, Faculty of Agriculture and Economics, University of Agriculture in Kraków, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, Poland, https://orcid.org/0000-0003-0559-2140; corresponding author: dorota.gala@urk.edu.pl
[2] Department of Agroecology and Crop Production, Faculty of Agriculture and Economics, University of Agriculture in Kraków, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, Poland, https://orcid.org/0000-0002-7157-9625
[3] Department of Agroecology and Crop Production, Faculty of Agriculture and Economics, University of Agriculture in Kraków, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, Poland

© Copyright by the Authors, 2026

Licensee University of Life Sciences in Lublin – Publishing House, Lublin, Poland
This article is an open access article distributed under the terms and con-ditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

changes in land-use practices, as well as urbanisation and infrastructural development, lead to the gradual homogenisation of habitats and the decline of many species associated with traditional farming systems [Pinke et al. 2012, Storkey et al. 2012, Richner et al. 2015, Gala-Czekaj et al. 2024]. In segetal habitats, the spread of alien and ruderal species is increasingly evident, further destabilising the phytocoenotic structure of arable fields. Research findings indicate a marked increase in the proportion of kenophytes, reflecting an advancing process of synanthropisation and escalating anthropogenic pressure [Lososová et al. 2004, Tokarska-Guzik 2005, Balcerkiewicz and Pawlak 2010a]. Increasingly, segetal floras are dominated by widely distributed species with broad ecological tolerance, which effectively compete with native flora and lead to the simplification of the species structure of plant communities. This process is accompanied by a decline in the proportion of spontaneophytes – native plants that have been associated with cultivated fields for centuries and are unable to compete under conditions of high habitat pressure [Lososová et al. 2004, Balcerkiewicz and Pawlak 2010b, Skrajna 2021, Gala-Czekaj et al. 2024]. Such changes not only serve as indicators of anthropogenic impact but may also pose a threat to the conservation of the floristic heritage of agroecosystems [Sutcliffe et al. 2015].

Among non-native plants, invasive species are of particular significance, as their high ecological plasticity, rapid growth, and effective dispersal allow them to colonise ruderal habitats, field margins, and often even the interiors of agroecosystems. In addition to well-known annual species, such as *Ambrosia artemisiifolia* or *Erigeron annuus*, recent decades have seen a dynamic expansion of perennial and long-lived species with high invasive potential. The most problematic species include: goldenrods (*Solidago canadensis*, *S. gigantea*), knotweeds (*Reynoutria japonica*, *R. sachalinensis*, *R. ×bohemica*), and balsams (*Impatiens glandulifera*, *I. parviflora*) [Tokarska-Guzik 2005, Tokarska-Guzik et al. 2012]. Their presence in agricultural landscapes not only reduces species diversity but also alters habitat structure, negatively affects soil quality, and complicates land management and nature conservation [Hejda et al. 2009].

Less drastic than the invasion of alien species are changes in the proportion of plants of native and non-native origin. Within the non-native flora, shifts in the relative abundance of archaeophytes and kenophytes are also observed. Floristic transformations encompass two co-occurring processes: apophytisation, involving the movement of native species from natural habitats into anthropogenic ones and anthropophytisation, resulting from the direct and indirect influence of human activity on the vegetation of arable fields and other managed ecosystems [Chmiel 2006].

The intensifying floristic changes in agroecosystems caused by human activity make systematic research on their extent and nature essential. Assessing the degree of synanthropisation in segetal flora and the shifts in native and non-native species within weed communities is particularly important. Monitoring these processes can enhance our understanding of how anthropogenic factors affect crop biodiversity and support efforts to conserve the floristic heritage of agricultural landscapes. With the ongoing expansion of kenophytes and the decline of spontaneophytes, such studies are vital for maintaining phytocoenotic balance and guiding the sustainable management of agricultural land.

The aim of this study was to assess the degree and direction of segetal flora transformations in cereal crops in a selected habitat of southern Poland between 1993 and 2022 under anthropogenic pressure.

MATERIAL AND METHODS

The research area is located in southern Poland (Małopolska voivodship, Kraków county, municipality of Kocmyrzów-Luborzyca) in the village of Goszcza (50°11’09”N, 20°03’27”E). The study was conducted on heavy brown rendzina soil, classified as agricultural soil complex 3 (defective wheat complex; 3Rb(c)) according to the soil-agricultural map at a scale of 1 : 5000 [Mapa glebowo-rolnicza… 1992].

The research material comprised 65 phytosociological relevés made in selected years of the long-term study period: 1993 (8 relevés), 1998 (10), 2003 (10), 2008 (11), 2013 (11), 2018 (8), and 2022 (7). The relevés were carried out using the Braun-Blanquet method [Braun-Blanquet 1964]. A seven-point Braun-Blanquet cover-abundance scale was applied, with the following classes: 5: 75.1–100% cover, 4: 50.1–75%, 3: 25.1–50%, 2: 5.1–25%, 1: 1–5%, +: <1%, and r: individual occurrences of a given species.

Floristic surveys were conducted annually in late June or early July on the same set of cereal fields. The size of each field generally did not exceed 1 ha, while each phytosociological relevé covered an area of approximately 100 m². During the study period, herbicide use was recorded for each field, while the proportion of fields subjected to chemical weed control steadily increased. In the first year of the study, herbicide protection was applied in only 25% of the fields, increasing to 80–90% during 1998–2022.

A detailed description of the study area, including its climatic and soil conditions, is provided in Part 1 of the study [Gala-Czekaj et al. 2024].

The aim of the study was achieved by assessing changes in:

1) the proportion of species belonging to geographical-historical groups [Kornaś 1968];

2) selected indices of anthropogenic transformation of the flora [Chmiel 2006], i.e.:

– the synanthropisation index,

– the anthropophytisation index,

– the archaeophytisation index,

– the kenophytisation index,

– the modernisation index.

The above-mentioned indicators illustrate the relationships between species groups differing in origin and degree of naturalisation. Each index, except the modernisation index, expresses the percentage of a particular group of species relative to the total number of species in the community, i.e. S + A (S; spontaneophytes, A; anthropophytes). The synanthropisation index (SI) quantifies the proportion of apophytes (Ap; native species occurring exclusively or almost exclusively in anthropogenic habitats) and anthropophytes (A) in the total species pool. It is calculated using the formula below:

$$\mathrm{SI} = \frac{\mathrm{Ap} + \mathrm{A}}{\mathrm{S} + \mathrm{A}} \times 100\%$$

Furthermore, the paper presents the following indices:

– The anthropophytisation index (AnI), showing the percentage of anthropophytes (A) in the total number of species found (S + A);

– The archaeophytisation index (ArI), expressed as the percentage of archaeophytes (Ar; species introduced or naturalised by humans before 1492) in the total number of species found (S + A);

– The kenophytisation index (KnI), which defines the percentage of kenophytes (Kn; species introduced or naturalised by humans after 1492) in the total number of species found (S + A);

– The modernisation index (MI), expressing the percentage of kenophytes (Kn) in the flora of permanently naturalised anthropophytes (Ar + Kn).

The nomenclature of plant species follows Mirek et al. [2020].

RESULTS AND DISCUSSION

Over the research period 1993–2022, a total of 111 weed species accompanying cereal crops were recorded (Table 1). The most numerous geographical-historical group was apophytes, represented by 47 species (42.7% of all species), followed by archaeophytes with 46 species (41.4%). Less

numerous groups included kenophytes (11 species; 9.9%) and semi-synanthropic spontaneophytes (native species occurring in natural and anthropogenic habitats; 7 species; 6.3%). The similar proportions of archaeophytes and apophytes throughout the study period indicate strong synanthropisation and a relatively stable flora, with favourable conditions for both alien and native species. This pattern is typically associated with long-term cultivation and continuous agricultural use [Lososová et al. 2004, Balcerkiewicz and Pawlak 2010a, Storkey et al. 2012, Richner et al. 2015].

Table 1. List of plant species recorded in the study area and classified into geographical-historical groups

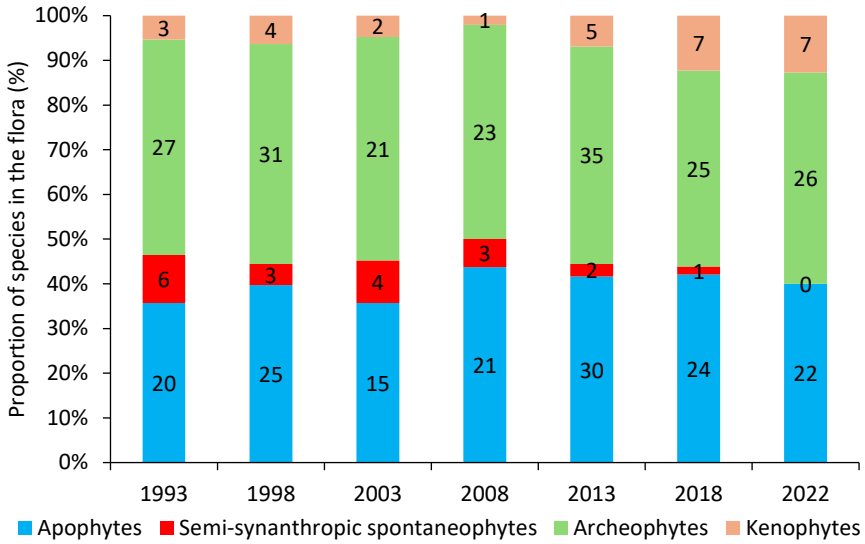
No	Species	Geographical-historical group*	Occurrence year
1	*Achillea millefolium* L. s.str.	Ap	1993, 1998, 2018
2	*Adonis aestivalis* L.	Ar	1993, 1998, 2013
3	*Aethusa cynapium* L.	Ar	1993, 1998, 2013–2022
4	*Agrostis capillaris* L.	Ap	2013
5	*Amaranthus retroflexus* L.	Kn	2018
6	*Anagallis arvensis* L.	Ar	1993, 1998, 2008–2022
7	*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.	Ap	2008
8	*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.	Ar	1993–2022
9	*Aphanes arvensis* L.	Ar	2013
10	*Arctium minus* (Hill) Bernh.	Ap	1998, 2003, 2018, 2022
11	*Arenaria serpyllifolia* L.	Ap	2008
12	*Artemisia vulgaris* L.	Ap	1998–2022
13	*Atriplex patula* L.	Ap	1993
14	*Avena fatua* L.	Ar	1993–2022
15	*Bromus secalinus* L.	Ar	2013–2022
16	*Campanula rapunculoides* L.	Ar	1993, 1998
17	*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.	Ar	1993–2022
18	*Carduus crispus* L.	Ap	2018
19	*Centaurea cyanus* L.	Ar	1993–2022
20	*Chaenorhinum minus* (L.) Lange	Ap	2013–2018
21	*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert	Ar	1993–2013, 2022
22	*Chenopodium album* L.	Ap	1993–2022
23	*Cichorium intybus* L.	Ar	2003
24	*Cirsium arvense* (L.) Scop.	Ap	1993–2022
25	*Consolida regalis* Gray	Ar	1993–2022
26	*Convolvulus arvensis* L.	Ap	1993–2022
27	*Dactylis glomerata* L.	Ap	1993, 2008–2022
28	*Daucus carota* L.	Ap	1998, 2013–2022
29	*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.	Ar	2008–2022
30	*Elymus repens* (L.) Gould	Ap	1993–1998, 2008–2022
31	*Equisetum arvense* L.	Ap	2008, 2022
32	*Erigeron annuus* (L.) Pers.	Kn	2018, 2022
33	*Euphorbia exigua* L.	Ar	1993, 2008–2018

No	Species	Geographical-historical group*	Occurrence year
34	*Euphorbia helioscopia* L.	Ar	1993–2022
35	*Falcaria vulgaris* Bernh.	Ap	1993, 2008, 2018–2022
36	*Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve	Ar	1993–2022
37	*Fumaria officinalis* L.	Ar	2003, 2018
38	*Fumaria vaillantii* Loisel.	Ar	1993
39	*Galeopsis ladanum* L.	Ar	1993
40	*Galeopsis tetrahit* L.	Ap	1993–2022
41	*Galinsoga ciliata* (Raf.) S. F. Blake	Kn	1998–2003, 2013–2018
42	*Galinsoga parviflora* Cav.	Kn	1998, 2022
43	*Galium aparine* L.	Ap	1993–2022
44	*Galium mollugo* L. s.str.	Ap	1993, 2008
45	*Geranium dissectum* L.	Ar	1993, 2013
46	*Geranium pusillum* L.	Ar	1998, 2013, 2022
47	*Heracleum sphondylium* L. s.str.	Ap	2013
48	*Juncus bufonius* L.	Ap	2013
49	*Lactuca serriola* L.	Ar	1998, 2013–2022
50	*Lamium album* L.	Ar	2022
51	*Lamium amplexicaule* L.	Ar	1998, 2013
52	*Lamium purpureum* L.	Ar	1993–2003, 2013, 2022
53	*Lapsana communis* L. s.str.	Sp/Ap	1993–2003, 2013–2018
54	*Lathyrus tuberosus* L.	Ar	1993–2013
55	*Lithospermum arvense* L.	Ar	1993, 1998, 2008, 2013, 2022
56	*Lolium multiflorum* Lam.	Kn	1998, 2022
57	*Lolium perenne* L.	Ap	2008–2018
58	*Matricaria maritima* L. subsp. *inodora* (L.) Dostál	Ar	1993–2022
59	*Medicago lupulina* L.	Ap	1993–2013
60	*Melandrium album* (Mill.) Garcke	Ap	1993–2022
61	*Melandrium noctiflorum* (L.) Fr.	Ar	1993–1998
62	*Mentha arvensis* L.	Ap	1998, 2018, 2022
63	*Myosotis arvensis* (L.) Hill.	Ar	1993–2018
64	*Odontites serotine* (Lam.) Rchb. s.str.	Sp/Ap	1993–2013
65	*Oxalis fontana* Bunge	Kn	1993, 2003, 2013, 2018
66	*Papaver rhoeas* L.	Ar	1993–2013, 2022
67	*Phleum pratense* L.	Ap	1998–2022
68	*Pimpinella saxifraga* L.	Ap	2013, 2022
69	*Plantago intermedia* Gilib.	Ap	2013
70	*Plantago lanceolata* L.	Ap	2022
71	*Plantago major* L. s.str.	Ap	1998, 2013, 2018
72	*Poa annua* L.	Ap	2022
73	*Poa trivialis* L.	Sp/Ap	1993

No	Species	Geographical-historical group*	Occurrence year
74	*Polygonum aviculare* L.	Ap	1993–2022
75	*Polygonum hydropiper* L.	Ap	2013
76	*Polygonum lapathifolium* L. subsp. *pallidum* (With.) Fr.	Ap	1998–2018
77	*Polygonum persicaria* L.	Ap	1993, 2013, 2022
78	*Ranunculus repens* L.	Ap	1998
79	*Raphanus raphanistrum* L.	Ar	1998
80	*Rhinanthus serotinus* (Schönh.) Oborný	Sp/Ap	1993, 1998
81	*Rumex crispus* L.	Ap	2008, 2013
82	*Sedum maximum* (L.) Hoffm.	Sp/Ap	1993, 2008
83	*Setaria viridis* (L.) P.Beauv.	Ar	2013–2022
84	*Sherardia arvensis* L.	Ar	2013–2022
85	*Silene vulgaris* (Moench) Garcke	Ap	1998, 2003, 2013
86	*Sinapis arvensis* L.	Ar	1993–2022
87	*Solidago canadensis* L.	Kn	2022
88	*Solidago gigantea* Aiton	Kn	2013
89	*Sonchus arvensis* L.	Ap	1993–2003, 2013–2022
90	*Sonchus asper* (L.) Hill	Ar	1998, 2018
91	*Stachys palustris* L.	Sp/Ap	1993, 2003
92	*Stellaria media* (L.) Vill.	Ap	1993, 1998, 2013, 2018
93	*Symphytum officinale* L.	Sp/Ap	2003
94	*Taraxacum officinale* F.H. Wigg.	Ap	1993–2022
95	*Thlaspi arvense* L.	Ar	1998–2013, 2022
96	*Trifolium arvense* L.	Ap	1993
97	*Trifolium aureum* Pollich	Ap	2013
98	*Trifolium pratense* L.	Ap	1998
99	*Trifolium repens* L.	Ap	1993, 1998, 2008
100	*Tussilago farfara* L.	Ap	1998
101	*Valerianella dentata* (L.) Pollich	Ar	1998, 2018
102	*Veronica agrestis* L.	Ar	1993, 2013, 2018
103	*Veronica arvensis* L.	Ar	2003–2013, 2022
104	*Veronica persica* Poir.	Kn	1993, 1998, 2008–2022
105	*Vicia angustifolia* L.	Ar	1993–2013
106	*Vicia dasycarpa* Ten.	Kn	1993, 2013–2018
107	*Vicia grandiflora* Scop.	Kn	2022
108	*Vicia hirsuta* (L.) Gray	Ar	1998–2022
109	*Vicia tetrasperma* (L.) Schreb.	Ar	1998–2022
110	*Vicia villosa* Roth	Ar	2018
111	*Viola arvensis* Murray	Ar	1993, 1998, 2008–2022

* Ap – apophytes, Ar – archaeophytes, Kn – kenophytes, Sp/Ap – semi-synanthropic spontaneophytes

Figure 1. Proportions of geographical-historical groups in the segetal flora of the study area in selected years between 1993 and 2022



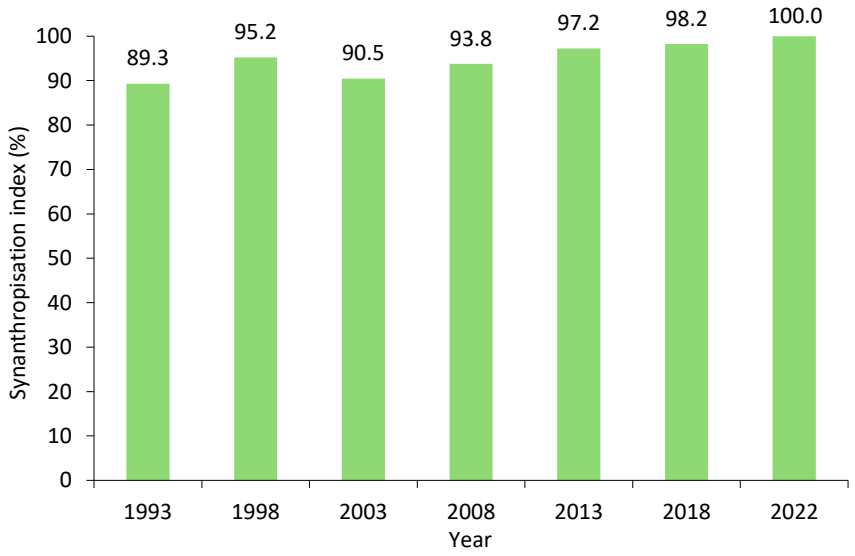
The proportion of apophytes during 1993–2022 showed only minor fluctuations and accounted for 35–45% of the recorded species (i.e. 15–30 species). However, in all years of the study, archaeophytes constituted the dominant group. These species are characteristic of agricultural landscapes but are also the most vulnerable to extinction as a result of the intensification of agricultural production. The proportion of archaeophytes in the flora of the research area ranged between 45–50%. The second group of alien species recorded in the study area comprised kenophytes. Both their total number and their proportional contribution to the investigated flora increased steadily over time. In the first year of the study, only three kenophyte species were recorded, representing 5.4% of all species. By the final year of the study, this number had increased to seven species, and their proportion in the flora reached 12.7%. Semi-synanthropic spontaneophytes constituted the least numerous geographical-historical group. In contrast to kenophytes, both the number of species and their proportional contribution to the flora declined steadily over time. In 1993, six species were recorded, whereas by 2018 only a single species remained, and in 2022 no representatives of this group were observed. The increasing proportion of kenophytes indicates a progressing synanthropisation of the flora, while the disappearance of semi-synanthropic spontaneophytes results primarily from their sporadic and incidental occurrence in segetal plant communities. The changes observed in the present study are consistent with trends reported for Europe, where agricultural homogenisation favours neophytes (including kenophytes) while limiting the occurrence of archaeophytes and native species. Large-scale analyses of arable fields across Central Europe have demonstrated a systematic increase in the proportion of neophytes, accompanied by a stable or declining proportion of archaeophytes and native taxa [Glaser et al. 2024, Colling et al. 2025]. Comparable shifts in the structure of segetal floras along gradients of agricultural land use were also documented by Lososová et al. [2004]. Under Polish conditions, studies have shown that spontaneophytes constitute a decreasing and often subordinate component of segetal communities [Balcerkiewicz and Pawlak 2010b], while archaeophytes are particularly vulnerable to extinction, mainly due to increased herbicide use, certified seed material and simplified crop rotations [Haliniarz and Kapeluszny 2014, Skrajna 2021]. In the study area, archaeophytes are predominantly calciphilous species with narrow ecological amplitudes. The disappearance of species recorded in the early years of the study, such as *Adonis aestivalis*, *Campanula rapunculoides* or *Fumaria vaillantii*, results in a substantial loss of overall

biodiversity [cf. Gala-Czekaj et al. 2024]. The concurrent increase in the number of kenophytes observed in the present study is characteristic of the long-term accumulation of alien species, whose spread is closely linked to continuous propagule pressure and frequent disturbances in agroecosystems [Tokarska-Guzik 2005]. In the research area, this group also comprises invasive species, including *Solidago canadensis* and *Solidago gigantea* [cf. Gala-Czekaj et al. 2024].

The distinguished geographical-historical categories were used to assess the direction and intensity of changes in the arable flora during the study period (Figures 2–6). The flora synanthropisation index (SI), quantifying the proportion of apophytes and anthropophytes, ranged from 89.3% in the first year of the study to 100% in the last year (Figure 2). The obtained values of the synanthropisation index indicate a pronounced degree of anthropogenic transformation of the flora, confirming ongoing synanthropisation processes and an increasing proportion of species associated with anthropogenic environments.

Studies conducted previously in the Western Outer Carpathians demonstrated that the proportion of synanthropic species in segetal flora is highly variable and strongly dependent on habitat location, particularly altitude and slope exposure, which determine the agricultural suitability of sites. Dąbkowska and Grabowska-Orządała [2011] showed that synanthropic species often dominated weed communities even under unfavourable farming conditions, reflecting an advanced level of synanthropisation of cereal-crop habitats despite reduced management intensity. More detailed studies from the Beskid Wyspowy Mountains, conducted in ecological and extensive conventional cereal crops, revealed consistently high values of the synanthropisation index (85–88%), pointing to a pronounced anthropogenic transformation of the segetal flora and only limited differentiation between farming systems [Dąbkowska and Sygulska 2013].

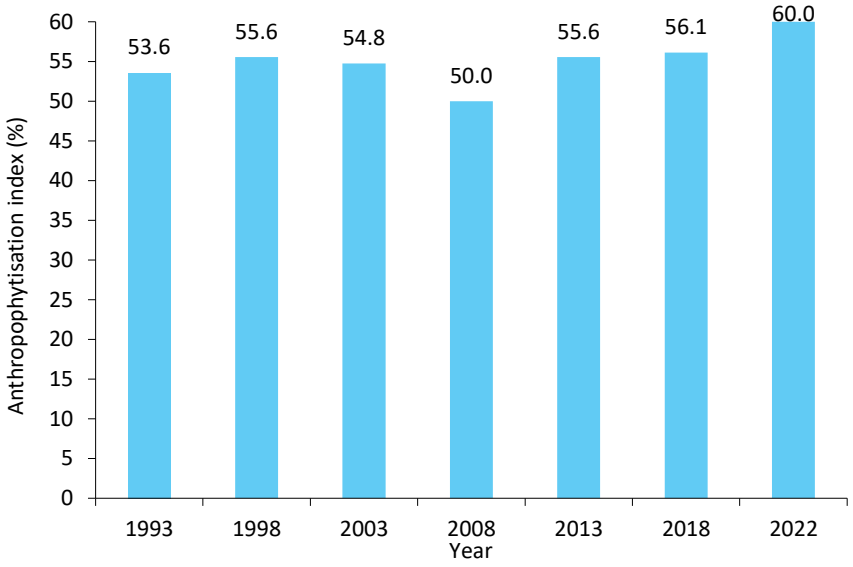
Figure 2. The synanthropisation index of flora in the study area in selected years between 1993 and 2022



In our research, carried out in conventional cereal crops, the synanthropisation index remained very high (90–100%), suggesting a further strengthening and persistence of anthropogenic pressure on weed communities. These findings are consistent with the synthesis by Jackowiak [2023], who showed that in strongly transformed habitats, including segetal vegetation, apophytic and anthropophytic species form a major part of the flora and effectively reflect human-driven changes.

The dynamics of the anthropophytisation index (AnI), reflecting the proportion of alien species (archaeophytes and kenophytes) in the studied flora, clearly illustrate the direction of changes occurring in the segetal communities of the research area (Figure 3).

Figure 3. The anthropophytisation index of flora in the study area in selected years between 1993 and 2022



Throughout the period 1993–2022, the values of this index remained high, ranging from 50.0 to 60.0%, indicating that more than half of the species recorded in the arable habitats of the study area were of alien origin, introduced or established through human activity. This confirms a very high level of anthropophytisation and a strong agricultural transformation of plant communities. Moreover, the proportion of anthropophytes showed a slight but consistent increase over time, pointing to a gradual decline of native species and an increasing dominance of alien, mainly segetal taxa. The consistently high values of the anthropophytisation index demonstrate that alien species constitute a structurally important and persistent component of the segetal flora in the studied area. Similar values were reported for segetal communities across Poland (19 associations; various regions), where anthropophytes constituted 32–66% of the total species pool [Balcerkiewicz and Pawlak 2010a]. In contrast, Bomanowska [2006] analysing the flora of arable fields in Kampinos National Park (central Poland), reported the predominance of native species (67.2%) over aliens (32.8%). However, the segetal flora of the study area may be influenced by the immediate proximity of semi-natural and natural phytocoenoses adjacent to the fields. In areas with unfavourable farming conditions, native apophytes also dominated over anthropophytes, indicating a lower degree of anthropophytisation [Dąbkowska and Grabowska-Orządała 2011]. A comparable pattern was reported from the Beskid Wyspowy Mountains, where the anthropophytisation index ranged from 27 to 39% [Dąbkowska and Sygulska 2013]. This is confirmed by Skrajna [2021], who compared the flora of cereal crop agrocenoses of the Kałuszyn Upland (eastern Poland) during a study period similar to that of the present study (1996–2021) and showed that apophytes (61.4%) prevailed over anthropophytes (38.6%). At the European scale, intensively managed agroecosystems are characterised by high proportions of alien weeds (>40–50%), whereas mountainous or extensively farmed landscapes exhibit markedly lower levels of anthropophytisation, highlighting the key role of land-use intensity [Lososová et al. 2006, Fried et al. 2008].

To assess the further trends in the flora of the study area under human influence, the contributions of anthropophyte groups, namely archaeophytes (Figure 4) and kenophytes (Figure 5), were analysed. Throughout the study period, the archaeophytisation index (ArI) of the flora remained consistently high, ranging from 43.9% to 50.0%, indicating a substantial and stable contribution of archaeophytes to the composition of the investigated communities.

Figure 4. The archaeophytisation index of flora in the study area in selected years between 1993 and 2022

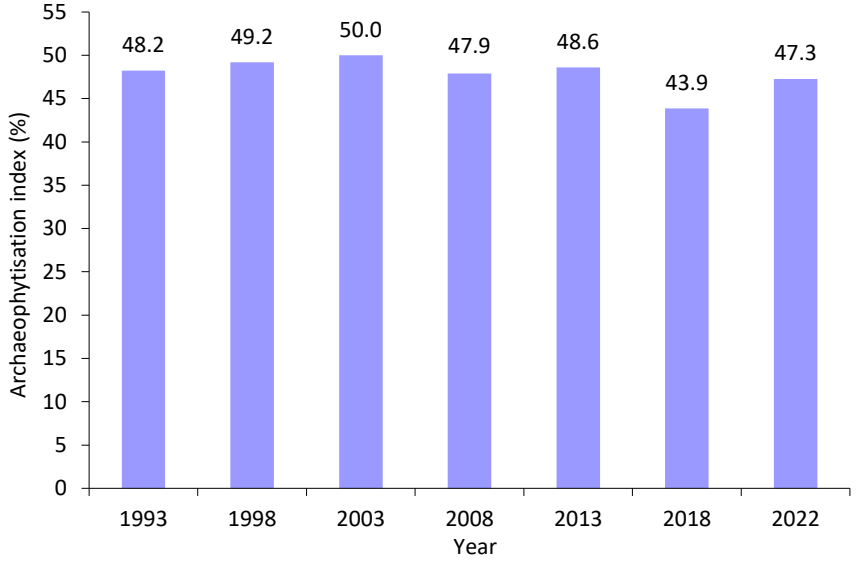
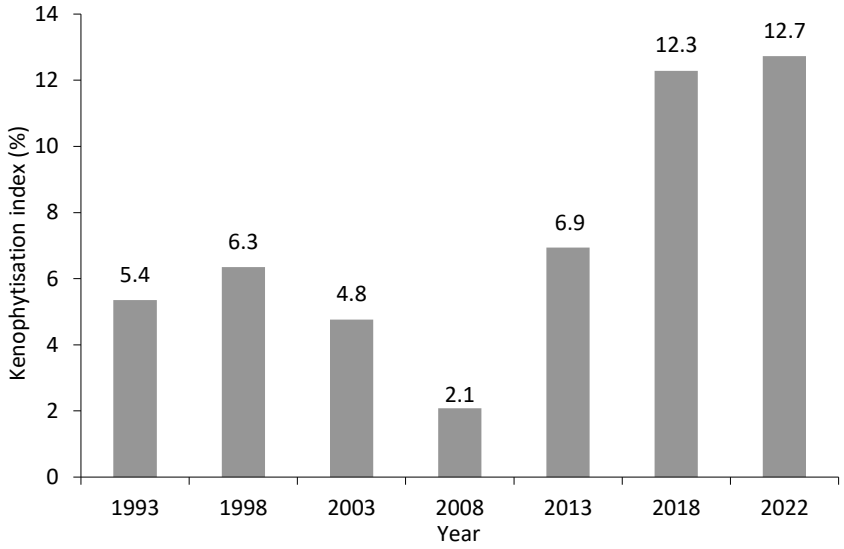


Figure 5. The kenophytisation index of flora in the study area in selected years between 1993 and 2022

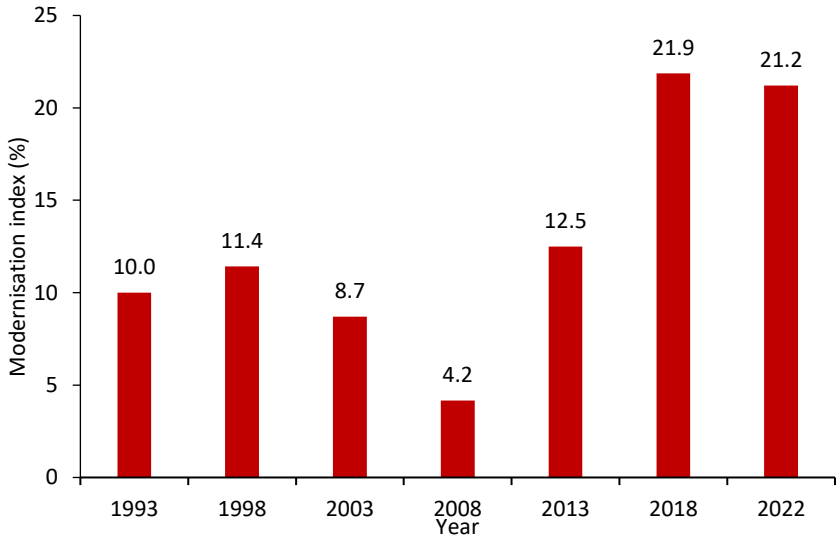


The proportion of archaeophytes in the present study was higher than that reported from many regions of Poland, indicating their particularly strong and long-term integration into the segetal flora of the study area, while remaining consistent with general patterns described for Poland and Central Europe [Lososová et al. 2004, Balcerkiewicz and Pawlak 2010a]. For instance, in Central Poland archaeophytes constituted 19.6% of the segetal flora according to Bomanowska [2006], and 24.4% according to Warcholińska [2004]. Similarly, in the agrocenoses of the Mińsk Protected Landscape Area (central-eastern Poland), the archaeophytisation index reached 25.9% [Skrajna and Bogusz 2019]. In less intensive habitats, such as the Beskid Wyspowy Mountains, they accounted for 23–33% of the cereal-crop flora and remained relatively stable under extensive management [Dąbkowska and Sygulska 2013]. In the Kałuszyn Upland, archaeophytes accounted for 32.5% of the cereal-field flora, showing long-term integration into local weed communities despite less favourable agricultural conditions than in the present study sites [Skrajna 2021]. Their decline in cover over recent decades, despite a stable floristic proportion, mirrors long-term European trends of arable weed loss driven by intensification and habitat homogenisation [Storkey et al. 2012, Richner et al. 2015, Glaser et al. 2024, Colling et al. 2025]. This

pattern highlights archaeophytes as a sensitive and diagnostic component of segetal flora, reflecting changes in land-use practices [Sutcliffe et al. 2015, Jackowiak 2023].

The proportion of kenophytes in the flora of the study area increased steadily, reflected in a more than twofold rise in the kenophytisation index (KnI) – from 5.4% in 1993 to 12.7% in 2022 (Figure 5). At the same time, a marked increase in the modernisation index (MI) was observed, rising from approximately 10% at the beginning of the study period to over 20% in 2022 (Figure 6), indicating a "rejuvenation" of the alien component of the flora in the study area.

Figure 6. The modernisation index of flora in the study area in selected years between 1993 and 2022



The results of the present study align with Balcerkiewicz and Pawlak [2010a], who reported that kenophytes, though a relatively minor component of Poland's segetal flora compared to archaeophytes, show a clear increasing trend, especially in communities strongly altered by intensive agriculture. In habitats with lower agricultural suitability, for example in mountainous areas, the flora modernisation index reached 10–15%, indicating a relatively advanced level of floristic change despite natural limitations to crop production [Dąbkowska and Grabowska-Orządała 2011]. Additionally, even in extensive cereal-crop systems of the Beskid Wyspowy Mountains, the kenophytisation index ranged from 7 to 11% and the modernisation index reached 12–18% [Dąbkowska and Sygulska 2013]. Bomanowska [2006] recorded a proportion of 7.4% kenophytes in the segetal flora of Kampinos National Park, suggesting that human influence on the flora can remain substantial even in less productive areas. Overall, these findings highlight the persistence of human-driven pressure on weed communities, regardless of natural constraints on crop production, and are consistent with broader European trends, where the increasing proportion of kenophytes is regarded as a key indicator of arable-flora modernisation, particularly in landscapes subjected to long-term agricultural intensification [Lososová et al. 2006, Fried et al. 2008, Storkey et al. 2012, Richner et al. 2015].

SUMMARY

This study on the transformation of field flora under anthropogenic influences over the period 1993–2022 led to the following findings and conclusions:

1. The flora of the study area exhibits a considerable degree of anthropogenic transformation, as indicated by the high and steadily increasing value of the flora synanthropisation index during the research period.

2. Throughout 1993–2022, alien species predominated over native species in the weed communities of the investigated crops. The proportion of anthropophytes increased slightly over the study period, as reflected by the rising value of the anthropophytisation index.

3. The archaeophytisation index confirms the close association between the flora and agricultural activity, evidenced by the slightly decreasing proportion of weeds permanently associated with cultivated fields, i.e. archaeophytes.

4. The doubling of the kenophytisation and modernisation indices during the study period points to a marked intensification of synanthropisation processes.

5. The results highlight the importance of continuing research on anthropogenic transformations of the field flora in the study area to monitor the responses of individual species and weed groups to agricultural intensification.

REFERENCES

Balcerkiewicz S., Pawlak G., 2010a. Rola gatunków obcych w zbiorowiskach segetalnych Polski [The role of alien plant species in the segetal communities of Poland]. Frag. Agron. 27(2), 19–30.

Balcerkiewicz S., Pawlak G., 2010b. Spontaneofity w zbiorowiskach segetalnych Polski [Native plant species (spontaneophytes) in the segetal communities of Poland]. Frag. Agron. 27(3), 7–19.

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]. 3rd ed., Springer, Wien–New York.

Colling G., Glaser M., Buholzer S. et al., 2025. Ninety years of alien plant species accumulation across regional and local scales in central European fields. Agric. Ecosyst. Environ. 383, 109483. https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109483

Chmiel J., 2006. Zróżnicowanie przestrzenne flory jako podstawa ochrony przyrody w krajobrazie rolniczym [Spatial diversity of flora as a basis for nature conservancy in the agricultural landscape]. Prace Zakładu Taksonomii Roślin Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu 14, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań, pp. 250.

Dąbkowska T., Grabowska-Orządała M., 2011. Flora segetalna upraw zbóż w siedliskach o niekorzystnych warunkach gospodarowania na terenie Zewnętrznych Karpat Zachodnich. Cz. 2. Przeobrażenia antropogeniczne flory segetalnej upraw zbóż w siedliskach o niekorzystnych warunkach gospodarowania [Segetal flora of cereal crops in habitats of the Outer Western Carpathians characterized by unfavourable farming conditions. Part 2. Anthropogenic transformations in segetal flora of cereal crops in habitats characterized by unfavourable farming conditions]. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 559, 33–41.

Dąbkowska T., Sygulska 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

Fried G., Norton L.R., Reboud X., 2008. Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. Agric. Ecosyst. Environ. 128, 68–76. https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.05.003

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

Glaser M., Dullinger S., Moser D. et al., 2024. Pronounced turnover of vascular plant species in Central European arable fields over 90 years. Agric. Ecosyst. Environ. 361, 108798. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108798

Jackowiak B., 2023. Man-made changes in the flora and vegetation of Poland: current review. Diversity 15, 618. https://doi.org/10.3390/d15050618

Haliniarz M., Kapeluszny J., 2014. Rzadkie gatunki flory kalcyfilnej w zbiorowiskach segetalnych na terenie województwa lubelskiego [Rare species of calcicole flora in the segetal communities in the Lublin region]. Ann. UMCS, Sec. E, Agricultura 65(1), 11–23. https://doi.org/10.24326/as.2014.1.2

Hejda M., Pyšek P., Jarošík V., 2009. Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. J. Ecol. 97(3), 393–403. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01480.x

Kornaś J., 1968. Geograficzno-historyczna klasyfikacja roślin synantropijnych [Geographical-historical classification of synanthropic plants]. Materiały Zakładu Fitosocjologii Stosowanej Uniwersytetu Warszawskiego 25, 33–41.

Lososová Z., Chytrý M., Cimalová S. et al., 2004. Weed vegetation of arable land in Central Europe: Gradients of diversity and species composition. J. Veg. Sci. 15(3), 415–422. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02279.x

Lososová Z., Chytrý M., Kühn I. et al., 2006. Patterns of plant traits in annual vegetation of man-made habitats in Central Europe. Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst. 8, 69–81. https://doi.org/10.1016/j.ppees.2006.09.001

Mapa glebowo-rolnicza w skali 1 : 5000 dla wsi Goszcza, 1992 [Soil-agricultural map at a scale 1 : 5000 for the village of 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 (access: 14.07.2025).

Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A. et al., 2020. Vascular plants of Poland. An annotated checklist. Instytut Botaniki PAN, Kraków, pp. 526.

Pinke G., Karácsony P., Czúcz B. et al., 2012. The influence of environment, management and site context on species composition of summer arable weed vegetation in Hungary. Appl. Veg. Sci. 15(1), 136–144. https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2011.01158.x

Richner N., Holderegger R., Linder H.P. et al., 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

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. Nauk. UPH, Siedlce, pp. 144.

Skrajna T., Bogusz A., 2019. Zasoby zielarskie w agrocenozach Mińskiego Obszaru Chronionego Krajobrazu [Herbal resources in agrocenoses of the Minsk Protected Landscape Area]. Agron. Sci. 74(1), 31–41. https://doi.org/10.24326/as.2019.1.3

Storkey J., Meyer S., Still K.S. et al., 2012. The impact of agricultural intensification and land-use change on the European arable flora. Proc. Biol. Sci. 279, 1421–1429. https://doi.org/10.1098/rspb.2011.1686

Sutcliffe L.M.E., Batáry P., Kormann U. et al., 2015. Harnessing the biodiversity value of Central and Eastern European farmland. Harnessing the biodiversity value of Central and Eastern European farmland. Divers. Distrib. 21(6), 722–730. https://doi.org/10.1111/ddi.12288

Tokarska-Guzik B., 2005. The establishment and spread of alien plant species (kenophytes) in the flora of Poland. Wyd. UŚ, Katowice, pp. 192.

Tokarska-Guzik B., Zając M., Zając A. et al., 2012. Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych [Plants of foreign origin in Poland with particular emphasis on invasive species]. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, pp. 197.

Warcholińska A.U., 2004. Flora segetalna Polski Środkowej [The segetal flora of Central Poland]. Acta Agrobot. 57(1-2), 327–352. https://doi.org./10.5586/aa.2004.026

Source of funding: This work did not receive any external funding.

Authors' contributions: D.G.-C. – conceptualisation, methodology, conducting the research, writing and review of the manuscript; T.D. – conceptualisation, methodology, conducting the research, review of the manuscript; T.Ł. – conceptualisation, methodology, conducting the research.

Received: 30.01.2026
Accepted: 1.07.2026
Online first: 18.08.2026
Published: 9.10.2026

Citation: Gala-Czekaj D., Dąbkowska T., Łabza T., 2026. Changes in segetal flora in a selected habitat of southern Poland from 1993 to 2022. Part 2. Anthropogenic transformations. Agron. Sci., 81(3), 5–17. https://doi.org/10.24326/as.2026.5662

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI (3) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5683

KRYSTYNA ZARZECKA[1], EMILIA RZĄŻEWSKA[2], IWONA MYSTKOWSKA[3], MAREK GUGAŁA[4], MAGDALENA ZAWODNIAK[5]

Nitrates content and herbicide residues in edible potato tubers under biostimulants and herbicide application conditions

Abstract. The aim of this study was to assess nitrate content and residues of the herbicide Avatar 293 ZC (clomazone and metribuzin) in table potato tubers under conditions involving an application of biostimulants and a herbicide. Tubers were sourced from a three-year field experiment. The experiment examined two factors: (I) cultivar (Oberon and Malaga) and (II) five treatments comprising herbicide and/or biostimulants: (1) untreated control (mechanical weeding only), (2) Avatar 293 ZC alone, (clomazone + metribuzin), (3) Avatar 293 ZC + PlonoStart, (4) Avatar 293 ZC + Aminoplant, and (5) Avatar 293 ZC + Agro-Sorb Folium. Nitrate content in tubers was significantly influenced by cultivar, the cultivar × year interaction, and the treatment × year interaction. However, neither the herbicide nor the biostimulants affected nitrate accumulation. Residues of Avatar 293 ZC were present only at trace levels, with clomazone and metribuzin concentrations well below the maximum residue limits (MRL).

Keywords: potato (*Solanum tuberosum* L.), nitrate accumulation, herbicide residues, biostimulants, potato cultivars

Abbreviations
ADI – acceptable daily intake
BBCH – Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie
FW – fresh weight
MRL – maximum residue limits

INTRODUCTION

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is a basic food for people around the world and ranks fourth after wheat, rice and corn [Elrys et al. 2021, Pilana et al. 2018]. In the global food system is referred to as

[1] Institute of Agriculture and Horticulture, University of Siedlce, Prusa St. 14, 08-110 Siedlce, Poland, https://orcid.org/0000-0002-7792-6448
[2] Department of Dieteties, John Paul II University of Applied Science in Biała Podlaska, Sidorska St. 95/97, 21-500 Biała Podlaska, Poland, https://orcid.org/0000-0001-5870-5538; corresponding author: emilia.rzazewska@uws.edu.pl
[3] Department of Dieteties, John Paul II University of Applied Science in Biała Podlaska, Sidorska St. 95/97, 21-500 Biała Podlaska, Poland, https://orcid.org/0000-0002-8361-5806
[4] Institute of Agriculture and Horticulture, University of Siedlce, Prusa St. 14, 08-110 Siedlce, Poland, https://orcid.org/0000-0001-5048-3432
[5] Mazovian Provincial Hospital named after St. John Paul II in Siedlce, Poniatowskiego St. 26, 08-110 Siedlce, Poland

© Copyright by the Authors, 2026

Licensee University of Life Sciences in Lublin – Publishing House, Lublin, Poland
This article is an open access article distributed under the terms and con-ditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

a global food security crop [Haverkort and Struik 2015, Devaux et al. 2021]. The potato is grown in about 160 countries in various latitudes. Potato yields are steadily increasing, with global production reaching 376 million tons in 2021 [Dzwonkowski 2023, FAO 2023]. Potato tubers contain valuable nutrients such as carbohydrates, high-quality protein, vitamins, dietary fiber, macronutrients and micronutrients, health-promoting compounds [Beals 2019, Giampiccoli et al. 2023, Gibson and Kurilich 2013, Zarzecka et al. 2019b]. Edible potatoes, in addition to nutrients, also contain undesirable substances called anti-nutrients. They occur naturally in the potato tubers – these are nitrates (V) and glycoalkaloids or arise as a result of agrotechnical treatments, environmental impacts, or metabolic disorders – these are pesticide residues and heavy metals. In the human body, they often hinder the absorption of nutrients, and when present in large quantities are toxic [Gorenjak et al. 2014, Urban et al. 2018, Wszelaczyńska et al. 2022, Zarzecka et al. 2010, Zarzecka et al. 2019a]. The existence of these compounds in raw materials and products of plant origin is a priority issue, as it determines the protection of human health and safety throughout the food chain [Jankowska and Łozowicka 2021, Sharma et al. 2020].

The main anti-nutrients subsyances contained in potato tubers are nitrates (V). The toxicity of these compounds to humans is low, but under the influence of gastric bacterial flora and digestive enzymes, they convert to nitrites (III), and then carcinogenic nitrosamines can be formed. Nitrites (III) also cause the conversion of hemoglobin to methemoglobin, resulting in a decrease in oxygen supply to tissues and resulting in anemia [Gorenjak and Cencič 2013, Kowalska and Kononiuk 2020, Poberežny et al. 2015]. These nitrates are all the more dangerous because their main source in the diet is vegetables – they account for 70–90% of our intake, 32% of which comes from the consumption of potatoes and 29% from the consumption of lettuce [Gorenjak et al. 2014, Poberežny et al. 2015] and often leads to vitamin A deficiency [Ebrahimi et al. 2020]. Standards for their content in plants and standards for daily human consumption have been established. According to Commission Regulation EU 2023/2108 of 6 October 2023 nitrate content of potatoes should not be higher than 200 mg kg^{-1} fresh tuber weight, a maximum acceptable daily intake (ADI) of nitrates for humans is 3.7 mg kg^{-1} body weight human.

Other harmful compounds are residues of plant protection products. In order to protect human health, the European Union has introduced maximum permitted levels of pesticide residues in food and feed of plant and animal origin, regulated by Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council of 23 February 2005. Hence, quantitative testing of pesticide residues in food, especially in raw materials and products consumed frequently and in significant quantities, allows estimating consumer exposure to the presence of these compounds [Kowalska et al. 2020].

The use of herbicides to reduce weed infestation is one of the basic agrotechnical measures in crop cultivation. In modern agriculture, biostimulants are often used to mitigate the adverse effects of stresses, increase the resistance of crop species, and thus have a beneficial effect on plant growth and development, as well as on the size and quality of yields [Naqve et al. 2023, Prajapati et al. 2016]. There is little information on the effect of biostimulants and herbicides on the presence of anti-nutrients in the potato. Therefore, the purpose of the conducted research was to determine the nitrate content and residue level of the herbicide (clomazone and metribuzin) in tubers of two edible potato cultivars under conditions of application of biostimulants and herbicide.

MATERIAL AND METHODS

Experiment design

The field experiment was conducted over three years (2018–2020**)** at the experimental station of the University of Siedlce, Poland, using a randomised complete block design with three replicates. The gross experimental area was 950 m^2 (60.6 m × 15.6 m) and the net area was 388.8 m^2 (12.96 m^2 × 30 plots). Each

plot measured 4.8 m × 2.7 m (and contained four ridges with 48 potato plants (hand-planted at 40 cm spacing in rows 67.5 cm apart). Two medium early table potato cultivars, Oberon and Malaga, were grown (factor I, seed provided by Zamarte Potato Breeding Ltd). Five treatments (factor II) were applied: 1. control (no herbicide or biostimulants, mechanical weeding only – redlining 3 times, harrowing 1 time), 2. Avatar 293 ZC (clomazone + metribuzin) applied at BBCH 08 at a doses of 1.5 L ha^{-1}, 3. Avatar 293 ZC at BBCH 08 at a doses of 1.5 L ha^{-1} + PlonoStart applied twice (at BBCH 13–19 at a doses of 1.0 L ha^{-1} and BBCH 31–35 at a doses of 1.5 L ha^{-1}), 4. Avatar 293 ZC at BBCH 08 at a doses of 1.5 L ha^{-1} + Aminoplant applied twice (at BBCH 13–19 at a doses of 1.0 L ha^{-1} and 31–35 at a doses of 0.5 L ha^{-1}), 5. Avatar 293 ZC at BBCH 08 at a doses of 1.5 L ha^{-1} + Agro-Sorb Folium applied twice (at BBCH 13–19 at a doses of 2.0 L ha^{-1} and 31–35 at a doses of 2.0 L ha^{-1}).

The herbicide and biostimulants used in the experiment differed in their chemical composition and functional properties. The herbicide Avatar 293 ZC contained two active substances: clomazone at a concentration of 60 g L^{-1} and metribuzin at 233 g L^{-1}. Among the biostimulants, PlonoStart was characterized by the presence of lactic acid bacteria and actinomycetes, along with mineral nutrients. Its composition included total nitrogen (16.4%), potassium oxide (K_2O; 0.75%), calcium oxide (CaO; 0.07%), magnesium oxide (MgO; 0.02%), and sulfur at a concentration of 941 mg kg^{-1}. Aminoplant biostimulant was rich in organic compounds, particularly free amino acids (11.57%). It contained total nitrogen at 9.48%, including organic nitrogen (9.2%) and ammonium nitrogen ($N–NH_4$; 0.88%). Additionally, it comprised 25% organic carbon and 87.7% organic matter. The biostimulant Agro-Sorb Folium contained free amino acids at 10.66% and total amino acids at 13.11%. Its nutrient composition included total nitrogen (2.2%) as well as selected micronutrients: boron (0.02%), manganese (0.05%), and zinc (0.09%). The herbicide was applied following recommendations from the Ministry of Agriculture and Rural Development of the Republic of Poland [Ministry… 2024], and the biostimulants according to guidelines from the Institute of Soil Science and Plant Cultivation in Puławy [IUNG 2024]. The soil was a Haplic Luvisol (sandy loam texture; FAO 2015) with low to medium available phosphorus, potassium, and magnesium, and an acidic reaction (Table 1).

Table 1. Parameters of the soil before the field experiment

Parameters	Year		
	2018	2019	2020
pH KCl	5.25	5.42	5.32
Available P (mg kg^{-1})	35.2 (low)	61.0 (medium)	60.0 (medium)
Available K (mg kg^{-1})	102.1 (low)	149.0 (medium)	140.0 (medium)
Available Mg (mg kg^{-1})	36.6 (low)	61.0 (medium)	51.0 (medium)

Following the preceding crop (winter triticale), tillage followed good agricultural practice, including shallow ploughing, harrowing, and rolling [Nowacki 2020]. In autumn, before winter ploughing, manure was applied (25 t ha^{-1}), together with phosphorus and potassium fertilisation (respectively, 44.0 kg P ha^{-1} and 124.5 kg K ha^{-1}). In spring, nitrogen fertilisation was applied at 100 kg N ha^{-1}. During the growing season, three fungicide treatments and three treatments against the Colorado potato beetle were carried out. Tubers were harvested by hand from ten randomly selected plants per plot in early September. Yield components were determined immediately after harvest. Tubers >35 mm in diameter were classified as table potatoes for chemical analysis [Regulation... 2003]. Approximately 50 tubers per plot were stored at 10–12°C. After four days, samples were washed, dried with paper, and analysed fresh for nitrate content and herbicide residues.

Determination of nitrates and residues

Nitrate content was measured potentiometrically using a nitrate-selective electrode and silver chloride reference electrode [Kolbe and Müller 1987] with an Elmetron CX 721 digital measuring instrument. Calibration curves spanned 5–500 mg kg^{-1} (three replicates per series). Results were expressed as mg NO_3 kg^{-1} fresh weight (FM). Analyses followed the procedure of Wszelaczyńska et al. [2022] in the Chemical Laboratory of the Institute of Agriculture and Horticulture at the University of Siedlce. Nitrate data were analysed by two-way ANOVA, with differences between means tested at $p \leq 0.05$ using Tukey's HSD test [Trętowski and Wójcik 1991].

For herbicide residues, 8–10 tubers were collected per plot and thoroughly mixed to obtain a uniform material. The tubers were then cut into small cubes and samples of approximately 100 g were taken and homogenised. Clomazone and metribuzin were quantified using the QuEChERS (Quick Easy Cheap Effective Rugged Safe) method with LC-MS/MS, following the procedure compliant with the PN-EN 15662:2018-06 standard [2018]. The determination involved three stages: 1. extraction of the substance from the sample, 2. purification of the extract by adding a QuEChERS salt mixture, and 3. quantitative analysis. The results for clomazone and metribuzin residues were expressed in milligrams of active substance per kilogram of fresh weight (FW).

Table 2. Parameters of methods for clomazone and metribuzin

Active substance herbicide	Limits of detection (mg kg^{-1})	MRL (mg kg^{-1})
Clomazone	< 0.0001	0.01
Metribuzin	< 0.0005	0.1

The analyses were carried out in the Department of Pesticide Residue Research at the Institute of Plant Protection – National Research Institute in Poznań. The laboratory is accredited according to ISO/IEC 17025:2005 by the Polish Centre of Accreditation (PCA). The analytical method used for the determination of clomazone and metribuzin residues was characterized by limits of detection of <0.0001 mg kg^{-1} and <0.0005 mg kg^{-1}, respectively. The maximum residue limits (MRLs) for clomazone and metribuzin were 0.01 mg kg^{-1} and 0.1 mg kg^{-1}, respectively (Table 2).

METEOROLOGICAL CONDITIONS

In 2018, the mean value of the Sielianinov hydrothermal coefficient (K) for the period from April to September was 0.93, classifying the growing season as dry. April and August were classified as dry months, May and June as very dry, July as relatively dry, and September as relatively humid.

In 2019, moisture conditions were the least favourable of all years of the study. The mean hydrothermal coefficient (K) was 0.66, indicating a very dry growing season. April was classified as extremely dry; June, July, and September as very dry; August as dry; while only May was characterized by optimal moisture conditions.

In 2020, the mean value of the hydrothermal coefficient (K) was 1.05, indicating a relatively dry growing season. April and August were classified as extremely dry, May as relatively humid, June as humid, July as relatively dry, and September as humid. Despite the occurrence of drought periods in some months, moisture conditions in 2020 were more favourable than those recorded in 2018 and 2019 (Table 3).

Table 3. Hydrothermal Sielianinov index (K) in the years of the experiment

Year	Month						Mean April–September
	April	May	June	July	August	September	
2018	0.88 dry	0.52 very dry	0.57 very dry	1.06 relatively dry	0.86 dry	1.69 Relatively humid	0.93 dry
2019	0.20 extremely dry	1.44 optimal	0.67 very dry	0.51 very dry	0.71 dry	0.41 very dry	0.66 very dry
2020	0.23 extremely dry	1.74 Relatively humid	2.05 humid	1.15 relatively dry	0.29 extremely dry	0.83 humid	1.05 relatively dry

RESULTS AND DISCUSSION

Nitrates content in potato tubers

The content of anti-nutrients in potato tubers offered to the consumer is a very important quality criterion. Parameters such as nitrates and herbicide residues have established standards for their content in individual plant species [Commission Regulation (EU) 2023 and Regulation (EC)… 2005]. The study showed that the biostimulants and herbicide used and the years of testing had no significant effect on nitrate content, while the effect of variety and interaction effects (cultivars x years and objects x years) were significant at $p \leq 0.05$ (Tables 4–5).

Table 4. Nitrates content in tubers of potato cultivars depending on weather conditions (mg kg^{-1} FM)

Cultivar	Year			Mean value	Standard deviation s
	2018	2019	2020		
Oberon	153.8^{A}	155.3^{A}	156.5^{A}	155.2^{a}	1.35
Malaga	153.0^{A}	152.1^{B}	150.9^{B}	152.0^{b}	1.05
Mean	153.4^{a}	153.7^{a}	153.7^{a}		

$LSD_{0.05}$: cultivars 1.0; years x cultivars 2.7
Lowercase letters a and b indicate significant differences between potato cultivars. Uppercase letters A and B indicate significant interactions between cultivars and years. Results marked with the same letter (a, a; A, A) indicate that the values are not significantly different.

Table 5. Nitrates content in tubers of potato depending on study objects and weather conditions (mg kg^{-1} FM)

Object	Year			Mean value	Standard deviation s
	2018	2019	2020		
Control object	151.2^{B}	151.5^{B}	155.9^{A}	152.9^{a}	2.63
Avatar 293 ZC	153.4^{A}	155.3^{A}	153.5^{B}	154.1^{a}	1.07
Avatar 293 ZC + PlonoStart	154.9^{A}	154.7^{A}	152.3^{B}	154.0^{a}	1.45
Avatar 293 ZC + Aminoplant	153.6^{A}	154.0^{A}	153.1^{B}	153.6^{a}	0.45
Avatar 293 ZC + Agro-Sorb Folium	154.1^{A}	153.1^{A}	153.5^{B}	153.6^{a}	0.23

$LSD_{0.05}$: years x objects 2.0
Lowercase letters a indicate the absence of significant differences between the study objects and between the study years. Uppercase letters A, B indicate significant interactions between the study objects and study years. Results marked with the same letters (a, a; A, A) indicate that the values are not significantly different.

Nitrates content was from 150.9 to 156.5 mg kg^{-1} fresh matter. Similar contents of these compounds are reported by other authors: Nezami and Fatemi [2024], Poberežny et al. [2015], Zarzecka et al. [2019a]. The Oberon cv. contained significantly more nitrates than the Malaga cv. The interaction of cultivars with years showed a differential response of the cultivated creations to weather conditions. The Oberon cultivar accumulated the highest amount of these compounds in 2020, which was

relatively dry, and Malaga cv. in 2018, which was dry. Variance analysis also showed that in 2018 and 2019 (dry and very dry) nitrate accumulation in tubers was higher after herbicide and herbicide with biostimulants, while in 2020 (relatively dry) the amount of these compounds decreased (Table 5). The influence of the cultivar factor is confirmed by other authors [Gorenjak et al. 2014, Wszelaczyńska et al. 2022, Zarzecka et al. 2010, 2019a]. These authors also write that the nitrate content of tubers depends on a number of factors, mainly the cultivar, climate and soil conditions and agrotechnical treatments. Naghdi et al. [(2022] found that the applied treatments had no significant effect on nitrate content, while the interaction effects of the two factors in the second year were significant, and that the amount of nitrate was at a significantly lower level than the nitrate permissible level.

Table 6*. Daily human nitrate consumption per 227 g of potato tubers under the study conditions. Average from 2018–2020 (mg kg^{-1} FM)

Object	Cultivar		Mean
	Oberon	Malaga	
Control object	35.1	34.3	34.7
Avatar 293 ZC	35.3	34.6	35.0
Avatar 293 ZC + PlonoStart	35.3	34.6	35.0
Avatar 293 ZC + Aminoplant	35.3	34.4	34.9
Avatar 293 ZC + Agro-Sorb Folium	35.2	34.5	34.9
Mean	35.2	34.5	34.9

* No significant differences ($p \leq 0.05$) were found between treatments; thus, LSD test results are not reported for this table.

Nowacki [2022] classified potato tubers according to nitrate content into three groups: low content – less than 100 mg, medium content from 100 to 200 mg and high content – above 200 mg kg^{-1}. Thus, the results obtained confirm that tubers of Oberon and Malaga cultivars accumulated an average amount of nitrates and the level of 200 mg kg^{-1} FW was not exceeded. The per capita consumption of potatoes in Poland in 2023 was 83 kg $year^{-1}$, that is, 227 g a day [Dzwonkowski 2023]. This did not result in exceeding the permissible daily intake of nitrates, so it does not pose a risk to human health (Table 6). ADI of nitrates for humans is 3.7 mg kg^{-1} body weight human [Commission Regulation (EU) 2023]. The test results showed that the applied treatments did not exceed the permissible daily intake of nitrates, so it does not pose a threat to human health (Table 6).

Residues content in potato tubers

No residues of clomazone or metribuzin exceeding the maximum residue limits (MRLs) established by European Union regulations were detected in any of the analysed potato tuber samples (Table 7). In most cases, residue concentrations were below the limit of detection. These findings indicate that the application of herbicides at the recommended rates and growth stages did not result in excessive accumulation of residues in potato tubers. The obtained results confirm the safety of the applied weed control treatments with respect to herbicide residues in the harvested tubers. Similar findings have been reported by other authors investigating herbicide residues in potato crops [Kumari et al. 2015]. The maximum residue limits (MRLs) for clomazone and metribuzin are presented in Table 2. In the Oberon cultivar, the presence of clomazone residues was below the detection limit (below the limit of detection). In tubers of this cultivar harvested from object 5 (Avatar 293 ZC + Agro-Sorb Folium) the presence of metribuzins was determined at 0.00078 mg kg^{-1} but these values were below the MRL. At Malaga cv. clomazone and metribuzin residues were traceable – within limits of detection but below MRL. Hu et al. [2010] after applying metribuzin and quizalofop-p-ethyl to a potato crop, and Zarzecka et al. [2010] after spraying metribuzin and flufenacet did not detect residues of these compounds. Liu et al. [2015] using thiram did not determine residues in tubers and concluded that the formulation can

be used in the crop as a pesticide with low toxicity to humans and the environment. Skiba et al. [2021] used a mixture of Afalon 450 SC + Command 480 EC formulations containing linuron and clomazone and indicated the presence of clomazone, the concentration of which was 0.0002 mg kg^{-1} fresh weight of potato tubers, so it was much lower than the MRL. In the 2020 study, no residues of clomazone and metribuzin were detected, which could be due to optimal weather conditions, especially precipitation in the months of May, June and July ensuring proper plant growth and development (Table 2). Skiba et al. [2021] also found no pesticide residues in potato tubers in 2017. This was probably due to the fact that during the 2017 potato growing season there was very high precipitation, much higher than in the multi-year period, which may have contributed to the leaching of plant protection product residues.

Table 7. Occurrence of residues of Avatar 293 ZC herbicide (clomazone + metribuzin) in potato tubers in 2019*

Objects	Residues (mg kg^{-1})	
	clomazone	metribuzin
cv. Oberon		
Control object – without herbicide	0	0
Avatar 293 ZC	not detectable	not detectable
Avatar 293 ZC + PlonoStart	not detectable	not detectable
Avatar 293 ZC + Aminoplant	not detectable	not detectable
Avatar 293 ZC + Agro-Sorb Folium	not detectable	0.00078
cv. Malaga		
1. Control object – without herbicide	0	0
2. Avatar 293 ZC	0.00013	0.0010
3. Avatar 293 ZC + PlonoStart	0.00044	0.00032
4. Avatar 293 ZC + Aminoplant	0.00023	0.00078
5. Avatar 293 ZC + Agro-Sorb Folium	0.00012	0.00074

* Residue data are presented only for 2019, since in 2018 and 2020 no residues of clomazone or metribuzin were detected in potato tubers (all values were below the analytical limit of detection, LOD).

Currently the quality of raw materials and plant products consumed now plays an important role. The European Union has introduced a food safety strategy requiring all member states to have a program to monitor and conduct official food controls on the content of contaminants, including pesticides in accordance with the maximum levels of these compounds – MRL [Kowalska and Kowalski 2019]. Kowalska et al. [2020] analyzing 160 samples of various unprocessed raw materials and plant products, concluded that residues of labeled pesticides cannot be considered a serious threat to human health, but should be monitored.

Herbicides may influence nitrogen metabolism by modifying nitrate uptake and assimilation processes, particularly nitrate reductase activity, which can lead to increased nitrate accumulation in potato tubers. The intensity of this effect depends on environmental conditions, especially soil moisture, which affects herbicide uptake and translocation within the plant. Biostimulants may additionally modify nitrogen assimilation processes; however, their effect in the present study was inconsistent. Overall, nitrate accumulation resulted from interactions between genotype, agronomic practices, and environmental conditions regulating nitrogen metabolism.

CONCLUSIONS

1. The applied herbicide and biostimulants did not significantly affect nitrate content in potato tubers, whereas cultivar and the interactions cultivar × year and treatment × year had a significant influence on this trait.

2. Nitrate content in tubers ranged from 150.9 to 156.5 mg kg^{-1} fresh weight and did not exceed levels considered safe for human consumption. The tested cultivars were classified as having a medium nitrate content.

3. Weather conditions and genetic factors played an important role in shaping nitrate accumulation in potato tubers, as confirmed by significant differences between cultivars and growing seasons.

4. No residues of clomazone or metribuzin exceeding the maximum residue limits (MRLs) were detected in any of the analysed samples, indicating that the applied plant protection strategy ensured the safety of potato tubers.

REFERENCES

Beals K.A., 2019. Potatoes, nutrition and health. Am. J. Potato Res. 96, 102–110. https://doi.org/10.1007/s12230-018-09705-4

Commission Regulation (EU) 2023/2108 of 6 October 2023 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council and the Annex to Commission Regulation (EU) No 231/2012 as regards food additives: nitrites (E 249–250) and nitrates (E 251–252). Available online: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2108/oj [access: 27.11.2025].

Devaux A., Goffart J.P., Kromann P. et al., 2021. The potato of the future: Opportunities and challenges in sustainable agri-food systems. Potato Res. 64, 681–720. https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4

Dzwonkowski W. (ed.), 2023. Rynek ziemniaka. Stan i perspektywy [Potato market. State and perspectives]. Nr 50. Analizy Rynkowe. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.

Ebrahimi R., Ahmadian A., Ferdousi A. et al., 2020. effect of washing and cooking on nitrate content of potatoes (cv. Diamant) and implications for mitigating human health risk in Iran. Potato Res. 63, 449–462. https://doi.org/10.1007/s11540-020-09450-4

Elrys A.S., Abo El-Maati M.F., Abdel-Hamed E.M.W. et al., 2021. Mitigate nitrate contamination in potato tubers and increase nitrogen recovery by combining dicyandiamide, moringa oil and zeolite with nitrogen fertilizer. Ecotoxicol. Environ. Saf. 209, 111839. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111839

FAO, 2015. World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Available online: http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf [access: 2.03.2026].

FAO, 2023. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. https://doi.org/10.4060/cc8166en

Giampiccoli A., Mnguni E.M., Dłużewska A. et al., 2023. Potatoes: Food tourism and beyond. Cogent Soc. Sci. 9(1). https://doi.org/10.1080/23311886.2023.2172789

Gibson S., Kurilich A.C., 2013. The nutritional value of potatoes and potato products in the UK diet. Nutr. Bull. 38, 389–399. https://doi.org/10.1111/nbu.12057

Gorenjak A.H., Cencič A., 2013. Nitrate in vegetables and their impact on human health. A review. Acta Aliment. 42(2), 158–172. https://doi.org/10.1556/AAlim.42.2013.2.4

Gorenjak A.H., Urih D., Langerholc T. et al., 2014. Nitrate content in potatoes cultivated in contaminated groundwater areas. J. Food Res. 3(1), 18–26. https://doi.org/10.5539/jfr.v3n1p18

Haverkort A.J., Struik P.C., 2015. Yield levels of potato crops: Recent achievements and future prospects. Field Crops Res. 182, 76–85. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.06.002

Hu J., Deng Z., Liu C. et al., 2010. Simultaneous Analysis of Herbicide Metribuzin and Quizalofop-p-ethyl Residues in Potato and Soil by GC-ECD. Chromatographia 72, 7/8, 701–706. https://doi.org/10.1365/s10337-010-1717-4 0009-5893/10/10

IUNG, 2024. Wyszukiwarka nawozów [Fertilizer search engine]. Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy. Available online: https://nawozy.iung.pl/ [access: 27.11.2025].

Jankowska M., Łozowicka B., 2021. Naturalne i syntetyczne substancje toksyczne występujące w roślinach rolniczych i ich produktach [Natural and synthetic toxic substances occurring in agricultural plants and their products]. Prog. Plant Prot. 61, 24–30. https://doi.org/10.14199/ppp-2021-003

Kolbe H., Müller K., 1987. Vergleichende Untersuchungen über semiquantitative und quantitative Methoden zur Bestimmung von Nitrat in Kartoffelknollen. Potato Res. 29, 333–344. https://doi.org/10.1007/BF02359962

Kowalska G., Kowalski R., 2019. Badania pozostałości pestycydów w żywności pochodzenia roślinnego z zastosowaniem metody QuEChERS oraz technik chromatograficznych GC i HPLC z detekcją spektrometrii masowej MS i MS/MS. Praca przeglądowa [Research on pesticide residues in food of plant origin using the QuEChERS method and chromatographic

techniques GC and HPLC with mass spectrometry detector MS and MS/MS. A review.] Agron. Sci. 74(3), 99–112. https://doi.org/10.24326/as.2019.3.8

Kowalska M., Kononiuk A., 2020. Nitrates/nitrites in food – risk for nitrosative stress and benefits. Antioxidants 9, 241. https://doi.org/10.3390/antiox9030241

Kowalska M., Pankiewicz U., Kowalski R., 2020. Estimation of pesticide residues in selected products of plant origin from Poland with the use of the HPLC-MS/MS technique. Agriculture 10, 192. https://doi.org/10.3390/agriculture10060192

Kumari S., Sharma N., Joshi R. et al., 2015. Dissipation studies of metribuzin in alfisol soils and its terminal residues in potato tubers. Int. J. Agric. Environ. Biotechnol. 8(2), 449–455. https://doi.org/10.5958/2230-732X.2015.00052.2

Liu S., Bai A., Zhou L. et al., 2015. Dissipation and residues of thiram in potato and soil. J. Chem. 623847, 1–6. http://dx.doi.org/10.1155/2015/623847

Ministry of Agriculture and Rural Development of the Republic of Poland, 2024. Register of authorized plant protection products. Available online: https://www.gov.pl/web/rolnictwo/wykaz-srodkow-ochrony-roslin [access: 27.11.2025]

Naghdi A.A., Piri S., Khaligi A. et al., 2022. Enhancing the qualitative and quantitative traits of potato by biological, organic, and chemical fertilizers. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 21, 87–92. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.06.008

Naqve M., Mukhtiar A., Arshad T. et al., 2023. Biostimulants in sustainable agriculture. In: M. Hasanuzzaman (ed.). Climate-resilient agriculture, vol. 1. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1_24

Nezami S., Fatemi A., 2024. Nitrate content in potato (*Solanum tuberosum* L.) and onion (*Allium cepa* L.) and its human health risk assessment in the fields with the highest cultivated area in Kermanshah Province. Iran. Agrotech. Ind. Crops, 4(2), 56–64. https://doi.org/10.22126/ATIC.2023.9009.1091

Nowacki W., 2020. Profesjonalna produkcja ziemniaka [Professional potato production]. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, pp. 84.

Nowacki W., 2022. Charakterystyka zarejestrowanych krajowych odmian ziemniaka [Characteristics of registered native potato cultivars]. Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Jadwisin, wyd. 25, pp. 44.

Pilana M., Merovci N., Jashari M. et al., 2018. Potato market and consumption. Int. J. Sustain. Econ. Manag., 7(3), 19–30. https://doi.org/10.4018/IJSEM.2018070102

PN-EN 15662:2018-06, 2018. Żywność pochodzenia roślinnego – Oznaczanie pozostałości pestycydów metodą GC-MS i/lub LC-MS/MS po ekstrakcji/partycji acetonitrylem oraz oczyszczaniu metodą dyspersyjnej SPE – metoda QuEChERS [Foods of plant origin – determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and cleanup by dispersive SPE-QuEChERS-method]. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.Poberężny J., Wszelaczyńska E., Wichrowska D. et al., 2015. Content of nitrates in potato tubers depending on the organic matter, soil fertilizer, cultivation simplifications applied and storage. Chil. J. Agric. Res. 75(1), 42–49. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392015000100006

Prajapati A., Patel C.K., Singh N. et al., 2016. Evaluation of seaweed extract on growth and yield of potato. Environ. Ecol. 34(2), 605–608.

Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council of 23 February 2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin and amending Council Directive 91/414/EEC. 2005. Available online: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32005R0396 [access: 27.11.2025]

Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 29 maja 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących jakości handlowej ziemniaków [Regulation of the Minister of Agriculture and Rural Development of 29 May 2003 on detailed requirements for commercial quality of potatoes]. Dz.U. 2003 nr 194, poz. 1900. ISAP – Internetowy System Aktów Prawnych. Available online: http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20031941900 [access: 27.08.2024].

Sharma A., Shukla A., Attri K. et al., 2020. Global trends in pesticides: A looming threat and viable alternatives. Ecotoxicol. Environ. Saf. 201, 110812. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110812

Skiba D., Sawicka B., Pszczółkowski P. et al., 2021. The impact of cultivation management and weed control systems of very early potato on weed infestation. Biodiversity, and Health Safety of Tubers. Life 11, 826. https://doi.org/10.3390/life11080826

Skowera B., Jedrszczyk E.S., Kopcinska J. et al., 2014. The effects of hydrothermal conditions during vegetation period on fruit quality of processing tomatoes. Pol. J. Environ. Stud. 23(1), 195–202.

Urban J., Hamouz K., Lachman J. et al., 2018. Effect of genotype, flesh colour and environment on the glycoalkaloid content in potato tubers from integrated agriculture. Plant Soil Environ. 64, 186–191. https://doi.org/10.17221/166/2018-PSE

Trętowski J., Wójcik R., 1991. Metodyka doświadczeń rolniczych [Methodology of agricultural experiments]. Wyższa Szkoła Rolniczo-Pedagogiczna w Siedlcach, Siedlce.

Wszelaczyńska E., Poberężny J., Keutgen A.J. et al., 2022. Antinutritional nitrogen compounds content in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers depending on the genotype and production system. Agronomy 12, 2415. https://doi.org/10.3390/agronomy12102415

Zarzecka K., Gugała M., Mystkowska I., 2010. Herbicide residues and nitrate concentration in tubers of table potatoes. J. Toxicol. Environ. Health A 73, 1244–1249. https://doi.org/10.1080/15287394.2010.492011

Zarzecka K., Gugała M., Sikorska A., 2019a. Nitrates content in table potato tubers under the influence of herbicides and biostimulants. Acta Agric. Scand., Sect. B Soil Plant Sci. 69(6), 489–493. https://doi.org/10.1080/09064710.2019.1606273

Zarzecka K., Gugała M., Sikorska A. et al., 2019b.The effect of herbicides and biostimulants on polyphenol content of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers and leaves. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 18, 102–106. http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2017.02.004

Source of funding: This study was co-financed by the Ministry of Education and Science of Poland under the research project 248/26/B "Innovations in the production of selected agricultural plants".

Author's contributions: K.Z. – conceptualization, methodology, data curation, investigation, resources, writing – original draft; E.R. – resources and editing; I.M. – chemical analyses, resources, visualization; M.G. – formal analysis; M.Z. – resources.

Received: 20.03.2026
Accepted: 6.07.2026
Online first: 19.08.2026
Published: 9.10.2026

Citation: Zarzecka K., Rzążewska E., Mystkowska I., Gugała M., Zawodniak M., 2026. Nitrates content and herbicide residues in edible potato tubers under biostimulants and herbicide application conditions. Agron. Sci., 81(3), 19–28. https://doi.org/10.24326/as.2026.5683

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI (3) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5699

AGATA KOBYŁKA[1], JAKUB WALCZAK[2],

Zagrody edukacyjne jako narzędzie edukacji realizowanej w gospodarstwach rolnych

Educational farms as a tool for education conducted on agricultural farms

Abstrakt: Edukacja pozaformalna realizowana w zagrodach edukacyjnych na obszarach wiejskich uzupełnia formalny system oświaty, wykorzystując autentyczne zasoby gospodarstw rolnych do polisensorycznego uczenia się. Ogólnopolska Sieć Zagród Edukacyjnych (OSZE), utworzona w 2011 r. przez Centrum Doradztwa Rolniczego, liczy obecnie 382 podmioty i charakteryzuje się dynamicznym wzrostem (+13,5% w 2025 r.). Oferta edukacyjna (1–8 godz.) realizuje priorytety: produkcję roślinno-zwierzęcą, przetwórstwo, ekologię i dziedzictwo kulturowe poprzez aktywizujące metody (np. „od ziarna do chleba"). Badania własne (desk research dla 382 zagród oraz ankieta skierowana do koordynatorów wojewódzkich OSZE ze stopą zwrotu wynoszącą 57%) potwierdziły dominujące cele: popularyzację wiedzy o rolnictwie i kształtowanie świadomości konsumenckiej, wysoką skuteczność wobec dzieci szkolnych oraz deficyty oferty dla seniorów i osób z niepełnosprawnościami. Głównymi barierami są czynniki ekonomiczno-legislacyjne (brak stabilnego finansowania), przy wystarczających zasobach wewnętrznych. Hipotezy badawcze zweryfikowano pozytywnie: H1 – przywracanie relacji społeczeństwo-rolnictwo; H2 – dominacja barier zewnętrznych. Kluczowe rekomendacje obejmują uproszczenie regulacji prawnych, integrację z systemem oświaty oraz rozwój sieciowania i promocji.

Słowa kluczowe: zagrody edukacyjne, OSZE, edukacja pozaformalna, rolnictwo społeczne

WSTĘP

Współczesna polska wieś ewoluuje od przestrzeni stricte produkcyjnej w kierunku modelu wielofunkcyjnego, w którym rolnictwo staje się fundamentem dla rozwoju usług społecznych i edukacyjnych [Bogusz i Kania 2016, Czapiewska 2018]. Edukacja pozaformalna realizowana na obszarach wiejskich zyskuje strategiczne znaczenie jako niezbędne uzupełnienie formalnego systemu oświaty [Sajdera

[1] Wydział Agrobioinżynierii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Turystyki i Rekreacji, Polska, ul. Akademicka 15, 20–905 Lublin, Polska, https://orcid.org/0000-0002-3042-6577; autor korespondencyjny: agata.kobylka@up.edu.pl

[2] Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Turystyki i Rekreacji, Studenckie Koło Naukowe Turystyczno-Krajoznawcze, ul. Akademicka 15, 20-905 Lublin, Polska, https://orcid.org/0009-0002-5684-3325

© Copyright by the Authors, 2026

Licensee University of Life Sciences in Lublin – Publishing House, Lublin, Poland

This article is an open access article distributed under the terms and con-ditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

2020]. Wykorzystuje ona naturalne zasoby gospodarstw rolnych – pola uprawne, inwentarz żywy oraz autentyczne procesy wytwórcze – do immersyjnego i polisensorycznego uczenia się, które angażuje wszystkie zmysły uczestników [Kmita-Dziasek i in. 2011, Sikorska-Wolak i Zawadka 2018, Marcysiak i in. 2023].

Rosnące zapotrzebowanie na usługi edukacyjne w gospodarstwie rolnym jest odpowiedzią na zjawisko tzw. nieuwagi społecznej wobec rolnictwa oraz postępujący zanik wiedzy o pochodzeniu żywności wśród dzieci i młodzieży [Barwicka 2018, Marcysiak 2024]. W sytuacji, gdy procesy produkcji rolnej stają się dla konsumentów „niewidzialne", gospodarstwa edukacyjne stwarzają unikalną okazję do budowania bezpośredniej relacji społeczeństwa z rolnictwem [Kmita-Dziasek 2022b, Marcysiak i in. 2023]. Edukacja ta nie jest zwykłym przeniesieniem lekcji poza mury szkoły, lecz procesem „uczenia się w działaniu", w którym uczestnicy odkrywają pełny łańcuch dostaw „od pola do stołu" w autentycznym środowisku pracy rolnika [Kmita-Dziasek 2014, Marcysiak 2024].

Koncepcja narodziła się w XXI w. wśród gospodarstw ekologicznych, które dostrzegły dydaktyczny potencjał swoich zasobów, a kluczowym etapem stało się utworzenie Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych (OSZE) w 2011 r. z inicjatywy Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie [Bogusz i Kmita-Dziasek 2015, Kmita-Dziasek i Bogusz 2017, Sajdera 2020]. Zgodnie z przyjętą definicją „zagroda edukacyjna" to przedsięwzięcie prowadzone przez mieszkańca wsi na obszarach wiejskich, wykorzystujące zwierzęta gospodarskie lub uprawy rolnicze i realizujące programy dydaktyczne w zakresie produkcji roślinnej, zwierzęcej, przetwórstwa płodów rolnych, dziedzictwa kulturowego lub świadomości ekologicznej [Kmita-Dziasek 2011, Mitura i Buczek-Kowalik 2016, Kmita-Dziasek 2022a]. Od 2014 r. nazwa ta jest zastrzeżonym znakiem towarowym, co sprzyja profesjonalizacji usług i budowie silnej marki na rynku turystyki wiejskiej [Kmita-Dziasek i Bogusz 2017, Wysiński 2023, Nazar i Krzysztof 2024].

Głównymi celami funkcjonowania sieci OSZE są: podniesienie prestiżu zawodu rolnika, upowszechnienie wiedzy o pochodzeniu żywności, zachowanie dziedzictwa kulturowego wsi [Wiśniewska 2023] oraz dywersyfikacja dochodów gospodarstw rolnych [Kmita-Dziasek 2022b, Zawadka i in. 2023]. Oferta zagród edukacyjnych wykazuje wysoką komplementarność z podstawą programową wychowania przedszkolnego i kształcenia ogólnego, umożliwiając realizację treści z zakresu biologii, przyrody czy wiedzy o społeczeństwie w warunkach naturalnych [Sajdera 2022, Wojciechowska-Solis i in. 2024]. Dzięki współpracy z Ministerstwem Edukacji i Nauki, m.in. w ramach programu „Poznaj Polskę", zagrody stały się ważnym punktem na mapie szkolnej turystyki edukacyjnej [Sajdera 2022, Marcysiak i in. 2023].

Celem badań jest ocena funkcjonowania i dynamiki rozwoju Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych jako narzędzia edukacji realizowanej w gospodarstwach rolnych, a także identyfikacja ich ról dydaktycznych, barier rozwojowych oraz stopnia integracji z instytucjami otoczenia rolnictwa i oświaty. Koncentrując się na teoretycznych założeniach funkcjonowania sieci, określono hipotezy:

H1: Działalność zagród edukacyjnych stanowi istotne ogniwo w procesie przywracania bezpośredniej relacji społeczeństwa z rolnictwem, umożliwiając skuteczne kształtowanie postaw prośrodowiskowych i konsumenckich poprzez naukę w autentycznym środowisku pracy rolnika.

H2: Główną barierą hamującą rozwój edukacyjnej funkcji gospodarstw rolnych są czynniki ekonomiczno-legislacyjne o charakterze zewnętrznym (brak stabilnego finansowania i niejednoznaczność przepisów), podczas gdy zasoby merytoryczne i infrastrukturalne rolników są oceniane jako wystarczające i nie stanowią istotnej przeszkody w prowadzeniu tej działalności.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach posłużono się metodą desk research, polegającą na analizie danych zastanych. Materiał badawczy stanowiły dane pozyskane od Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie. Badaniami objęto wszystkie funkcjonujące na terenie kraju zagrody edukacyjne zrzeszone w Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych (OSZE), czyli 382 podmioty (stan na 20.02.2026). W analizie skupiono się przede wszystkim na dynamice liczby zagród edukacyjnych w ostatnich latach oraz ich regionalnym rozmieszczeniu w układzie województw. W tworzeniu i funkcjonowaniu OSZE uczestniczą wszystkie wojewódzkie ośrodki doradztwa rolniczego, które pełnią rolę instytucji wspierających rozwój tej inicjatywy. Przy każdym z nich działają wojewódzcy koordynatorzy odpowiedzialni za współpracę z gospodarstwami oraz rekomendowanie ich do włączenia do Sieci. W większości województw funkcję tę pełni jedna osoba, jednak w niektórych regionach liczba koordynatorów jest większa. W województwie lubelskim funkcję tę pełnią trzy osoby, natomiast w województwach wielkopolskim, mazowieckim, dolnośląskim, śląskim oraz warmińsko-mazurskim po dwie osoby. Łącznie w skali kraju funkcję koordynatorów pełnią 23 osoby.

Drugą część badań przeprowadzono z wykorzystaniem metody sondażu diagnostycznego z zastosowaniem techniki ankiety. Kwestionariusz ankiety skierowano do wszystkich wojewódzkich koordynatorów zagród edukacyjnych i rozesłano drogą mailową (N = 23). Odpowiedzi udzieliło 13 osób (57%), reprezentujących łącznie 11 województw (69%) (w dwóch województwach – mazowieckim oraz lubelskim – odpowiedzi udzieliło po dwóch koordynatorów). Ankieta składała się z 12 pytań zamkniętych i otwartych. W pytaniach zamkniętych zastosowano głównie pięciostopniową skalę Likerta (od „zdecydowanie nie" do „zdecydowanie tak"). Pytania dotyczyły przede wszystkim celów i funkcji edukacyjnych zagród, współpracy i sieciowania między podmiotami, wyzwań związanych z ich funkcjonowaniem oraz perspektyw dalszego rozwoju tej formy działalności. Uzyskane odpowiedzi analizowano przede wszystkim w ujęciu zbiorczym, bez identyfikacji poszczególnych respondentów lub województw. Uzyskane wyniki opracowano z wykorzystaniem podstawowych miar statystyki opisowej, takich jak odsetki odpowiedzi, średnia arytmetyczna, odchylenie standardowe, współczynnik asymetrii oraz współczynnik zmienności.

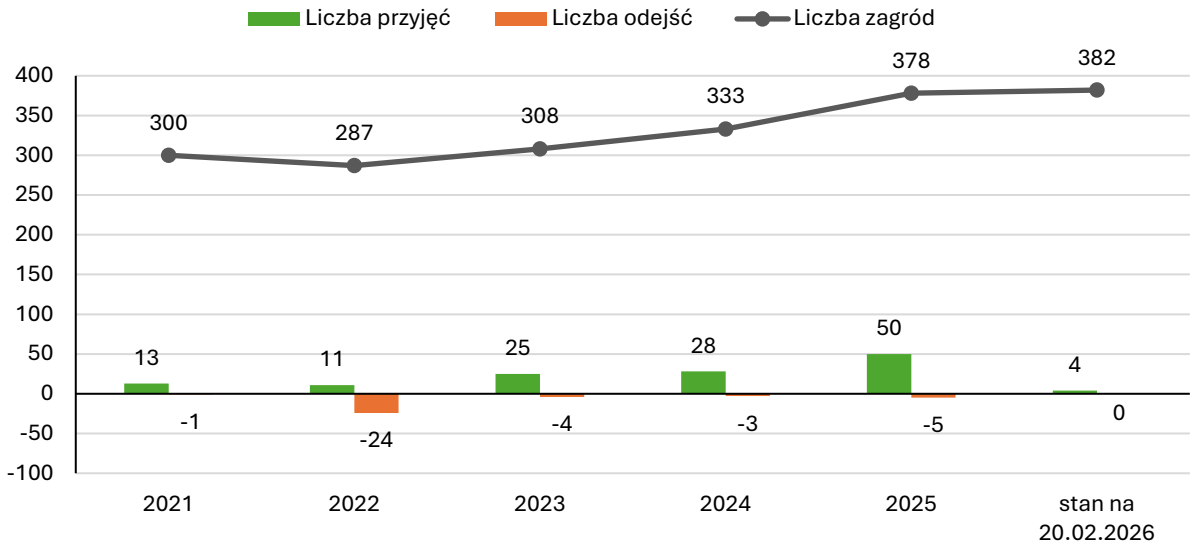
Uzupełnieniem analiz były również publikacje, ekspertyzy oraz materiały informacyjne przygotowane przez Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Krakowie – treści zamieszczonych na stronie internetowej programu Ogólnopolska Sieć Zagród Edukacyjnych (www.zagrodaedukacyjna.pl), a także inne opracowania naukowe dotyczące edukacyjnych funkcji gospodarstw rolnych.

WYNIKI

Rozwój Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych

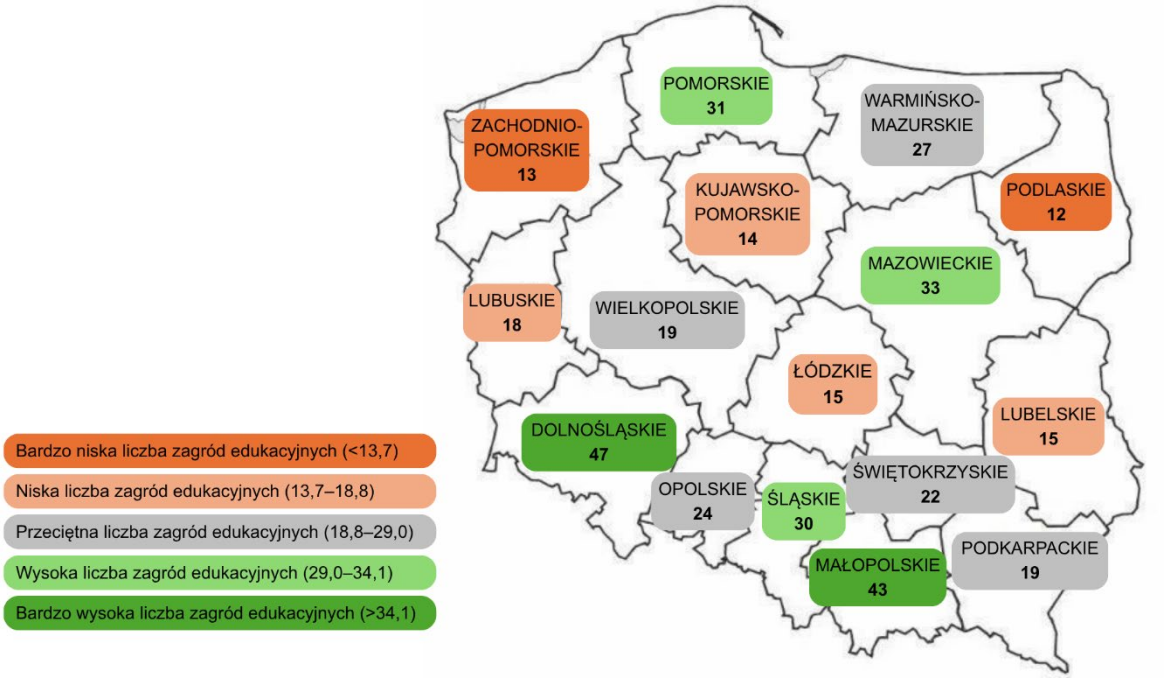
Rozwój Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych w ostatnich latach charakteryzuje się dynamicznym wzrostem liczby podmiotów, mimo przejściowego spadku w 2022 r. Był to jedyny rok w analizowanym okresie, w którym liczba odejść (24) znacząco przewyższyła liczbę nowych przyjęć (11). Kolejne lata to okres dynamicznej ekspansji. Od 2023 r. obserwuje się wyraźny trend wzrostowy. Sieć powiększyła się kolejno o 7,3% w 2023 r., 8,1% w 2024 r. oraz aż 13,5% w 2025 r. 2025 r. był rekordowy pod względem liczby nowych członków sieci (50 przyjęć), co świadczy o rosnącej popularności tej formy działalności wśród rolników (rycina 1).

Rycina 1. Dynamika rozwoju Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych oraz bilans przyjęć i odejść w latach 2021–2026 [dane przekazane przez Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Krakowie]



Rozmieszczenie zagród edukacyjnych w Polsce wykazuje wyraźne zróżnicowanie regionalne. Największą koncentrację tego typu podmiotów odnotowano w południowej części kraju, szczególnie w województwie dolnośląskim oraz małopolskim. Stosunkowo wysokie wartości odnotowano również w województwach mazowieckim, pomorskim oraz śląskim. Z kolei najmniejszą liczbę zagród edukacyjnych stwierdzono w północno-wschodniej i północno-zachodniej części Polski, zwłaszcza w województwie podlaskim oraz zachodniopomorskim. W większości pozostałych regionów liczba zagród kształtuje się na poziomie niskim lub przeciętnym, co wskazuje na umiarkowane rozprzestrzenienie tej formy działalności w skali kraju (rycina 2).

Rycina 2. Regionalne zróżnicowanie liczby zagród edukacyjnych w Polsce według województw (stan na 20.02.2026) [dane przekazane przez Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Krakowie]



Objaśnienie: Podział na klasy wykonano metodą odchylenia standardowego (M ±SD). Wyróżniono pięć klas: bardzo niską (<M – SD), niską (od M – SD do M – 0,5SD), przeciętną (M ±0,5SD), wysoką (od M + 0,5SD do M + SD) oraz bardzo wysoką (>M + SD).

Główne cele funkcjonowania zagród edukacyjnych i ich grupy odbiorców

Według koordynatorów OSZE najważniejszymi celami funkcjonowania zagród edukacyjnych są popularyzacja wiedzy o rolnictwie oraz kształtowanie świadomości konsumenckiej, przy czym w obu przypadkach aż 84,6% respondentów wybrało odpowiedź „zdecydowanie tak" i obie odpowiedzi uzyskały najwyższą średnią 4,85. Bardzo niski współczynnik zmienności dla tych kategorii (V = 7,75%) oraz wysoka ujemna asymetria (As = –2,18) potwierdzają niemal całkowitą jednomyślność badanych co do priorytetów sieci. Bardzo wysoko oceniono również kształtowanie postaw prośrodowiskowych (4,69), budowanie szacunku do pracy rolnika (4,69) oraz edukację ekologiczną (4,62). Nieco mniejsze znaczenie przypisano integracji społecznej (średnia 4,00), która charakteryzowała się największym rozproszeniem opinii w tej grupie (V = 25,00%) – rycina 3, tabela 1.

Rycina 3. Cele funkcjonowania zagród edukacyjnych w opinii koordynatorów wojewódzkich
[opracowanie własne na podstawie wyników badań]

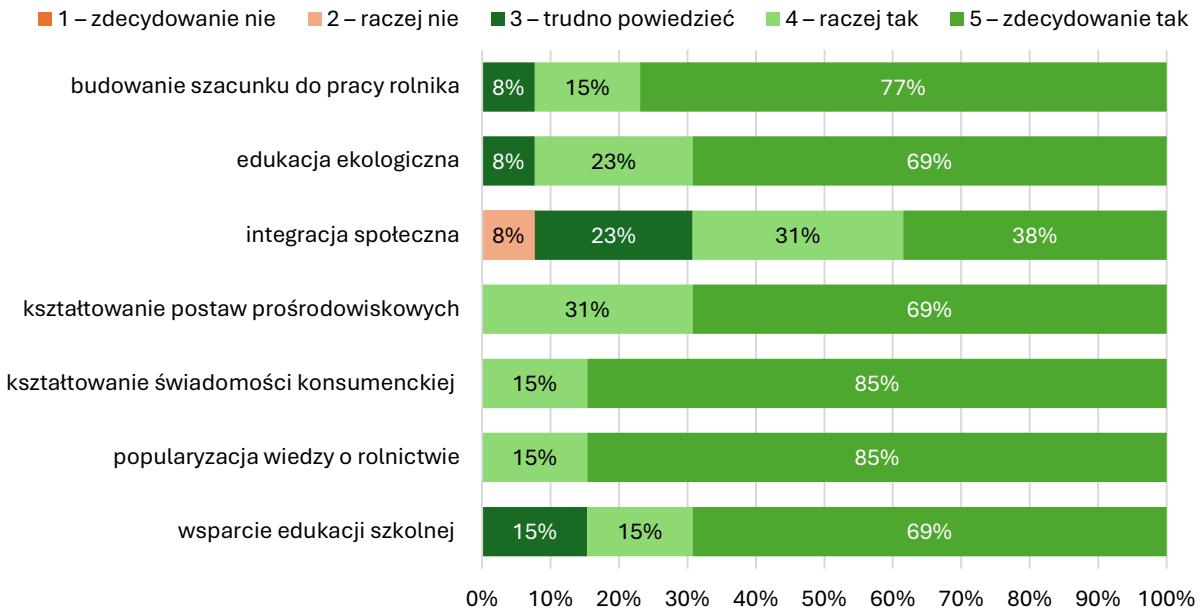


Tabela 1. Statystyki opisowe dotyczące hierarchii celów działalności edukacyjnej w zagrodach edukacyjnych
[opracowanie własne na podstawie wyników badań]

Cele działalności edukacyjnej	Średnia arytmetyczna	Odchylenie standardowe	Współczynnik asymetrii	Współczynnik zmienności (%)
Budowanie szacunku do pracy rolnika	4,69	0,63	–2,05	13,44%
Edukacja ekologiczna	4,62	0,65	–1,58	14,09%
Integracja społeczna	4,00	1,00	–0,59	25,00%
Kształtowanie postaw prośrodowiskowych	4,69	0,48	–0,95	10,24%
Kształtowanie świadomości konsumenckiej	4,85	0,38	–2,18	7,75%
Popularyzacja wiedzy o rolnictwie	4,85	0,38	–2,18	7,75%
Wsparcie edukacji szkolnej	4,54	0,78	–1,41	17,10%

Zagrody najlepiej realizują swoje funkcje w odniesieniu do dzieci w wieku szkolnym (średnia 4,92, przy czym aż 92,3% respondentów odpowiedziało „zdecydowanie tak"). Znacznie słabiej oceniono realizację zadań edukacyjnych wobec: młodzieży szkolnej (3,85), dorosłych i seniorów (odpowiednio

3,38 i 3,31), osób z niepełnosprawnościami (2,92) oraz studentów (2,77), co wskazuje na wyraźną lukę w ofercie dla tych grup. Warto zwrócić uwagę na wysoki współczynnik zmienności dla osób z niepełnosprawnościami (V = 35,50%), co sugeruje brak wypracowanych standardów obsługi tej grupy w skali kraju. Z kolei relatywnie wysokie odchylenie standardowe dla młodzieży szkolnej (SD = 1,07) wskazuje na zróżnicowane doświadczenia koordynatorów w angażowaniu starszych grup uczniów (rycina 4, tabela 2).

Rycina 4. Poziom realizacji funkcji edukacyjnych zagród w odniesieniu do różnych grup odbiorców [opracowanie własne na podstawie wyników badań]

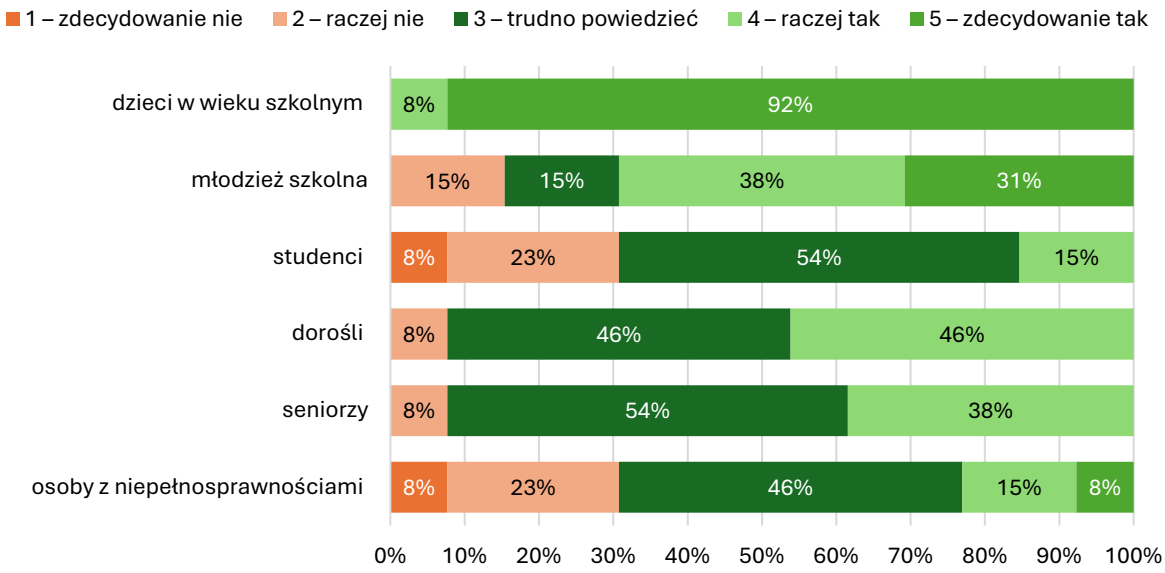


Tabela 2. Ocena stopnia realizacji funkcji edukacyjnych zagród w podziale na grupy odbiorców [opracowanie własne na podstawie wyników badań]

Grupy odbiorców	Średnia arytmetyczna	Odchylenie standardowe	Współczynnik asymetrii	Współczynnik zmienności (%)
Dzieci w wieku szkolnym	4,92	0,28	–3,61	5,63%
Młodzież szkolna	3,85	1,07	–0,62	27,77%
Studenci	2,77	0,83	–0,53	30,05%
Dorośli	3,38	0,65	–0,57	19,22%
Seniorzy	3,31	0,63	–0,31	19,06%
Osoby z niepełnosprawnościami	2,92	1,04	0,18	35,50%

Rozwijane umiejętności i kompetencje odbiorców zagród

Gospodarstwa edukacyjne postrzegane są przede wszystkim jako miejsca rozwoju kompetencji „twardych” – umiejętności praktyczne, wiedza przyrodnicza oraz wiedza o żywności uzyskały identyczne, najwyższe noty (M = 4,85; V = 7,75%). Ponad 80% respondentów uznaje te obszary za kluczowe. Wysoko punktowane są także umiejętności manualne i rzemieślnicze (4,77) oraz znajomość tradycji wsi i dziedzictwa lokalnego (4,69). Najniżej w zestawieniu uplasowały się umiejętności społeczne (M = 4,15), co przy współczynniku zmienności V = 19,27% i asymetrii As = –0,31 sugeruje, że funkcja wychowawcza w zakresie relacji międzyludzkich jest traktowana jako drugorzędna względem edukacji przedmiotowej i manualnej (rycina 5, tabela 3).

Rycina 5. Odsetek odpowiedzi dotyczących umiejętności i kompetencji rozwijanych przez uczestników zajęć [opracowanie własne na podstawie wyników badań]

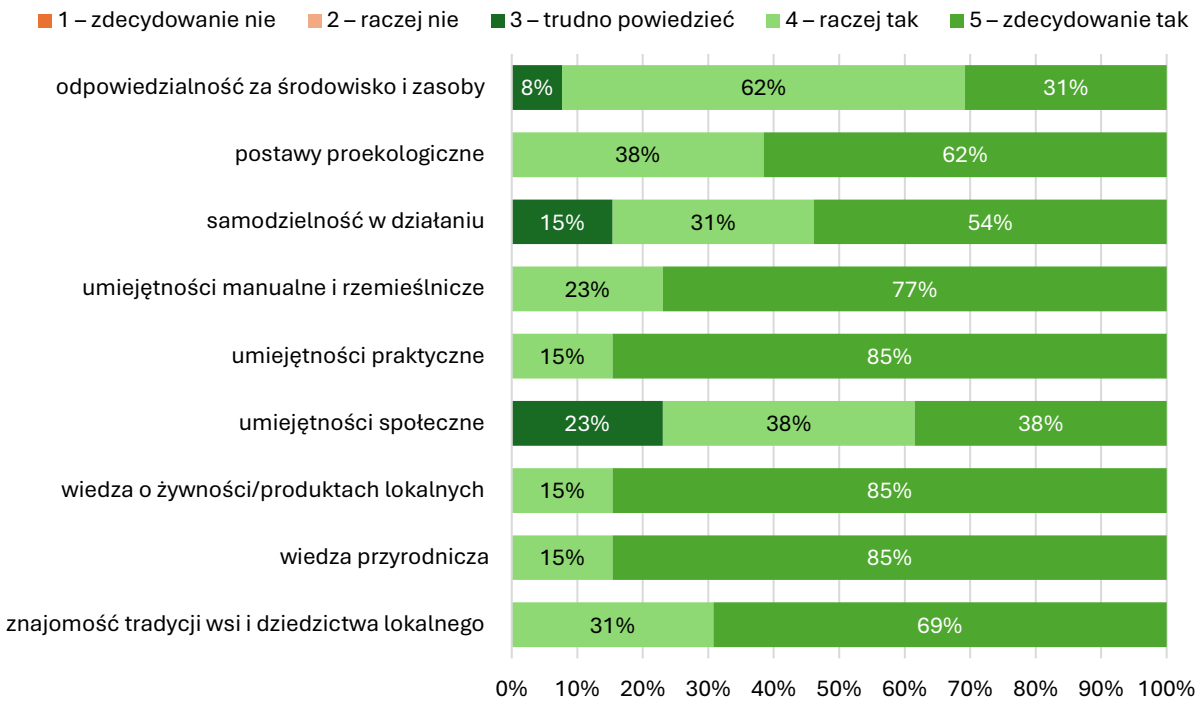


Tabela 3. Umiejętności i kompetencje kształtowane u uczestników zajęć w zagrodach edukacyjnych [opracowanie własne na podstawie wyników badań]

Umiejętności i kompetencje	Średnia arytmetyczna	Odchylenie standardowe	Współczynnik asymetrii	Współczynnik zmienności (%)
Odpowiedzialność za środowisko i zasoby	4,23	0,60	–0,07	14,16%
Postawy proekologiczne	4,62	0,51	–0,54	10,97%
Samodzielność w działaniu	4,38	0,77	–0,85	17,51%
Umiejętności manualne i rzemieślnicze	4,77	0,44	–1,45	9,19%
Umiejętności praktyczne	4,85	0,38	–2,18	7,75%
Umiejętności społeczne	4,15	0,80	–0,31	19,27%
Wiedza o żywności/produktach lokalnych	4,85	0,38	–2,18	7,75%
Wiedza przyrodnicza	4,85	0,38	–2,18	7,75%
Znajomość tradycji wsi i dziedzictwa lokalnego	4,69	0,48	–0,95	10,24%

Sieci współpracy między zagrodami i monitoring

Większość koordynatorów (92,3%) wskazała, że województwo nie posiada formalnej sieci współpracy między zagrodami edukacyjnymi. Jedynym wskazanym wyjątkiem jest Stowarzyszenie Szlak Gospodarstw Edukacyjnych w województwie śląskim. Podobnie sytuacja wygląda w przypadku monitorowania efektów działań – aż 92,3% koordynatorów wskazało, że w województwie nie prowadzi się systematycznej ewaluacji czy ankietyzacji uczestników. Wyjątkiem jest województwo dolnośląskie, w którym wskazano, że są zagrody, które ankietują swoich gości. Zadają pytania na temat oferty edukacyjnej i pobytu w ich zagrodzie. Niektóre zagrody na koniec zajęć pytają uczestników o szczere wrażenia.

Współpraca z instytucjami i organizacjami zewnętrznymi

Kluczowym ogniwem w systemie wsparcia zagród są Ośrodki Doradztwa Rolniczego (ODR), co potwierdza bardzo wysoka średnia (M = 4,77) oraz najniższy w tej grupie współczynnik zmienności (V = 9,19%). Wysoki konsensus dotyczy również współpracy z lokalnymi grupami działania (LGD) (M = 4,15). Najsłabiej układa się współpraca z uczelniami wyższymi (2,77) oraz nadleśnictwami (3,00). Wysokie wskaźniki zmienności również w przypadku uczelni wyższych (V = 30,05%) oraz organizacjami pozarządowymi (V = 31,19%) wskazują na przypadkowy i niezinstytucjonalizowany charakter tych kontaktów w poszczególnych regionach (rycina 6, tabela 4).

Rycina 6. Częstotliwość współpracy zagród edukacyjnych z instytucjami i organizacjami zewnętrznymi [opracowanie własne na podstawie wyników badan]

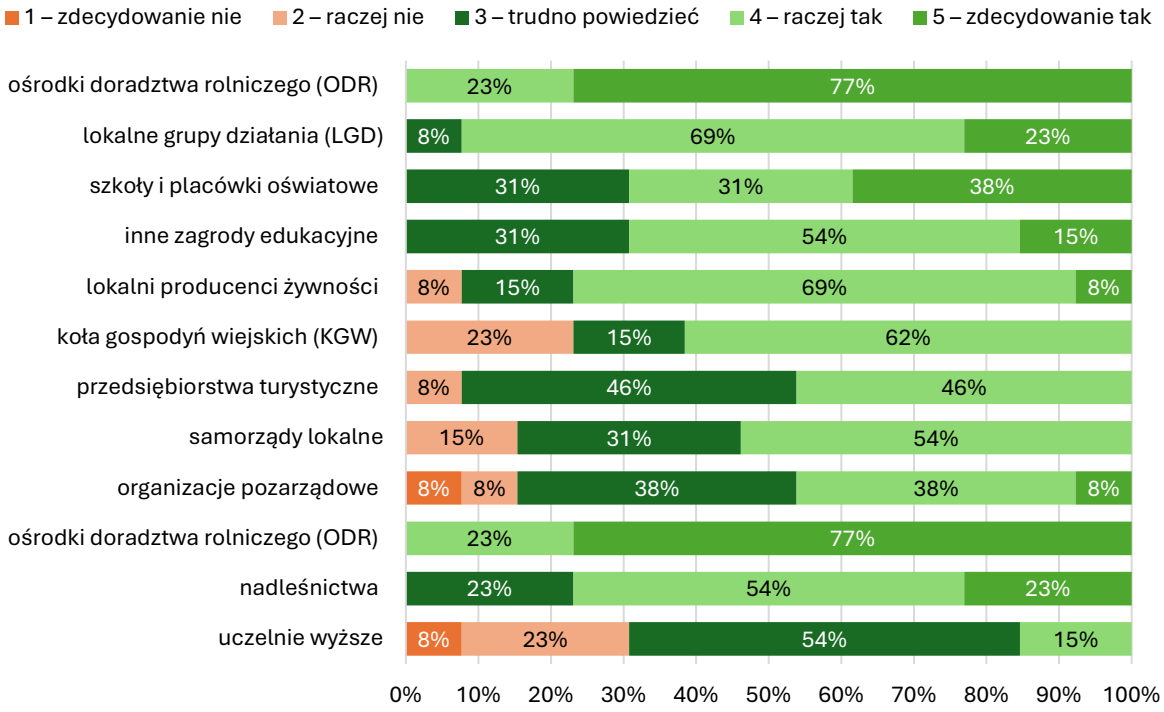


Tabela 4. Intensywność współpracy zagród edukacyjnych z instytucjami i organizacjami zewnętrznymi [opracowanie własne na podstawie wyników badań]

Instytucje i organizacje	Średnia arytmetyczna	Odchylenie standardowe	Współczynnik asymetrii	Współczynnik zmienności (%)
Ośrodki doradztwa rolniczego (ODR)	4,77	0,44	–1,45	9,19%
Lokalne grupy działania (LGD)	4,15	0,55	0,14	13,35%
Szkoły i placówki oświatowe	4,08	0,86	–0,16	21,15%
Inne zagrody edukacyjne	3,85	0,69	0,20	17,91%
Lokalni producenci żywności	3,77	0,73	–1,16	19,23%
Koła gospodyń wiejskich	3,38	0,87	–0,93	25,70%
Przedsiębiorstwa turystyczne	3,38	0,65	–0,57	19,22%
Samorządy lokalne	3,38	0,77	–0,85	22,69%
Organizacje pozarządowe	3,31	1,03	–0,73	31,19%
Ośrodki kultury/ biblioteki/ domy kultury	3,15	0,80	–0,31	25,39%
Nadleśnictwa	3,00	0,71	0,00	23,57%
Uczelnie wyższe	2,77	0,83	–0,53	30,05%

Wyzwania i bariery

Badanie ujawnia silną polaryzację w postrzeganiu barier. Najpoważniejszą przeszkodą w funkcjonowaniu zagród edukacyjnych według koordynatorów są kwestie ekonomiczne, które dominują w strukturze odpowiedzi. Brak stabilnych źródeł finansowania (M = 4,69) jest najsilniej akcentowanym wyzwaniem – aż 76,9% respondentów zaznaczyło odpowiedź „zdecydowanie tak". Dodatkowo 53,8% badanych wskazało na „ograniczone finansowanie działalności edukacyjnej" jako bardzo istotny problem (M = 4,46). Sezonowość zainteresowania ofertą stanowi również realne utrudnienie dla większości badanych. Ponad 61,5% respondentów oceniło to wyzwanie jako „raczej tak". Wiele obszarów, które teoretycznie mogłyby utrudniać prowadzenie zagrody, zostało przez koordynatorów ocenionych jako mało problematyczne lub wręcz nieistotne. Koordynatorzy stanowczo odrzucają tezę o braku zapewnienia bezpieczeństwa (M = 2,15), braku kadry lub kompetencji pedagogicznych (M = 2,46), problemach logistycznych (M = 2,62) czy słabej frekwencji uczestników (M = 2,77). Niepokojący jest wysoki współczynnik zmienności dla rozpoznawalności idei (V = 40,27%) oraz barier bezpieczeństwa (V = 41,73%), co oznacza, że w niektórych województwach problemy te są marginalne, podczas gdy w innych mogą stanowić istotną przeszkodę rozwojową. Zagrody edukacyjne czują się przygotowane merytorycznie i infrastrukturalnie, a ich głównym zmartwieniem jest brak systemowej stabilizacji finansowej oraz nierównomierne rozłożenie pracy w ciągu roku (rycina 7, tabela 5).

Rycina 7. Rozkład opinii na temat barier ograniczających rozwój zagród edukacyjnych
[opracowanie własne na podstawie wyników badań]

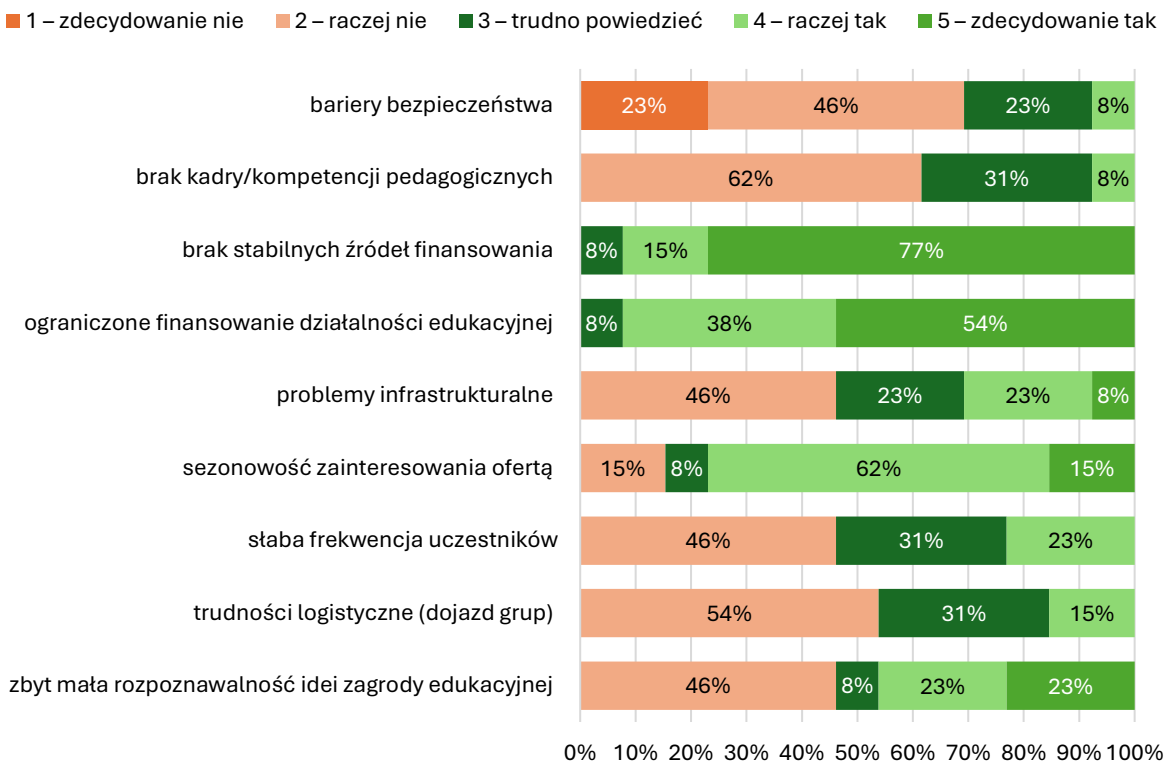


Tabela 5. Ocena barier ograniczających działalność edukacyjną w zagrodach edukacyjnych [opracowanie własne na podstawie wyników badań]

Bariery	Średnia arytmetyczna	Odchylenie standardowe	Współczynnik asymetrii	Współczynnik zmienności (%)
Bariery bezpieczeństwa	2,15	0,90	0,47	41,73%
Brak kadry/ kompetencji pedagogicznych	2,46	0,66	1,19	26,82%
Brak stabilnych źródeł finansowania	4,69	0,63	–2,05	13,44%
Ograniczone finansowanie działalności edukacyjnej	4,46	0,66	–0,86	14,80%
Problemy infrastrukturalne	2,92	1,04	0,70	35,50%
Sezonowość zainteresowania ofertą	3,77	0,93	-0,95	24,59%
Słaba frekwencja uczestników	2,77	0,83	0,50	30,05%
Trudności logistyczne (dojazd grup)	2,62	0,77	0,85	29,36%
Zbyt mała rozpoznawalność idei zagrody edukacyjnej	3,23	1,30	0,30	40,27%

Potrzeby rozwojowe i postulaty działań wspierających rozwój OSZE

Najważniejsze potrzeby to stabilne finansowanie (M = 4,77; 76,9% odpowiedzi „zdecydowanie tak") oraz dostęp do programów grantowych (M = 4,69; 69,2% odpowiedzi „zdecydowanie tak"). Obie potrzeby cechują się najniższymi współczynnikami zmienności (poniżej 11%), co świadczy o powszechności tych potrzeb. Respondenci wskazują również na potrzebę wsparcia w zakresie narzędzi cyfrowych, promocji oraz włączenia zagród do systemu edukacji formalnej. Największe kontrowersje budzi postulat włączenia zagród do systemu edukacji formalnej; mimo wysokiej średniej (M = 4,00), charakteryzuje się on najwyższym odchyleniem standardowym (SD = 1,47) oraz najwyższym współczynnikiem zmienności (V = 36,80%). Wynika to z faktu, że część respondentów (15,4%) zdecydowanie odrzuca tę potrzebę, upatrując w niej prawdopodobnie zagrożenie nadmierną biurokracją (rycina 8, tabela 6).

Rycina 8. Kluczowe potrzeby rozwojowe zagród edukacyjnych w perspektywie najbliższych lat [opracowanie własne na podstawie wyników badań]

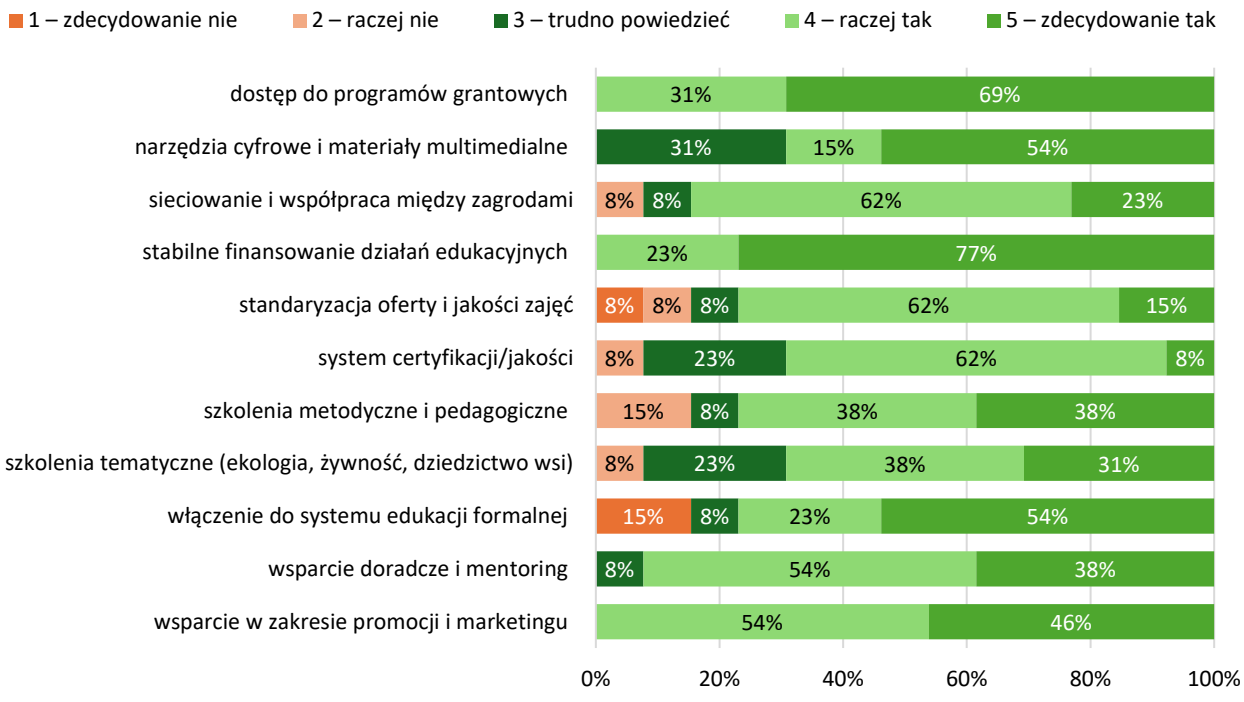


Tabela 6. Ocena potrzeb rozwojowych zagród edukacyjnych w perspektywie najbliższych lat [opracowanie własne na podstawie wyników badań]

Potrzeby	Średnia arytmetyczna	Odchylenie standardowe	Współczynnik asymetrii	Współczynnik zmienności (%)
Dostęp do programów grantowych	4,69	0,48	–0,95	10,24%
Narzędzia cyfrowe i materiały multimedialne	4,23	0,93	–0,53	21,91%
Sieciowanie i współpraca między zagrodami	4,00	0,82	–1,09	20,41%
Stabilne finansowanie działań edukacyjnych	4,77	0,44	–1,45	9,19%
Standaryzacja oferty i jakości zajęć	3,69	1,11	–1,44	30,05%
System certyfikacji/ jakości	3,69	0,75	–0,78	20,34%
Szkolenia metodyczne i pedagogiczne	4,00	1,08	–0,94	27,00%
Szkolenia tematyczne (ekologia, żywność, dziedzictwo wsi)	3,92	0,95	–0,51	24,32%
Włączenie do systemu edukacji formalnej	4,00	1,47	–1,48	36,80%
Wsparcie doradcze i mentoring	4,31	0,63	–0,31	14,63%
Wsparcie w zakresie promocji i marketingu	4,46	0,52	0,18	11,63%

Tabela 7 stanowi syntezę postulatów jakościowych zgłoszonych przez koordynatorów wojewódzkich OSZE, pogrupowanych w pięć kluczowych obszarów strategicznych. Dominującym wątkiem jest dążenie do instytucjonalizacji zagród poprzez ścisłą współpracę z resortem edukacji oraz postulat legislacyjnego uproszczenia zasad prowadzenia działalności edukacyjnej na wzór rozwiązań funkcjonujących w agroturystyce. Ważna jest także silniejsza promocja ogólnopolskiej idei zagród edukacyjnych w mediach.

Tabela 7. Zestawienie postulatów działań wspierających rozwój OSZE kierowanych do Zarządu Krajowego (według koordynatorów wojewódzkich) [opracowanie własne na podstawie wyników badań]

Kategoria działań	Konkretne postulaty i rozwiązania
Finanse i uregulowania prawne	zapewnienie stabilnego i stałego wsparcia finansowego dla działalności edukacyjnej. uproszczenie przepisów na wzór agroturystyki lub Rolniczego Handlu detalicznego (ulgi podatkowe, ograniczona dokumentacja). umożliwienie szerokiego aplikowania o środki z LGD na start i rozwój zagród.
Współpraca z systemem oświaty	nawiązanie systemowej współpracy z Ministerstwem Edukacji Narodowej, kuratoriami i ośrodkami doskonalenia nauczyciel. włączenie wizyt w zagrodach do programu nauczania jako obowiązkowych lekcji w terenie. dofinansowanie wycieczek szkolnych dedykowanych edukacji w gospodarstwach.
Promocja i budowanie świadomości	ogólnopolska kampania promocyjna w mediach (TV, filmy promocyjne). wydanie broszur i przewodników dla nauczycieli pokazujących wartość edukacyjną zagród. zwiększenie rozpoznawalności idei zagrody edukacyjnej wśród dyrektorów szkół.
Wsparcie merytoryczne i jakość	przygotowanie gotowych pakietów scenariuszy zajęć dla różnych grup wiekowych. organizacja kursów kwalifikacyjnych, szkoleń praktycznych i wyjazdów studyjnych dla właścicieli. system certyfikacji i wydawania zaświadczeń podnoszących prestiż zagród.
Integracja środowiska	budowanie i wspieranie sieci współpracy (sieciowanie) pomiędzy poszczególnymi zagrodami.

DYSKUSJA

Przeprowadzone badania pozwoliły na kompleksową ocenę funkcjonowania Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych oraz weryfikację przyjętych założeń badawczych. Głównym celem badań była ocena dynamiki rozwoju oraz ról dydaktycznych zagród jako narzędzia edukacji pozaformalnej realizowanej w gospodarstwach rolnych. Wyniki sondażu diagnostycznego przeprowadzonego wśród

koordynatorów wojewódzkich dostarczyły argumentów do pozytywnej weryfikacji wszystkich hipotez badawczych. Należy podkreślić, że OSZE, funkcjonująca jako zastrzeżony znak towarowy zarządzany przez Centrum Doradztwa Rolniczego, stała się w Polsce liderem w sferze edukacji bazującej na zasobach rolnictwa [Bogusz i Kmita-Dziasek 2015, Wysiński 2023].

Analiza dynamiki liczebności sieci potwierdziła stałą tendencję wzrostową OSZE, która w lutym 2026 r. osiągnęła poziom 382 podmiotów. Wzrost ten wpisuje się w obserwowany od lat trend profesjonalizacji usług edukacyjnych na wsi [Kmita-Dziasek 2015a, Wnęk 2016, Krzyżanowska 2016]. Polski model OSZE wpisuje się w szerszy trend europejski, choć wykazuje specyficzne cechy rozwojowe na tle inicjatyw zagranicznych. Podczas gdy początki polskiej sieci datuje się na 2011 r., tradycje działalności edukacyjnej dotyczącej środowiska wiejskiego sięgają początków XX w. Pierwsze przedsięwzięcie tego typu powstały w USA i krajach skandynawskich (Dania, Norwegia i Szwecja), które wprowadziły w życie idee amerykańskiego ruchu zapoczątkowane przez Klub 4H (head, health, heart, hand – głowa, zdrowie, serce, ręka – koncepcja „uczenia się przez działanie"). W porównaniu z krajami o ukształtowanej od dekad pozycji, takimi jak Francja, gdzie sieć „Bienvenue a la Ferme" skupia około 1400 obiektów, czy Włochy z liczbą 1402 akredytowanych farm dydaktycznych. Polska sieć jest mniejsza, lecz charakteryzuje się dynamiką wzrostu w ostatnich latach [Sikorska-Wolak i in. 2018].

Badania potwierdziły występowanie znacznego zróżnicowania regionalnego w rozmieszczeniu obiektów, co jest zjawiskiem akcentowanym w literaturze przedmiotu już od początku funkcjonowania sieci [Sikorska-Wolak i Zawadka 2018, Kmita-Dziasek i Bogusz 2017]. Można przypuszczać, że wynika ono z nakładania się wielu czynników. Zróżnicowanie to może wiązać się ze strukturą agrarną regionów, ponieważ zagrody edukacyjne częściej rozwijają się na obszarach z dominacją małych gospodarstw rodzinnych, dla których działalność edukacyjna stanowi formę poszukiwania dodatkowych źródeł dochodu i nowych form aktywności pozarolniczej. Według badań CDR z 2022 r. blisko 90% zagród edukacyjnych funkcjonowało w czynnych gospodarstwach rolnych o powierzchni przekraczającej 1 ha, natomiast około 10% stanowiły mniejsze gospodarstwa prowadzące działalność rolniczą na własne potrzeby lub specjalistyczną produkcję rolną (ogrodnictwo, pszczelarstwo) [Kmita-Dziasek 2022a]. Istotne znaczenie ma również rozwój agroturystyki, będącej podstawą funkcjonowania większości zagród edukacyjnych. W 2015 r. usługi noclegowe świadczyło blisko 80% zagród, a w 2022 r. 71% obiektów funkcjonowało jako gospodarstwa agroturystyczne. Wskazuje to, że działalność edukacyjna najczęściej stanowi rozszerzenie istniejącej oferty turystyki wiejskiej, wykorzystując zgromadzony kapitał infrastrukturalny i organizacyjny. Jednocześnie malejący udział gospodarstw agroturystycznych może świadczyć o stopniowym poszerzaniu funkcji zagród edukacyjnych o działalność przetwórczą, terapeutyczną i opiekuńczą [Kmita-Dziasek 2015a, Kmita-Dziasek 2022a]. Dodatkowo rozwojowi sieci sprzyja bliskość dużych ośrodków miejskich zapewniających dostęp do głównych odbiorców usług edukacyjnych jakimi są zorganizowane grupy dzieci z przedszkoli i szkół podstawowych oraz aktywność Ośrodków Doradztwa Rolniczego, przy czym ponad 54% właścicieli wskazuje wsparcie doradców jako bezpośredni impuls do podjęcia działalności edukacyjnej [Sikorska-Wolak i in. 2018].

Weryfikacja H1 w zakresie ról dydaktycznych wykazała, że gospodarstwa rolne stanowią kluczowe ogniwo łączące społeczeństwo z rolnictwem. Koordynatorzy niemal jednomyślnie uznali za priorytety popularyzację wiedzy o rolnictwie oraz kształtowanie świadomości konsumenckiej (w obu przypadkach M = 4,85). Potwierdza to misję społeczną sieci polegającą na przeciwdziałaniu „nieuwadze społecznej" wobec rolnictwa i budowaniu krótkich łańcuchów żywnościowych [Marcysiak i in. 2023], które nie dotyczy tylko Polski – badania brytyjskiej organizacji LEAF wykazały drastycznie niski poziom wiedzy o rolnictwie wśród dorosłych Brytyjczyków [Kmita-Dziasek 2022b]. Wdrażanie tej misji sprzyja odbudowie bezpośredniej relacji rolnik – konsument, co jest kluczowe w dobie zaniku wiedzy o pochodzeniu żywności [Barwicka 2018, Marcysiak i in. 2023] i jest cechą wspólną dla wielu krajów europejskich, m.in. Francji, gdzie celem jest wychowanie do świadomej konsumpcji poprzez zrozumienie związków między

produkcją a ochroną środowiska [Chojnacka-Ożga i Ożga 2007]. Kontakt z autentycznym środowiskiem pracy rolnika jest oceniany jako skuteczniejszy niż edukacja szkolna, szczególnie w zakresie nauk przyrodniczych [Wierzbicka i Ortell 2013, Smeds i in. 2015, Sikorska-Wolak i in. 2018], co wykazuje zbieżność z międzynarodową koncepcją „outdoor education", promującą uczenie się poza murami szkoły [Mańkowska 2009]. Edukacja w zagrodzie opiera się na procesie uczenia się wszystkimi zmysłami, co sprzyja bardziej holistycznemu rozwojowi młodego człowieka [Kmita-Dziasek 2011, Sikorska-Wolak i Zawadka 2018]. Model ten jest z powodzeniem realizowany w Szwajcarii (sieć gospodarstw eduakcyjnych Schule auf dem Bauernhof), gdzie kładzie się szczególny nacisk na samodzielną pracę uczniów i zdobywanie osobistych doświadczeń poprzez tzw. ścieżki tematyczne (np. warzyw, mleka, miodu) [Kmita-Dziasek 2022b].

Badania własne ujawniły jednak, że oferta zagród jest silnie sprofilowana pod dzieci szkolne, przy jednoczesnym deficycie usług dla studentów [Gadomska i Sieczko 2025] i osób z niepełnosprawnościami. Wysoki współczynnik zmienności opinii w tym obszarze sugeruje brak systemowych standardów obsługi grup o specjalnych potrzebach. Mimo to, literatura wskazuje na ogromny, niewykorzystany potencjał zagród w zakresie inkluzji społecznej i terapii zajęciowej [Jabłoński 2016, Marcysiak 2024] oraz wdrażania koncepcji „green care" (rolnictwa społecznego, opiekuńczego, dla zdrowia), wykorzystującej zasoby gospodarstwa do wspierania zdrowia psychicznego i fizycznego [Steigena i in. 2016, Berget i Braastad 2008, Hassink i Van Dijk 2006]. Przykładem zaawansowanego rozwiązania jest szwajcarskie gospodarstwo „Alle voliere" w Gudo, które łączy funkcje edukacyjne z socjalnymi, zatrudniając osoby z niepełnosprawnością intelektualną [Kmita-Dziasek 2022b]. Ponadto identyfikacja wyzwań edukacyjnych mieszkańców wsi wskazuje na potrzebę silniejszego wsparcia doradczego i społecznego uczenia się [Dobrzyniak 2025].

Badania potwierdziły, że funkcja edukacyjna jest istotnym elementem strategii wielofunkcyjnego rozwoju gospodarstw rolnych. Działalność ta pozwala na efektywną dywersyfikację przychodów przy wykorzystaniu zasobów własnych gospodarstwa [Di Iacovo i O'Connor 2009, Kmita-Dziasek 2014]. Wyniki badań własnych wspierają tezę, że rolnik-edukator staje się nowym, ważnym aktorem społecznym na wsi, przekazującym wiedzę o żywności i kompetencje praktyczne [Kmita-Dziasek 2014]. Zagrody edukacyjne wykraczają poza tradycyjną produkcję żywności, generując nowe role zawodowe animatorów i edukatorów, co wzmacnia kapitał społeczny wsi [Marcysiak 2024]. Podobny model funkcjonuje we Francji, gdzie zajęcia w gospodarstwie dydaktycznym łączą informacje z zakresu nauk przyrodniczych, społecznych i kultury, a rolnik pełni rolę łącznika między środowiskiem wiejskim a szkołą [Sikorska-Wolak i in. 2018].

Najistotniejsze wnioski płyną z weryfikacji H2, dotyczącej barier rozwojowych. Potwierdzono, że największą przeszkodą są czynniki ekonomiczno-legislacyjne o charakterze zewnętrznym, w tym brak stabilnego finansowania (M = 4,69), ograniczone finansowanie działalności edukacyjnej (M = 4,46) oraz sezonowość (M = 3,77). Jednocześnie respondenci stanowczo odrzucili tezę o niedoborach merytorycznych rolników (brak kadry i kompetencji pedagogicznych, M = 2,46) czy brakach w zapewnianiu bezpieczeństwa (M = 2,15). Kwestie bezpieczeństwa są w sieci OSZE monitorowane poprzez system rekomendacji i wypracowane standardy jakości [Aspekty bezpieczeństwa... 2024, Kmita-Dziasek 2015b]. Jest to o tyle istotne, że przepisy oświatowe nie nakładają na rolników wymogu posiadania formalnych kwalifikacji pedagogicznych, o ile nie prowadzą oni wypoczynku zorganizowanego. Postulat koordynatorów dotyczący uproszczenia przepisów na wzór agroturystyki wskazuje na pilną potrzebę legislacyjnego usankcjonowania tej formy działalności [Raciborski 2015]. Wskazano na potrzebę silniejszej integracji OSZE z systemem oświaty formalnej [Sajdera 2020]. Przykładem kroku w tym kierunku jest umieszczenie zagród na liście punktów w programie „Poznaj Polskę", co ułatwia szkołom finansowanie wycieczek [Sajdera 2022]. Wzorem do naśladowania może być model szwajcarski (Schule auf dem Bauernhof), w którym

wizyty w gospodarstwach są bezpośrednio zintegrowane z programem nauczania, a działalność jest koordynowana przez krajowe fora zrzeszające rolników i nauczycieli [Sikorska-Wolak i in. 2018].

Mimo wysokiego poziomu przygotowania rolników, dalszy rozwój sieci wymaga systemowego wsparcia finansowego oraz zinstytucjonalizowania monitoringu jakości świadczonych usług oraz lepszego dostosowania programów do potrzeb kształcenia osób dorosłych [Sammel 2017]. Budowanie trwałych relacji z systemem edukacji formalnej, na wzór współpracy ministerstw rolnictwa i edukacji w Austrii czy Włoszech, wydaje się niezbędnym kierunkiem ewolucji polskiej sieci OSZE [Kmita-Dziasek 2022b].

PODSUMOWANIE

Gospodarstwa rolne zrzeszone w Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych stają się profesjonalnymi centrami edukacji pozaformalnej. Ich rozwój jest dowodem na rosnącą popularność dywersyfikacji działalności rolniczej, gdzie edukacja traktowana jest jako dodatkowy produkt gospodarstwa, pozwalający na lepsze wykorzystanie jego zasobów przyrodniczych i kulturowych. Mimo ogólnego trendu wzrostowego rozwój ten nie jest równomierny w skali kraju, co wskazuje na regionalne zróżnicowanie potencjału do wdrażania takich inicjatyw.

Głównym sukcesem funkcjonowania zagród jest skuteczna popularyzacja wiedzy o rolnictwie oraz budowanie świadomości konsumenckiej. Koordynatorzy są niemal jednomyślni co do tego, że gospodarstwa te najlepiej kształtują szacunek do pracy rolnika oraz postawy prośrodowiskowe. Edukacja w utentycznym środowisku rolniczym pozwala na rozwój tzw. kompetencji twardych – praktycznych umiejętności manualnych oraz wiedzy przyrodniczej, które są trudne do zdobycia w warunkach szkolnych.

Największym wyzwaniem dla rolników prowadzących działalność edukacyjną nie są braki w infrastrukturze czy kompetencjach pedagogicznych (które oceniane są wysoko), lecz niestabilność ekonomiczna. Główne bariery to brak stałego finansowania oraz sezonowość zainteresowania ofertą, co utrudnia planowanie długofalowego rozwoju gospodarstw. Dodatkowo brak formalnych sieci współpracy między samymi gospodarstwami ogranicza ich siłę przebicia i możliwości wspólnej promocji.

Kluczowe wnioski i rekomendacje, jakie można wysnuć na podstawie analizy danych to:

- Zagrody edukacyjne wykazują najwyższą skuteczność w pracy z dziećmi, jednak istnieje konieczność dostosowania programów do potrzeb młodzieży, studentów, osób dorosłych oraz osób z niepełnosprawnościami, aby w pełni wykorzystać ich potencjał dydaktyczny.
- Konieczne jest systemowe włączenie zajęć w gospodarstwach do programów nauczania, co pozwoliłoby na bardziej masowe i regularne korzystanie z tej formy edukacji przez szkoły.
- Aby wspierać rozwój tej formy rolnictwa społecznego, niezbędne jest uproszczenie przepisów prawnych i podatkowych, wzorowane na rozwiązaniach dotyczących agroturystyki.
- Budowanie trwałych relacji między rolnikami a uczelniami wyższymi i sektorem nauki mogłoby przyczynić się do lepszej standaryzacji i profesjonalizacji usług edukacyjnych na wsi.

Ograniczenia badań

Prezentowane badanie, mimo kompleksowego ujęcia dynamiki rozwoju OSZE, posiada pewne ograniczenia metodologiczne, które należy wziąć pod uwagę przy interpretacji wyników. Po pierwsze, analiza opiera się głównie na perspektywie wojewódzkich koordynatorów OSZE, co stanowi specyficzne, instytucjonalne spojrzenie na funkcjonowanie sieci. Choć ich wiedza jest przekrojowa, brakuje w badaniu bezpośredniego głosu właścicieli zagród oraz przede wszystkim uczestników zajęć (uczniów, nauczycieli, rodziców), co pozwoliłoby na zobiektywizowanie oceny skuteczności dydaktycznej. Po

drugie, choć badaniem objęto koordynatorów reprezentujących 69% województw, to stopa zwrotu kwestionariuszy na poziomie 57% przy małej liczebności populacji (N = 23) stanowi ograniczenie dla pełnej generalizacji wyników na całą strukturę OSZE.

Perspektywy dalszych badań

Zidentyfikowane w toku analizy bariery oraz luki w ofercie zagród edukacyjnych wyznaczają istotne kierunki dla przyszłych eksploracji naukowych. W szczególności zasadne wydaje się pogłębienie badań nad dostosowaniem oferty do potrzeb seniorów, osób z niepełnosprawnościami oraz młodzieży szkolnej, a także identyfikacja czynników warunkujących nierównomierne rozmieszczenie zagród edukacyjnych w Polsce. Istotnym obszarem dalszych analiz pozostaje również ocena wpływu modeli wsparcia finansowego, rozwiązań legislacyjnych oraz współpracy sieciowej na rozwój i profesjonalizację działalności edukacyjnej na obszarach wiejskich. W realizacji tych celów wskazane jest wykorzystanie badań porównawczych, studiów przypadków oraz badań jakościowych z udziałem właścicieli zagród i odbiorców oferty.

PIŚMIENNICTWO

Aspekty bezpieczeństwa w Zagrodach Edukacyjnych, 2024. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków.

Barwicka A.M., 2018. Świadomość konsumencka młodzieży. St. Eduk. 50, 413–423. https://doi.org/10.14746/SE.2018.50.27

Berget B., Braastad B.O., 2008. Kunnskapsstatus og forskningsbehov for Inn på tunet. [Knownledge status and research needs for 'Into the Farmyard']. Institutt for husdyr-og akvakulturvitenskap, Universitetet for miljø-og biovitenskap, 2008.

Bogusz M., Kania J., 2016. Zagrody edukacyjne jako przykład innowacyjnej przedsiębiorczości. W: A. Jęczmyk, M. Maćkowiak, J. Uglis (red.), Turystyka wiejska. Zagadnienia ekonomiczne i marketingowe. Wyd. Wieś Jutra, Poznań, 116–123.

Bogusz M., Kmita-Dziasek E., 2015. Zagrody edukacyjne jako przykład innowacyjnej przedsiębiorczości na obszarach wiejskich. W: W. Kamińska (red.), Innowacyjność w turystyce wiejskiej a nowe możliwości zatrudnienia na obszarach wiejskich. Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN, Warszawa, 155–166.

Chojnacka-Ożga L., Ożga W., 2007. Gospodarstwa dydaktyczne jako jedna z form działalności agroturystycznej na przykładzie włoskiej prowincji Mantui. W: I. Sikorska-Wolak (red.), Turystyka w rozwoju obszarów wiejskiej. Wyd. SGGW, Warszawa, 190.

Czapiewska G., 2018. Innowacyjność i aktywność społeczna w rozwoju obszarów wiejskich Pomorza – przykład zagród edukacyjnych. Acta Univ. Lodz. Folia Geogr. Soc.-Oecon. 31(1), 39–58. https://doi.org/10.18778/1508-1117.31.03

Di Iacovo F., O'Connor D., 2009. Supporting policies for social farming in Europe: Progressing multifunctionality in responsive rural areas. ARSIA, Firenze.

Dobrzyniak M., 2025. Wyzwania edukacyjne – wybrane preferencje mieszkańców obszarów wiejskich. Rocz. Andrag. 32, 119–134. https://doi.org/10.12775/RA.2025.007

Gadomska A., Sieczko A., 2025. Postrzeganie innowacyjnych produktów turystyki wiejskiej przez studentów uczelni warszawskich. Tur. Roz. Reg. 23, 37–46. https://doi.org/10.22630/TIRR.2025.23.4

Hassink J., Van Dijk M., 2006. Farming for health across Europe. Comparison between countries, and recommendations for a research and policy agenda. W: J. Hassink, M. Van Dijk (red.), Farming for health: Green-care farming across Europe and the United States of America. Springer, Dordrecht, 347–357.

Jabłoński M., 2016. Zapomniana rzeczywistość. Rzecz o (nie)świadomej inkluzji społecznej osób z niepełnosprawnością intelektualną w Państwowych Gospodarstwach Rolnych. Parezja 2(6), 131–147.

Kmita-Dziasek E., 2011. Agroturystyczne gospodarstwa edukacyjne – idee i dobre przykłady. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków.

Kmita-Dziasek E., 2014. Gospodarstwa edukacyjne w koncepcji rolnictwa zaangażowanego społecznie. Śląski Ośrodek Doradztwa Rolniczego, Częstochowa.

Kmita-Dziasek E., Bogusz M., 2017. Networking wiejskiej przedsiębiorczości na przykładzie Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych. W: J. Wojciechowska (red.), Sieci współpracy w turystyce wiejskiej. Stan obecny i nowe wyzwania. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków–Łódź, 115–133.

Kmita-Dziasek E., Kieljan K., Klimowska-Bobula E., Puchała J., Przybyszewska J., 2011. Wprowadzenie do zagadnień edukacji w gospodarstwie rolnym. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków.

Kmita-Dziasek E., 2015a. Koncepcja i funkcjonowanie Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków, 15.

Kmita-Dziasek, 2015b. Wprowadzenie do zagadnień edukacji w gospodarstwie rolnym. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków.

Kmita-Dziasek E., 2022a. Koncepcja i funkcjonowanie Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków.

Kmita-Dziasek E., 2022b. Wprowadzenie do zagadnień edukacji w gospodarstwie rolnym. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków.

Krzyżanowska K., 2016. Koncepcja i efekty działania Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych. W: A. Grynia (red.), Czynniki ograniczające oraz poprawiające konkurencyjność nowych krajów członkowskich Unii Europejskiej. Wydział Ekonomiczno-Informatyczny w Wilnie, Uniwersytet w Białymstoku, Wilno, 304–313.

Mańkowska A., 2009. Przemiany programu nauczania obowiązkowego w Norwegii. Prz. Pedag., 83.

Marcysiak T., 2024. Zagrody edukacyjne a nowe role społeczne na obszarach wiejskich. Wieś Rol. 202(1), 115–139. https://doi.org/10.53098/wir.2024.1.202/05

Marcysiak T., Kamiński R., Kmita-Dziasek E., Hapka A., 2023. Gospodarstwa edukacyjne w systemie rolnictwa społecznego. Dom Organizatora, Toruń.

Mitura T., Buczek-Kowalik M., 2016. Zagroda edukacyjna jako nowy produkt turystyczny (przykład województwa podkarpackiego). Ann. UMCS sec. B 71(2). http://dx.doi.org/10.17951/b.2016.71.2.117

Nazar K., Krzysztof O., 2024. Zagroda edukacyjna jako markowy produkt turystyczny na obszarach wiejskich. Czerkasy, 89.

Raciborski J., 2022. Prawne uwarunkowania prowadzenia działalności edukacyjnej w gospodarstwach rolnych. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków.

Sajdera J., 2020. Inicjatywy przedsiębiorcze na rzecz edukacji z perspektywy działalności Ogólnopolskiej Sieci Zagród Edukacyjnych. Przedsięb. Eduk. 16(2), 214–224. https://doi.org/10.24917/20833296.162.17

Sajdera J., 2022. Edukacja w zagrodach edukacyjnych w kontekście dokumentów programowych wychowania przedszkolnego i kształcenia ogólnego. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków.

Sammel A., 2017. Zagrody edukacyjne jako miejsce kształcenia osób dorosłych. Tur. Rozw. Reg. 7, 81–90. https://doi.org/10.22630/TIRR.2017.7.8

Sikorska-Wolak I., Krzyżanowska K., Zawadka J. 2018. Edukacja w turystyce wiejskiej. Wyd. SGGW, Warszawa, 98, 113.

Sikorska-Wolak I., Zawadka J., 2018. Edukacyjne funkcje gospodarstw rolnych. Econ. Reg. Stud. 9(2), 79–80, 98–112.

Smeds P., Jeronen E., Kurppa S., 2015. Farm education and the value of learning in an authentic learning environment. Int. J. Environ. Sci. Educ. 10(3), 381–404. https://doi.org/10.12973/ijese.2015.251a

Steigena A.M., Kogstada R., Hummelvollb J.K., 2016. Green Care services in the Nordic countries: an integrative literature review. Europ. J. Soc. Work 19(5), 693. https://doi.org/10.1080/13691457.2015.1082983

Wierzbicka A., Ortell P., 2013. Efektywność różnych metod edukacji przyrodniczo-leśnej w pokazowej zagrodzie zwierząt w Gołuchowie. For.estry Letters 105, 103–111.

Wiśniewska A., 2023. Dziedzictwo kulturowe w programach edukacyjnych pomorskich gospodarstw agroturystycznych należących do Sieci Zagród Edukacyjnych. Roz. Reg. Pol. Reg. (67), 43–68. https://doi.org/10.14746/rrpr.2023.67s.05

Wnęk M., 2016. Ekologia i ochrona środowiska w programach Zagród Edukacyjnych. Centrum Doradztwa Rolniczego Oddział w Krakowie, Kraków.

Wojciechowska-Solis J., Kobyłka A., Ciesielski M., Korcz N., 2024. Potencjał turystyki przyrodniczej w Polsce. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.

Wysiński P., 2023. Zagroda Edukacyjna pomysłem na biznes – aspekty formalno-prawne prowadzenia działalności edukacyjnej w gospodarstwie rolnym. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Krakowie, Kraków.

Zawadka J., Gabrjonczyk P., Krzyzanowska K., 2023. Charakterystyka oferty polskich zagród edukacyjnych. Annals PAAAE 25(3). https://doi.org/10.22004/ag.econ.340051

Abstract: Non-formal education conducted in educational farms on rural areas complements the formal education system by utilizing authentic resources of agricultural farms for multisensory learning. The Nationwide Network of Educational Farms, established in 2011 by the Agricultural Advisory Centre, currently comprises 382 entities and demonstrates dynamic growth (+13.5% in 2025). The educational offer (1–8 hours) addresses priorities: plant and animal production, processing, ecology, and cultural heritage through activating methods (e.g., "from grain to bread"). Own research (desk research of 382 farms and survey among OSZE provincial coordinators, 57% response rate) confirmed dominant objectives: popularization of agricultural knowledge and development of

consumer awareness, high effectiveness towards school children, and deficits in the offer for seniors and people with disabilities. The main barriers are economic-legislative factors (lack of stable funding), while internal resources prove sufficient. Research hypotheses were positively verified: H1 – restoring the society-agriculture relationship; H2 – dominance of external barriers. Key recommendations include simplification of legal regulations, integration with the education system, and development of networking and promotion.

Keywords: educational farms, OSZE, non-formal education, social agriculture

Źródło finansowania: Katedra Turystyki i Rekreacji, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, SUBB.WRT.19.032.

Otrzymano/Received: 24.04.2026
Zaakceptowano/Accepted: 3.08.2026
Online first: 31.09.2026
Opublikowano/Published: 9.10.2026

Cytowanie: Kobyłka A., Walczak J., 2026. Zagrody edukacyjne jako narzędzie edukacji realizowanej w gospodarstwach rolnych. Agron. Sci. 81(3), 29–45. https://doi.org/10.24326/as.2026.5699

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI(3) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5681

ANNA MAJCHROWSKA-SAFARYAN[1], MAGDA NESTEROWICZ[2]

Seasonal dominance of *Metarhizium* spp. in soils of cereal monocultures in Eastern Poland

Abstract. The aim of this study was to determine the generic composition and the intensity of entomopathogenic fungi (EPF) occurrence in soils cultivated in cereal monocultures in eastern Poland. Soil samples were collected from an individual farm located in the northern part of the Lublin Voivodeship, in the Janów Podlaski commune, in spring and autumn 2024 and spring 2025. A composite sample weighing about 1 kg of soil was created from soil samples taken from fifteen locations at each study site, including arable land where cereals were farmed in monoculture, forest soil, and former agricultural wasteland for comparison.
The entomopathogenic fungi from individual soil samples were isolated using the selective medium method developed by Strasser et al. At each study date, pHKCl in the collected soil samples was determined potentiometrically. The presence of EPFs from the genera *Beauveria*, *Metarhizium*, and *Cordyceps* was demonstrated in the studied soils. Their occurrence intensity depended on the cultivated plant species and the date of soil sampling. Evaluating the mean CFU density of the studied EPF genera, only for soils cultivated in cereal monoculture, demonstrated that *Metarhizium* spp. exhibited the greatest resistance to monoculture cultivation. This indicates that EPF from this genus are highly resistant to agronomic treatments, including mineral fertilization and pesticide protection.

Keywords: cereal monocultures, eastern Poland, entomopathogenic fungi in the soils

INTRODUCTION

The intensive development of agriculture in Europe and monoculture cultivation has resulted in all European Union (EU) member states observing and experiencing negative consequences such as depletion of natural resources, increased erosion and loss of natural soil fertility, increased importance of new diseases and pests, water shortages, limited biomass production and a decline in the biodiversity of organisms [Barros-Rodríguez et al. 2021, Kuźniar et al. 2021, Majchrowska-Safaryan et al. 2023, Dunn et al. 2025]. Frequent successive cultivation of cereal crops disrupts the ecological balance of the environment, resulting in a significant increase in weed infestation and species compensation. The

[1] Institute of Agriculture and Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences, University of Siedlce, Bolesława Prusa 14, 08-110 Siedlce, Poland, https://orcid.org/0000-0002-1931-8508; corresponding author: anna.majchrowska-safaryan@uws.edu.pl
[2] Institute of Agriculture and Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences, University of Siedlce, Bolesława Prusa 14, 08-110 Siedlce, Poland

© Copyright by the Authors, 2026

Licensee University of Life Sciences in Lublin – Publishing House, Lublin, Poland
This article is an open access article distributed under the terms and con-ditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

increased share of cereals causes, for example, a greater occurrence of cereal broom, cleavers, and chamomile, as well as increased pressure from diseases and pests and also affects the soil microbiology.

Maintaining high microbiological activity in the soil rhizosphere is an important element of crop production. This is also significantly influenced by the composition of exudates from potential hosts. These exudates largely modify the physicochemical properties of cultivated soils and thus influence the soil microbiota [Chaparro et al. 2014, Zhalnina et al. 2018, Egidi et al. 2025]. Although the role of the rhizosphere in plant health, fitness, immunity, and productivity has been known for decades, in recent years it has been increasingly recognized that microorganisms with endophytic capabilities that also colonize above-ground plant organs also have certain implications for host immunity and defense against pathogens [Chen et al. 2020, Li et al. 2022]. Entomopathogenic fungi also play a significant role in these processes. These fungi are parasites of herbivorous insects, very effectively limiting their populations [Tkaczuk 2008]. They also increase nutrient absorption and water use efficiency under stressful conditions [Dara et al. 2017]. Therefore, research should take into account the complex relationships between the soil environment, plant, pest, and entomopathogenic fungus. This is a very dynamic system, changing under the influence of both abiotic and biotic environmental conditions [Majchrowska-Safaryan et al. 2023]. Mc Coy et al. [1992], Uzman et al. [2019], Sharma et al. [2023], report that moisture, temperature, organic matter content, and soil pH are important factors in monoculture crops. Cereal monoculture provides a food base only for a narrow group of pests. The lack of insect species diversity limits the host range, leading to a decline in EPF diversity. The widespread use of plant protection products (especially chemical seed dressings and fungicides) in monocultures is highly toxic to beneficial soil microorganisms [Mc Coy et al. 1992].

Despite numerous studies on the occurrence of EPFs, little is known about their seasonal dynamics within long-term cereal monocultures in Eastern Europe. Therefore, we hypothesized that cereal monoculture reduces the diversity and number of CFUs entomopathohenic fungi in cultivated soils.

MATERIAL AND METHODS

The study material consisted of soil samples collected in 2024 (spring – May, autumn – October) and in 2025 (spring – April) on an individual farm with an area of 11.0 ha, located in the north of the Lublin Voivodeship, in the Janów Podlaski commune, in the villages of Romanów and Jakówki (geographic coordinates: 51°44'26"N 23°23'13"E and 52°11'48"N 23°07'48"E). Soil samples were collected from arable land where cereal crops were grown in monoculture and for comparison forest soil (number 4, 52°10'03"N 23°07'43"E) and agricultural wasteland (number 5, 52°11'12"N 23°09'40"E) from a depth of 20 cm at 15 points spaced approximately 15 m apart in a straight line at each survey location. Soil samples for research were collected in early spring and autumn, when EPFs show the highest biological activity and create the highest density of CFUs, which results from optimal climatic conditions for infecting pests [Majchrowska-Safaryan et al. 2023]. Cereal crops have been cultivated in the given locations for the last five years. The tested soils were classified as, quality class IVa – medium arable soils. This region is dominated by sandy deposits (sands with low clay and loam), composed primarily of sand and silt fractions with low clay content. Organic matter content ranges from 1.5% to 3.0%. The species of cultivated plants, their pesticide protection and mineral fertilization are presented in Table 1.

An average collective sample (about weight approx. 1.0 kg) was prepared from fifteen soil samples. The soil was sieved through a 1 mm sieve to separate larger fractions and contaminants. Before conducting the laboratory experiment, the soil was adjusted to the appropriate moisture content (approximately 15–20% of maximum water capacity), optimal for the growth of entomopathogenic fungi (EPF). From the soil sample, 2 g of soil was weighed and then added 18 ml of distilled water with the addition of a surface tension reducing agent (Triton X-100). Using an automatic pipette, 0.1 ml of soil

solution was collected and transferred to the surface of the selective substrate. Inoculations were performed in four replicates for each soil sample. The dishes with the applied soil solution were transferred to an incubator at 21°C without access to light and after 10 days the number of colony-forming units (CFU) of EPF developing on the culture medium was determined. The number of EPF was presented in CFU g^{-1} of dry matter of soil. At each date of the research, pH_{KCl} was determined potentiometrically in the collected soil samples (Table 2).

Table 1. Crop area, dose of plant protection products and mineral fertilizers used

Field number (area)	Cultivation	Dose of plant protection products	Dose of mineral fertilizers
spring 2024			
1 (4.0 ha)	*Triticum aestivum* L. (common wheat)	Mustang 306 SE (0.6 dm^3 ha^{-1})	Saletrzak 100 kg ha^{-1} NPK 8-20-30 200 kg ha^{-1}
2 (5.0 ha)	*Avena sativa* L.(oat)	Mustang 306 SE (0.6 dm^3 ha^{-1})	Saletrzak 100 kg ha^{-1} NPK 8-2030 200 kg ha^{-1}
3 (2.0 ha)	*Hordeum vulgare* L. (barley)	Mustang 306 SE (0.6 dm^3 ha^{-1})	Saletrzak 100 kg ha^{-1} NPK 8-20-30 200 kg ha^{-1}
autumn 2024			
1 (4.0 ha)	*Hordeum vulgare* L. (barley)	Mustang 306 SE (0.6 dm^3 ha^{-1})	Saletrosan 150 kg ha^{-1}
2 (5.0 ha)	*Hordeum vulgare* L. (barley)	Mustang 306 SE (0.6 dm^3 ha^{-1})	Saletrosan 150 kg ha^{-1}
3 (2.0 ha)	*Triticum aestivum* L. (common wheat)	Mustang 306 SE (0.6 dm^3 ha^{-1})	Saletrosan 150 kg ha^{-1}
spring 2025			
1 (4.0 ha)	*Hordeum vulgare* L. (barley)	Mustang 306 SE (0.6 dm^3 ha^{-1})	Saletrzak 100 kg ha^{-1} NPK 8-20-30 200 kg ha^{-1}
2 (5.0 ha)	*Hordeum vulgare* L. (barley)	Mustang 306 SE (0.6 dm^3 ha^{-1})	Saletrzak 100 kg ha^{-1} NPK 8-20-30 200 kg ha^{-1}
3 (2.0 ha)	*Triticum aestivum* L. (common wheat)	Mustang 306 SE (0.6 dm^3 ha^{-1})	Saletrzak 100 kg ha^{-1} NPK 8-20-30 200 kg ha^{-1}

Table. 2. pH_{KCl} value of the tested soils

Field number	Spring 2024	Autumn 2024	Spring 2025
1	4.51	5.51	4.50
2	5.05	5.09	5.03
3	4.37	4.73	4.80
4	3.96	4.03	3.99
5	4.07	3.96	4.20

The entomopathogenic fungi from individual soil samples were isolated using the selective medium method developed by Strasser et al. [1996], presented in detail in the scientific article by Majchrowska-Safaryan et al. [2025].

The obtained results were statistically processed using the Statistica program v. 13.3 (TIBCO Software Inc, Palo Alto, CA, USA). The first stage of the analysis was to check with the chi-square λ2 test – whether the distribution of the tested trait (number of CFUs) in the sample followed a normal distribution. Since the data did not have a normal distribution, the transformation y = log (x + 0.5) was applied. Then, on the transformed data, one-way ANOVA analysis was performed for each factor separately according to the following model:

$$yij = m + ai + eij;$$

where: m – the population average; yij – the value of the examined trait (number of CFUs); ai – the effect of the i-th level of factor A (sampling date, cultivation); eij – the random error. When the factor's effect was significant, the Tukey test was used at $p = 0.05$ to compare the means (posthoc analysis). Pearson linear correlation coefficients for pH KCl of the tested soils and the designated EPF genera were also calculated, and the standard deviation was calculated.

RESULTS AND DISCUSSION

Three genera of entomopathogenic fungi (EPF) were detected in soil samples during the spring and autumn study periods: *Beauveria* spp., *Metarhizium* spp., and *Cordyceps* spp. (Tables 3–5). The number of colony-forming units of isolated EPF genera depended on the plant species cultivated in a given field and the date on which the soil was sampled. Studies by Keller and Zimmermann [1989], Landa et al. [2002], Medo and Cagáń [2011], Jarmuł-Pietraszczyk et al. [2011], Augustyniuk-Kram and Kram [2012], Steinwender et al. [2015], Dziegielewska and Adamska [2020], Majchrowska-Safaryan and Tkaczuk [2021], Kovać et al. [2021], Majchrowska-Safaryan et al. [2023, 2025], have examined arable soils in Europe and Poland, revealing the highest intensity of EPFs from the aforementioned genera. In the spring of 2024, EPFs of the genus *Metarhizium* spp. were the most abundant, forming 5.37 CFU 10^3 g^{-1} in the soil where spring barley was grown. In the autumn, the number of CFU of this genus was even higher, reaching 8.12 CFU 10^3 g^{-1}, and the crop was triticale. Colony-forming units of this genus were not found in soil samples taken from wasteland or forest (Tables 3 and 4). Vänninen [1995] reports that fungi of the genus *Metarhizium,* including *M. anisopliae*, are the species that tolerate agricultural practices such as ploughing, harrowing and the use of chemical plant protection products and monoculture cultivation the best. They also tolerate the periodic absence of potential hosts in the environment better than other species. According to Quesada-Moraga et al. [2007], Tkaczuk [2008], Tkaczuk et al. [2016], this species *M. anisopliae* is more isolated from agricultural soils than from forest environments. In spring and autumn 2024, fungi from genus of *Beauveria* spp. were recorded in soil samples collected from all research sites, with the highest number of CFU units formed on wasteland, which may indicate a high density of their natural pests (no chemical protection used) that are their hosts, as well as a potentially greater abundance of organic matter than in cultivated soils, which is confirmed by research [Zhou et al. 2022]. These soils are characterized by higher humidity, which is favored by the permanent vegetation cover. Natural vegetation limits evaporation, protects the soil from erosion and enriches it with humus.

The analysis of variance showed that there were statistically significant differences in the intensity of occurrence of *Beauveria* and *Metarhizium* fungi depending on how the soils were used.

In both spring and autumn 2024, the lowest number of colony-forming units was found for the genus *Cordyceps* spp., and only in cultivated soils. Cultivated soils are subject to continuous and intense agricultural pressure, which destroys the natural microenvironment of these fungi. The absence of CFUs in forest soils and wasteland suggests that these environments are naturally devoid of these fungi (Tables 3 and 4).

Table 3. Number of colony-forming units (CFU 10^3 g^{-1}) by isolated genera of entomopathogenic fungi in the tested soils (spring 2024)

Specification		Genera of entomopathohenic fungi		
		Beauveria spp.	*Metarhizium* spp.	*Cordyceps* spp.
Cultivation	*Triticum aestivum* L. (common wheat)	1.13 ±0.23 ^{b}	0.87 ±0.18 ^{bc}	0.25 ±0.18 ^{a}
	Avena sativa L.	1.0 ±0.40 ^{b}	1.25 ±0.27 ^{b}	0.12 ±0.1 ^{a}
	Hordeum vulgare L. (barley)	1.13 ±0.15 ^{b}	5.37 ±0.62 ^{a}	0.0 ±0.0 ^{a}
Forest soil		1.25 ±0.24 ^{b}	0.0 ±0.0 ^{c}	0.0 ±0.0 ^{a}
Agricultural wasteland		5.0 ±0.35 ^{a}	0.0 ±0.0 ^{c}	0.0 ±0.0 ^{a}
F value		234.68	296.82	2.857
P value		0.0	0.0	0.068

±standard deviation; ab – means within columns with the same lowercase letters are not significant at $\alpha < 0.05$

Table 4. Number of colony-forming units (CFU 10^3 g^{-1}) by isolated genera of entomopathogenic fungi in the tested soils (autumn 2024)

Specification		Genera of entomopathohenic fungi		
		Beauveria spp.	*Metarhizium* spp.	*Cordyceps* spp.
Cultivation	*Hordeum vulgare* L. (barley)	1.0 ±0.13 ^{b}	0.75 ±0.15 ^{b}	0.4 ±0.14 ^{a}
	Hordeum vulgare L. (barley)	1.13 ±0.20 ^{b}	0.62 ±0.17 ^{b}	0.25 ±0.3 ^{ab}
	Triticum aestivum L. (common wheat)	1.25 ±0.10 ^{b}	8.12 ±0.72 ^{a}	0.0 ±0.0 ^{b}
Forest soil		1.25 ±0.10 ^{b}	0.0 ±0.0 ^{c}	0.0 ±0.0 ^{b}
Agricultural wasteland		6.25 ±0.54 ^{a}	0.0 ±0.0 ^{c}	0.0 ±0.0 ^{b}
F value		357.87	298.75	10.71
P value		0.0	0.0	0.005

±standard deviation; abc – means within columns with the same lowercase letters are not significant at $\alpha < 0.05$

In the spring of 2025 (Table 5), fungi of the genus *Beauveria* spp. formed CFU units in soils collected from all research sites, with the highest CFU found in forest soil and wasteland (1.0 CFU 10^3 g^{-1}). Entomopathogenic fungi of the genus *Metarhizium* spp. produced the highest CFU counts in the barley field (6.5 CFU 10^3 g^{-1}). During this research period, EPF of this genus were also determined in the forest soil (0.12 CFU 10^3 g^{-1}), where its presence had not been detected on the previous two research dates. Entomopathogenic fungi of the genus *Cordyceps* spp. produced the highest number of CFU units in the field where barley was grown (0.5 CFU 10^3 g^{-1}. Analysis of variance revealed statistically significant differences only for EPF of the genus *Metarhizium* spp. Studies investigating the influence of cultivated plant species indicate that EPF occurrence intensity depends more on soil than on plants. However, some fungal populations may be associated with vegetation groups [Steinwender et al. 2015, Nishi and Sato 2019].

According to Karg and Bałazy [2009], the introduction of crop simplification and chemical pest control eliminates arthropod pathogens from fields, as well as parasites and predators, as trophic groups with specific environmental and nutritional requirements, which are a source of food for the EPF. The structure of fungal communities is strongly dependent on soil cultivation methods (conventional, simplified, conservation), the use of monocultures, or intensive pesticides protection [Nelly et al. 2019, Gao et al. 2022, Kierzek et al. 2024].

Table 5. Number of colony-forming units (CFU 10^3 g^{-1}) by isolated genera of entomopathogenic fungi in the tested soils (spring 2025)

Specification		Genera of entomopathohenic fungi		
		Beauveria spp.	*Metarhizium* spp.	*Cordyceps* spp.
Cultivation	*Hordeum vulgare L.* (barley)	0.25 ±0.10 [a]	6.5 ±0.12 [a]	0.37 ±0.12 [a]
	Hordeum vulgare L. (barley)	0.75 ±0.30 [a]	1.0 ±0.15 [c]	0.5 ±0.2 [a]
	Triticum aestivum L. (common wheat)	0.5 ±0.15 [a]	3.88 ±0.45 [b]	0.13 ±0.2 [a]
Forest soil		1.0 ±0.25 [a]	0.12 ±0.10 [c]	0.0 ±0.0 [a]
Agricultural wasteland		1.0 ±0.30 [a]	0.0 ±0.0 [c]	0.0 ±0.0 [a]
F value		34.09	229.24	8.333
P value		0.00033	0.0	0.01

± standard deviation; abc – means within columns with the same lowercase letters are not significant at $\alpha < 0.05$

In autumn 2024 date based on the conducted research, a significantly positive correlation was found between the pH value of the tested soils and the intensity of the occurrence of EPF of the genus *Cordyceps* spp. (Table 6) Majchrowska-Safaryan [2022] in her previous studies showed significant correlations between the pH value of meadow soils and the occurrence of EPF of the genus *Lecanicillium* spp.

Table 6. Calculated correlations using Pearson's coefficient between the indicated parameters (autumn 2024)

Correlation	*Beauveria* spp.	*Metarhizium* spp.	*Cordyceps* spp.	pH_{KCl}
Beauveria spp.	1.00	–0.29	–0.43	–0.62
Metarhizium spp.	–	1.00	–0.30	0.15
Cordyceps spp.	–	–	1.00	0.89*
pH_{KCl}	–	–	–	1.00

*marked correlation coefficients are significant for $\alpha < 0.05$

In soil samples collected in spring 2025, the results of correlation coefficient analysis showed statistically significant relationships between the occurrence of the identified EPF genera (at the significance level $\alpha < 0.05$). A strong, significant negative correlation was found between the presence of fungi from the genus *Beauveria* spp. and: *Metarhizium* spp. (–0.982), *Cordyceps* spp. (–0.944) (Table 7). However, a strong, significant positive correlation (0.932) was found between *Metarhizium* spp. and *Cordyceps* spp., which may indicate similar ecological requirements or synergistic co-occurrence of these species in a given environment. With respect to soil pH, no statistically significant relationships were found with any of the isolated EPF.

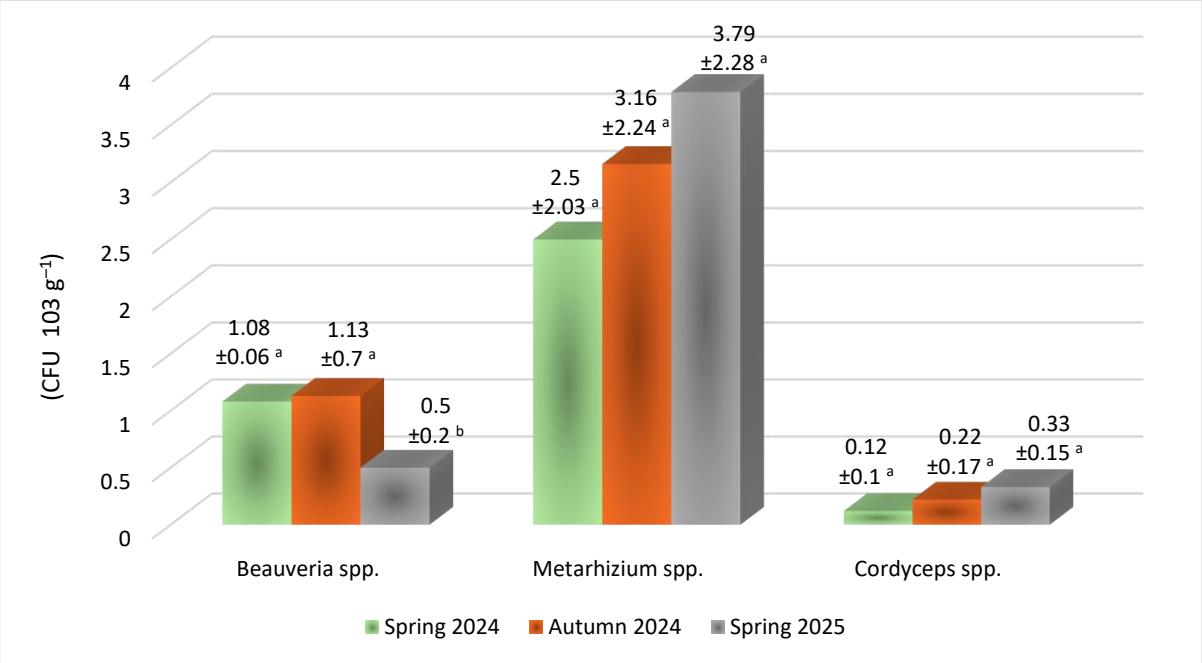
Table 7. Calculated correlations using Pearson's coefficient between the indicated parameters (spring 2025)

Corelation	*Beauveria* spp.	*Metarhizium* spp.	*Cordyceps* spp.	pH_{KCl}
Beauveria spp.	1,00	–0,98*	–0,94*	–0,49
Metarhizium spp.	–	1,00	0,93*	0,33
Cordyceps spp.	–	–	1,00	0,41
pH_{KCl}	–	–	–	1,00

*marked correlation coefficients are significant for $\alpha < 0.05$

Comparing the intensity of the occurrence of EPF isolated only from the soils where cereals were grown in monoculture, it was observed that in each of the research dates the most CFU were formed by fungi of the genus *Metarhizium* spp. (Figure 1), with the highest number in the spring of 2025. Fungi of the genus *Beauveria* spp. showed a tendency to reduce the number of CFU with the increasing duration of cereal monoculture, where in the spring of 2025 the number of CFU was 50% lower than in the two previous research dates, and this was a statistically significant difference. The number of CFU of *Cordyceps* spp. fungi remained at a similar level regardless of the date of soil sampling. In the cultivation soils Konopickà et al. [2022] stated that the effect of sampling location on the number of CFUs of the genus *Beauveria* was not significant (F = 1.3379; df = 7.36; P = 0.2614).

Figure 1. Density of colony-forming units of entomopathogenic fungi (CFU) isolated from soils where cereals were grown in monoculture during the study period (average for cereals in the year)



± standard deviation; ab – means within columns with the same lowercase letters are not significant at α < 0.05.

Furthermore, research by Gorczyca et al. [2018] on the occurrence of EPF in agricultural and natural soils of southeastern Poland showed that *B. bassiana* was the dominant species during the autumn study period. In the arable soils of Slovakia maintained under the system of intensive pesticide protection, where cereals (including maize) were grown, it was found that EPF of the genus *Metarhizium* spp. produced significantly more CFU in spring, and the genera *Beauveria* spp. and *Cordyceps* spp. in autumn [Majchrowska-Safaryan et al. 2025]. Studies conducted by Wyrebek et al. [2011], Popowska-Nowak et al. [2016], and Dzięgielewska and Adamska [2020] indicate significant seasonal variability in the intensity of EPF occurrence in soils, closely related to soil temperature and moisture. Bruck and Lewis (2002) found that the frequency and intensity of rainfall, and ultimately the humidity of the environment, influence the possibility of EPF spore dispersal.

CONCLUSION

1. The presence of entomopathogenic fungi from the genera *Beauveria*, *Metarhizium*, and *Cordyceps* was demonstrated in the tested soils. The intensity of their occurrence depended on the cultivated plant species and the date on which the soil samples were collected.

2. The dominant EPF genus in each of the study dates (spring and autumn) was *Metarhizium* spp. Moderate temperatures in spring and autumn, coupled with high soil moisture, favour the development of pathogens.

3. Assessing the average density of colony-forming units of the tested EPF genera in soils cultivated in cereal monoculture established that *Metarhizium* spp. is the least sensitive to this cultivation system.

4. Analysis of variance showed that the generic composition and the intensity of EPF in the studied soils were significantly dependent on the date of soil sampling and the type of crop in some cases.

REFERENCES

Augustyniuk-Kram A., Kram K.J., 2012. Entomopathogenic fungi as an important natural regulator of insect outbreaks in forest (Review). In: J.A. Blanco, Y.-H. Lo (eds.), Forest Ecosystems – More than Just Trees, IntechOpen, Rijeka, 265–294.

Barros-Rodríguez A., Rangseekae P., Lasudee K. et al., 2021. Impacts of agriculture on the environment and soil microbial biodiversity. Plants 10, 2325. https://doi.org/10.3390/plants10112325

Bruck D.J., Lewis L.C., 2002. Rainfall and crop residue effects on soil dispersion and *Beauveria bassiana* spread to corn. Appl. Soil Ecol. 20, 183–190.

Chaparro J.M., Badri D.V., Vivanco J.M., 2014. Rhizosphere microbiome assemblage is affected by plant development. ISME J. 28, 790–803. https://doi.org/10.1038/ismej.2013.196

Chen T., Nomura K., Wang X. et al., 2020. A plant genetic network for preventing dysbiosis in the phyllosphere. Nature, 580(7805), 653–657. https://doi.org/ 10.1038/s41586-020-2185-0

Dara S.K., 2017. Insect resistance to biopesticides. University of California Agriculture and Natural Resources e Journal Strawberries and Vegetables. https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=25819 [date of access: 6.12.2017]

Dunn L., Dequiedt S., Djemiel Ch. et al., 2025. Impact of farming practices on soil microbial biomass: An international synthesis. Agric. Ecosyst. Environ. 383, 109513. https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109513

Dzięgielewska M., Adamska I., 2020. Survey of entomopathogenic nematodes and fungi in agricultural areas. Plant Protect. Sci. 56, 214–225. https://doi.org/10.17221/7/2019-PPS

Egidi E., Bristol D., Hassan K., 2025. The influence of plant traits on soil microbial communities varies between arid and mesic grasslands. Plant Soil 509, 501–521. https://doi.org/10.1007/s11104-024-06876-4

Gao Y-P., Luo M., Wang X-Y., He XZ., Lu W., Zheng X-L., 2022. Pathogenicity of *Beauveria bassiana* PfBb and Immune Responses of a Non-Target Host, Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae). Insects 13(10), 914. https://doi.org/ 10.3390/insects13100914

Gorczyca A., Galon A., Tatoj A. et al., 2018. Occurrence of entomopathogenic fungi in agricultural and natural soils in southeastern Poland. J. Res. Appl. Agric. Eng. 63(2), 63–67.

Jarmuł-Pietraszczyk J., Kamionek M., Kania I., 2011. Occurrence of entomopathogenic fungi in selected parks and urban forests of the Warsaw District Ursynow. Ecol. Chem. Eng. A. 18, 1571–1574.

Karg J., Bałazy S., 2009. Wpływ struktury krajobrazu na występowanie agrofagów i ich antagonistów w uprawach rolniczych. Prog. Plant Prot. 49(3), 1015–1034.

Keller S., Zimmermann G., 1989. Mycopathogens of soil insects. In: N. Wilding, N.M. Collins, P.M. Hammond et al. (eds.), Insect–Fungus Interactions, Academic Press, London, 239–270. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-751800-8.50016-1

Kierzek R., Sosnowska D., Pruciak-Nowak A., 2024. Impact of tillage and no-tillage cultivation on the occurrence of entomopathogenic fungi in soil with integrated plant protection. J. Plant Prot. Res. 64(4), 402–411. https://doi.org/10.24425/jppr.2024.151823

Konopická J., Bohatá A., Palevsky E. et al. , 2022. Survey of entomopathogenic and mycoparasitic fungi in the soil of onion and garlic fields in the Czech Republic and Israel. J. Plant Dis. Prot. 129, 271–281. https://doi.org/10.1007/s41348-021-00557-5

Kovač M., Tkaczuk C., Pernek M., 2021. First report of entomopathogenic fungi occurrence in forest soils in Croatia. Forests 12(12), 1690. https://doi.org/10.3390/f12121690

Kuźniar A., Włodarczyk K., Gromadzka P. et al., 2021. Aktualny stan wiedzy na temat biopreparatów stosowanych w rolnictwie. Wyd. Lublin, 32.

Landa Z., Horňák P., Charvátová H. Et al., 2002. Distribution, occurrence and potential use of entomopathogenic fungi in arable soils in Czech Republic. In: Proceedings of international conference ISTRO "Current trends in the research of soil environment", 195–201.

Li P.D., Zhu Z.R., Zhang Y. et al., 2022. The phyllosphere microbiome shifts toward combating melanose pathogen. Microbiome 10, 56. https://doi.org/ 10.1186/s40168-022-01234-x

Majchrowska-Safaryan A., 2022. Występowanie grzybów entomopatogenicznych w glebach murszowo-glejowych doliny rzecznej Liwca. Prog. Plant Prot. 62(2), 91–99.

Majchrowska-Safaryan A., Tkaczuk C., Baj-Wójtowicz B., 2023. Occurrence of entomopathogenic fungi in the soils of habitats of various use. Agron. Sci. 78(1), 5–18. https://doi.org/10.24326/as.2023.4956

Majchrowska-Safaryan A., Tkaczuk C., 2021. Abundance of entomopathogenic fungi in leaf litter and soil layers in forested habitats in Poland. Insects 12(2), 134. https://doi.org/10.3390/insects12020134

Majchrowska-Safaryan A., Tkaczuk C., Findura P. et al., 2025. Occurrence of entomopathogenic fungi in cultivated soils in Slovakia in the intensive agricultural system production. Agron. Sci. 80 (2), 31–43. https://doi.org/10.24326/as.2025.5537

Mccoy C.W., Greggory K., Storey S. et al., 1992. Nvironmental factors affecting entomopathogenic fungi in the soil. Pesq. Agropec. Bras. 27, 107–111.

Medo J., Cagáň Ľ., 2011. Factors affecting the occurrence of entomopathogenic fungi in soils of Slovakia as revealed using two methods. Biol. Control 59(2), 200–208. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.07.020

Nelly N., Syahrawati M., Hamid H. et al., 2019. Diversity and characterization of entomopathogenic fungi from rhizosphere of maize plants as potential biological control agents. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 20 (5), 1435–1441. https://doi.org/10.13057/biodiv/d200536

Nishi O., Sato H., 2019. Isolation of *Metarhizium* spp. from rhizosphere soils of wild plants reflects fungal diversity in soil but not plant specificity. Mycology 10, 22–31. https://doi.org/10.1080/21501203.2018.1524799

Popowska-Nowak E., Skrzecz I., Tumialis D. et al., 2016. Entomopathogenic fungi in the soils of forest plantations: towards the control of large pine weevil, *Hylobius abietis*. Baltic For. 22, 8–15.

Quesada-Moraga E., Navas-Cortés J.A., Maranhao E.A.A. et al., 2007. Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. Mycol. Res. 111(8), 947–966. https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.06.006

Sharma A., Sharma S., Yadav P.K. 2023. Entomopathogenic fungi and their relevance in sustainable agriculture. Cogent Food Agric. 9(1), 2180857. https://doi.org 10.1080/23311932.2023.2180857

Steinwender B.M., Enkerli J., Widmer F. et al., 2015. Root isolations of *Metarhizium* spp. from crops reflect diversity in the soil and indicate no plant specificity. J. Invert. Pathol. 132, 142–148. https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.09.007

Strasser H., Forer A., Schinner F., 1996. Development of media for the selective isolation and maintenance of virulence of *Beauveria brongniartii*. In: T.A. Jackson, T.R. Glare (eds.), Microbial control of soil dwelling pests. AgResearch, Lincoln, New Zealand, 125–130.

Tkaczuk C., 2008. Occurrence and infective potential of entomopathigenic fungi in soils of agrocenoses and seminatural habitats in the agricultural landscape. Sci. Dis. 94, Publisher AP, Siedlce, 160.

Tkaczuk C., Majchrowska-Safaryan A., Harasimiuk M., 2016. The occurrence and infective potential of entomopathogenic fungi in the soil of arable fields, meadows and forest habitats. Prog. Plant Prot. 56, 5–11. http://dx.doi.org/10.14199/ppp-2016-001

Uzman D., Pliester J., Leyer I. et al., 2019. Drivers of entomopathogenic fungi presence in organic and conventional vineyard soils. Appl. Soil Ecol. 133, 89–97. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.004.

Vänninen L., 1995. Distribution and occurrence of four entomopathogenic fungi in Finland: effect of geographical location, habitat type and soil type. Mycol. Res. 100, 93–101.

Wyrebek M., Huber C., Sasan R.K. et al., 2011. Three sympatrically occurring species of *Metarhizium* show plant rhizosphere specificity. Microbiology 157, 2904–2911. https://doi.org/10.1099/mic.0.051102-0

Zhalnina K., Louie K.B., Hao Z. Et al., 2018. Dynamic root exudate chemistry and microbial substrate preferences drive patterns in rhizosphere microbial community assembly. Nat. Microbiol. 3, 470–80. https://doi.org/10.1038/s41564-018-0129-3

Zhou X., Liang W., Zhang Y.C. et al., 2022. Distribution and pathogenicity of *Beauveria bassiana* in soil with earthworm action and feeding. PLoS ONE 17(10), e0275826. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275826

The source of funding source: Research task.

Authors' contributions: A.M-S.: preparation of the concept and underlying assumptions, preparation of methods, conducting tests, remaining contribution; M.N.: conducting tests, remaining contribution.

Received: 17.03.2026
Accepted: 20.06.2026
Published: 9.10.2026

Citation: Majchrowska-Safaryan A., Nesterowicz M., 2026. Seasonal dominance of *Metarhizium* spp. in soils of cereal monocultures in Eastern Poland. Agron. Sci. 81(3), 47–55. https://doi.org/10.24326/as.2026.5681

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI(3) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5689

ANDRZEJ WOŹNIAK[1]

Effects of cropping systems on weed infestation, soil properties, yield, and grain quality of winter durum wheat

Abstract. This study examined the effects of a four-field crop rotation and long-term cereal monoculture on the grain yield and quality of winter durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum* (Desf.) van Slageren), as well as on weed infestation and soil properties. Durum wheat was grown in a crop rotation (CR) system following potato in the sequence: potato – winter durum wheat – spring pea – winter wheat, and in a cereal monoculture (CM) established 36 years ago. All crops were cultivated under conventional tillage. Grain yield was significantly higher under CR than under CM (7.31 vs. 2.51 t ha^{-1}). Similarly, spike density, grain weight per spike, and thousand-grain weight were greater in CR. Grain from CR also exhibited higher test weight, better uniformity, and greater starch content compared with CM. Weed density and biomass were higher in CM than in CR. Soils under crop rotation contained higher levels of organic carbon, total nitrogen, and potassium than soils under monoculture.

Keywords: crop rotation, monoculture, weed biodiversity, soil fertility, soil organic carbon

INTRODUCTION

Soil degradation and climate change are making agricultural production increasingly complex and its outcomes less predictable [Jug et al. 2025]. This necessitates the search for strategies that mitigate the adverse environmental impacts of agriculture and prevent further soil degradation. One such strategy involves implementing ecologically sound crop rotations and soil cultivation practices adapted to the habitat and technical conditions of individual farms [Holland 2004, Woźniak and Haliniarz 2025]. Conservation tillage with mulch cover creates favourable conditions in areas with low precipitation, whereas conventional plough-based tillage proves more effective in moderately humid regions [Peigné et al. 2007, Morris et al. 2010, Gruber et al. 2012, Soane et al. 2012]. Crop rotation and tillage practices affect soil properties and nutrient availability to plants [Maiga et al. 2019, Pranagal and Woźniak 2021], as well as the abundance of soil mesofauna [Woźniak 2024]. Moreover, Seibutis et al. [2025] demonstrated that crop rotation has a stronger effect on earthworm populations than soil cultivation, and

[1] Department of Herbology and Plant Cultivation Techniques, University of Life Sciences in Lublin, Akademicka 13, 20-950 Lublin, Poland, https://orcid.org/0000-0002-9845-7003; corresponding author: andrzej.wozniak@up.edu.pl

© Copyright by the Author, 2026

Licensee University of Life Sciences in Lublin – Publishing House, Lublin, Poland
This article is an open access article distributed under the terms and con-ditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

these geobionts play a crucial role in organic matter cycling and the development of soil fertility [Blouin et al. 2013, Bertrand et al. 2015].

A particularly important role in crop rotation is played by structure-forming plants – annual and perennial legumes, as well as root crops fertilised with manure or other organic amendments. Post-harvest residues stabilise soil structure, increase soil organic carbon, and enhance nutrient availability [Turmel et al. 2015]. Nitrogen contained in leguminous crop residues is readily available to subsequent crops. As reported by Peoples et al. [2009], one tonne of legume residues contains 30–40 kg of nitrogen. This nitrogen is gradually released and, unlike mineral fertilisers, does not migrate beyond the reach of the root system. In addition, the favourable C : N ratio of legume residues promotes nitrogen availability. Crop residues also contribute to replenishing soil organic carbon (SOC) stocks. For instance, Johnson et al. [2014] found that the amount of crop residues required to compensate for SOC loss depends on the interaction between soil management practices and climatic conditions, and estimated that several tonnes of residues per year are needed to maintain SOC at a stable level.

Crop succession and tillage practices also shape weed communities [Andrew et al. 2015, MacLaren et al. 2020, Jaskulska et al. 2022] and the phytosanitary status of crops [Colbach et al. 1997, Kwak and Weller 2013, Feledyn-Szewczyk et al. 2024]. In conventional tillage systems, weed seeds are buried in deeper soil layers, whereas under conservation tillage they remain in the topsoil [Hernández Plaza et al. 2015]. Studies by Mortensen et al. [2012] and Woźniak [2025] have shown that diversified tillage and alternating cereal with non-cereal crops, as well as winter with spring forms, effectively reduce weed competitiveness. Conversely, Chauhan et al. [2012] and Woźniak [2025] demonstrated that cereal monoculture fosters the dominance of several weed species that are difficult to eradicate. In cereals, these are typically tall species that mature and shed seeds before harvest.

Habitat conditions and agrophages substantially limit crop productivity. According to Oerke [2006], weeds alone account for an average global yield reduction of 34%. Losses caused by pests and diseases are also considerable, although their extent varies. These effects are further exacerbated under long-term cereal monoculture. A long-term experiment conducted by Woźniak and Haliniarz [2025] showed that the productivity of winter wheat cultivated continuously for 35 years was more than two-fold lower than in a four-crop rotation. Monoculture wheat was also characterised by inferior grain quality, including reduced bulk density, protein, gluten, and starch levels, as well as lower sedimentation index values.

Based on the cited literature, we hypothesised that cultivation of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum* (Desf.) van Slageren) in a four-crop rotation following potato, compared with a 36-year cereal monoculture, would improve grain yield and technological quality while reducing weed infestation. Furthermore, we expected beneficial effects on soil chemical properties. Accordingly, the present study aimed to evaluate the effects of different cropping systems on grain yield and quality of winter durum wheat, weed infestation, and soil chemical properties.

MATERIALS AND METHODS

Experimental design

The experiment was established in 1988 at the Uhrusk Experimental Farm of the University of Life Sciences in Lublin, Poland. The data presented in this study were collected in 2024. The farm is located in south-eastern Poland, on the Lublin Upland within the Chełm Hills mesoregion.

Winter durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum* (Desf.) van Slageren) was cultivated following potato in a four-crop rotation: potato (cv. Lord) – winter durum wheat (cv. Sambadur) – spring

pea (cv. Batuta) – winter wheat (cv. RGT Bilnaz), and on plots under a 36-year cereal monoculture. Prior to potato cultivation, manure was applied at a rate of 35 t ha^{-1}.

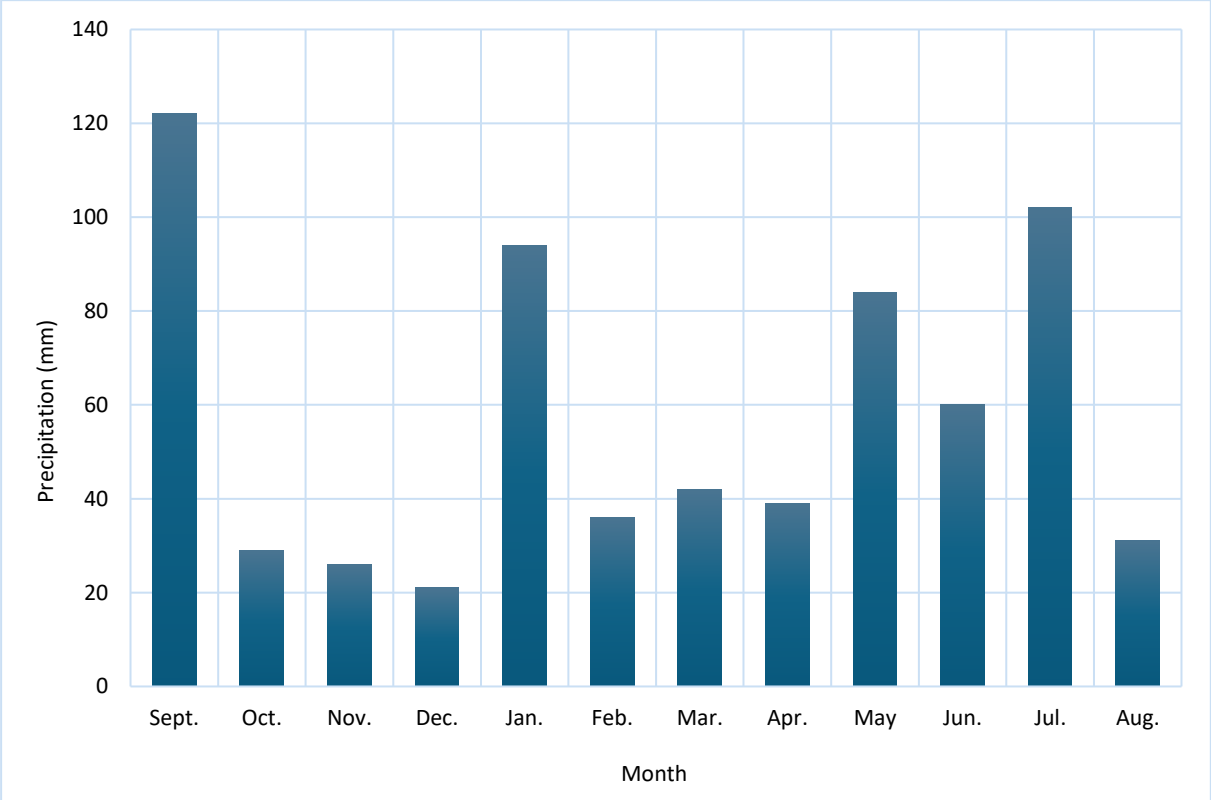
The experiment was conducted in a randomized complete block design with three replicates. Plot size was 25 m × 6 m. Soil preparation for wheat cultivation followed a conventional tillage system. Tillage operations performed after harvest of the preceding crop (potato in rotation or winter wheat in monoculture) included shallow ploughing to 10 cm, followed by pre-sowing ploughing to 18–20 cm in the second week of September. Before pre-sowing ploughing, fertilisers were applied at rates of 20 kg N ha^{-1} (as ammonium sulphate), 35 kg P ha^{-1}, and 80 kg K ha^{-1}. Winter durum wheat was sown in the last week of September at a density of 380 seeds m^{-1}. Spring fertilisation comprised 65 kg N ha^{-1} at tillering, 45 kg N ha^{-1} at stem elongation, and 20 kg N ha^{-1} at ear formation.

Weed control at the tillering stage was performed using herbicides containing MCPA + mecoprop + dicamba and fenoxaprop-P-ethyl, while fungicide applications included flusilazole + carbendazim and propiconazole + fenpropidinate.

Soil and weather conditions

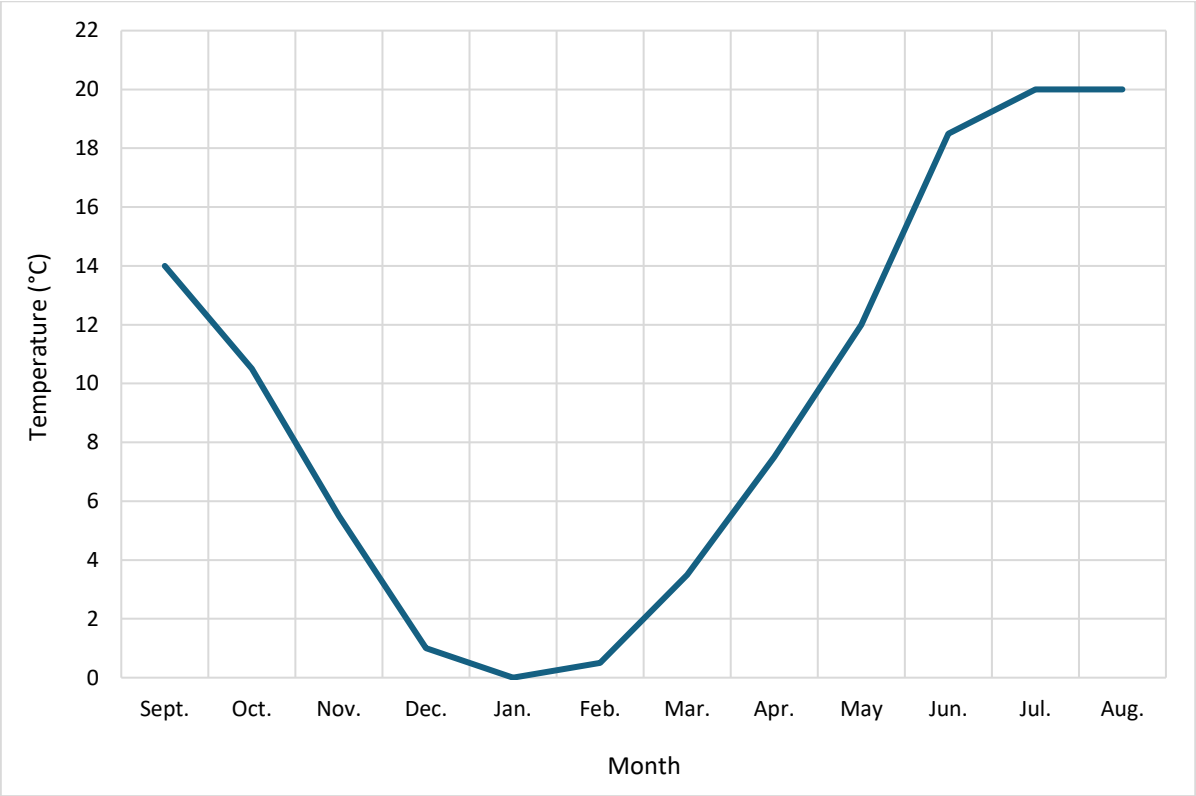
According to the IUSS WRB Working Group [2022], the soil was classified as Rendzic Phaeozem. Texture analysis indicated that it consisted of 53% sand (2.0–0.05 mm), 24% silt (0.05–0.002 mm), and 23% clay (<0.002 mm). The soil was rich in phosphorus and potassium, had a medium magnesium content, and was slightly alkaline.

Figure 1. Monthly precipitation sums during the 2023/2024 growing season at the Uhrusk Experimental Farm



The regional growing season typically lasts 210–215 days, beginning in mid-March. During the 2023/2024 winter durum wheat season (sown in September 2023 and harvested in August 2024), total precipitation was 571 mm, of which 312 mm fell between April and September (Figure 1). The warmest months were June to August, whereas December to February were the coldest (Figure 2).

Figure 2. Mean monthly air temperatures during the 2023/2024 growing season at the Uhrusk Experimental Farm



Production traits and statistical analysis

The experiment aimed to assess: (1) wheat grain yield and its components, (2) technological quality of the grain, (3) weed infestation in crop stands, and (4) soil chemical properties. Grain was harvested at full maturity using a plot harvester. Spike number was recorded per 1 m² of each plot, 1000-grain weight was determined from two subsamples of 500 grains each, and mean grain weight per spike was calculated from 30 randomly selected spikes per plot.

Technological quality of the grain, including total protein content, wet gluten content, sedimentation index, and starch content, was measured using an OmegAnalyzer Grain apparatus. Grain volume by weight (test weight) was determined using a 1 L densimeter, and grain uniformity was assessed using 2.5 mm × 25 mm sieves.

Weed infestation was evaluated at the milk maturity stage of wheat using the botanical–gravimetric method. This involved determining weed species composition and density within two 1.0 m × 0.5 m per plot, followed by measurement of their air-dry biomass. Collected weeds were dried on ventilated shelves in a well-ventilated room until constant air-dry weight was achieved. Vertical distribution of weeds within the wheat canopy was classified as: (1) upper layer – species taller than the crop; (2) middle layer – species reaching 50–100% of crop height; (3) lower layer – species up to 50% of crop height; and (4) ground layer – prostrate species ≤10 cm in height.

Soil chemical properties were determined as follows: organic carbon (SOC) by the Tiurin method, total nitrogen (N) by the Kjeldahl method, available phosphorus (P) and potassium (K) by the Egner–Riehm method, and magnesium (Mg) by the Schachtschabel method. All determinations were conducted in triplicate on soil samples collected from the 0–25 cm layer after wheat harvest.

Statistical analysis was performed using analysis of variance (ANOVA) in STATISTICA software (StatSoft, Poland). Differences between the crop rotation and monoculture treatments were evaluated using Tukey's HSD test at $p < 0.05$.

RESULTS

Grain yield and quality

Winter durum wheat grown in the crop rotation (CR) system achieved a significantly higher grain yield than in monoculture (CM), with the difference exceeding 191% (Table 1). Yield components, including spike number per m², grain weight per spike, and thousand-grain weight, were also greater in CR than in CM, by 31.7%, 118.3%, and 13.3%, respectively.

Grain from CR plots exhibited higher test weight, improved uniformity, and greater starch content compared with grain from CM, by 12.4%, 11.6%, and 10.2%, respectively (Table 2). In contrast, protein content, gluten content, and sedimentation index were not significantly affected by the cropping system.

Table 1. Grain yield and yield components of winter durum wheat

Specification	Cropping systems		Statistics	
	[a] CR	CM	*F*-value	*p*
Grain yield (t ha^{-1})	7.31	2.51	195.70	**
Spike number (pcs m^{-2})	470.1	356.9	31.59	**
Grain weight per spike (g)	1.55	0.71	27.18	**
1000 grain weight (g)	45.2	39.9	43.34	**

[a] CR – crop rotation, CM – cereal monoculture, ** $p < 0.01$.

Table 2. Grain quality traits of winter durum wheat

Specification	Cropping systems		Statistics	
	[a] CR	CM	*F*-value	*p*
Protein content (g kg^{-1})	137.0	139.0	50.7	ns
Wet gluten content (g kg^{-1})	282.0	288.0	22.5	ns
Zeleny's sedimentation index (mL)	41.0	41.7	0.63	ns
Test weight (kg hL^{-1})	74.3	66.1	14.59	**
Grain uniformity (%)	89.6	78.0	17.76	**
Starch content (g kg^{-1})	616.0	514.0	416.3	**

[a] CR – crop rotation, CM – cereal monoculture, ns – not significant, *$p < 0.05$, **$p < 0.01$.

Weed infestation

Weed infestation in winter durum wheat varied markedly between the cropping systems (Tables 3 and 4, Figure 3). Both weed density and biomass were significantly higher in CM than in CR. In CM, the mean weed density reached 64.9 plants m^{-2}, with an air-dry biomass of 40.7 g m^{-2}, compared with 44.0 plants m^{-2} and 15.8 g m^{-2} in CR. Species richness was also reduced under CM, with six species compared with 13 in CR.

The dominant weeds in CR were *Apera spica-venti*, *Avena fatua*, and *Fallopia convolvulus*, whereas in CM the prevailing species were *A. spica-venti*, *A. fatua*, *Tripleurospermum inodorum*, and *Papaver rhoeas* (Figure 3). These species were mainly concentrated in the upper and middle canopy layers, representing 90% of the weed population in CR and 100% in CM (Table 4). Weeds occurring in the lower and ground canopy layers were observed only in CR plots, including *Myosotis arvensis*, *Veronica persica*, and *Lamium purpureum*, which together accounted for 10% of the weed community.

Table 3. Weed infestation indicators of winter durum wheat

Specification	Cropping systems		Statistics	
	[a] CR	CM	*F*-value	*p*
Number of weeds (pcs m^{-2})	44.0	64.9	40.95	**
Air-dry weight of weeds (g m^{-2})	15.8	40.7	64.30	**
Number of weed species (m^{-2})	13	6	73.50	**

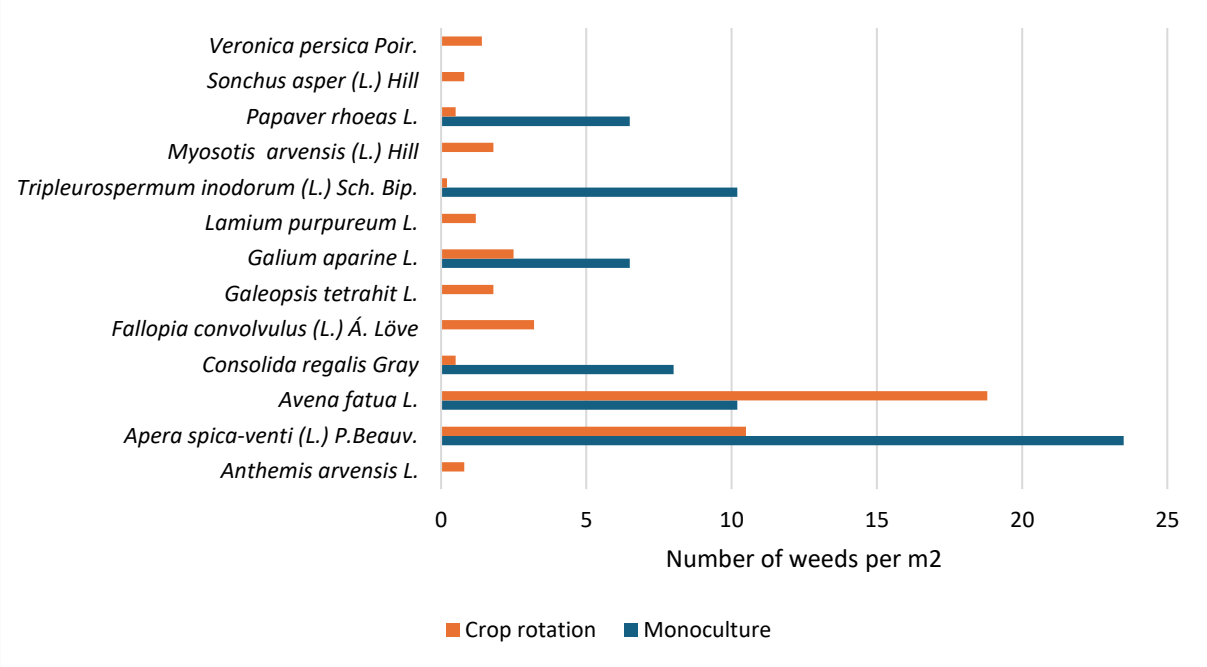
[a] CR – crop rotation, CM – cereal monoculture, **$p < 0.01$.

Table 4. Distribution of weeds at different canopy levels in winter durum wheat

Crop level	Cropping systems	
	[a] CR (%)	CM (%)
Upper level	67.7	61.9
Middle level	22.3	38.1
Lower level	4.1	–
Ground level	5.9	–

[a] CR – crop rotation, CM – cereal monoculture, – no occurrence observed.

Figure 3. Species composition of weeds under crop rotation and cereal monoculture



Soil chemical properties

The cropping system significantly influenced soil chemical properties (Table 5). Compared with CM, soils from CR plots contained higher levels of organic carbon (by 66%), total nitrogen (by 38.3%), and potassium (by 36%).

Table 5. Soil chemical properties (0–0.25 m layer)

Trait	Cropping systems		Statistics	
	[a] CR	CM	*F*-value	*p*
Organic C (g kg^{-1})	13.25	7.98	69.23	**
Total N (g kg^{-1})	0.83	0.60	8.44	*
P (mg kg^{-1})	214.0	211.0	0.10	ns
K (mg kg^{-1})	156.5	115.1	6.44	*
Mg (mg kg^{-1})	76.8	67.2	1.39	ns
pH_{KCL}	7.2	7.1	0.91	ns

[a] CR – crop rotation, CM – cereal monoculture, ns – not significant, *$p < 0.05$, **$p < 0.01$.

DISCUSSION

Crop rotation integrates diverse cultivation and agrotechnical practices in plant production. A key feature is the inclusion of crops from different botanical families and growth forms, including both winter and spring species. Such systems enhance crop health and competitiveness against weeds, resulting in yields that are consistently higher than those achieved under monoculture. In the present experiment, the grain yield of winter durum wheat under crop rotation was almost three times greater than in long-term monoculture (7.31 t ha^{-1} vs. 2.51 t ha^{-1}). Similarly, Woźniak and Haliniarz [2025] reported that the yield of winter wheat sown in rotation after peas was more than twice as high as in monoculture.

Cereal species differ in their responses to monoculture and the duration of continuous cultivation. Wheat, in particular, is highly sensitive, with substantial yield reductions primarily due to take-all disease caused by *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* [Freeman and Ward 2004, Andrade et al. 2011, Woźniak 2023]. Beyond yield, monoculture also diminishes grain quality. In this study, wheat grain from monoculture exhibited lower bulk density, poorer uniformity, and reduced starch content compared with grain from crop rotation. Woźniak [2023] likewise observed that long-term wheat monoculture decreased bulk density and uniformity while increasing grain ash content. This supports the view that monoculture-grown wheat produces poorly filled kernels with reduced starch, which translates into lower density, poorer uniformity, and higher ash levels.

Another adverse effect of monoculture is increased weed infestation, both in terms of abundance and biomass, along with changes in weed community structure [Woźniak 2025]. Crop rotation, in contrast, involves varied tillage practices and agronomic measures that, while supporting greater weed species richness, limit their competitive impact on crops [Hernández Plaza et al. 2015, MacLaren et al. 2020]. In the present study, weed density and biomass were higher in monoculture, whereas species richness was greater under rotation (13 vs. 6 species). In rotation plots, weeds were mainly confined to the upper and middle canopy layers (90% of the total), whereas in monoculture only strongly competitive species dominated. High-biomass weeds from these canopy layers exert the strongest competition against crops [Mahajan and Timsina 2011]. In the present experiment, the dominant species in rotation were *Avena fatua*, *Apera spica-venti*, and *Fallopia convolvulus*, whereas in monoculture they were *A. spica-venti*, *Tripleurospermum inodorum*, and *Papaver rhoeas*.

Crop rotation also positively influences soil properties by alternating crops with contrasting nutrient demands and tillage requirements. In this study, soils from rotation plots contained higher levels of soil organic carbon (SOC), total nitrogen, and potassium compared with soils under monoculture. This is largely attributable to wheat being grown after potato fertilised with manure, which enhanced soil fertility. As Rasool et al. [2008] highlighted, organic fertilisers supply substantial amounts of carbon

and essential nutrients, thereby improving soil fertility and crop productivity. In contrast, cereal monoculture generates less diverse crop residues, negatively affecting soil microbial activity and biodiversity [Olsson and Alström 2000, Balota et al. 2004], which in turn reduces plant productivity.

CONCLUSIONS

Crop rotation markedly improved the productivity and technological quality of winter durum wheat, with yields over 190% higher than in monoculture. Grain from rotation also showed higher bulk density, better uniformity, and increased starch content. Monoculture resulted in greater weed density and biomass, whereas rotation enhanced species richness and limited the dominance of highly competitive weeds. Soils under crop rotation contained higher levels of organic carbon, total nitrogen, and potassium.

These results highlight that diversified cropping, supported by organic fertilisation, enhances soil fertility and contributes to the long-term sustainability of agricultural systems.

REFERENCES

Andrade O., Campillo R., Peyrelongue A. Et al., 2011. Soils suppressive against *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* identified under wheat crop monoculture in southern Chile. Cienc. Investig. Agrar. 38(3), 345–356. https://doi.org/10.4067/S0718-16202011000300011

Andrew I.K.S., Storkey J., Sparkes D.L., 2015. A review of the potential for competitive cereal cultivars as a tool in integrated weed management. Weed Res. 55(3), 239–248. https://doi.org/10.1111/wre.12137

Balota E.L., Kanashiro M., Filho A.C. et al., 2004. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems. Braz. J. Microbiol. 35(4), 300–306. https://doi.org/10.1590/S1517-83822004000300006

Bertrand M., Barot S., Blouin M. Et al., 2015. Earthworm services for cropping systems: A review. Agron. Sustain. Devel. 35(2), 553–567. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0269-7

Blouin M., Hodson M.E., Delgado E.A. et al., 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. Eur. J. Soil Sci. 64(2), 161–182. https://doi.org/10.1111/ejss.12025

Chauhan B.S., Singh R.G., Mahajan G., 2012. Ecology and management of weeds under conservation agriculture: A review. Crop Prot. 38, 57–65. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.010

Colbach N., Lucas P., Meynard J.M., 1997. Influence of crop management on take-all development and disease cycles on winter wheat. Phytopathol. 87(1), 26–32. https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.1.26

Feledyn-Szewczyk B., Jończyk K., Stalenga J., 2024. The effect of crop production systems and cultivars on spring wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in a long-term experiment. Agriculture 14(4), 625. https://doi.org/10.3390/agriculture14040625

Freeman J., Ward E., 2004. *Gaeumannomyces graminis*, the take-all fungus and its relatives. Mol. Plant Pathol. 5(3), 235–52. https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2004.00228.x

Gruber S., Pekrun C., Möhring J., 2012. Long-term yield and weed response to conservation and stubble tillage in SW Germany. Soil Till. Res. 121, 49–56. https://doi.org/10.1016/j.still.2012.01.013

Hernández Plaza E., Navarrete L., González-Andújar J.L., 2015. Intensity of soil disturbance shapes response trait diversity of weed communities: The long-term effects of different tillage systems. Agric. Ecosyst. Environ. 207, 101–108. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.015

Holland J.M., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. Agric. Ecosyst. Environ. 103(1), 1–25. https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.001

IUSS Working Group WRB, 2022. World Reference Base for Soil Resources 2022. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.

Jaskulska I., Jaskulski D., Gałęzewski L., 2022. Peas and barley grown in the strip-till one pass technology as row intercropping components in sustainable crop production. Agriculture 12(2), 229. https://doi.org/10.3390/agriculture12020229

Johnson J.M.F., Novak J.M., Varvel G.E. et al., 2014. Crop residue mass needed to maintain soil organic carbon levels: Can it be determined?. BioEnergy Res. 7(2), 481–490. https://doi.org/10.1007/s12155-013-9402-8

Jug D., Jug I., Brozović B. et al., 2025. Conservation soil tillage: Bridging science and farmer expectations — An overview from Southern to Northern Europe. Agriculture 15(3), 260. https://doi.org/10.3390/agriculture15030260

Kwak Y.S., Weller D.M., 2013. Take-all of wheat and natural disease suppression: A review. The Plant Pathol. J. 29(2), 125–135. https://doi.org/10.5423/PPJ.SI.07.2012.0112

MacLaren C., Storkey J., Menegat A. et al., 2020. An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment: A review. Agron. Sustain. Dev. 40, 24. https://doi.org/10.1007/s13593-020-00631-6

Mahajan G., Timsina J., 2011. Effect of nitrogen rates and weed control methods on weed abundance and yield of direct-seeded rice. Arch. Agron. Soil Sci. 57(3), 239–250. https://doi.org/10.1080/03650340903369384

Maiga A., Alhameid A., Singh S. et al., 2019. Responses of soil organic carbon, aggregate stability, carbon and nitrogen fractions to 15 and 24 years of no-till diversified crop rotations. Soil Res. 57(2), 149–57. https://doi.org/10.1071/SR18068

Mortensen D.A., Egan J.F., Maxwell B.D. et al., 2012. Navigating a critical juncture for sustainable weed management. BioSci. 62(1), 75–84. https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.12

Morris N.L., Miller P.C.H., Orson J.H. et al., 2010. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment: A review. Soil Till. Res. 108(1), 1–15. https://doi.org/10.1016/j.still.2010.03.004

Oerke E.C., 2006. Crop losses to pests. J. Agric. Sci. 144(1), 31–43. https://doi.org/10.1017/S0021859605005708

Olsson S., Alström S., 2000. Characterisation of bacteria in soils under barley monoculture and crop rotation. Soil Biol. Biochem. 32(10), 1443–1451. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00064-8

Peigné J., Ball B.C., Roger-Estrade J. et al., 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. Soil Use Manag. 23(2), 129–144. https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00082.x

Peoples M.B., Brockwell J., Herridge D.F. et al., 2009. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. Symbiosis 48(1–3), 1–17. https://doi.org/10.1007/BF03179980

Pranagal J., Woźniak A., 2021. Thirty years of wheat monoculture and reduced tillage and physical condition of Rendzic Phaeozem. Agric. Water Manag. 243, 106408. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106408

Rasool R., Kukal S.S., Hira G.S., 2008. Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in a maize–wheat system. Soil Till. Res. 101(1–2), 31–36. https://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.013

Seibutis V., Tamošiūnas K., Deveikytė I. et al., 2025. Earthworm population response to simplified tillage and shortened crop rotations in a Central Lithuanian Cambisol: A five-year study. Agriculture 15(4), 366. https://doi.org/10.3390/agriculture15040366

Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J. et al., 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. Soil Till. Res. 118, 66–87. https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.001

Turmel M.S., Speratti A., Baudron F. et al., 2015. Crop management and soil health: A systems analysis. Agric. Syst. 134, 6–16. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.009

Woźniak A., 2023. Effect of agronomic practices on yield, grain quality and root infestation by *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* of winter wheat. J. Elem. 28(4), 1021–1035. https://doi.org/10.5601/jelem.2023.28.3.2420

Woźniak A., 2024. Effect of agricultural practice on chemical and biological properties of soil. J. Elem. 29(2), 387–400. https://doi.org/10.5601/jelem.2023.28.4.3237

Woźniak A., 2025. Weed community in crop rotation and in a 33–35-year winter wheat monoculture. Acta Agrobot. 78, 1–12. https://doi.org/10.5586/aa/195279

Woźniak A., Haliniarz M., 2025. Response of winter wheat to 35-year cereal monoculture. Agriculture 15(5), 489. https://doi.org/10.3390/agriculture15050489

Source of funding: This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of Poland as part of statutory activities of the Department of Herbology and Plant Cultivation Techniques, University of Life Sciences in Lublin.

Received: 10.04.2026
Accepted: 29.06.2026
Published: 9.10.2026

Citation: Woźniak A., 2026. Effects of cropping systems on weed infestation, soil properties, yield, and grain quality of winter durum wheat. Agron. Sci. 81(3), 57–65. https://doi.org/10.24326/as.2026.5689

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI(3) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5714

ANDRZEJ SAMBORSKI[1]

Zmienność wartości współczynnika Selyaninova w okolicach Zamościa jako wskaźnik zmian agroklimatu

Variability of the Selyaninova coefficient in the vicinity of Zamość as an indicator of agroclimatic changes

Abstrakt: W ostatnich latach obserwuje się wyraźne nasilenie występowania anomalii pogodowych niemal we wszystkich regionach Europy. Wzrasta średnia roczna temperatura powietrza, coraz częściej występują ekstremalnie wysokie temperatury, pojawiają się krótkotrwałe intensywne opady i długie okresy bezopadowe. Zmiany te dotyczą również południowo-wschodniej części Lubelszczyzny i mają istotny wpływ na wzrost i rozwój roślin uprawnych.

Na podstawie wyników pomiarów meteorologicznych (średniej temperatury powietrza i sumy opadów atmosferycznych) prowadzonych na stacji w Zamościu scharakteryzowano warunki wzrostu i rozwoju roślin w okresie wegetacji w latach 1976–2025, obliczając w tym celu wskaźnik Selyaninova. W analizowanym okresie 50 lat odnotowano wzrastający trend średniej temperatury, przy jednocześnie niewielkim spadku sum opadów atmosferycznych. W efekcie w każdym z miesięcy okresu wegetacyjnego stwierdzono spadek wartości współczynnika Selyaninova, a co za tym idzie pogorszenie warunków wzrostu i rozwoju roślin.

Średnia wartość współczynnika Selyaninova w Zamościu w okresie wegetacji przyjmowała wartości od 2,54 w 1980 roku do 0,33 w 2025 roku. Analizując wartości współczynnika w kolejnych dekadach badanego 50-lecia, stwierdzono, że jego wartość systematycznie się zmniejsza od 1,59 w latach 1976–1985 do 0,95 w latach 2016–2025. Spadek wartości tego współczynnika obserwowano w każdym z miesięcy okresu wegetacyjnego, poczynając od kwietnia, w którym największe wartości 3,14 notowano w 10-leciu 1976–1985, a najmniejsze w latach 2016–2025. Szczególnie suchy był lipiec, w którym wartości współczynnika Selyaninova malały z 1,13 (1976–1985) do 0,60 w latach 2016–2025.

Słowa kluczowe: zmiany klimatu, temperatura powietrza, sezon wegetacyjny, wskaźnik Selyaninova

WSTĘP

Warunki atmosferyczne są jednym z najważniejszych czynników wpływających na funkcjonowanie środowiska przyrodniczego i jednocześnie na wielkość i jakość produkcji rolnej. Obserwowane zmiany warunków klimatycznych są szczególnie widoczne w przebiegu wartości temperatury powietrza, która od lat 70. ubiegłego wieku wykazuje nieregularny, ale stały wzrost [Michalska 2011]. Z tego względu

[1] Akademia Zamojska, Wydział Nauk Społecznych i Humanistycznych, ul. Pereca 2, Polska, https://orcid.org/0000-0001-7437-1267; autor korespondencyjny: andrzej.s.samborski@gmail.com

© Copyright by the Author, 2026

Licensee University of Life Sciences in Lublin – Publishing House, Lublin, Poland

This article is an open access article distributed under the terms and con-ditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

wśród kluczowych wskaźników bazy ECED (European Climate Data Explorer), na podstawie których można ocenić zagrożenia wynikające ze zmian klimatu, znalazła się między innymi temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych [Kasztelan i Samborski 2025]. Dla wzrostu i rozwoju roślin istotne znaczenie ma wartość i rozkład temperatury oraz suma opadów atmosferycznych w kolejnych fazach rozwojowych roślin. Fazy te przypadają na różne miesiące okresu wegetacyjnego (kwiecień–październik). Jednym ze wskaźników obiektywnie i kompleksowo opisujących warunki agroklimatyczne wzrostu i rozwoju roślin, uwzględniających wartości tych elementów, w różnych miesiącach jest współczynnik Selyaninova (HTC).

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie, na podstawie danych ze stacji meteorologicznej w Zamościu, zmian wartości wskaźnika Selyaninova (HTC) w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego w latach 1976–2025 i wskazanie okresów (miesięcy), w których rośliny są szczególnie narażone na zagrażające ich wegetacji niekorzystne warunki termiczno-wilgotnościowe.

MATERIAŁ I METODY

Ocenę warunków agroklimatycznych przeprowadzono na podstawie danych ze stacji meteorologicznej w Zamościu, które obejmowały zarówno wyniki publikowane w Dekadowych Biuletynach Agrometeorologicznych w latach 1976–1999, jak i wyniki dobowych pomiarów prowadzonych w Zamościu w okresie po 1999 roku.

Ponieważ po 1999 roku. stacja meteorologiczna w Zamościu należąca do IMGW zmieniła swoją lokalizację zweryfikowano zebrane materiały obserwacyjne pod kątem oceny jednorodności zebranego materiału, wykorzystując w tym celu pomiary prowadzone na funkcjonujących w Zamościu stacjach:

- Stacja przy ul. Szczebrzeskiej 102, należąca do Wydziału Nauk Rolniczych w Zamościu, Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (1982–2013),
- Stacja Uczelni Państwowej im. Szymona Szymonowica w Zamościu zlokalizowana przy ul. J. Zamoyskiego 64 – obecnie Akademia Zamojska (2011–2015),
- Stacja przy ul. I. Mościckiego 17 (2009–2025).

Następnie na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza i miesięcznych sum opadów atmosferycznych obliczono wartości wskaźnika Selyaninova w okresie wegetacji (kwiecień–październik) według wzoru:

$$HTC = 10P/\Sigma t,$$

gdzie: HTC – współczynnik Selyaninowa, P – miesięczna suma opadów, Σt – miesięczna suma dobowych wartości temperatury powietrza (t > 5°C), kierując się klasyczną definicją okresu wegetacyjnego, która mówi, że jest to czas, kiedy średnia temperatura powietrza jest wyższa od 5°C. Według Tomczyk i Bednorz [2022] średnia data początku okresu wegetacyjnego na tym terenie przypada na 23–28 marca, a zakończenia na 1–6 listopada, dlatego w pracy przedstawiono zmiany wartości tego wskaźnika w okresie od kwietnia do października.

Zmienność wartości współczynnika Selyaninova w okresie wegetacji obliczono, korzystając ze wzoru:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}}100,$$

gdzie: *CV* – współczynnik zmienności, *S* – odchylenie standardowe, $\bar{x}$ – średnia wartość współczynnika Selyaninova, przyjmując następujące progi interpretacyjne:

- <25% – mała zmienność (wysoka jednorodność),
- 25–45% – przeciętna zmienność,
- 45–100% – silna zmienność,
- 100% – bardzo silna zmienność.

Za optymalne dla roślin warunki wzrostu i rozwoju w każdym z miesięcy przyjęto te, w których wartość obliczonego wskaźnika Selyaninova zawierała się w przedziale 1,3 < HTC ≤ 1,6. Natomiast za ekstremalne przyjęto warunki spoza tego przedziału, przy czym, kiedy wartości współczynnika HTC mieściły się w przedziałach niższych od 1,3, uznano za warunki bardzo suche i skrajnie suche, a powyżej 1,6 jako warunki bardzo wilgotne i skrajnie wilgotne [Skowera i Puła 2004].

W pracy określono częstość wystąpienia warunków optymalnych w wyznaczonych przedziałach jako stosunek liczby obserwacji w wybranym miesiącu mających właściwość 1,3 < HTC ≤ 1,6 do liczebności całej próby statystycznej w tym miesiącu według wzoru:

$$f(HTC) = n(HTC)/n,$$

gdzie: *HTC* –zdarzenie losowe: 1,3 < *HTC* ≤ 1,6; *n* – lata obserwacji; *n*(*HTC*) – ilość wyników, które sprzyjały zdarzeniu losowemu HTC.

Założono, że pogoda o wartościach współczynnika 1,3 < HTC ≤ 1,6 wpływa pozytywnie na rośliny i ich rozwój, a spoza tego zakresu osłabia je. Oznacza to, że zarówno nadmiar wilgoci, jak i susza ograniczają wzrost i rozwój roślin, obniżają ich odporność na infekcje, przyczyniają się do rozwoju wielu różnych chorób i wpływają na wielkość i jakość uzyskiwanych plonów.

Na podstawie zebranych danych wyznaczono linie trendu pokazującą dominujący kierunek zmian wartości współczynnika Selyaninova w okresie wegetacji, korzystając ze wzoru:

$$Y = ax + b,$$

gdzie: *Y* – wartość współczynnika Selyaninova, *a* – współczynnik kierunkowy (pokazuje tempo i kierunek zmian), *b* – wyraz wolny (wartość początkowa), *x* – kolejny rok obserwacji.

Wielkość wzrostu lub spadku współczynnika Selyaninova oceniono za pomocą współczynników kierunkowych prostych regresji w kolejnych miesiącach okresu wegetacyjnego lat 1976–2025. Do oceny ogólnej istotności modelu regresji liniowej wykorzystano test F-Snedecora.

WYNIKI

Podczas wegetacji w latach od 1976 do 2025 roku dość istotnie zmieniały się warunki termiczno-opadowe. Na przestrzeni tego czasu zaobserwowano stały wzrost temperatury powietrza i spadek sum opadów atmosferycznych (rycina 1).

Wzrost temperatury powietrza opisuje równanie:

$$Y = 0{,}074x + 12{,}357,$$

którego współczynnik regresji $R^2 = 0{,}707$ i jest dodatni i istotny na poziomie $\alpha = 0{,}05$.

Spadek wartości sumy opadów atmosferycznych opisuje równanie:

$$Y = -1{,}818x + 440{,}910,$$

$R^2 = 0{,}086$ wskazuje niewielki ujemny związek między sumą opadów a latami badań.

W analizowanym okresie warunki termiczno-opadowe określone przy pomocy wskaźnika Selyaninova zmieniały się w szerokim zakresie od 0,33 w 2025 roku do 2,54 w 1980 roku.

Najczęściej współczynnik Selyaninova przyjmował 20-krotność wartości optymalnej dla wzrostu i rozwoju roślin i mieścił się w przedziale od 1,30 do 1,60 (rycina 2).

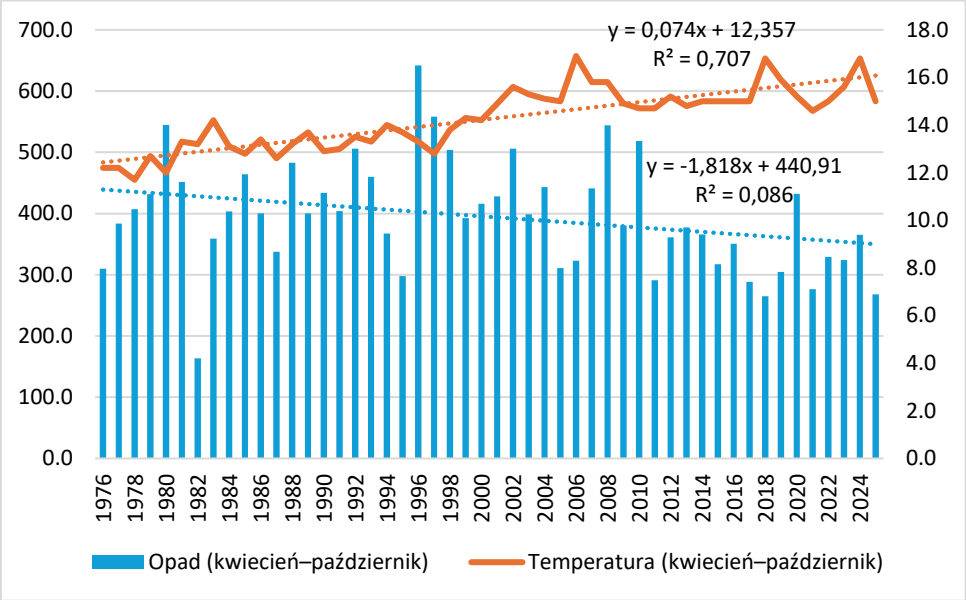
Na przestrzeni lat obserwuje się wyraźny spadek wartości tego współczynnika opisany równaniem:

$$Y = -0{,}016x + 33{,}178,$$

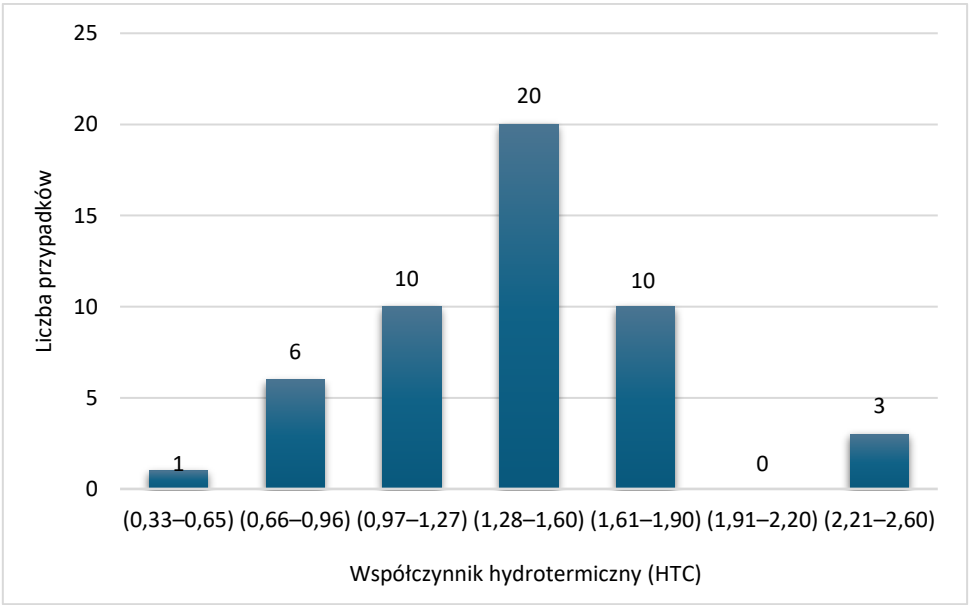
gdzie: *Y* – wartość HTC, *x* – rok obserwacji. Współczynnik determinacji tak wyznaczonego równania wynosił $R^2 = 0{,}299$ (rycina 3). Na wynik ten składały się wartości współczynnika w każdym z kolejnych miesięcy okresu wegetacyjnego od kwietnia do października.

W okresie wegetacji, w zależności od gatunku i odmiany, rośliny mają różne wymagania termiczno-wilgotnościowe, dlatego przy ocenie warunków wzrostu i rozwoju roślin szczególnie istotne jest poznanie tych warunków w kolejnych miesiącach okresu wegetacyjnego w kolejnych etapach ich rozwoju.

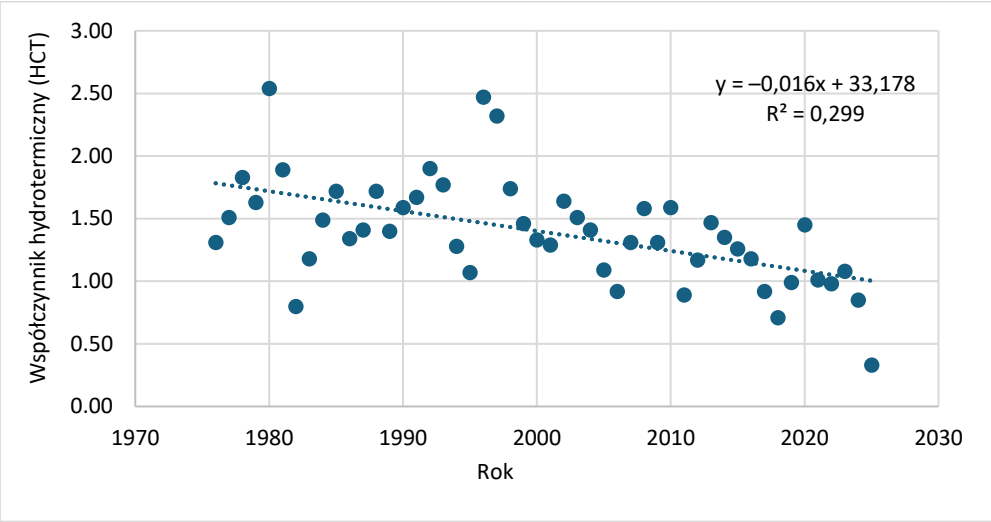
Rycina 1. Temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych w Zamościu w okresie wegetacyjnym (kwiecień–październik) w latach 1976–2025



Rycina 2. Częstość wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w okresie wegetacji w różnych przedziałach wartości



Rycina 3. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w okresie wegetacyjnym w latach 1976–2025



Zmianę częstości występowania optymalnych i skrajnych warunków wegetacji roślin w poszczególnych miesiącach, w kolejnych dekadach okresu 1976–2025 prezentuje tabela 1. Szczególnie wzrost niekorzystnych – bardzo suchych i skrajnie suchych warunków w kolejnych miesiącach okresu wegetacyjnego obserwowany jest w ostatniej dekadzie 2016–2025. Wzrost ten odbywa się kosztem miesięcy w dekadach wcześniejszych zaliczanych do miesięcy o warunkach optymalnych lub wilgotnych (tabela 1).

Tabela 1. Częstość występowania optymalnych i skrajnych warunków wegetacji roślin w kolejnych 10-leciach okresu 1976–2025 w Zamościu

Wyszczególnienie	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Kwiecień–październik
1976–1985								
HTC < 1,3	–	2	3	6	8	8	5	2
1,3 < HTC ≤ 1,6	–	2	2	2	2	1	1	3
HTC > 1,6	10	6	5	2	–	1	4	5
1986–1995								
HTC < 1,3	–	2	3	8	5	7	3	2
1,3 < HTC ≤ 1,6	–	2	4	1	1	–	3	4
HTC > 1,6	10	6	3	1	4	3	4	4
1996–2005								
HTC < 1,3	2	4	3	8	7	6	5	2
1,3 < HTC ≤ 1,6	–	1	–	–	2	1	–	4
HTC > 1,6	8	5	7	2	1	3	5	4
2006–2015								
HTC < 1,3	1	5	5	8	7	8	6	4
1,3 < HTC ≤ 1,6	1	1	2	1	1	1	1	6
HTC > 1,6	8	4	3	1	2	1	3	–
2016–2025								
HTC < 1,3	5	8	6	10	9	8	8	9
1,3 < HTC ≤ 1,6	2	1	2	–	–	1	–	1
HTC > 1,6	3	1	2	–	1	1	2	–

W kwietniu średnia wartość HTC wynosiła 2,53 przy odchyleniu standardowym S = 1,38. Współczynnik Selyaninova, w tym miesiącu, w poszczególnych latach zmieniał się w zakresie od 0,33 w 2025 roku do 6,25 w 1980 roku Z ryciny 4 wynika, że na przestrzeni ostatnich 50 lat wartość tego współczynnika stale malała zgodnie z równaniem:

$$Y = -0{,}025x + 53{,}365,\ R^2 = 0{,}071.$$

W kwietniu wskaźnik HTC przyjmował najczęściej wartości powyżej optymalnych HTC >1,6, co stanowiło 78% wszystkich przypadków (tabela 2), z tego 40% stanowiły kwietnie, w których HTC >2,5. Wartość ta oznacza, że były to warunki skrajnie wilgotne.

Rycina 4. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w kwietniu w latach 1976–2025

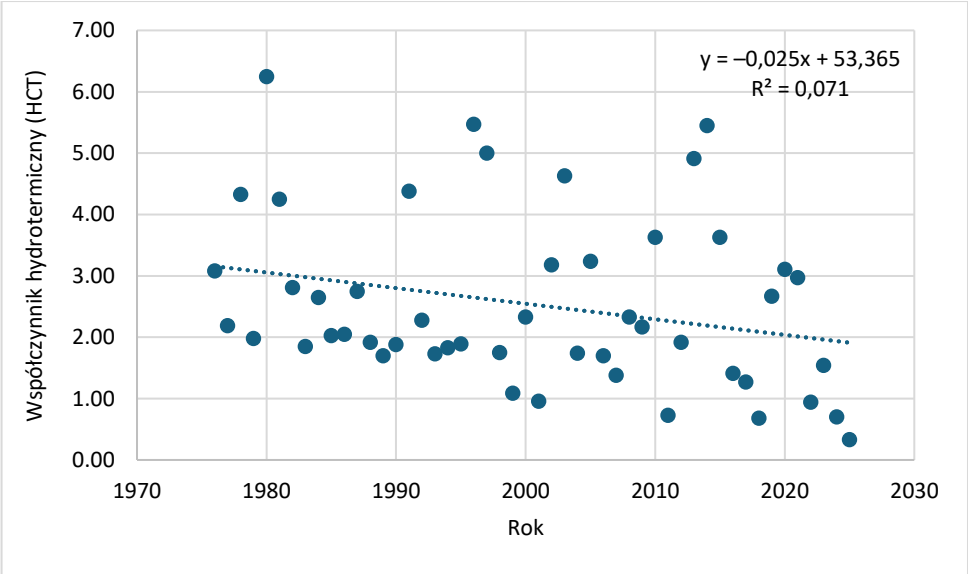


Tabela 2. Częstość występowania optymalnych i skrajnych warunków wegetacji roślin w Zamościu w latach 1976–2025

Wyszczególnienie	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Kwiecień–październik
HTC < 1,3	8 (16%)	21 (42%)	20 (40%)	40 (80%)	36 (72%)	37 (74%)	27 (54%)	189 (54%)
1,3 < HTC ≤ 1,6	3 (6%)	7 (14%)	10 (20%)	4 (8%)	6 (12%)	4 (8%)	5 (10%)	39 (11%)
HTC > 1,6	39 (78%)	22 (44%)	20 (40%)	6 (12%)	8 (16%)	9 (18%)	18 (36%)	122 (35%)

Warunki suche i skrajnie suche HTC < 1,3 wystąpiły w kwietniu po 1999 roku w ciągu 8 lat, co stanowi 16% wszystkich przypadków (tabela 2).

W maju średnia wartość HTC była mniejsza niż w kwietniu i wynosiła 1,56, przy odchyleniu standardowym S = 0,79 (tabela 3). Największą wartość HTC = 3,79 odnotowano w 1988 roku, a najmniejszą w 2024 roku tylko 0,25. Przebieg wartości współczynnika w maju na przestrzeni od 1976 do 2025 roku przedstawia rycina 5.

Optymalne wartości współczynnika Selyaninowa (1,3 < HTC ≤ 1,6) wystąpiły w 14% wszystkich miesięcy maja, w 44% były to miesiące o warunkach wilgotnych i skrajnie wilgotnych (HTC > 1,6). Natomiast 42%, to maje, kiedy występowały warunki suche i skrajnie suche. Zdecydowanie częściej – 15-krotnie suche i skrajnie suche maje występowały w drugiej połowie analizowanego 50-lecia, czyli w latach 2001–2025 (rycina 5).

W czerwcu średnia wartość współczynnika Selyaninova wynosiła 1,55 odchylenie standardowe S = 0,86 (tabela 3) i zmieniała się od 0,26 w 1994 roku do 3,93 w 1997 (rycina 6).

Tabela 3. Średnie, odchylenie standardowe (S), minimalne i maksymalne wartości współczynnika Selyaninova (HTC) oraz współczynnik zmienności (CV) w kolejnych 10-leciach okresu 1976–2025 w Zamościu

Wyszczególnienie	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Kwiecień–październik
1976–1985								
HTC	3,14	1,85	1,85	1,13	0,91	1,00	1,24	1,59
S	1,41	0,66	0,89	0,77	0,44	0,81	0,69	0,47
HTC min	1,85	0,83	0,34	0,17	0,26	0,23	0,32	0,80
HTC max	6,25	3,00	3,41	2,78	1,48	2,89	2,25	2,54
CV	44,78	35,51	47,98	67,93	48,26	80,63	55,68	29,32
1986–1995								
HTC	2,24	1,95	1,32	1,05	1,37	1,11	1,60	1,52
S	0,81	0,79	0,60	0,53	0,56	1,05	0,84	0,26
HTC min	1,70	1,11	0,26	0,30	0,31	0,24	0,56	1,07
HTC max	4,38	3,79	1,99	2,18	2,09	3,10	2,34	1,90
CV	36,29	40,72	45,42	50,66	40,90	94,86	52,56	16,94
1996–2005								
HTC	2,94	1,63	2,18	1,18	0,91	1,09	1,44	1,63
S	1,64	0,95	1,07	0,93	0,54	0,64	0,89	0,45
HTC min	0,96	0,34	0,64	0,25	0,19	0,09	0,33	1,09
HTC max	5,47	2,93	3,93	3,58	1,74	1,97	2,81	2,47
CV	55,82	58,19	48,92	78,60	59,43	58,73	61,35	27,37
2006–2015								
HTC	2,79	1,43	1,24	0,80	0,97	0,78	0,98	1,29
S	1,55	0,59	0,84	0,64	0,76	0,53	0,67	0,24
HTC min	0,73	0,62	0,41	0,07	0,01	0,05	0,01	0,89
HTC max	5,45	2,17	2,54	2,00	2,50	1,67	1,72	1,59
CV	55,82	41,64	67,19	79,44	78,32	68,13	68,70	18,76
2016–2025								
HTC	1,56	0,96	1,16	0,60	0,80	0,74	0,83	0,95
S	1,01	0,69	0,46	0,31	0,50	0,59	0,57	0,29
HTC min	0,33	0,25	0,33	0,18	0,22	0,08	0,32	0,33
HTC max	3,11	2,56	1,65	1,09	1,67	2,02	1,76	1,45
CV	64,52	72,34	39,31	51,89	62,36	80,16	68,28	30,96
1976–2025								
HTC	2,53	1,56	1,55	0,95	0,99	0,94	1,22	1,39
S	1,38	0,79	0,86	0,67	0,58	0,73	0,76	0,42
HTC min	0,33	0,25	0,26	0,07	0,01	0,05	0,01	0,33
HTC max	6,25	3,79	3,93	3,58	2,50	3,10	2,94	2,54
CV	54,45	50,68	55,20	70,36	58,01	76,97	62,17	30,10

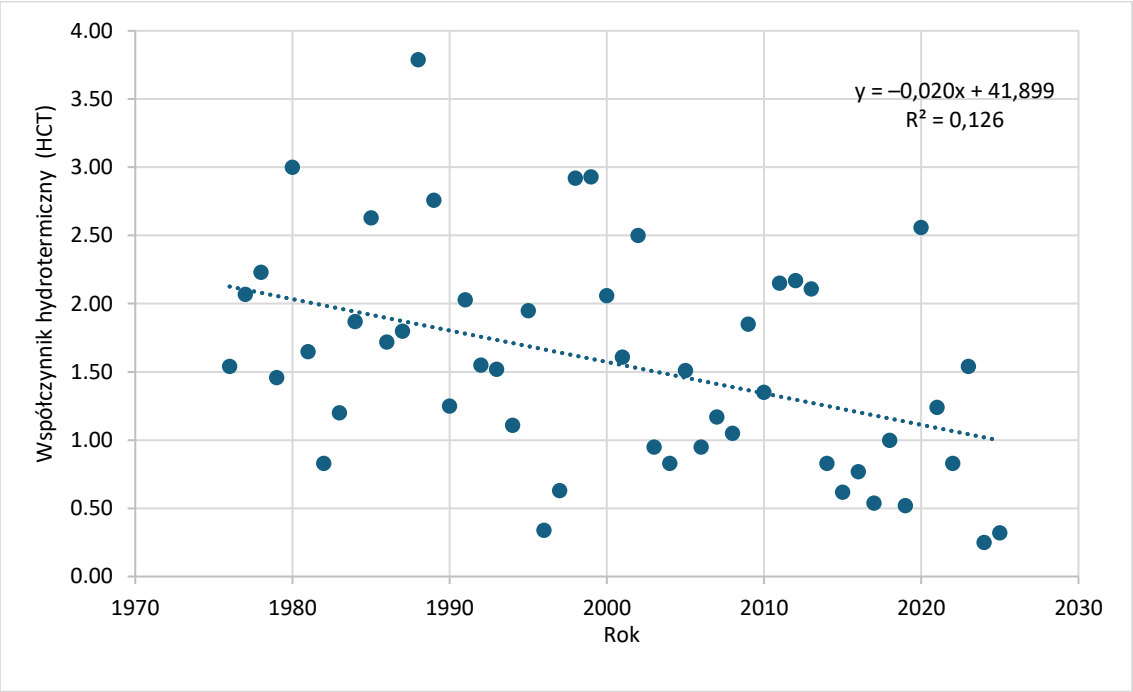
Optymalne warunki termiczno-wilgotnościowe wystąpiły w 20% wszystkich czerwców. Zarówno warunki określane jako wilgotne i skrajnie wilgotne (HTC > 1,6), jak i suche i skrajnie suche (HTC < 1,3) wystąpiły po 40% wszystkich czerwców w tych latach (tabela 2). Po 2000 roku 13-krotnie w czerwcu występowały warunki suche lub skrajnie suche (rycina 6).

Związek pomiędzy wartością współczynnika, a latami opisuje równanie:

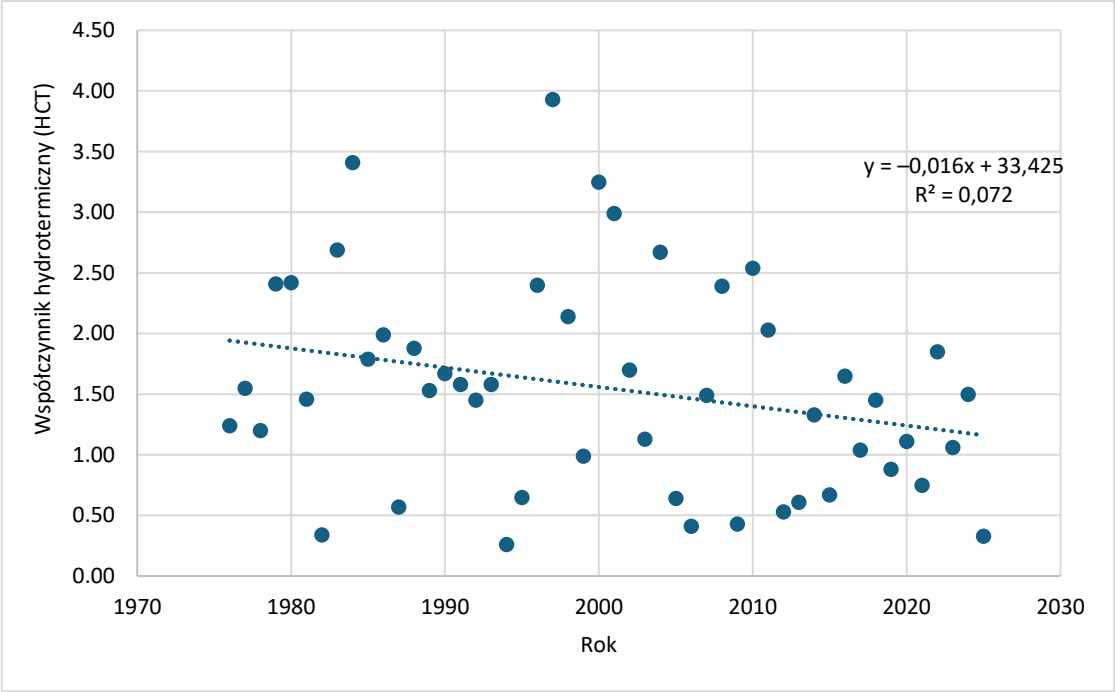
$$Y = -0{,}020x + 41{,}899,\ R^2 = 0{,}126.$$

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że w lipcu, sierpniu i w pierwszym z miesięcy jesiennych – we wrześniu warunki termiczno-opadowe opisane przez wskaźnik Selyaninova odbiegały od optymalnych dla roślin, były suche i skrajnie suche.

Rycina 5. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w maju w latach 1976–2025

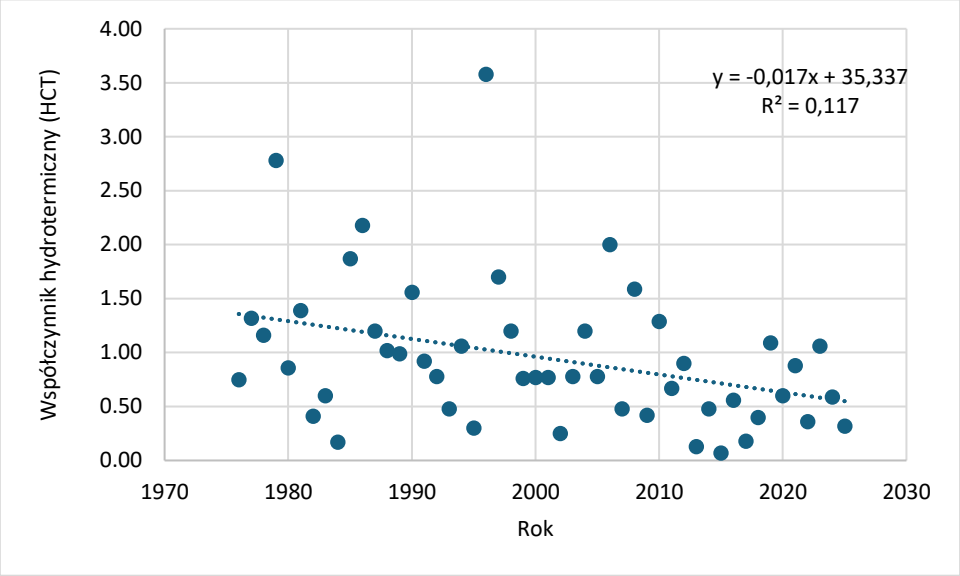


Rycina 6. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w czerwcu w latach 1976–2025

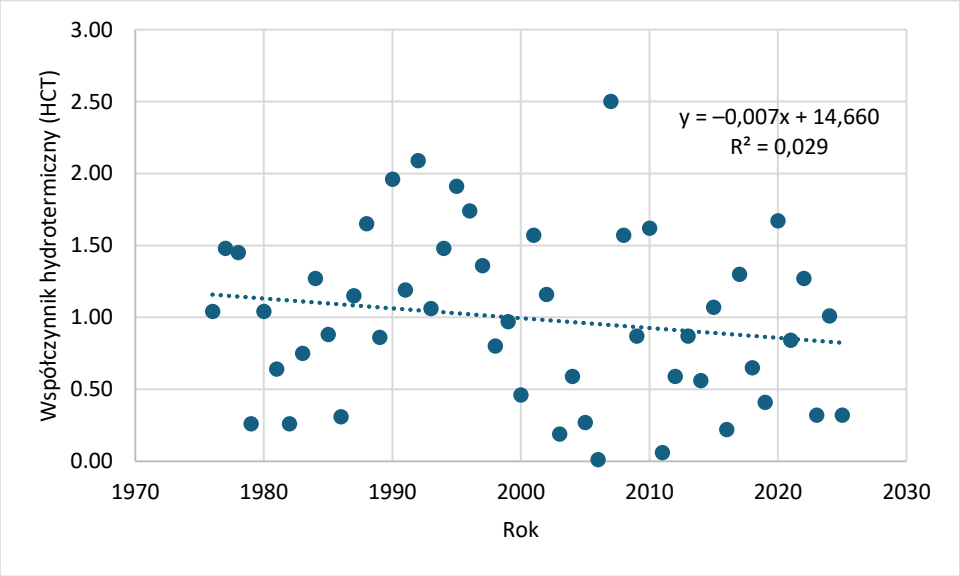


Średnia wartość współczynnika w lipcu wynosiła HTC = 0,95, odchylenie standardowe S = 0,68 (tabela 3). Największą wartość tego wskaźnika 3,58 stwierdzono w 1996 roku, a najniższą 0,07 w 2015 roku (rycina 7). Optymalne warunki dla wzrostu i rozwoju roślin ($1,3 < HTC \leq 1,6$) wystąpiły w lipcu tylko 4-krotnie, co stanowi 8% lipcowych wyników ze wszystkich badanych lat, i tylko 6 razy średnia miesięczna wartość wskaźnika Selyaninova była większa od wartości 1,6. W pozostałych 40 latach wartości współczynnika HTC były niższe od 1,3 (tabela 2).

Rycina 7. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w lipcu w latach 1976–2025



Rycina 8. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w sierpniu w latach 1976–2025

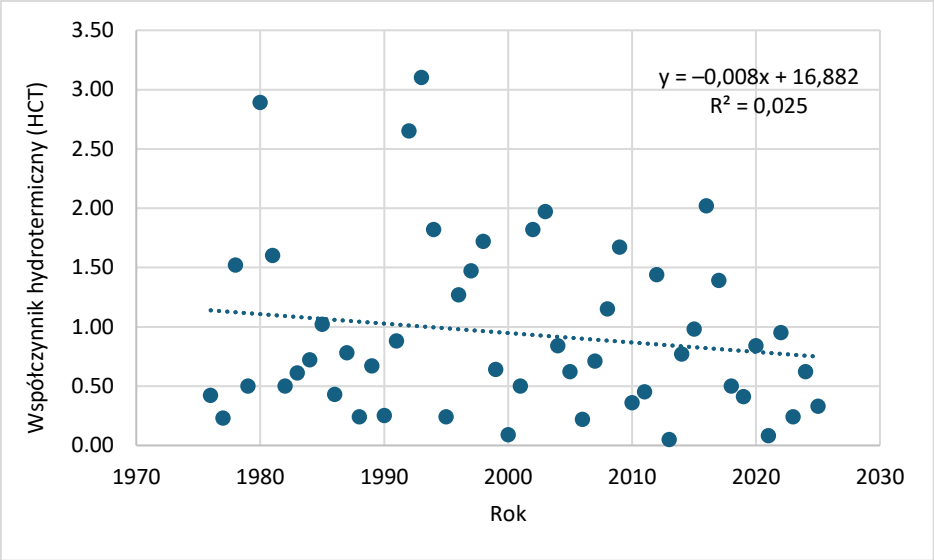


Podobnie jak w lipcu, również w sierpniu notowano niskie wartości HTC. Średnia miesięczna wartość HTC = 0,99, odchylenie standardowe S = 0,58 (tabela 3). Najmniejszą wartość notowano w 2006 roku HTC = 0,01, a największą w 2007 roku HTC = 2,50 (rycina 8).

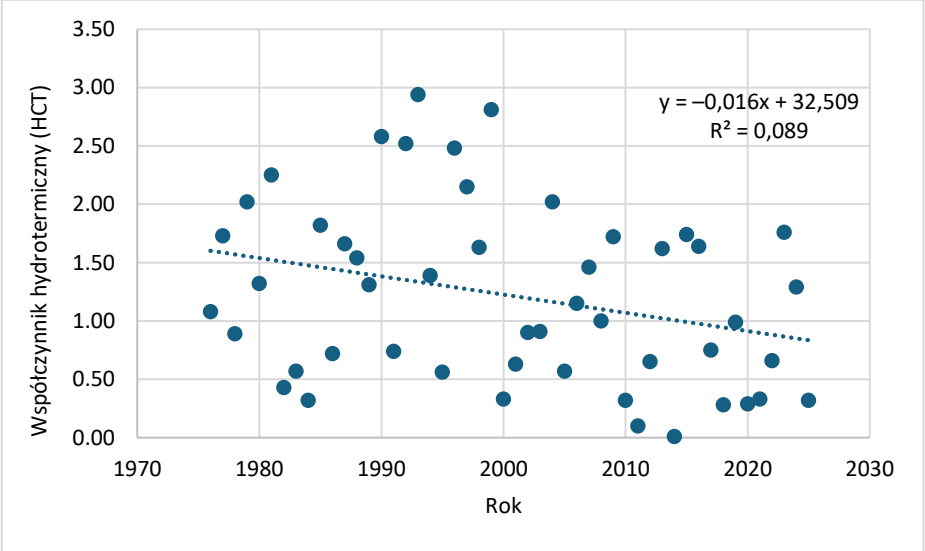
Optymalne warunki (1,3 < HTC ≤ 1,6) w sierpniu wystąpiły 6-krotnie, co stanowi 12%, a warunki z HTC > 1,6 w 8 latach (16%), pozostałe 72% to miesiące, w których HTC < 1,3 (tabela 2).

Najmniejszą średnią 50-letnią wartość współczynnika HTC = 0,94 stwierdzono we wrześniu, odchylenie standardowe S = 0,73 (tabela 3). W tym miesiącu najniższą wartością było HTC = 0,05 w 2013 roku, a największą 3,10 w 1993 roku (rycina 9). Optymalne warunki notowano we wrześniu tylko 4 razy w okresie 1976–2025, co stanowi 8% wszystkich analizowanych przypadków. Zdecydowanie największy odsetek (74%) stanowiły warunki we wrześniu, które można określić jako suche i skrajnie suche HTC < 1,3. Pozostałe 9 (18%) to miesiące wilgotne i skrajnie wilgotne, kiedy HTC > 1,6 (tabela 2).

Rycina 9. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) we wrześniu w latach 1976–2025



Rycina 10. Zmiany wartości współczynnika hydrotermicznego (HTC) w październiku w latach 1976–2025



W październiku średnia 50-letnia wartość HTC wyniosła 1,22, odchylenie standardowe – 0,76 (tabela 3), i zmieniała się w przedziale od 0,01 w 2014 roku do 2,94 w 1993 roku. W 5 przypadkach (10%) wartość współczynnika Selyaninova w październiku zawierała się w przedziale charakteryzującym optymalne warunki dla rozwoju roślin, pozostałe 90% to warunki suche i skrajnie suche – 54% oraz wilgotne i skrajnie wilgotne – 36% (tabela 2).

Spośród 350 miesięcy analizowanych w okresie wegetacyjnym w wieloleciu 1976–2025 warunki suche lub skrajnie suche stwierdzono w 189 miesiącach, optymalne w 39, a wilgotne i skrajnie wilgotne w 122. Prezentowane równania trendu (ryciny 4–10) mają ujemny współczynnik kierunkowy, wskazują na stale malejące wartości współczynnika Selyaninova w każdym z tych miesięcy.

Trend ten potwierdza zestawienie wartości współczynnika Selyaninova, jego wartości średnich, minimalnych i maksymalnych (tabela 3) oraz częstości występowania optymalnych i skrajnych warunków wegetacji w kolejnych 10-leciach badanego okresu (tabela 3).

Prezentowane w tabelach 1 i 3 wyniki wskazują, że w ostatniej dekadzie 2016–2025 wyraźnie wzrosła liczba miesięcy, w których warunki wegetacji roślin były niekorzystne – suche lub skrajnie

suche. Nastąpiło to kosztem warunków optymalnych oraz zmniejszającą się liczbą miesięcy, w których panowały warunki wilgotne lub skrajnie wilgotne.

DYSKUSJA

Współczynnik hydrotermalny (HTC), opracowany przez Selyaninova [1928], wykorzystuje wartości temperatury i opadów i jest wrażliwy na suche warunki specyficzne dla monitorowanego reżimu klimatycznego. Można go stosować zarówno w aplikacjach miesięcznych, jak i dziesięcioletnich i był szeroko stosowany w Bośni i Hercegowinie, Bułgarii, Kazachstanie, Litwie, na Ukrainie oraz w wielu innych krajach [Evarte-Bundere i Evarts-Bunders 2012, Gudko i in. 2021, Rybashlykova i in. 2023].

Prezentowane w pracy wartości współczynnika HTC wynikają z obserwowanego od lat 70. wzrostu temperatury powietrza [Michalska 2011], co zwiększa częstość występowania suszy meteorologicznej [Ziernicka-Wojtaszek 2012].

W świetle literatury opisywane zmiany dotyczą różnych regionów w tym obszarów Europy. Według Kovats i in. [2014] oraz Anders i in. [2014] w Skandynawii ocieplenie przyspieszyło bardziej zimą niż latem, podczas gdy temperatury latem wzrosły bardziej w Europie Środkowej i Wschodniej. W północnej Norwegii wzrosła średnia roczna temperatura powietrza i wpłynęła na wydłużenie okresu wegetacyjnego [Hanssen-Bauer i Førland 2016, Vikhamar-Schüler 2016].

W Polsce stwierdzono wzrost temperatury powietrza na przedwiośniu i wiosną, w okresie od 1950 do 2005 roku temperatura wzrastała od około 0,4°C w południowej części kraju do około 0,7°C na 10 lat na północy. Szczególnie wzrost temperatury obserwowano w marcu, maju i w sierpniu [Michalska 2011].

W ocenie wielu naukowców w ostatnich latach zmiany klimatu stanowią największe zagrożenie dla środowiska przyrodniczego. Według Beck i in. [2005], 13 spośród 15 najcieplejszych lat na świecie w okresie 1951–2000 miało miejsce w latach 1986–2000. W skali globalnej obserwuje się zmiany obszaru zajmowanego przez pięć głównych typów klimatu Köppena, które charakteryzują się z jednej strony długoterminowymi tendencjami zmniejszania się obszarów reprezentujących klimat borealny i zimny (D i E), a z drugiej wzrostem powierzchni obszarów z klimatem suchym (B). Ekspansję suchego klimatu B można również stwierdzić w Europie. Najważniejsze wydaje się być powiększanie obszaru zajmowanego przez klimat umiarkowany (C) i zmniejszanie powierzchni klimatu borealnego (D) obejmującego do 10% powierzchni lądowej Europy [Beck i in. 2005].

Poza zmianami wartości temperatury powietrza następują istotne zmiany w charakterze i wielkości opadów, których roczne sumy generalnie rosną w północnej Europie i zmniejszają się w jej południowej części. Niezależnie od wartości w ostatnich latach obserwuje się znacznie zwiększanie intensywności występujących opadów [Kovats i in. 2014].

Zarówno zmiany wartości temperatury powietrza, jak i sum opadów atmosferycznych wpływają na warunki wegetacji roślin, które opisuje współczynnik hydrotermiczny (HTC). Tendencja spadkowa wartości tego współczynnika wynika ze wzrostu temperatury powietrza i zmniejszającej się sumy opadów atmosferycznych, takie warunki mogą prowadzić do stepowienia tego obszaru. Fakt ten potwierdzają udokumentowane zmiany reżimu termicznego gleb północno-wschodniej Polski, które wskazują na postępujące ocieplanie gleby w wyniku globalnych zmian klimatu [Górniak 2023].

Regionalne prognozy klimatyczne przeprowadzone przez CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment) dla Europy w scenariuszu emisji RCP 8.51 pokazują, że temperatura powietrza może wzrosnąć od 4 do 6,5°C, a roczne opady mogą obniżyć się o ponad 20% w wielu częściach Europy [Coppola i in. 2021] w porównaniu z okresem odniesienia 1971–2000. Prezentowane w niniejszej pracy coraz niższe wartości współczynnika HTC w okresie wegetacji w kolejno następujących latach potwierdzają te prognozy i mogą stanowić podstawę do opracowania prognoz plonów roślin.

W strefach suchych plony miękkich odmian pszenicy ozimej są szczególnie zależne od zmienności warunków hydrotermalnych, definiowanych między innymi przez współczynnik hydrotermalny (HTC). Stwierdzono, że w latach 2019–2021 dodatnie zmiany temperatury i susze spowodowały wydłużenie okresu wegetacyjnego upraw, zmniejszenie gęstości roślin oraz obniżenie wydajności odmian odpornych na suszę i stres klimatyczny [Esaulko i in. 2023, Barabolia i Yevlash 2025].

Statystycznie istotny wpływ warunków termiczno-opadowych, opisanych wskaźnikiem Selyaninova na średni krajowy plon ziemniaka w wybranych miesiącach okresu wegetacyjnego wykazał Kalbarczyk [2003]. Plonom ziemniaka powyżej średniej sprzyjają warunki opisane wartościami współczynnika Selyaninova w czerwcu w przedziale od 0,8 do 1,8, a w lipcu od 0,9 do 2,1. Zmiany warunków termiczno-opadowych wpływają również na osłabienie kondycji roślin, w tym roślin zbożowych, w efekcie czego zwiększa się prawdopodobieństwo występowania chorób grzybowych [Samborski 2013].

PODSUMOWANIE

Spadek wartości współczynnika hydrotermalnego (HTC) w kolejnych miesiącach okresu wegetacyjnego obserwowany na przestrzeni lat 1976–2025 wskazuje na potencjalne zagrożenie wynikające z obserwowanych zmian klimatu, których konsekwencją są coraz częściej pojawiające się okresy posuchy.

Generalnie z roku na rok notowane są coraz niższe wartości współczynnika Selyaninova. Na przestrzeni lat szczególnie niskie wartości odnotowuje się w okresie letnim od lipca do września, ale postępujące zmiany klimatu sprawiają, że coraz częściej problem ten dotyka również miesięcy wiosennych kwietnia i maja. Jest to szczególnie niepokojące w przypadku, gdy okresy zimowe są coraz cieplejsze, z coraz mniejszą warstwą pokrywy śnieżnej, a tym samym z coraz mniejszymi zasobami wody.

Obserwowane zmiany klimatu istotnie wpływają na wzrost, rozwój i kondycję i niskie plony roślin, które pod wpływem coraz częściej pojawiających się, o większym nasileniu okresów posuchy, w związku z niedoborami wody, są bardziej podatne na choroby i szkodniki.

PIŚMIENNICTWO

Anders I., Stagl J., Auer I. i in., 2014. Climate change in Central and Eastern Europe. In: S. Rannow, M. Neubert (red.), Managing protected areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change. Adv. Global Change Res. 58, Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7960-0_2

Barabolia O., Yevlash V., 2025. Varietal optimization of winter wheat for increasing yield and improving grain quality under the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Sci. Progress Innov. 28(3), 37–44. https://doi.org/10.31210/spi2025.28.03.06

Beck C., Grieser J., Kottek M. i in., 2005. Characterizing global climate change by means of Koppen climate classification. Klimastatusbericht 51, 139–149.

Coppola E., Nogherotto R., Ciarlo J.M. i in., 2021. Assessment of the European Climate Projections as simulated by the large EURO-CORDEX Regional and Global Climate Model Ensemble. JGR Atmosph. 126, e2019JD032344. https://doi.org/10.1029/2019JD032344

Esaulko A., Sitnikov V., Pismennaya E. i in., 2023. Productivity of winter wheat cultivated by direct seeding: measuring the effect of hydrothermal coefficient in the arid zone of central fore-caucasus. Agriculture 13, 55. https://doi.org/10.3390/agriculture13010055

Evarte-Bundere G., Evarts-Bunders P., 2012. Using of the hydrothermal coefficient (HTC) for interpretation of non-native tree species in Latvia on example of cultivated species of genus Tilia. Acta Biol. Univ. Daugavp. 12(2), 135–148.

Górniak A., 2023. Recent and future soil temperature regime in the coldest part of Poland. J. Agrometeorol., 25(1), 158–163. https://doi.org/10.54386/jam.v25i1.1867

Gudko V., Usatov A., Ioshpa A. i in., 2021. Agro-climatic conditions of the Southern Federal District of Russia in the context of climate change. Theor. Appl. Climatol. 145(2), 989–1006. https://doi.org/10.1007/s00704-021-03677-y

Hanssen-Bauer I., Førland E.J., 2016. Daily maximum and minimum temperatures. W: E.J. Førland (red.), Background information for “Klima i Norge 2100” on freezing/thawing, minimum/maximum temperature, short-term rainfall, wind and permafrost. Norwegian Centre for Climate Servicesres, 15–20.

Kalbarczyk R., 2003. Warunki termiczno-opadowe a plonowanie ziemniaka w Polsce. Annales UMCS, Sec. E 58, 35–44.
Kasztelan A., Samborski A., 2026. Multi-criteria analysis of climate change in the European Union countries, including projections to 2040. Sustain. Dev. 34(3), 3989–4005. https://doi.org/10.1002/sd.70553
Kovats R.S., Valentini R., Bouwer L.M. i in., 2014. Impacts, adaptation and vulnerability. W: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken i in. (red.), Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 1267–326.
Michalska B., 2011. Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce. Pr. St. Geograf. 47, 67–75.
Rybashlykova L.P., Sivceva S.N., Mahovikova T.F., 2023 Relationship between hydrothermal coefficient (HTC) and productivity of pastures in the arid zone of Northwestern Caspian Sea. J. Agrometeorol. 25(3), 454–457. https://doi.org/10.54386/jam.v25i3.2220
Samborski A.S., 2013. Impact of weather on occurrence of brown rust of wheat in southeast of the Lublin region Poland. J. Agrometeorol. 15(2), 103–107. https://doi.org/10.54386/jam.v15i2.1454
Selyaninov G.T., 1928. About climate agricultural estimation. Proceed. on Agric. Meteorol. 20, 165–177.
Skowera B., Puła J., 2004. Skrajne warunki pluwiometryczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000. Acta Agrophys. 3(1), 171–177.
Tomczyk A.M., Bednorz E., 2022. Atlas klimatu Polski. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań, 72.
Vikhamar-Schüler D., Isaksen K., Haugen J.E., Tømmervik H., Luks B., Vikhamar-Schüler T., 2016. Changes in winter warming events in the Nordic Arctic Region. J. Climate. 29, 6223–6244.
Ziernicka-Wojtaszek A., 2012. Porównanie wybranych wskaźników oceny suszy atmosferycznej na obszarze województwa podkarpackiego (1901-2000). Woda. Środ. Obsz. Wiej. 12(38), 365–376.

Abstract. In recent years, a clear intensification in the occurrence of weather anomalies has been observed across almost all regions of Europe. The average annual air temperature is increasing, extremely high temperatures are occurring more frequently, short-term intense precipitation as well as long dry periods are becoming more common. These changes also affect the south-eastern part of the Lublin region and have a significant impact on the growth and development of crops.
Based on meteorological measurements (average air temperature and total precipitation) carried out at the station in Zamość, the conditions of plant growth and development during the vegetation period in the years 1976–2025 were characterized using the Selyaninov coefficient. Over the analyzed 50-year period, an increasing trend in average temperature was recorded, accompanied by a slight decrease in precipitation totals. As a result, a decline in the Selyaninov coefficient was recorded in each month of the vegetation period, and consequently a deterioration in the conditions for plant growth and development was observed.
The average value of the Selyaninov coefficient in Zamość during the growing season ranged from 2.54 in 1980 to 0.33 in 2025. Analysing the values of the coefficient in the following decades of the 50th anniversary, it was found that its value systematically decreases from 1.59 in the years 1976–1985 to 0.95 in the years 2016–2025. A decrease in the value of this coefficient was observed in each of the months of the growing season starting from April, when the highest values of 3.14 were recorded in the 10th year 1976–1985, and the lowest in 2016–2025. July was particularly dry, with Selyaninov coefficient values decreasing from 1.13 (1976–1985) to 0.60 between 2016 and 2025.

Keywords: climate change, air temperature, growing season, hydrothermal coefficient Selyaninov (HTC)

Źródło finansowania: Praca nie była finansowana ze środków zewnętrznych.

Deklaracja użycia generatywnej AI w procesie powstawania pracy: Praca powstała bez użycia narzędzi generatywnej AI.

Otrzymano/Received: 26.05.2026
Zaakceptowano/Accepted: 21.07.2026
Opublikowano/Published: 9.10.2026

Cytowanie: Samborski A., 2026. Zmienność wartości współczynnika Selyaninova w okolicach Zamościa jako wskaźnik zmian agroklimatu. Agron. Sci. 81(3), 67–79. https://doi.org/10.24326/as.2026.5714

AGRONOMY SCIENCE

VOL LXXXI(3) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5731

CEZARY TRAWCZYŃSKI[1]

Wpływ stosowania nawożenia mineralnego azotem i nawozu organicznego Rosahumus na wielkość plonu i jakość bulw ziemniaka

The effect of use of mineral nitrogen fertilization and organic fertilizer Rosahumus on the yield and quality of potato tubers

Abstrakt. W badaniach polowych przeprowadzonych na glebie lekkiej w latach 2018-2020 określono wpływ nawożenia azotem z dodatkiem lub bez nawozu organicznego Rosahumus stosowanego doglebowo i dolistnie na wielkość plonu i niektóre cechy jakości bulw ziemniaka. Użyty do badań nawóz stosowano w formie oprysku na glebę przed sadzeniem bulw w dawce 4,5 kg·ha^{-1} oraz w połączeniu z dwukrotnym zabiegiem dolistnym wykonywanym w fazach BBCH 30 i BBCH 55 w dawce 0,3 kg·ha^{-1}. Nawożenie uzupełniające nawozem organicznym przeprowadzono w warunkach nawożenia mineralnego azotem: 60 kg·ha^{-1}, 90 kg·ha^{-1} i 120 kg·ha^{-1}. Obiekt kontrolny był bez nawożenia organicznego. Przyrost plonu bulw ziemniaka po aplikacji doglebowej nawozu Rosahumus był większy o 6,0%, a w połączeniu z dolistną o 13,0% w porównaniu z obiektem kontrolnym. Pod wpływem nawozu Rosahumus odnotowano istotne zwiększenie udziału bulw dużych i zmniejszenie udziału bulw zdeformowanych w strukturze plonu w porównaniu z obiektem kontrolnym. Nawóz Rosahumus niezależnie od sposobu stosowania przyczynił się do istotnego zwiększenia zawartości witaminy C w bulwach w porównaniu do obiektu bez jego użycia. Wraz ze zwiększeniem dawki azotu mineralnego od 60 kg·ha^{-1} do 120 kg·ha^{-1} uzyskano istotne zwiększenie plonu bulw, udziału bulw dużych w plonie, zawartości skrobi i suchej masy w bulwach.

Słowa kluczowe: huminy, jakość bulw, nawożenie azotem, plon, ziemniak

WSTĘP

Nawożenie ziemniaka powinno opierać się na stosowaniu nie tylko nawozów mineralnych, ale również naturalnych lub organicznych [Blecharczyk i in. 2023]. Specyfika uprawy ziemniaka wymagająca szerokich rzędów i mechanicznej pielęgnacji powoduje bowiem wzrost mineralizacji substancji organicznej, co przyczynia się do ubytku próchnicy w glebie [Liu i in. 2019]. Współczynnik reprodukcji substancji organicznej dla uprawy ziemniaka wynosi –1,40 t·ha^{-1}, co oznacza, że dla zrównoważenia tego ubytku zużyć należy 3,6 t·ha^{-1} suchej masy obornika [Kołacz 2020]. Mając na uwadze, że próchnica jest głównym składnikiem decydującym o żyzności gleby, należy zadbać o wprowadzenie odpowiedniej ilości substancji lub gotowych preparatów do jej wytworzenia [Ezzat i in. 2009, Rees i in. 2014, Nyiraneza

[1] Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy Radzików 05-870 Błonie, Oddział w Jadwisinie, Polska, https://orcid.org/0000-0003-2338-0707; autor korespondencyjny: c.trawczynski@ihar.edu.pl

© Copyright by the Author, 2026

Licensee University of Life Sciences in Lublin – Publishing House, Lublin, Poland
This article is an open access article distributed under the terms and con-ditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

i in. 2021]. Szczególnie gospodarstwa bez produkcji zwierzęcej borykają się z trudnościami wynikającymi z braku możliwości dostatecznego zaopatrzenia gleby w substancję organiczną, warunkującą właściwy przebieg procesów próchnicotwórczych i tym samym utrzymanie jej żyzności [Hlisnikovský i in. 2021]. Dodatkowo przeszkodą w ograniczaniu mineralizacji substancji organicznej wniesionej do gleby w formie tradycyjnych nawozów naturalnych może być układ warunków pogodowych w ostatnich latach, co wynika głównie ze znacznego deficytu opadów i skutkuje długotrwałymi okresami suszy [George i in. 2017]. Wychodząc naprzeciw temu, należy stosować rozwiązania alternatywne pozwalające na zastępowanie tradycyjnych form nawozów naturalnych. Mogą to być na przykład preparaty zawierające kwasy humusowe o szybszym niż nawozy tradycyjne działaniu do zastosowania poprzez oprysk gleby czy roślin [Pikuła 2016, Hara 2019].

Mając na uwadze powyższe argumenty przeprowadzono badania mające na celu określenie wpływu zastosowanego doglebowo i dolistnie nawozu organicznego wytworzonego z leonardytów, kopaliny zbliżonej do węgla brunatnego przy zróżnicowanym poziomie azotu mineralnego na plon i niektóre cechy jakości bulw ziemniaka.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2018–2020 w IHAR-PIB oddział w Jadwisinie (52°45'N, 21°63'E) na glebie zaliczanej do typu gleb płowych o składzie piasku gliniastego [IUSS Working Group WRB 2015]. Gleba charakteryzowała się kwaśnym odczynem, wysoką zasobnością w przyswajalny fosfor, średnią w potas, mangan, cynk i miedź, niską w magnez, żelazo i bor. Wartości odczynu i zawartości składników w glebie podano w pracy Trawczyńskiego [2022].

Doświadczenia dwuczynnikowe zakładano w układzie losowanych bloków w trzech powtórzeniach. Czynnik I rzędu stanowiło nawożenie mineralne azotem: 60 kg·ha^{-1}, 90 kg·ha^{-1} i 120 kg·ha^{-1}. Czynnikiem II rzędu było nawożenie organiczne: obiekt kontrolny (bez stosowania nawozu); nawóz Rosahumus zastosowany doglebowo – 4,5 kg·ha^{-1}; nawóz Rosahumus zastosowany doglebowo – 4,5 kg·ha^{-1} i dolistnie – 0,3 kg·ha^{-1}.

Układ warunków pogodowych w badanych latach był zbieżny z przedstawionymi przez Trawczyńskiego [2022]. W 2018 roku suma opadów była mniejsza o 79,2 mm, a średnia temperatura powietrza wyższa o 3,4°C w porównaniu z wartością z wielolecia. W 2019 roku niedobór opadów wyniósł 135,6 mm, a temperatura powietrza wyższa była o 2,2°C w porównaniu z wartością z wielolecia. W 2020 roku suma opadów wyższa była o 45,6 mm, a średnia temperatura powietrza o 1°C w porównaniu do wartości z wielolecia. Stąd lata 2018 i 2019 zaliczały się do suchych, a 2020 rok do mokrych. Nawożenie organiczne stosowano w formie przyorywanej słomy z pszenżyta ozimego w ilości 4–5 t·ha^{-1} oraz zielonej masy międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej w ilości 15–16 t·ha^{-1}. Nawożenie mineralne fosforem (superfosfat wzbogacony) i potasem (sól potasowa) zastosowano jesienią przed wykonaniem orki przedzimowej w dawce 26,2 kg P·ha^{-1} i 99,6 kg K·ha^{-1} (dawki odpowiadające wysokiej i średniej zawartości składników w glebie). Nawożenie mineralne azotem (saletrzak) stosowano wiosną. Na obiekcie z dawkami 60 kg·ha^{-1} i 90 kg·ha^{-1} N całość zastosowano bezpośrednio przed sadzeniem bulw, natomiast na obiekcie z dawką 120 kg·ha^{-1} N z podziałem, 90 kg·ha^{-1} N przed sadzeniem oraz 30 kg·ha^{-1} N przed ostatnim obredlaniem. Nawóz Rosahumus zawierał: kwasy humusowe 85%, potas (K_2O) – 12,0% i żelazo (Fe) – 0,6%. Zabieg doglebowy wykonywano przed wschodami roślin ziemniaka, bezpośrednio przed obredlaniem w dawce 4,5 kg·ha^{-1}. Zabiegi dolistne wykonywano dwukrotnie w okresie wegetacji. Pierwszy zabieg dolistny zastosowano w fazie zwarcia roślin ziemniaka w rzędach (BBCH 30), a drugi w fazie pąkowania (BBCH 55). Do każdego zabiegu nawóz rozpuszczano w 300 dm^3·ha^{-1} wody.

Chwasty zwalczano mechanicznie, stosując obsypnik przed wschodami roślin ziemniaka, i chemicznie, stosując preparaty przed wschodami i po wschodach roślin ziemniaka. W każdym roku czterokrotnie w okresie wegetacji stosowano zabiegi zwalczające zarazę ziemniaka preparatami zalecanymi

dla tego gatunku o działaniu systemicznym i wgłębnym. W okresie wegetacji trzykrotnie stosowano też preparaty przeciwko stonce ziemniaczanej. Wykaz preparatów herbicydowych, fungicydowych i insekcytydowych oraz zastosowanych dawek przedstawiono we wcześniejszej pracy [Trawczyński 2022].

Ziemniaki średnio wczesnej odmiany Tajfun sadzono ręcznie w trzeciej dekadzie kwietnia w rozstawie 75 × 33 cm, a zbierano w trzeciej dekadzie września. Wielkość poletka wynosiła 14,85 m^2, a liczba roślin na poletku 60. Podczas zbioru określono plon bulw na każdym poletku oraz pobierano około 5-kilogramowe próby celem określenia struktury plonu (procentowy udział frakcji bulw małych o średnicy poniżej 35 mm, bulw średnich od 35 do 60 mm średnicy, bulw dużych o średnicy powyżej 60 mm), procentowego udziału w plonie bulw z wadami zewnętrznymi: zdeformowane, zazielenione, porażone parchem zwykłym oraz składu chemicznego bulw: zawartości skrobi, azotanów, witaminy C i suchej masy. Ocenę wad zewnętrznych bulw w plonie przeprowadzono według metodyki IHAR [Roztropowicz 1999]. Zawartość skrobi oznaczono metodą polarymetryczną Eversa [PN-EN ISO 10520-2002] z dokonaniem odczytów na polarymetrze Polamat S. Zawartość azotanów NO_3(V) oznaczono przy użyciu reflektometru RQ Flex Merck według metodyki Merck [2023]. Zawartość witaminy C określono jako sumę kwasu L-askorbinowego i dehydroaskorbinowego metodą Tillmansa [Rutkowska 1981]. Zawartość suchej masy oznaczono metodą dwustopniowego suszenia, w temperaturze 60°C i 105°C.

Wyniki badań opracowano statystycznie, wykorzystując program Statistica 13.3 z zastosowaniem analizy wariancji. Porównania średnich dokonano z użyciem testu Tukeya na poziomie p = 0,05 [Tibco Statistica 2017].

WYNIKI I DYSKUSJA

W prezentowanych badaniach uzyskano istotne zróżnicowanie plonu bulw ziemniaka w stosunku do nawożenia mineralnego azotem od 60 kg·ha^{-1} do 120 kg·ha^{-1} uzupełnionego zastosowaniem nawozu organicznego (tabela 1). Średnio w zakresie dawki azotu mineralnego od 60 kg·ha^{-1} do 120 kg·ha^{-1} stwierdzono istotny przyrost plonu bulw o 4,9 t·ha^{-1}, co wyniosło 12,7%. Niezależnie od dawki azotu mineralnego efekt przyrostu plonu bulw po zastosowaniu doglebowym nawozu organicznego Rosahumus wyniósł 2,3 t·ha^{-1}, czyli 6,0%, natomiast doglebowym i dolistnym stanowił 5,0 t·ha^{-1}, czyli o 13,0% w porównaniu z obiektem kontrolnym. Największy przyrost plonu bulw uzyskano po zastosowaniu azotu mineralnego w dawce 60 kg·ha^{-1} uzupełnionego nawozem organicznym. Przyrost plonu bulw na tym obiekcie po zastosowaniu nawozu Rosahumus doglebowo wyniósł 2,9 t·ha^{-1}, czyli o 8,1%, natomiast po zastosowaniu nawozu Rosahumus doglebowo i dolistnie stanowił 5,7 t·ha^{-1}, czyli o 16,0% w porównaniu z obiektem bez nawożenia organicznego. W stosunku do nawożenia mineralnego azotem 120 kg·ha^{-1} uzyskano istotnie największy plon bulw, który po uzupełnieniu doglebowo nawozem organicznym wzrósł o 2,1 t·ha^{-1}, a doglebowo i dolistnie o 4,7 t·ha^{-1}. Wskazywało to, że dodatkowe nawożenie nawet w warunkach właściwej dawki azotu mineralnego może być efektywne, co zbieżne było z innymi badaniami [Trawczyński 2022].

Wykazano także istotnie zróżnicowany plonu bulw pomiędzy zastosowanym nawożeniem organicznym i badanymi latami. Istotnie większy przyrost plonu bulw po zastosowaniu nawozu organicznego uzyskano w latach suchych (2018–2019) niż w roku mokrym (2020). W innych badaniach potwierdzono lepsze oddziaływanie stosowanych w okresie wegetacji nawozów uzupełniających na plon bulw w latach z niedoborem opadów [Cwalina-Ambroziak i in. 2015, Wierzbowska i in. 2015, Trawczyński 2022]. We wcześniejszych badaniach uzyskany przyrost plonu bulw pod wpływem nawozu Rosahumus był ogólnie większy i znacznie zróżnicowany w latach, od 5,2 do 24,8% przy obniżonym o połowę poziomie nawożenia mineralnego NPK. Natomiast w latach przy pełnej dawce NPK wahał się od 14,3 do 40,0% [Bernat 2011, Agrosimex 2015]. W innych badaniach korzystne oddziaływanie nawozu Rosahumus zastosowanego w formie oprysku, ale tylko na glebie lekkiej wyrażało się wzrostem plonu bulw ziemniaka

o 5,6% przy pełnej dawce NPK, natomiast o 9,8% przy redukcji o 75% dawki N, a dawek P i K o 50% [Szewczuk i in. 2016]. W badaniach Al-Zubaidi [2018] stosowanie kwasów huminowych miało korzystny wpływ na pobieranie składników odżywczych i stan gleby, co przełożyło się na wzrost plonu i jakość bulw ziemniaków. Z kolei Bayerli [2025] potwierdził istotnie dodatni wpływ zróżnicowanych dawek kwasów huminowych (5 g·dm^{-3} i 10 g·dm^{-3}) na plon bulw ziemniaka oraz wykazał bardziej korzystne ich odziaływanie w połączeniu z drożdżami. Natomiast Bittani i Hammas [2024] uzyskali największy przyrost plonu bulw ziemniaka, o 33% w porównaniu z obiektem kontrolnym po zastosowaniu dawki 50 ml·dm^{-3} kwasów huminowych. Dotychczas przeprowadzone badania wykazały korzystny wpływ na plon bulw ziemniaków również kwasów huminowych zastosowanych w formie stałych nawozów posypowych. Wysoką skuteczność kwasów huminowych, o 44% w porównaniu z obiektem kontrolnym, przy zastosowaniu Humac Agro uzyskał Ekin [2019]. W wariantach nawożenia Humac Agro z obornikiem czy wermikompostem odnotowano wzrost plonu ogólnego bulw o 15,0 t·ha^{-1}, co stanowiło 87,2% [Gwóźdź i Kołodziejczyk 2025].

Tabela 1. Wpływ nawożenia mineralnego azotem (kg·ha^{-1}) i organicznego na plon bulw (t·ha^{-1}) i strukturę plonu (%)

Czynnik		Nawożenie organiczne			Średnia
		bez nawożenia organicznego	doglebowo	doglebowo i dolistnie	
plon bulw					
Dawka	60 kg·ha^{-1}	35,6 ^{e}	38,5 ^{d}	41,3 ^{bc}	38,5 ^{C}
	90 kg·ha^{-1}	39,0 ^{cd}	41,1 ^{bc}	43,5 ^{ab}	41,2 ^{B}
	120 kg·ha^{-1}	41,1 ^{bc}	43,2 ^{b}	45,8 ^{a}	43,4 ^{A}
Średnia		38,6 ^{C}	40,9 ^{B}	43,6 ^{A}	–
Rok	2018	49,0 ^{cd}	52,5 ^{ab}	53,8 ^{bc}	51,7 ^{A}
	2019	21,0 ^{h}	23,5 ^{g}	26,8 ^{ab}	23,8 ^{C}
	2020	45,8 ^{e}	46,8 ^{de}	50,1 ^{a}	47,6 ^{B}
udział bulw małych o średnicy poniżej 35 mm					
Dawka	60 kg·ha^{-1}	1,3 ^{a}	1,4 ^{a}	1,1 ^{a}	1,3 ^{A}
	90 kg·ha^{-1}	1,0 ^{a}	1,4 ^{a}	1,1 ^{a}	1,2 ^{A}
	120 kg·ha^{-1}	1,4 ^{a}	0,9 ^{a}	1,3 ^{a}	1,2 ^{A}
Średnia		1,2 ^{A}	1,3 ^{A}	1,2 ^{A}	–
Rok	2018	0,5 ^{b}	0,5 ^{b}	0,6 ^{b}	0,5 ^{B}
	2019	3,3 ^{a}	3,3 ^{a}	3,0 ^{a}	3,2 ^{A}
	2020	0,0 ^{b}	0,0 ^{b}	0,0 ^{b}	0,0 ^{B}
udział bulw średnich o średnicy 35–60 mm					
Dawka	60 kg·ha^{-1}	69,2 ^{a}	61,3 ^{ab}	62,5 ^{ab}	64,3 ^{A}
	90 kg·ha^{-1}	65,1 ^{ab}	58,4 ^{b}	60,0 ^{b}	61,2 ^{AB}
	120 kg·ha^{-1}	64,1 ^{ab}	56,4 ^{b}	56,4 ^{b}	58,9 ^{B}
Średnia		66,1 ^{A}	58,7 ^{B}	59,6 ^{B}	–
Rok	2018	54,6 ^{cd}	51,9 ^{cd}	50,0 ^{d}	52,2 ^{C}
	2019	77,4 ^{a}	66,9 ^{b}	68,6 ^{ab}	71,0 ^{A}
	2020	66,4 ^{b}	57,2 ^{cd}	60,3 ^{bc}	61,3 ^{B}
udział bulw dużych o średnicy powyżej 60 mm					
Dawka	60 kg·ha^{-1}	29,5 ^{b}	37,3 ^{ab}	36,4 ^{ab}	34,3 ^{B}
	90 kg·ha^{-1}	33,9 ^{ab}	40,2 ^{a}	38,9 ^{ab}	37,6 ^{AB}
	120 kg·ha^{-1}	34,5 ^{ab}	42,7 ^{a}	42,3 ^{a}	39,9 ^{A}
Średnia		32,7 ^{B}	40,0 ^{A}	39,2 ^{A}	–
	2018	44,9 ^{ab}	47,6 ^{ab}	49,4 ^{a}	47,3 ^{A}
	2019	19,3 ^{d}	29,8 ^{c}	28,4 ^{c}	25,8 ^{C}
	2020	33,0 ^{c}	42,8 ^{ab}	39,7 ^{b}	38,9 ^{B}

Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy p = 0,05. Małe litery dotyczą współdziałania, wielkie litery dotyczą czynników głównych.

Niezależnie od zastosowanego nawożenia mineralnego i organicznego istotnie największy plon bulw uzyskano w 2018 roku, o najlepszym rozkładzie opadów w okresie gromadzenia masy bulw, czyli w czerwcu, lipcu i sierpniu. Najmniejszy plon bulw uzyskano w 2019 roku, który charakteryzował się największym niedoborem opadów w głównych miesiącach jego przyrostu.

W tym samym okresie badań Gwóźdź i Kołodziejczyk [2025] również większy plon bulw uzyskali w latach 2018 i 2020. Natomiast istotnie mniejszy plon bulw odnotowano w 2019 roku, głównie ze względu na bardzo małe opady deszczu i wysoką temperaturę powietrza w okresie tworzenia bulw, czyli w czerwcu [Gwóźdź i Kołodziejczyk 2025]. Podobne zróżnicowanie plonu bulw pomiędzy tymi latami wykazał Trawczyński [2022]. W obecnie przeprowadzonych badaniach istotne obniżenie plonu bulw w stosunku do 2018 roku uzyskano także w roku z opadami powyżej średniej z wielolecia (2020).

Badane czynniki istotnie różnicowały strukturę plonu bulw, z wyjątkiem udziału bulw małych, o średnicy poniżej 35 mm (tabela 1). Istotne zróżnicowanie udziału w plonie bulw małych odnosiło się jedynie do lat badań. W 2019 roku (o największym niedoborze opadów) uzyskano największy udział w strukturze plonu bulw małych w porównaniu do pozostałych lat.

W stosunku do udziału bulw średnich, o średnicy 35–60 mm pod wpływem wzrostu dawki azotu mineralnego odnotowano istotne obniżenie tej frakcji bulw w plonie. Istotnie mniejszy udział tej wielkości bulw w plonie wykazano na obiektach po zastosowaniu nawozu organicznego, szczególnie doglebowo, niż na obiekcie nawożonym mineralnie. Wzrost dawki azotu spowodował obniżenie udziału w plonie bulw średnich, większe na obiekcie, na którym zastosowano nawożenie organiczne doglebowo i dolistnie. W stosunku do badanych lat wykazano istotnie najmniejszy udział w plonie bulw średnich w roku o najkorzystniejszym rozkładzie opadów (2018), natomiast istotnie największy w 2019 roku najbardziej suchym. Udział frakcji tych bulw w plonie ogólnym na obiektach z nawożeniem organicznym wynosił średnio 59,2%, natomiast w badaniach Gwóździa i Kołodziejczyka [2025] był znacznie większy i stanowił średnio 76,2%.

Odmiennie w odniesieniu do nawożenia mineralnego azotem, organicznego i lat kształtował się udział w plonie bulw dużych, o średnicy powyżej 60 mm. Przyrost bulw tej frakcji o 5,6% zanotowano od dawki azotu mineralnego 60 kg·ha^{-1} do 120 kg·ha^{-1}. Podobną zmienność udziału frakcji bulw dużych w plonie w zakresie nawożenia mineralnego azotem wykazał Kołodziejczyk [2014]. Udział bulw dużych był istotnie większy po zastosowaniu nawozu organicznego niezależnie od sposobu aplikacji, średnio o 6,9% w porównaniu z obiektem bez nawożenia organicznego. Największy udział w plonie bulw dużych (47,3%) uzyskano w 2018 roku, o najlepszym rozkładzie opadów w okresie przyrostu masy bulw. Podobne oddziaływanie korzystnego przebiegu pogody w latach na wzrost udziału w plonie bulw dużych potwierdzili Kołodziejczyk [2013] oraz Sawicka i Pszczółkowski [2017]. W badaniach Gwóździa i Kołodziejczyka [2025] różnica udziału frakcji bulw dużych w plonie pomiędzy obiektami z nawożeniem organicznym a obiektem kontrolnym wyniosła 19,8%. Inne badania wskazywały na podobny udział w plonie bulw dużych, ale przy redukcji o połowę poziomu nawożenia mineralnego w połączeniu z opryskiem gleby nawozem Rosahumus, natomiast przy pełnej dawce nawożenia mineralnego uzupełnionej nawozem organicznym udział tej frakcji bulw w plonie w przypadku odmiany jadalnej stanowił ponad 30% [Bernat 2011, Agrosimex 2015].

Mniejsze zróżnicowanie w stosunku do badanych czynników niż struktury plonu dotyczyło cech wyglądu bulw. Największy udział w plonie stanowiły bulwy zdeformowane, a najmniejszy bulwy porażone parchem zwykłym (tabela 2). Istotnie największy udział w plonie bulw zdeformowanych stwierdzono na obiekcie po zastosowaniu nawożenia mineralnego azotem w dawce 60 kg·ha^{-1}, co mogło wynikać z niedożywienia roślin, a przez to wystąpienia zaburzeń we wzroście i rozwoju bulw. Średnio na obiektach po zastosowaniu nawozu organicznego wykazano istotnie mniejszy udział w plonie bulw zdeformowanych w porównaniu z obiektem bez nawożenia organicznego. W 2019 roku, z największym niedoborem opadów stwierdzono istotnie najwięcej bulw zdeformowanych w plonie, co było potwierdzeniem wyników badań Lutomirskiej i Jankowskiej [2012]. Ocena udziału w plonie bulw zazielenionych

wykazała, że cecha ta nie zależała od dawki azotu mineralnego i zastosowania nawozu organicznego. Oceniając udział zazielenionych bulw w latach, wykazano, że w roku z największym niedoborem opadów (2019) był istotnie najmniejszy, a w pozostałych latach z większą ilością opadów stwierdzono istotnie większy udział w plonie bulw z tą wadą, co potwierdzono w innych badaniach [Trawczyński 2021]. Podobnie niewielkie zróżnicowanie odnośnie analizowanych czynników odnotowano w stosunku do udziału w plonie bulw porażonych parchem zwykłym. Istotnie najmniejszy udział bulw z tą wadą w plonie stwierdzono na obiekcie z nawożeniem mineralnym azotem w dawce 60 kg·ha^{-1} oraz po zastosowaniu nawozu organicznego doglebowo. Ogólnie porażenie bulw parchem zwykłym zanotowano tylko w drugim roku badań, z największym niedoborem opadów w okresie wegetacji. W badaniach Trawczyńskiego [2021] również uzyskano większe porażenie bulw parchem zwykłym w roku suchym.

Tabela 2. Wpływ nawożenia mineralnego azotem (kg·ha^{-1}) i organicznego na udział w plonie bulw z wadami zewnętrznymi (%)

Czynnik		Nawożenie organiczne			Średnia
		bez nawożenia organicznego	doglebowo	doglebowo i dolistnie	
udział bulw zdeformowanych					
Dawka	60 kg·ha^{-1}	5,1 ^{a}	3,0 ^{b}	3,3 ^{b}	3,8 ^{A}
	90 kg·ha^{-1}	3,3 ^{b}	3,4 ^{b}	2,8 ^{b}	3,2 ^{A}
	120 kg·ha^{-1}	3,9 ^{ab}	3,0 ^{b}	3,2 ^{b}	3,4 ^{A}
Średnia		4,1 ^{A}	3,1 ^{B}	3,1 ^{B}	
Rok	2018	3,0 ^{d}	3,0 ^{d}	4,2 ^{cd}	3,4 ^{B}
	2019	8,0 ^{a}	6,0 ^{b}	5,2 ^{bc}	6,4 ^{A}
	2020	1,4 ^{e}	0,5 ^{e}	0,0 ^{e}	0,6 ^{C}
udział bulw zazielenionych					
Dawka	60 kg·ha^{-1}	1,1 ^{c}	1,2 ^{bc}	1,4 ^{bc}	1,2 ^{B}
	90 kg·ha^{-1}	2,4 ^{a}	1,6 ^{bc}	1,0 ^{c}	1,7 ^{A}
	120 kg·ha^{-1}	1,2 ^{bc}	1,8 ^{ab}	1,4 ^{bc}	1,4 ^{AB}
Średnia		1,5 ^{A}	1,6 ^{A}	1,3 ^{A}	
Rok	2018	1,9 ^{b}	2,7 ^{a}	1,8 ^{bc}	2,1 ^{A}
	2019	1,0 ^{c}	0,9 ^{c}	0,8 ^{c}	0,9 ^{C}
	2020	1,7 ^{bc}	1,1 ^{c}	1,2 ^{bc}	1,3 ^{B}
udział bulw porażonych parchem zwykłym					
Dawka	60 kg·ha^{-1}	0,0 ^{d}	0,0 ^{d}	0,5 ^{ab}	0,1 ^{B}
	90 kg·ha^{-1}	0,4 ^{b}	0,1 ^{c}	0,3 ^{b}	0,3 ^{A}
	120 kg·ha^{-1}	0,6 ^{a}	0,2 ^{c}	0,2 ^{c}	0,3 ^{A}
Średnia		0,4 ^{A}	0,1 ^{B}	0,4 ^{A}	
Rok	2018	0,0 ^{c}	0,0 ^{c}	0,0 ^{c}	0,0 ^{B}
	2019	1,0 ^{a}	0,4 ^{b}	1,1 ^{a}	0,8 ^{A}
	2020	0,0 ^{c}	0,0 ^{c}	0,0 ^{c}	0,0 ^{B}

Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy p = 0,05. Małe litery dotyczą współdziałania, wielkie litery dotyczą czynników głównych.

Kryterium oceny bulw jadalnych ziemniaka stanowi także jakość odżywcza, czyli zawartość składników w bulwach. Wykazano istotne zróżnicowanie składu chemicznego bulw w odniesieniu do badanych czynników i ich współdziałania (tabela 3). Niezależnie od stosowania nawozu organicznego istotnie największą zawartość skrobi w bulwach uzyskano po zastosowaniu dawki azotu mineralnego 120 kg·ha^{-1}. Zastosowanie nawozu organicznego nie różnicowało istotnie zawartości skrobi w bulwach w porównaniu z obiektem kontrolnym. Natomiast w badaniach Bernata [2011] zastosowanie nawozu Rosahumus spowodowało istotny wzrost zawartości skrobi w bulwach w porównaniu do obiektu kontrolnego. Podobny wzrost zawartości skrobi w bulwach ziemniaka po zastosowaniu kwasów huminowych w porównaniu do obiektu kontrolnego stwierdził Bayerli [2025]. Najbardziej sprzyjający gromadzeniu skrobi w bulwach był rok suchy, co było potwierdzeniem dotychczas przeprowadzonych badań [Rymuza i in. 2015].

Tabela 3. Wpływ nawożenia mineralnego azotem (kg·ha^{-1}) i organicznego na skład chemiczny bulw ziemniaka

Czynnik		Nawożenie organiczne			Średnia
		bez nawożenia organicznego	doglebowo	Doglebowo i dolistnie	
Zawartość skrobi (g·kg^{-1})					
Dawka	60 kg·ha^{-1}	159 ^{cd}	158 ^{d}	160 ^{c}	159 ^{C}
	90 kg·ha^{-1}	163 ^{b}	164 ^{bc}	165 ^{b}	164 ^{B}
	120 kg·ha^{-1}	168 ^{a}	167 ^{a}	167 ^{a}	167 ^{A}
Średnia		163 ^{A}	163 ^{A}	164 ^{A}	
Rok	2018	155 ^{e}	155 ^{e}	154 ^{f}	155 ^{C}
	2019	166 ^{ab}	169 ^{ab}	173 ^{a}	170 ^{A}
	2020	166 ^{cd}	165 ^{de}	165 ^{de}	165 ^{B}
Zawartość azotanów(V) (mg·kg^{-1})					
Dawka	60 kg·ha^{-1}	54,6 ^{g}	68,5 ^{f}	77,0 ^{e}	66,7 ^{C}
	90 kg·ha^{-1}	85,0 ^{d}	91,1 ^{c}	86,1 ^{cd}	87,4 ^{B}
	120 kg·ha^{-1}	94,4 ^{b}	115,5 ^{a}	96,6 ^{b}	102,2 ^{A}
Średnia		78,0 ^{C}	91,7 ^{A}	86,5 ^{B}	
Rok	2018	80,2 ^{d}	90,5 ^{c}	71,5 ^{e}	80,7 ^{B}
	2019	93,0 ^{c}	116,6 ^{b}	128,2 ^{a}	112,6 ^{A}
	2020	60,8 ^{f}	68,0 ^{e}	60,0 ^{f}	62,9 ^{C}
Zawartość witaminy C (mg·kg^{-1})					
Dawka	60 kg·ha^{-1}	241,8 ^{d}	246,5 ^{c}	248,3 ^{ab}	245,5 ^{B}
	90 kg·ha^{-1}	245,9 ^{c}	249,2 ^{ab}	249,6 ^{ab}	248,2 ^{A}
	120 kg·ha^{-1}	247,8 ^{b}	246,9 ^{c}	249,9 ^{a}	248,2 ^{A}
Średnia		245,2 ^{C}	247,5 ^{B}	249,3 ^{A}	
Rok	2018	245,1 ^{d}	251,0 ^{c}	249,8 ^{c}	248,7 ^{B}
	2019	235,8 ^{f}	237,1 ^{f}	239,1 ^{e}	237,3 ^{C}
	2020	254,3 ^{b}	254,5 ^{b}	259,0 ^{a}	255,9 ^{A}
Zawartość suchej masy (g·kg^{-1})					
Dawka	60 kg·ha^{-1}	225 ^{d}	224 ^{d}	225 ^{d}	225 ^{C}
	90 kg·ha^{-1}	227 ^{c}	228 ^{ab}	230 ^{ab}	228 ^{B}
	120 kg·ha^{-1}	231 ^{a}	228 ^{ab}	231 ^{a}	230 ^{A}
Średnia		228 ^{AB}	227 ^{B}	229 ^{A}	
Rok	2018	218 ^{d}	216 ^{d}	217 ^{d}	217 ^{C}
	2019	234 ^{ab}	233 ^{c}	234 ^{ab}	234 ^{A}
	2020	231 ^{c}	232 ^{c}	234 ^{a}	232 ^{B}

Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy p = 0,05. Małe litery dotyczą współdziałania, wielkie litery dotyczą czynników głównych.

Zawartość azotanów w bulwach ziemniaka wzrastała w miarę podwyższania dawki azotu mineralnego od 60 kg·ha^{-1} do 120 kg·ha^{-1}, co potwierdzono w wielu dotychczas przeprowadzonych badaniach [Maltas i in. 2018, Rens i in. 2018, Tehulie i Misgan 2019]. Pod wpływem zastosowanego nawozu organicznego również zanotowano istotny wzrost poziomu azotanów w bulwach w porównaniu z obiektem kontrolnym. Ogólnie zawartość azotanów w bulwach była niska i nie stanowiła zagrożenia dla zdrowia konsumentów [Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1258/2011]. Istotne zróżnicowanie zawartości

azotanów w bulwach odnosiło do analizowanych lat badań. Największą zawartość azotanów w bulwach odnotowano w roku suchym (2019), co prawdopodobnie związane było z ograniczonym wymywaniem azotu do głębszych warstw gleby. Z kolei najmniejszą zawartością azotanów charakteryzowały się bulwy ziemniaka w roku z największym poziomem opadów. Mogło to wskazywać na częściowe starty azotu poprzez wymywanie z wierzchniej warstwy gleby. Takie zależności zawartości azotanów w bulwach pomiędzy latami suchymi i wilgotnymi stanowią potwierdzoną regułę [Grudzińska i Zgórska 2008, Trawczyński 2022].

W przeprowadzonych badaniach wykazano korzystne oddziaływanie zastosowanego nawożenia mineralnego i organicznego na zawartość witaminy C w bulwach. Istotnie większą zawartość witaminy C stwierdzono w bulwach zebranych z obiektu nawożonego azotem w dawkach 90 kg·ha^{-1} i 120 kg·ha^{-1} niż pod wpływem dawki 60 kg·ha^{-1}. W stosunku do nawożenia organicznego na obiektach z doglebowym jak i w połączeniu z dolistnym zastosowaniem nawozu uzyskano odpowiednio więcej o 2,3 mg·kg^{-1} i 4,1 mg·kg^{-1} witaminy C niż na obiekcie bez nawożenia organicznego. W badaniach Szewczuka i in. [2016] na glebie lekkiej po zastosowaniu nawozu Rosahumus odnotowano znacznie większy przyrost zawartości witaminy C w bulwach ziemniaka. Istotne zróżnicowanie zawartości tego składnika wykazano również w odniesieniu do lat. W roku z opadami powyżej sumy z wielolecia (2020) uzyskano wyższą średnio o 12,9 mg·kg^{-1} zawartość witaminy C w bulwach w porównaniu z pozostałymi latami, z niedoborem opadów, co zbieżne było z dotychczas przeprowadzonymi badaniami [Trawczyński 2022].

Zmiany zawartości suchej masy w bulwach były zbieżne z zawartością skrobi i zanotowano istotny przyrost w miarę wzrostu dawki azotu mineralnego. W stosunku do zawartości suchej masy w bulwach na obiektach z nawożeniem organicznym uzyskano istotnie największą zawartość tego składnika po zastosowaniu nawozu do gleby w połączeniu z aplikacją dolistną. Istotny dodatni wpływ na zawartość suchej masy w bulwach dolistnej aplikacji kwasami huminowymi potwierdził Sahran [2011]. Istotnie największą zawartością suchej masy charakteryzowały się bulwy w roku z największym niedoborem opadów w okresie wegetacji ziemniaka. W licznych badaniach udowodniono, że suche lata sprzyjają gromadzeniu suchej masy w bulwach [Boguszewska 2007, Kołodziejczyk i Szmigiel 2012, Wierzbicka 2012]. Działanie nawozów opartych na substancjach humusowych wynika w głównej mierze z zawartości związków bioaktywnych [Du Jardin 2015]. Stymulują one wzrost roślin oraz rozwój systemu korzeniowego, a to sprzyja absorpcji składników z gleby, syntezie chlorofilu, zwiększeniu aktywności enzymatycznej i retencji wody w liściach, co przekłada się również na wzmocnienie systemów obronnych roślin przed stresem [Selladurai i Purakayastha 2016]. Należy podkreślić, że zmiany te, wpływając na działanie odpowiednich mechanizmów fizjologicznych, bezpośrednio w określonym stopniu przełożyły się na kształtowanie plonu i jakość bulw ziemniaka.

WNIOSKI

1. Uzyskano istotny przyrost plonu bulw pod wpływem każdej zastosowanej dawki azotu mineralnego.
2. Plon bulw ziemniaka zależał istotnie od sposobu zastosowania nawozu Rosahumus i po aplikacji doglebowej w połączeniu z dolistną uzyskano istotnie największą wartość.
3. Wykazano możliwość obniżenia dawki azotu mineralnego po aplikacji nawozu Rosahumus, szczególnie po zastosowaniu doglebowym w połączeniu z dolistnym.
4. Wraz ze zwiększaniem dawki azotu mineralnego od 60 do 120 kg·ha^{-1} oraz po zastosowaniu nawozu Rosahumus odnotowano istotne zmniejszenie udziału bulw małych i średnich oraz zwiększenie bulw dużych w strukturze plonu.

5. Ocena bulw pod względem wad zewnętrznych wykazała istotne obniżenie udziału bulw zdeformowanych w plonie po aplikacji nawozu Rosahumus w porównaniu z obiektem kontrolnym.

6. Największą zawartość skrobi, azotanów i suchej masy w bulwach uzyskano po zastosowaniu dawki 120 kg·ha^{-1} N. Nawóz Rosahumus niezależnie od sposobu stosowania istotnie zwiększył zawartość witaminy C w bulwach w porównaniu do obiektu kontrolnego.

PIŚMIENNICTWO

Agrosimex., 2015. Katalog nawozów do nawożenia sadów i warzyw, ss. 124.

Al-Zubaidi A.H.A., 2018. Effect of humic acids on growth, yield and quality of three potato varieties. Plant Arch. 18(2), 1533–1540.

Bayerli R., 2025. Effect of treatment with humic acid and foliar application with yeast extract on growth and productivity of potato plant. Syr. J. Agric. Res. 12(2), 100-109. https://agri-research-journal.net/SjarEn/wp-content/uploads/v12n2p9.pdf [dostęp: 01.06.2026].

Bernat E., 2011. Wpływ nawożenia doglebowego nawozami pochodzenia mineralno-organicznego na zdrowotność, jakość i plonowanie ziemniaka. Post. Ochr. Roślin 51(1), 443–446.

Bittani B., Hammas S., 2024. Evaluation the effects of humic acid foliar application on potato yield. Int. J. Sci. Eng. Sci. 8(10), 47–49. http://ijses.com/wp-content/uploads/2024/10/68-IJSES-V8N10.pdf [dostęp: 01.06.2026].

Blecharczyk A., Kowalczewski P. Ł., Sawińska Z. i in., 2023. Impact of crop sequence and fertilization on potato yield in a long-term study. Plants 12(3), 495. https://doi.org/10.3390/plants12030495

Boguszewska D., 2007. Wpływ niedoboru wody na zawartość wybranych składników chemicznych w bulwach ziemniaka. Żywność Nauka Technol. Jakość 5(54), 93−101.

Cwalina-Ambroziak B., Głosek-Sobieraj M., Kowalska E., 2015. The effect of plant growth regulators on the incidence and severity of potato diseases. Pol. J. Natur. Sc. 30(1), 5–20.

Du Jardin P., 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. Sci. Hortic. 196, 3–14.

Ekin Z., 2019. Integrated use of humic acid and plant growth promoting rhizobacteria to ensure higher potato productivity in sustainable agriculture. Sustainability 1(12), 3417. https://doi.org/ 10.3390/su11123417

Ezzat A.S., Saif Eldeen U.M., Abd El-Hameed A.M., 2009. Effect of irrigation water quantity, antitranspirant and humic acid on growth, yield, nutrients content and water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.). J. Agric. Sci. Mansoura Univ. 34(12), 11585–11603.

George T.S., Taylor M.A., Dodd I.C. i in., 2017. Climate change and consequences for potato production: A review of tolerance to emerging abiotic stress. Potato Res. 60, 239–268. https://doi.org/10.1007/s11540-018-9366-3

Grudzińska M., Zgórska K., 2008. Wpływ warunków meteorologicznych na zawartość azotanów(V) w bulwach ziemniaka. Żywność Nauka Technol. Jakość 5(60), 98–106.

Gwóźdź K., Kołodziejczyk M., 2025. The effect of fertilization and irrigation on potato yield in organic production system. Agron. Sci. 80(3), 33–46. https://doi.org/10.24326/as.2025.5485

Hara P., 2019. Znaczenie biostymulatorów w uprawie ziemniaka. Ziemniak Polski 2, 18–23.

Hlisnikovský L., Menšík L., Kunzová E., 2021. The effect of soil-climate conditions, farmyard manure and mineral fertilizers on potato yield and soil chemical parameters. Plants 10(11), 2473. https://doi.org/10.3390/plants10112473

Kołacz B., 2020. Znaczenie materii organicznej w glebie oraz działania agrotechniczne wspomagające jej utrzymanie. Wyd. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział Radom, ss. 28.

Kołodziejczyk M., Szmigiel A., 2012. Skład chemiczny oraz wybrane parametry jakości bulw ziemniaka w zależności od terminu i stopnia redukcji powierzchni asymilacyjnej roślin. Fragm. Agron. 29(3), 88−94.

Kołodziejczyk M., 2013. Fenotypowa zmienność plonowania, składu chemicznego oraz wybranych cech jakości bulw średnio późnych i późnych odmian ziemniaka jadalnego. Acta Agrophis. 20 (3), 411–422.

Kołodziejczyk M., 2014. Effect of nitrogen fertilization and microbial preparations on potato yielding. Plant Soil Environ. 60, 379–386. https://doi.org/10.17221/7565-PSE

Liu E.Y., Li S., Lantz V. i in., 2019. Impacts of crop rotation and tillage practices on potato yield and farm revenue. Agron. J. 111, 1838–1848. https://doi.org/10.2134/agronj2018.05.0325

Lutomirska B., Jankowska J., 2012. Występowanie deformacji i spękań bulw ziemniaka w zależności od warunków meteorologicznych i odmiany. Biul. IHAR 266, 131–142.

Maltas A., Dupuis B., Sinaj S., 2018. Yield and quality response of two potato cultivars to nitrogen fertilization. Potato Res. 61, 97–114. https://doi.org/10.1007/s11540-018-9361-8

Merck, 2023. Azotany test 16971. https://www.merckmillipore.com/PL/pl/product/Nitrate-Test, MDA_CHEM-116971 [dostęp: 01.06.2026].

Nyiraneza J., Chen D., Fraser T. i in., 2021. Improving soil quality and potato productivity with manure and high-residue cover crops in Eastern Canada. Plants 10(7), 1436. https://doi.org/10.3390/plants10071436

Pikuła D., 2016. Rola substancji humusowych oraz innowacyjne produkty zwiększające ich zawartość w glebie. St. Rap. IUNG-PIB 48(2), 81–93.

PN-EN ISO 10520, 2002. Oznaczenie zawartości skrobi. Polarymetryczna metoda Ewersa. PKN, Warszawa.

Rees H.W., Chow T.L., Zebarth B. i in., 2014. Impact of supplemental poultry manure application on potato yield and soil properties on a loam soil in north-western New Brunswick. Can. J. Soil Sci. 94, 49–65.

Rens L.R., Zotarelli L., Rowland D.L. i in., 2018. Optimizing nitrogen fertilizer rates and time of application for potatoes under seepage irrigation. Field Crop Res. 215, 49–58. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.004

Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1258/2011 z dnia 2 grudnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów azotanów w środkach spożywczych, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=celex:32011R1258 [dostęp: 10.06.2026].

Roztropowicz S. (red.) 1999. Metodyka obserwacji, pomiarów i pobierania prób w agrotechnicznych doświadczeniach z ziemniakiem. Praca zbiorowa. IHAR Oddział Jadwisin, ss. 50.

Rutkowska U., 1981. Wybrane metody badania składu i wartości odżywczej żywności. PZWL. Warszawa, 294–295.

Rymuza K., Radzka E., Lenartowicz T., 2015. Wpływ warunków środowiskowych na zawartość skrobi w bulwach odmian ziemniaka średnio wczesnego. Acta Agrophis. 22 (3), 279–289.

Sarhan T.Z., 2011. Effect of humic acid and seaweed extracts on growth and yield of potato plant (*Solanum tubersum* L.) Desiree cv. Mesopotamia. J. Agric. 39(2), 19–25. https://doi.org/10.33899/magrj.2011.30377

Sawicka B., Pszczółkowski P., 2017. Fenotypowa zmienność plonu i jego struktury bardzo wczesnych i wczesnych odmian ziemniaka. Fragm. Agron. 34(1), 76–91.

Selladurai R., Purakayastha T.J., 2016. Effect of humic acid multinutrient fertilizers on yield and nutrient use efficiency of potato. J. Plant Nutr. 39(7), 949–956.

Szewczuk C., Sugier D., Baran S. i in., 2016. Wpływ preparatów użyźniających i zróżnicowanych dawek nawozów na wybrane właściwości chemiczne gleb oraz plon i cechy jakościowe bulw ziemniaka. Ann. UMCS sec. E Agric. 71(2), 65–79.

Tehulie N.S., Misgan T., 2019. Review on the effects of nitrogen fertilizer rates on growth, yield components and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). Int. J. Res. Agron. 2(2), 51–56.

Tibco Statistica, v. 13.3.0, TIBCO Software Inc, Palo Alto, CA, USA; 2017. https://www.tibco.com/products/tibco-statistica [dostęp: 01.06.2026].

Trawczyński C., 2021. Assessment of mineral nitrogen fertilization of early potato varieties in integrated production. J. Elem. 26 (1), 109–123. https://doi.org/10.5601/jelem.2020.25.4.2066

Trawczyński C., 2022. Oddziaływanie dolistnego dokarmiania nawozami wieloskładnikowymi w formie nanocząsteczek na plon i jakość bulw ziemniaka. Agron. Sci. 77(1), 77–90. http://doi.org/10.24326/as.2022.2.7

Wierzbicka A., 2012. Wpływ odmiany, nawożenia azotem i terminu zbioru na zawartość suchej masy i skrobi w bulwach ziemniaków wczesnych. Fragm. Agron. 29(2), 134−142.

Wierzbowska J., Cwalina-Ambroziak B., Głosek M. i in., 2015. Effect of biostimulators on yield and selected chemical properties of potato tubers. J. Elem. 20, 757–768. https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.4.799

IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports 106. FAO, Rome.

Źródło finansowania badań: Środki subwencji statutowej Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin-PIB Radzików.

Deklaracja użycia generatywnej AI w procesie powstawania pracy: Praca została przygotowana bez wykorzystania narzędzi generatywnej sztucznej inteligencji.

Abstract. Field studies conducted on light soil in 2018-2020 determined the effect of nitrogen fertilization with or without the addition of Rosahumus organic fertilizer applied to the soil and foliage on yield and some quality traits of potato tubers. The fertilizer used in the study was applied as a soil spray before planting at a dose of 4.5 kg ha^{-1} and in combination with two foliar applications performed in BBCH phases 30 and 55 at a dose of 0.3 kg ha^{-1}. Supplemental fertilization with organic fertilizer was carried out under conditions of mineral nitrogen fertilization: 60 120 kg ha^{-1}, 90 120 kg ha^{-1}, and 120 kg ha^{-1}. The control treatment was without organic fertilization. Potato tuber yield increased by 6.0% after soil application of Rosahumus fertilizer, and by 13.0% when

combined with foliar application, compared to the control treatment. Rosahumus fertilizer significantly increased the share of large tubers and reduced the share of deformed tubers in the yield structure compared to the control treatment. Regardless of the method of application, Rosahumus fertilizer significantly increased the vitamin C content in tubers compared to the treatment without it. Increasing the mineral nitrogen dose from 60 to 120 kg ha^{-1} significantly increased tuber yield, the share of large tubers in the yield, starch content, and dry matter in tubers.

Keywords: humins, tubers quality, nitrogen fertilization, yield, potato

Otrzymano/Received: 16.06.2026
Zaakceptowano/Accepted:28.07.2026
Opublikowano/Published: 9.10.2026

Cytowanie: Trawczyński C., 2026. Wpływ stosowania nawożenia mineralnego azotem i nawozu organicznego Rosahumus na wielkość plonu i jakość bulw ziemniaka. Agron. Sci. 81(3), 81–91. https://doi.org/10.24326/as.2026.5731