ISSN 2544-4476
e-ISSN 2544-798X

AGRONOMY SCIENCE

wcześniej – formerly

Annales UMCS sectio E Agricultura

VOL. LXXXI (2) 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

Agnieszka Brach
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

EUGENIA CZERNYSZEWICZ, JOLANTA KRÓL
Familiarity, utilization, and preferences concerning herbs and spices among Generation Z consumers 5

CEZARY TRAWCZYŃSKI
Wpływ *Methylobacterium symbioticum* na wielkość i jakość handlową plonu ziemniaka 21
The effect of *Methylobacterium symbioticum* on the quantity and marketable quality of potato yield 28

MAŁGORZATA GNIADZIK-ZASAŃSKA, MARCIN KOZAK, ANNA WONDOŁOWSKA-GRABOWSKA
Wpływ zróżnicowanej rozstawy rzędów i aplikacji biostymulatora Asahi SL na cechy morfologiczne i plonowanie soi (*Glycine max* (L.) Merrill). Cz. I. Cechy morfologiczne soi 29
The effect of different row spacing and the application of Asahi SL biostimulant on the morphological features and yielding of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). Part I. Morphological features of soybean 38

MAŁGORZATA GNIADZIK-ZASAŃSKA, MARCIN KOZAK, ANNA WONDOŁOWSKA-GRABOWSKA
Wpływ zróżnicowanej rozstawy rzędów i aplikacji biostymulatora Asahi SL na cechy morfologiczne i plonowanie soi (*Glycine max* (L.) Merrill). Cz. II. Plony nasion, resztek pozbiorowych i ich skład chemiczny 39
The effect of different row spacing and the application of Asahi SL biostimulant on the morphological features and yielding of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). Part II. Yields and chemical composition of seeds and harvest residues 48

ERIKA R. BUCIOR, PHAT M. DANG, CHARLES Y. CHEN, RONALD B. SORENSEN, MARSHALL C. LAMB
Field-scale evaluation of peanut genotype responses to drought: yield, quality, and the limits of physiological prediction 49

JAN BUCZEK, DOROTA GAWĘDA, BEATA MICHALSKA-KLIMCZAK
Ocena produkcyjności i zachwaszczenia wybranych genotypów pszenicy ozimej w systemach uprawy roli 59
Evaluation of productivity and weed infestation of selected winter wheat genotypes in tillage systems 70

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI (2) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5669

EUGENIA CZERNYSZEWICZ[1]

JOLANTA KRÓL[2]

Familiarity, utilization, and preferences concerning herbs and spices among Generation Z consumers

Abstract. This study aimed to assess the level of knowledge, use, and preferences regarding herbs and spices among young consumers in Poland. The research objective was accomplished by administering a survey to university students in Poland in 2024. The survey employed a questionnaire as its instrument. The data were analysed using basic statistical methods and factor analysis, utilising the principal component method. The Kruskal-Wallis test was employed to examine the relationship between sociodemographic factors and study variables. University students knew a lot about herbs, such as parsley, garlic, mint, dill, basil, oregano, black pepper, vanilla, and cinnamon. Garlic and black pepper were used the most, along with oregano, mint, and basil. These herbs and spices are mainly used in cooking to improve the smell, taste, and appearance of food. They are not often used for beauty or health purposes. However, students believed these herbs could help calm them, improve digestion, and ease cold symptoms. This research helps us understand what people want in the herb and spice markets. In this way, products can better match what younger consumers like and expect. This information can be used in marketing to promote "healthier eating" and to address health issues. This is especially important as Generation Z consumers begin to influence purchasing decisions and shape culinary trends, including those related to herbs.

Keywords: herbs and spices, preferences, use of herbs and spices, health benefits of herbs and spices, quality of fresh herbs

INTRODUCTION

The market demand for herbs and spices is increasing, with primary interest from food and pharmaceutical companies [Sadowski and Kozłowska-Burdziak 2013]. Herbs are plant-based substances that add flavour to dishes [United States Department of Agriculture 2024]. These herbal plants can be used fresh or dried. The main difference between herbs and spices is the plant part from which they are derived. Herbs usually come from the leaves of plants, whereas spices are derived from the roots, bark, stems, shoots, buds, seeds, or fruits [Dog 2006]. Additionally, they can be obtained from many different plant species. There is a wide variety of culinary herbs and spices, with most originating from temperate zones and fewer from tropical and subtropical zones [ESA 2018]. The flavour of spices comes from volatile and fixed oils, as well as small amounts of resins, although organic acids, alcohols, alkaloids, phenols, sulfur, and esters may also play a role. Plant products also commonly contain proteins, carbohydrates, fibre, minerals, tannins, and vitamins [Rani et al. 2023]. The use of herbs and spices has a centuries-old tradition worldwide. Their role and importance to humans have changed over the centuries, starting from providing power and wealth in the Middle Ages to serving as substitutes for

[1] Department of Management and Marketing, University of Life Sciences in Lublin, Dobrzańskiego 37, 20-262 Lublin, Poland, https://orcid.org/0000-0003-2292-6819

[2] Department of Quality Assessment and Processing of Animal Products, University of Life Sciences in Lublin, Akademicka 13, 20-950 Lublin, Poland, https://orcid.org/0000-0002-6289-3153; corresponding author: jolanta.krol@up.edu.pl

© 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 conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

money and preserving food, flavouring dishes, and supplementing diets [Jiang 2019]. Currently, the significance of herbs is growing not only in the food sector but also in the cosmetic and pharmaceutical industries, where herbs are ingredients in many over-the-counter medicines, as well as cosmetic preparations and dietary supplements. The properties and uses of herbs have been described in more detail by many authors. Czernyszewicz and Król [2024] suggest that, due to their health-promoting properties and the presence of antioxidants and bioactive components, it is worth considering a broader inclusion of herbs and spices in the diet. The increasing demand for herbs and spices is also driven by consumers' growing interest in a healthy lifestyle and nutrition based on natural ingredients. Literature data confirm the growth of the spice market in terms of value and sales volume. The growth rate, estimated at 10% per year, is a good indicator of the potential of the spice market [Newerli-Guz 2017].

The literature lacks up-to-date information on the knowledge and preferences regarding herbs and spices among Polish Generation Z consumers. However, information is available on the preferences and behaviours of adults in the USA [Isbill et al. 2018, Jiang 2018], in Australia [Wilson et al. 2025], Polish seniors [Newerli-Guz 2018], and school-age children [Parker et al. 2018]. Although all the cited studies concern herbs and/or spices, they differ in the thematic scope of the issues studied. Therefore, this study aimed to assess the level of awareness, use, and preferences related to herbs and spices among young Generation Z consumers in Poland. This group of consumers is important because they will set future dietary trends in Poland. The following specific objectives were adopted:

– C1. Identifying the level of knowledge about herbs and culinary spices among young consumers,
– C2. Identifying the frequency and purpose of herb and spice use by young consumers,
– C3. Identifying young consumers' opinions on the health and culinary benefits of using herbs and spices,
– C4. Determining the hierarchy of quality characteristics of fresh herbs and spices among young consumers,
– C5. Socio-demographic determinants of young consumers' attitudes and opinions regarding herbs and spices.

LITERATURE BACKGROUND

The use of herbs throughout the ages

Herbs and spices have played important roles and have been widely used since ancient times, both for culinary and medicinal purposes [Herrera et al. 2020], as well as for cosmetics [Dog 2006]. Fennel, juniper, coriander, caraway, thyme, and garlic were mentioned in Egyptian papyri as early as 1555 BC. Dried mint leaves and garlic cloves were discovered in the tombs of ancient rulers. Hippocrates also used cinnamon, rosemary, and garlic for medicinal purposes [Rani et al. 2023]. Pepper was once used as currency, and cinnamon was more valuable than gold in ancient Egypt. Along with caraway, anise, and other spices, it was used for embalming the dead. Wars were waged and fortunes were made in the pursuit of controlling the spice trade. The literature particularly emphasizes the potential health benefits of culinary herbs and spices, which include improving digestion, having antibacterial, anti-inflammatory, and antioxidant properties, influencing the health of the respiratory and cardiovascular systems, having beneficial effects in cases of diabetes or Alzheimer's dementia, and reducing the risk of developing many chronic diseases, including cancers [Szajdek and Borowska 2004, Dog 2006, Kudełka and Kosowska 2008, Opara et al. 2014, Fifi et al. 2018, Jiang 2019, Rani et al. 2023, Grigore-Gurgu et al. 2025]. Additionally, they are less compared to medications. Phytochemicals present in herbs and spices are a healthy alternative for reducing fat, salt, and sugar in the diet and are considered vitamins of the 21st century. As summarised by Chaudhari et al. [2021], herbs and spices as part of the diet have a holistic impact on human health.

Benefits of using herbs and spices

Herbs and spices are used worldwide primarily as food additives, to improve sensory qualities, extend shelf life, and reduce or eliminate microorganisms. Herbs can also be used to treat various dis-

eases in both animals and humans [Studzińska-Sroka et al. 2018]. Many studies have demonstrated the health-promoting effects of herbs and spices, owing to their anti-inflammatory, antimutagenic, antioxidant, and immune-modulating properties [Rani et al. 2023]. The most robust evidence of effectiveness has been gathered for green tea and turmeric. In the case of turmeric, potential health benefits include cancer, cardiovascular diseases, metabolic disorders, and neurodegenerative disorders [Herrera 2020]. Herbs and spices affect cognitive functions and mood [Tapsell et al. 2006, Jiang 2019]. Moreover, they naturally produce a wide range of secondary metabolites – phytochemicals – which are used as medicines, fragrances, aromatic compounds, dyes, and agrochemicals with multifunctional pharmacological and therapeutic actions. Their significance is increasing in the prevention and treatment of diseases, such as arthritis, cancer, rheumatism, diabetes, immune, and metabolic problems [Pereira et al. 2019, Charneca et al. 2023, Rani et al. 2023]. Herbs such as cloves, rosemary, sage, oregano, and cinnamon are excellent sources of antioxidants because of their high content of phenolic compounds. According to the American National Health and Nutrition Examination Survey, 5–10% of adults in the United States use botanical supplements, such as spices, because of their health benefits. Increased use may partly result from the lack of side effects associated with spices, greater availability compared to traditional medicines, as well as the well-known health benefits of spices [Studzińska-Sroka et al. 2018, Jiang 2019]. In addition to providing antioxidants and other properties, herbs and spices can be used in the diet to partially or completely replace less desirable ingredients, such as salt, sugar, and saturated fats, for example, in marinades and dressings, casseroles, soups, curries, and Mediterranean cuisine [Tapsell et al. 2006, Markowska et al. 2015, Farapti et al. 2024]. However, according to research by Śmiechowska and Kaczmarczyk [2014], spice blends can also be a significant source of table salt, as a dish prepared with their addition can contribute 20–47% of dietary salt intake. Herbs and spices can also be contaminated with pathogenic microorganisms, especially when used as an addition to ready-to-eat foods that do not undergo further processing [Maćkiw et al. 2019]. Additionally, herbs and spices are used to preserve the natural characteristics of foods or to provide them with the attributes desired by consumers, extend shelf life, or decorate dishes [Markowska et al. 2015]. According to many researchers, there is a need for further studies to understand the mode of action of the "phytochemomics" of most herbs and spices, which may help improve their efficacy [Opara at al 2014, Herrera 2020]. Studies show that adding herbs and spices to dishes can improve the taste and willingness to consume certain vegetables among adolescents, who generally eat fewer fruits and vegetables compared to dietary recommendations [D'Adamo et al. 2016, Dougkas et al. 2018, Fritts et al. 2018, Parker et al. 2018], as well as the acceptability of foods with reduced fat [Peters et al. 2014] and sodium content [Ghawi et al. 2014, Farapti et al. 2024].

Perception of the quality of herbs and spices

The most important factors influencing the quality of herbs and spices are the conditions in which the raw materials are cultivated and harvested, as well as ensuring proper conditions for subsequent drying and storage processes, which help preserve valuable components [Newerli-Guz 2009, Sadowski and Kozłowska-Burdziak 2013, Majkowska-Gadomska et al. 2015]. Regarding cultivation conditions, key factors include soil fertility, amount of sunlight, rainfall levels, and the presence of pathogens. Herbs and spices are susceptible to environmental contaminants, including microbiological contamination, heavy metals, and pesticide residues, all of which pose a risk to consumer health [Carpena et al. 2024, Kanabus et al. 2026]. Microbiological contamination can be prevented by applying good practices during cultivation, harvesting, and processing [Cicero et al. 2022]. Basic tests that precede the assessment of the value of plant raw materials include analyses of water (moisture) content, ash, mineral, and organic impurities, for example, parts of foreign plants, while the rules for controlling contaminants in substances used for pharmaceutical purposes are specified in the Polish and European Pharmacopeia [Markiewicz 2016]. The cultivation method affects the concentration of active compounds, as studies have shown that organic herbs contain significantly higher levels of total polyphenols, flavonoids, and phenolic acids compared to conventional herbs, whereas conventionally grown herbs have a higher content of chlorophyll and carotenoids [Kazimierczak et al. 2017, Hallmann and Sabała 2020]. The drying process can also alter the quality of herbal products; therefore, standardisation of post-harvest activities is necessary to ensure the consistency of herbal products

[Król and Kiełtyka-Dadasiewicz 2015, Nowosad and Sujka 2021, Massarioli et al. 2023]. As consumer awareness grows, the authenticity and purity of herbal products are becoming increasingly important. Therefore, the perceived quality of herbs and spices is also influenced by the credibility of the source because of the high risk of adulteration [Newerli-Guz 2011]. Adulteration undermines trust in products and does not guarantee the appropriate concentration of active compounds, which are crucial to their medicinal, culinary, and sensory properties (such as aroma and taste), thus necessitating regular quality control of products [Czernyszewicz and Król 2024]. The evaluation of sensory properties allows the determination of aromatic profiles using chromatographic analysis, whereas the evaluation of chemical properties determines the concentration of active substances. The perceived quality of herbs and spices is influenced by their intended use and the expectations regarding their culinary (taste, aroma) or medicinal applications (e.g., safety and effectiveness of calming or antioxidant effects) [Newerli-Guz 2009, 2018]. An important element of the quality of fresh herbs and spices is freshness, which can be assessed by the intensity of the aroma and appearance (vivid colour, absence of pathogens and damage). The form in which the products are offered also matters; for example, whole fresh or dried plants contain more active ingredients than ground ones, which may also contain undesirable additives such as preservatives or artificial colourings [Bienia and Baran 2021]. Producer reputation [Newerli-Guz and Śmiechowska 2006, Newerli-Guz 2009, 2011, 2018] and opinions of other users concerning the effectiveness and quality of products also play a role in quality assessment. This may be due to the belief that well-established companies on the market pay more attention to the high quality of their products. In contrast to these findings, studies conducted in Indonesia showed that brand was an attribute of low significance [Suryaningrum et al. 2024].

MATERIAL AND METHODS

The study was conducted in 2024. The research tool used was a survey questionnaire, and the research method was a diagnostic survey. The study involved 308 adults, mainly students from a university with a nature and agriculture profile in Poland. Their selection was based on their easy accessibility to the researcher. The importance of students' participation in scientific research is highlighted, among others, by Qian et al. [2022] and Gelinder et al. [2022]. Including students in such studies is part of a trend observed by Simonson et al. [2001]. This group of respondents holds significant importance in the modern economy. Members of Generation Z will gain increasing influence; therefore, companies, including food enterprises, must be prepared for their needs and take them into account in their business strategies. Although their current income is lower than that of older generations, their purchasing power should not be underestimated [Thangavel et al. 2022]. This group already has or will soon form households and is already making or will soon be making food purchasing decisions. Their consumption is more often based on ethics, dialogue, freedom, openness, and individual expression [Francis and Hoefel 2018]. In this study, students participated on a voluntary basis, and their participation was not related in any way to their studies; their behaviour during the study had no impact whatsoever on their grades in regular academic classes. The study was conducted using the direct survey method. Before the study began, students were asked to give their consent to participate. Before filling out the survey, they were informed of the purpose and essence of the study, as well as the nature of the questions. Paper surveys were handed out to a group of students and collected after being completed in writing. Completing the survey took about 10 minutes. A small group of older students studying in the part-time system (21 people) was also included in the study. The survey questions were divided into two sections. One section contained 10 questions related to the subject of the study, and the other 7 questions aimed to describe the respondents according to characteristics such as gender, age, education level, disposable income per family member, place of residence, main source of income, and general physical activity. The questions in the first section concerned the level of knowledge about 32 herbs and spices, frequency of use, purpose of use, health and culinary benefits from using herbs and spices, evaluation of the availability of fresh and dried herbs and spices, general assessment of the quality and availability of fresh herbs and spices at the place of daily shopping, and evaluation of their quality features. The purpose of using herbs and spices, as well as the health and culinary benefits,

were defined based on a literature review. The form contained closed or semi-open questions (with the option "other, which?") with single-choice answers, scaled on a 5-point knowledge scale and a 7-point frequency of use scale. Questions regarding health and culinary benefits and quality assessment were scaled on a 5-point Likert scale with a neutral midpoint. Descriptive statistics (% of indications) were used in the data analysis, as well as factor analysis using the principal components method with Varimax rotation and Kaiser normalization, following the prior execution of the Kaiser–Meyer–Olkin and Bartlett's tests. This analysis allows the number of variables (features) in a dataset to be reduced, whilst retaining as much of the information contained in the original data as possible. As a result, PCA helps to identify hidden patterns and the structure of the data, thereby facilitating the interpretation of complex datasets [Czopek 2026]. To examine the significance of relationships between socio-demographic variables and the studied variables, the non-parametric Kruskal–Wallis test was applied. Inference was conducted at a significance level of $\alpha < 0.05$. Statistical analysis was carried out using IBM SPSS 29. The study demonstrated high reliability of 0.948, as determined by Cronbach's alpha coefficient based on 120 standardized items. The characteristics of the study sample, taking into account socio-demographic features, are presented in Table 1.

Table 1. Characteristics of the respondent sample

Main parameter	Detailed parameter	Percentage of respondents
Gender	woman	69.7
	man	28.8
	non-binary person	0.8
	I don't want to say	0.8
Age	18–25 years old	88.6
	26 or more years	11.4
Education	secondary or post-secondary	41.7
	incomplete higher education	34.1
	higher	24.2
Place of residence	village or settlement	44.3
	city with up to 10,000 inhabitants	8.4
	city with 10,000–100,000 inhabitants	19.1
	city with more than 100,000 inhabitants	28.2
Disposable income per family member	up to 2,000 PLN	25.2
	2,000–4,000 PLN	46.5
	above 4,000 PLN	28.3
Main source of income in the family	wage labour in a manual worker position	32.6
	salaried employment in a non-manual position	23.3
	work in agriculture	22.5
	own non-agricultural business	12.4
	retirement or pension	5.4
	non-profit sources	3.9
Physical activity	very low	3.1
	low	11.5
	average	54.2
	high	20.6
	very high	10.7

In the surveyed group, nearly 70% of respondents were women. The dominant age group was 18–25 years old, accounting for 88.9% of all participants. Almost 41% of respondents had completed secondary or post-secondary education, 34.1% had some higher education, and 24.2% had completed higher education. The participants lived mainly in rural areas or settlements (44.3%), nearly one in three (28.2%) in cities with more than 100,000 residents, and one in five (19.1%) in cities with a population of 10,000–100,000. Nearly half of the respondents (46.5%) had a disposable family income per person of 2,000 to 4,000 PLN, one in four had up to 2,000 PLN, while an income above 4,000 PLN was reported by 28.3%. The main source of income for the family was wage labour in a blue-collar position (32.6%), and for more than every fifth respondent, it was wage labour in a non-blue-collar position or agricultural work. Non-earned sources of income were reported by 3.9% of the respondents (Table 1). Most respondents described their physical activity as average (54.2%), 20.6% as high, and 10.7% as very high. Only 14.6% of respondents described their physical activity as low or very low.

RESULTS AND DISCUSSION

Research shows that the largest percentage of respondents (13.5%) are not familiar with fennel (Florence fennel) at all, as well as anise (11.3%) and fenugreek (15.8%). The largest share of respondents know only the name of nigella, coriander, and fennel, as well as saffron, fenugreek, cardamom, and anise; they recognize what fennel, nigella, coriander, lavender, and sage look like, as well as saffron, fenugreek, cardamom, and mustard; they know what coriander, rosemary, and sage taste like, as well as thyme and nigella, and also nutmeg, cardamom, and mustard. They are especially familiar with parsley, garlic, and mint, as well as dill, basil, and oregano, as well as black pepper, vanilla, and cinnamon (Tables 2 and 3). Curry, ginger, bay leaf, sesame, vanilla, and cloves are also very well known. In the study by Żwirska et al. [2015], the most widely known spices with medicinal properties were garlic and ginger, and the main source of knowledge about spices was information on packaging. A small percentage of people indicated that their source of information was from the seller. Meanwhile, a survey conducted among adults in the Midwestern United States [Isbill et al. 2018] showed that most (>50%) participants were familiar with, knew, or used 8 out of the 10 spices listed in the study. Spices constitute a specific group of food products, consumed in small amounts, but on a daily basis. In studies by Newerli-Guz [2009], it was shown that over 90% of consumers mainly use pure spices in the kitchen, 67.3% declare using spice mixes, and 22.1% indicate using herbs, both dried and fresh. The research shows that respondents use primarily garlic and black pepper “very often” or “often,” as well as oregano, mint, and basil (Table 4). The highest percentage of respondents “definitely never” use valerian, saffron, and anise, while “never” use fenugreek and valerian. In American studies, the majority of adult respondents (54%) use one or more spices daily. The participants believed that ginger (64%), garlic (58%), and cinnamon (56%) may promote good health and well-being. Furthermore, most participants listed 7 ut of 10 spices as effective in preventing specific diseases, including ginger (72%), garlic (68%), and cinnamon (67%) [Isbill et al. 2018]. In contrast, a cross-sectional study conducted among Australian adults showed that 64.3% of them use herbs and spices 1–2 times a day. Herbs and spices are commonly used in Australian households, mainly during lunch and dinner, with basil, pepper, and garlic being the most popular [Wilson et al. 2025]. The respondents in the presented study use herbs and spices often or very often, primarily for meal preparation and to enhance the aroma of dishes, while they use them very rarely for cosmetic and therapeutic purposes or other reasons not listed in the survey options (Table 5). In studies conducted by Newerli-Guz [2018] among senior consumers, the declared use of herbs and spices was rather traditional, associated with flavoring food. All senior respondents used herbs and spices for culinary purposes, while slightly less than half used them for the prevention and treatment of specific ailments. The most decisive factor for purchasing spices was the advertisement of these products, followed by new culinary ideas and the lack of a particular spice at home. When purchasing spices, important factors were the brand and the price of the product. Senior respondents preferred products from well-known and recognized brands. Some respondents grew their own spices and made preserves with them [Newerli-Guz 2018].

Table 2. Level of knowledge of herbs among respondents (% of indications)

Species	I don't know at all	I only know the name	I know what it looks like	I know what it tastes like	I know very well
Basil	1.5	3.8	3.0	13.5	78.2
Black cumin	2.3	14.3	15.8	18.0	49.6
Garlic	1.5	1.5	1.5	7.5	88.0
Coriander	3.8	14.3	15.8	27.8	38.3
Dill	0.0	0.8	4.5	12.8	82.0
Marjoram	2.3	4.5	3.0	15.8	74.4
Mint	0.0	0.8	3.8	7.6	87.9
Lavender	0.8	3.0	14.3	14.3	67.7
Sage	1.5	9.8	17.3	19.5	51.9
Thyme	2.3	6.8	11.3	18.8	60.9
Rosemary	3.0	6.8	9.8	20.3	60.2
Chamomile	0.8	4.5	9.8	11.3	73.7
Oregano	0.8	1.5	4.5	12.8	80.5
Parsley	0.8	0.0	5.3	6.8	87.2
Fennel	13.5	12.8	15.8	15.8	42.1
Chili pepper	1.5	1.5	4.5	15.0	77.4

Table 3. Level of knowledge of herbs and spices among the study group (% of indications)

Species	I don't know at all	I only know the name	I know what it looks like	I know what it tastes like	I know very well
Curry	0.8	3.8	4.5	13.5	77.4
Anise	11.3	20.3	18.8	21.8	27.8
Cinnamon	0.0	0.0	4.5	14.3	81.2
Nutmeg	0.8	8.3	15.8	26.3	48.9
Mustard seed	0.0	6.0	20.3	18.0	55.6
Cloves	0.0	5.3	9.0	15.0	70.7
Ginger	0.0	0.8	6.8	12.8	79.7
Cardamom	5.3	21.1	22.6	18.8	32.3
Fenugreek	15.8	22.6	24.1	15.8	21.8
Turmeric	2.3	10.7	11.5	17.6	58.0
Caraway	0.8	10.5	17.3	13.5	57.9
Bay leaf	0.0	1.5	8.3	13.5	76.7
Black pepper	0.0	1.5	3.0	3.8	91.7
Sesame	0.0	6.0	3.8	12.0	78.2
Saffron	7.5	24.1	31.6	15.8	21.1
Vanilla	0.0	2.3	2.3	12.8	82.7

Table 4. Frequency of use of herbs and spices (% of indications)

Species of herb or spice	Definitely never	Never	Rather never	Hard to say	Rather often	Often	Very often
Anise	32.6	14.4	22.7	22.7	5.3	2.3	0.0
Basil	2.3	1.5	4.5	7.6	27.3	22.0	34.8
Curry	3.8	1.5	11.4	19.7	22.0	19.7	22.0
Cinnamon	3.0	3.0	9.1	22.7	22.0	14.4	25.8
Black cumin	12.9	9.1	21.2	25.8	12.9	9.1	9.1
Garlic	0.8	0.8	2.3	4.6	9.9	26.7	55.0
Fennel	22.1	10.7	16.8	16.8	19.1	9.9	4.6
Nutmeg	12.1	8.3	18.2	23.5	25.8	9.8	2.3
Mustard seed	15.9	10.6	18.2	24.2	18.2	7.6	5.3
Cloves	9.1	3.8	18.2	23.5	21.2	17.4	6.8
Ginger	6.8	4.5	10.6	23.5	22.0	18.2	14.4
Cardamom	18.2	12.9	28.0	21.2	11.4	4.5	3.8
Caraway	14.4	9.1	23.5	28.0	9.8	7.6	7.6
Coriander	12.3	10.0	20.8	28.5	11.5	10.0	6.9
Dill	3.8	6.8	5.3	14.4	25.8	23.5	20.5
Fenugreek	27.7	18.5	20.0	20.0	8.5	3.8	1.5
Turmeric	11.4	7.6	15.9	16.7	18.2	17.4	12.9
Lavender	21.2	10.6	18.2	25.0	13.6	6.1	5.3
Bay leaf	1.5	3.8	6.1	18.2	22.0	23.5	25.0
Marjoram	3.0	3.0	6.8	11.4	28.0	25.8	22.0
Melissa	6.1	8.3	8.3	16.7	19.7	20.5	20.5
Mint	2.3	4.5	1.5	9.8	22.0	26.5	33.3
Oregano	3.8	3.8	1.5	9.1	18.9	22.7	40.2
Chili pepper	5.3	3.0	4.5	14.4	27.3	21.2	24.2
Black pepper	0.8	0.8	2.3	3.1	13.7	18.3	61.1
Parsley	1.5	3.8	3.0	11.4	25.0	16.7	38.6
Nettle	12.9	7.6	15.2	22.7	15.2	16.7	9.8
Rosemary	11.4	3.0	17.4	20.5	18.2	19.7	9.8
Chamomile	9.1	8.3	16.7	18.9	22.0	12.1	12.9
Sesame	11.4	5.3	19.7	19.7	22.7	15.9	5.3
Saffron	31.8	15.5	27.1	17.1	3.1	4.7	0.8
Sage	18.5	13.1	24.6	20.8	16.9	3.1	3.1
Valerian	35.4	19.2	20.8	15.4	4.6	3.8	0.8
Thyme	9.9	7.6	15.3	22.1	16.8	18.3	9.9
Vanilla	4.5	3.0	9.8	33.3	15.2	19.7	14.4

Other studies, however, indicate that more and more Americans are considering the use of spices and herbs for medicinal and therapeutic purposes, particularly to address various chronic diseases, alleviate symptoms, and in the treatment and management of common health problems [Jiang 2019]. Research indicates that the daily consumption of herbs and spices may potentially contribute to improved health [Herrera et al. 2020]. According to consumers surveyed by Newerli-Guz [2009], the composition, and therefore the taste of a spice, was the most important factor influencing purchase decisions. For this reason, 96.2% of respondents believed that spices enhance the flavour of dishes when used in appropriate amounts; the remaining part of the surveyed population used them without giving it much thought [Newerli-Guz 2009].

Table 5. Purpose of using herbs and spices (% of indications)

The purpose	Very rarely	Rarely	Hard to say	Often	Very often
Meal preparation	0.8	1.5	0.8	18.2	78.8
Preparation of beverages	11.5	16.8	22.1	22.9	26.7
Food preservation	21.4	19.1	19.1	20.6	19.8
Improvement of dish aroma	2.3	1.5	9.1	23.5	63.6
Cosmetic procedures	38.6	19.7	21.2	14.4	6.1
Air freshening	35.1	21.4	22.9	16.8	3.8
Therapeutic goals	37.7	17.7	15.4	20.0	9.2
Medicinal purposes	25.8	11.4	21.2	24.2	17.4
Decorative axes	31.5	16.9	22.3	21.5	7.7
Other	63.2	5.3	10.5	15.8	5.3

Table 6. Rotated component matrix concerning the purposes of using herbs and spices

Variables	Component*	
	1	2
Meal preparation	0.009	0.861
Preparation of beverages	0.469	0.442
Food preservation	0.311	0.418
Improvement of dish aroma	0.083	0.854
Cosmetic procedures	0.765	0.138
Air freshening	0.755	0.157
Therapeutic goals	0.813	0.089
Medicinal purposes	0.796	0.129
Decorative axes	0.727	0.104

* factor extraction method – principal components, rotation method – Varimax with Kaiser normalization

After applying factor analysis, two groups of purposes for using herbs and spices were identified, which explain 58% of the variance in the results. The first component included purposes not related to food, such as cosmetic, therapeutic, medicinal, decorative goals, and those related to air freshening. The second component comprised purposes directly associated with food, such as meal preparation, food preservation, and enhancing the aroma of dishes (Table 6). Among the many health benefits of using herbs and spices, young respondents “strongly agree” or “agree” that these products have

a calming effect, improve digestion, help with intestinal problems, and are used in fighting colds (Table 7). Nearly one in five respondents "disagree" or "strongly disagree" that herbs and spices can be used for obesity issues and in anti-cancer therapy (18.9%). A cross-sectional survey conducted among 703 adults in the Midwest United States showed that nearly half of the participants were interested in learning about the health benefits of using spices (48%) and in using spices as complementary and alternative medicine (51%) [Isbill et al. 2018]. In studies conducted by Żwirska et al. [2015], only every second respondent had knowledge about the health-promoting values of herbal spices. The culinary benefits of using herbs and spices, according to the vast majority of respondents, are associated with improving the taste, aroma, and appearance of dishes (Table 8).

Table 7. Health benefits of using herbs and spices (% of indications)

Health benefits of using herbs and spices	I definitely do not agree	Do not agree	I don't know	I agree	I definitely agree
Improvement of well-being	3.8	2.3	24.2	37.1	32.6
Calm	2.3	2.3	12.1	47.0	36.4
For cough	1.5	5.3	14.4	49.2	29.5
Against colds	1.5	3.0	15.2	43.9	36.4
For headache	3.8	7.6	33.3	35.6	19.7
For toothache	5.3	8.3	29.5	37.1	19.7
For intestinal problems	2.3	1.5	14.4	45.5	36.4
Improved digestion	3.8	1.5	12.1	38.6	43.9
For skin problems	3.8	5.3	22.7	41.7	26.5
For hair problems	3.0	6.8	22.7	39.4	28.0
For problems with obesity	9.1	9.8	37.1	25.8	18.2
For problems with diabetes	7.6	4.5	35.6	34.1	18.2
Against inflammation	4.5	3.8	23.5	43.2	25.0
For wound healing	5.3	4.5	28.0	37.1	25.0
For cardiovascular diseases	6.1	4.5	36.4	32.6	20.5
In anti-cancer therapy	9.8	9.1	43.9	22.7	14.4
Providing vitamins	3.0	2.3	18.2	45.5	31.1
Delivery of bioactive compounds	5.3	2.3	33.3	34.8	24.2
For therapeutic baths	7.6	3.8	27.5	35.1	26.0
In aromatherapy	6.1	3.8	20.5	35.6	34.1
For other health problems	5.3	3.2	36.2	33.0	22.3

Table 8. Culinary benefits of using herbs and spices (% of indications)

Culinary benefits	I definitely do not agree	I don't agree	I don't know	I agree	I definitely agree
Improving the taste of dishes	0.8	0.0	1.5	15.9	81.8
Improvement of the aroma of dishes	0.0	0.8	5.3	16.7	77.3
Improving the appearance of dishes	1.5	2.3	9.1	28.0	59.1
Improving the shelf life of dishes	3.0	6.8	31.1	24.2	34.8
Reduction of salt consumption	3.1	9.9	31.3	28.2	27.5
Limitation of microbial growth	4.5	7.6	48.5	18.9	20.5
Other	9.4	0.0	62.5	15.6	12.5

This is partially confirmed by research conducted by Parker et al. [2018], which found that the way food was prepared and its taste were the most common reasons why children did not eat vegetables at school. Therefore, it was recommended to change the taste, appearance, and method of preparation of meals with vegetables. Black pepper and curry were the most frequently mentioned favourite spices/herbs, and recipes based on garlic were preferred compared to simple recipes in sensory evaluations of peas, black beans/corn, and a mix of cauliflower, carrots, and broccoli [Parker et al. 2018]. The urveyed students "disagree" or "strongly disagree" that herbs and spices can reduce salt consumption or limit the growth of microorganisms. However, the research conducted by Farapti et al. [2024] suggests that the use of herbs and spices is an effective method of managing a low-sodium diet, especially among older adults, and that taste preferences play a more important role in food choices than taste sensitivity. After applying factor analysis, two groups (components) of culinary benefits were identified, which explain over 77% of the variability in the results. The first component included benefits related to food storage and improved dietary value, such as reduced salt usage, longer shelf life, and limitation of microbial growth, among others. The second component encompassed culinary benefits directly related to the organoleptic properties of dishes, such as improving the taste, aroma, and appearance of foods (Table 9). According to the young consumers surveyed, fresh herbs and high-quality spices should above all be characterized by freshness, proper aroma, and lack of damage (Table 10). On the other hand, the variety of species available, appropriate packaging, convenient store location, and price definitely do not or do not significantly affect the high quality of herbs and spices. After applying factor analysis, two groups of herb and spice quality attributes were identified, which explain over 54% of the variability in the results. The first component included attributes resulting from the properties of the product, such as freshness, proper aroma, lack of damage, and absence of chemical residues. The second component encompassed attributes stemming from the sellers' marketing activities, such as a wide selection of varieties, appropriate size, suitable packaging, price, and convenient store location (Table 11).

Table 9. Rotated component matrix concerning the culinary benefits of using fresh herbs and spices

Variables	Component*	
	1	2
Improving the taste of dishes	0.249	0.908
Improvement of the aroma of dishes	0.250	0.933
Improving the appearance of dishes	0.329	0.824
Improving the shelf life of dishes	0.783	0.330
Reduction of salt consumption	0.725	0.310
Limitation of microbial growth	0.891	0.154
Other	0.765	0.235

* factor extraction method – principal components, rotation method – Varimax with Kaiser normalization

Table 10. Characteristics of high-quality fresh herbs and spices (% of indications)

Quality characteristics of fresh herbs and spices	Definitely has no impact	Has no impacts	I have no opinion	Has a big impact	Has a very big impact
Wide selection of species	3.1	11.7	26.6	31.3	27.3
Freshness	0.8	1.5	8.5	34.6	54.6
Appropriate size/quantity	1.5	3.8	21.5	46.2	26.9
Proper aroma	1.5	1.5	6.9	40.0	50.0
Appropriate packaging	3.1	10.1	21.7	36.4	28.7
Price	3.1	6.9	19.2	33.8	36.9
No damage	1.5	2.3	13.1	32.3	50.8
Convenient location in the store	4.7	7.0	31.8	23.3	33.3
No chemical residues	0.8	1.6	13.7	29.0	54.8

Table 11. Rotated component matrix concerning the characteristics of high-quality fresh herbs and spices

Variables	Component*	
	1	2
wide selection of species	0.211	0.609
freshness	0.838	0.105
appropriate size/quantity	0.364	0.444
proper aroma	0.830	0.222
appropriate packaging	0.318	0.520
price	0.128	0.755
no damage	0.473	0.454
convenient location in the store	–0.035	0.830
no chemical residues	0.763	0.126

* factor extraction method – principal components, rotation method – Varimax with Kaiser normalization

Studies by Newerli-Guz [2009, 2011] indicate that spices, in particular, can be classified as products that stand out in the market due to strong promotion of brands with a distinctive image, where the brand is an important selection factor and buyer behaviour during purchase is characterized by high brand loyalty. On the Polish market, branded spices – especially those from the company Kamis – were purchased most often, despite their significantly higher prices compared to private label spices [Newerli-Guz 2009]. The analyses conducted showed that the factor most strongly differentiating knowledge, use, and preferences regarding herbs and spices is the gender of the respondents. Other socio-demographic characteristics had a limited impact on significant differences in respondents' answers. Research by other authors indicates that when planning activities to encourage the consumption of vegetables through the use of herbs and spices, it is crucial to take into account the socio-demographic characteristics of the target group [Nikolaus et al. 2017]. The gender of the respondents significantly differentiated the knowledge and frequency of use of many types of herbs and spices, their purpose of use – including meal preparation, making beverages, enhancing the aroma of dishes, and for medicinal purposes – as well as the evaluation of health benefits such as improving digestion, preventing skin and hair problems, anti-inflammatory effects, wound healing, and aromatherapy. This characteristic significantly influenced and differentiated the assessment of the choice of fresh herbs and spices at the point of food purchase and had a significant impact on the evaluation of the quality of fresh herbs in terms of features such as freshness, absence of damage, and convenient store location. The age of respondents significantly differentiated opinions regarding familiarity with certain herbs and spices, including mustard, frequency of use of anise, black cumin, mustard, cardamom, caraway, coriander, lavender, marjoram, parsley, and valerian, the use of herbs for therapeutic purposes, opinions on health benefits, including vitamin supply, as well as the availability of dried herbs and spices at the place where daily shopping is done. In Australian studies, high consumption was positively correlated with age, the number of adults living in the household, and cooking dinner, but negatively correlated with the level of education and having culinary qualifications [Wang and Worsley 2014]. According to the research by Nikolaus et al. [2017], younger respondents (aged 18–29) and respondents who identified as Asian/Pacific Islander or as belonging to another racial group used 19 out of 20 herbs and spices more frequently than their older and respectively White/Caucasian, African American, or Latino counterparts. Furthermore, the use of herbs and spices when cooking vegetables at home was significantly more common among women [Nikolaus et al. 2017]. In the presented studies, education significantly differentiated opinions regarding familiarity with fennel, frequency of parsley use, the use of herbs for decorative purposes, assessment of the health benefits of using herbs and spices in terms of supplying bioactive compounds. Disposable income significantly influenced the knowledge and frequency of use of certain herbs, as well as their use for preventing toothache and for inflammatory conditions. Place of residence significantly differentiated the assessments regarding the quality of fresh herbs and spices available at the location of daily food shopping, as well as the evaluation of the impact of product placement within the store on the quality of fresh herbs and spices. The source of income significantly

differentiated opinions regarding the purpose of using herbs and spices for regulating intestinal problems and improving digestion, as well as the knowledge of mustard. Subjective assessment of physical activity significantly influenced the frequency of using coriander, fenugreek, lavender, and saffron, the perceived health benefits of using herbs and spices for relieving tooth pain and in cancer therapy, as well as the evaluation of the impact of convenient store location on the quality of fresh herbs and spices.

CONCLUSIONS

1. The research conducted in this study allows us to conclude that young consumers from Generation Z are very familiar with herbs such as parsley, garlic, and mint, as well as dill, basil, oregano, black pepper, vanilla, and cinnamon. Curry, ginger, bay leaf, sesame, vanilla, and cloves are also very well known (C1). Of the 33 herbs, the highest percentage of young respondents were unfamiliar with fennel, anise, and fenugreek.

2. Young consumers use garlic and black pepper “very often” or “often”, as well as oregano, mint, and basil. In contrast, they “definitely never” or “never” use valerian, saffron, anise, or fenugreek. They mainly use herbs and spices to prepare meals and enhance the aroma of dishes, while they very rarely use them for cosmetic or therapeutic purposes (C2).

3. Among the many health benefits of using herbs and spices, young Generation Z consumers are convinced that these products have a calming effect, improve digestion, help with intestinal problems, and are used to fight cold (C3). According to the vast majority of respondents, the culinary benefits of using herbs and spices are mainly associated with enhancing the taste, aroma, and appearance of dishes. However, they are not convinced that the use of herbs and spices can reduce salt consumption or limit microbial growth.

4. Two groups of features influence young consumers’ opinions about the quality of fresh herbs and spices: those resulting from the product’s properties, such as freshness, proper aroma, lack of damage, and absence of chemical residues, and those resulting from sellers’ marketing activities, such as a wide selection of varieties, appropriate size, suitable packaging, price, and convenient location in the store. In their opinion, high-quality fresh herbs and spices should primarily be characterised by freshness, proper aroma, and lack of damage (C4).

5. The strongest factor differentiating knowledge, use, and preferences regarding herbs and spices is young consumers’ gender (C5). Other sociodemographic characteristics had a lesser impact on significant differences in respondents’ answers.

When analysing the results, it is important to consider the limitations related to the study, which mainly stem from the fact that it only included young people studying at one of the agricultural universities in Poland. Therefore, the results apply primarily to the surveyed population of Generation Z students. The academic profiles of the surveyed students may further influence their assessments and views on natural products. Older age groups were not included, which may only reflect the impact of age as a variable on knowledge, use, and preferences regarding herbs and spices to a limited extent. Another limitation is the use of a convenient sampling method, which, by its nature, introduces potential bias and limits the ability to generalise the results.

The conducted research allows for a better understanding of the demand side of the herbs and spices market, enabling a more effective adaptation of these products’ offerings to the needs and expectations of young buyers. In contrast, the obtained results concerning the frequency of use of different types of herbs and spices and their quality characteristics may indicate directions for the development of herbal production in Poland and for the herbal industry as a whole, providing valuable guidance for producers and importers of these products. Information about the sought-after quality features of fresh herbs, especially those concerning chemical residues, may suggest a focus on organic production methods. The gathered information can be used in marketing campaigns aimed at promoting “healthier eating” and addressing certain health and other issues in which herbs are used, such as in cosmetics.

Further in-depth research should include people from other age groups, especially older individuals, and examine the culinary and health aspects of using herbs and spices in more detail to use them more consciously and widely for the benefit of consumers’ health.

REFERENCES

Bienia B., Baran J., 2023. Porównanie jakości sensorycznej świeżych oraz suszonych roślin przyprawowych. Herbalism 7(1), 7–18. [In Polish]. https://doi.org/10.12775/HERB.2021.001

Carpena M., Barciela P., Perez-Vazquez A. et al., 2024. Assessment of the chemical hazards in herbs consumed in Europe: toxins, heavy metals, and pesticide residues. Proceedings 102(1), 2054. https://doi.org/10.3390/proceedings2024102054

Charneca S., Hernando A., Costa-Reis P. et al., 2023. Beyond seasoning-the role of herbs and spices in rheumatic diseases. Nutrients 15(12), 2812. https://doi.org/10.3390/nu15122812

Chaudhari R., Dhole V., More S., Kushwaha S., Takarkhede S., 2021. Health benefits of herbs and spices: A review. World J. Pharm. Res. 10(3), 1050–1061. https://doi.org/10.17605/OSF.IO/YN93F

Cicero N., Gervasi T., Durazzo A. et al., 2022. Mineral and microbiological analyses of spices and aromatic herbs. Foods 11(4), 548. https://doi.org/10.3390/foods11040548

Czernyszewicz E., Król J., 2024. Fraud in the trade of herbs and spices given RASFF system data. Proceedings of the 12th National and 4th International Conference on Quality Management "Quality of the future – the future of quality", 5–6.06.2024, Krakow, 25–35. https://doi.org/10.2478/9788367405843-004

Czopek A., 2013. Analiza porównawcza efektywności metod redukcji zmiennych – analiza składowych głównych i analiza czynnikowa. Studia Ekon. Uniw. Ekon., Katowice 132, 7–23. [In Polish].

D'Adamo Ch.R., McArdle P.F., Balick L. et al., 2016. Spice my plate: nutrition education focusing upon spices and herbs improved diet quality and attitudes among urban high school students. Am. J. Health Promot. 30(5), 346–356. https://doi.org/10.1177/0890117116646333

Dog T.L., 2006. A reason to season: the therapeutic benefits of spices and culinary herbs. Explore 2(5), 446–449. https://doi.org/10.1016/j.explore.2006.06.010

Dougkas A., Vannereux M., Giboreau A., 2018. Spices and herbs increased vegetable palatability among underserved urban adolescents. Health Behav. Policy Rev. 5(6), 76–89. https://doi.org/10.14485/HBPR.5.6.7

ESA (European Association Spices), 2018. The ESA list of culinary herbs and spices, https://www.esa-spices.org/downloads/esa-list-of-culinary-herbs-and-spices.pdf [access: 26.01.2026].

Farapti A., Nurma S., Annis C.A., 2024. Culinary herbs and spices for low-salt dietary management: Taste sensitivity and preference among the elderly. NFS J. 34, 100162. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2024.100162

Fifi A.C., Axelrod C.H., Chakraborty P. et al., 2018. Herbs and spices in the treatment of functional gastrointestinal disorders: A review of clinical trials. Nutrients 10(11), 1715. https://doi.org/10.3390/nu10111715

Francis T., Hoefel F., 2018. True Gen: Generation Z and its implications for companies. McKinsey & Company, https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/consumer%20packaged%20goods/our%20insights/true%20gen%20generation%20z%20and%20its%20implications%20for%20companies/generation-z-and-its-implication-for-companies.pdf [access: 30.01.2026].

Fritts J.R., Fritts F.C., Quinn C.A. et al., 2018. Herbs and spices increase liking and preference for vegetables among rural high school students. Food Qual. Prefer. 68, 125–134. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.02.013

Gelinder L., Hjälmeskog K., Lidar M., 2020. Sustainable food choices? Study of students' actions in a home and consumer studies classroom. Environ. Educ. Res. 26(1), 81–94. https://doi.org/10.1080/13504622.2019.1698714

Ghawi S.K., Rowland I., Methven L., 2014. Enhancing consumer liking of low-salt tomato soup over repeated exposure by herb and spice seasonings. Appetite 81, 20–29. https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.05.029

Grigore-Gurgu L., Dumitrascu, L., Aprodu I., 2025. Aromatic herbs as a source of bioactive compounds: an overview of their antioxidant capacity, antimicrobial activity, and major applications. Molecules 30(6), 1304. https://doi.org/10.3390/molecules30061304

Hallmann E., Sabała P., 2020. Organic and conventional herbs quality reflected by their antioxidant compounds concentration. Appl. Sci. 10(10), 3468. https://doi.org/10.3390/app10103468

Herrera T., Iriondo-De Hond A., Uribarri J. et al., 2020. Beneficial herbs and spices. In: J. Uribarri, J.A. Vassalotti (eds.), Nutrition, fitness, and mindfulness, nutrition and health, Springer Nature, 65–85. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30892-6_6

Isbill J., Kandiah J., Khubchandani J., 2018. Health Promot. Perspect. 8, 33–40. https://doi.org/10.15171/hpp.2018.04

Jiang A.T., 2019. Health benefits of culinary herbs and spices. J. AOAC Int. 102(2), 395–411. https://academic.oup.com/jaoac/article/102/2/395/5658185

Kanabus J., Bryła M., Leśnowolska-Wnuczek K. et al., 2026. Mycotoxins occurrence in herbs, spices, dietary supplements, and their exposure assessment. Toxins 18(1), 20. https://doi.org/10.3390/toxins18010020

Kazimierczak R., Hallmann E., Zduńska U., 2017. Wpływ systemu produkcji na zawartość wybranych związków bioaktywnych w przyprawach ziołowych. Post. Tech. Przetw. Spoż. 1, 46–50. [In Polish]. https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-787c3ca7-a4e4-487c-a9cb-05ad810db33d/c/PTPS_2017__nr_1__s._46_50.pdf

Król B., Kiełtyka-Dadasiewicz A., 2015. Wpływ metody suszenia na cechy sensoryczne oraz skład olejku eterycznego tymianku właściwego (*Thymus vulgaris* L.). Żywn. Nauka Technol. Jakość 4(101), 162–175. [In Polish]. https://doi.org/10.15193/ZNTJ/2015/101/064

Kudełka W., Kosowska A., 2008. Składniki przypraw i ziół przyprawowych determinujące ich funkcjonalne właściwości oraz ich rola w żywieniu człowieka i zapobieganiu chorobom. Zesz. Nauk. Uniw. Ekonom. Krak. 781, 83–111. [In Polish]. http://bazekon.icm.edu.pl/bazekon/element/bwmeta1.element.ekon-element-000162022597

Maćkiw E., Kucharek K., Kowalska J. et al., 2019. Zioła i przyprawy – najczęstsze zagrożenia mikrobiologiczne. Przem. Spoż. 11. [In Polish]. https://doi.org/10.15199/65.2019.11.4

Majkowska-Gadomska J., Dziedzic A., Dobrowolski A. et al., 2015. Wpływ terminu siewu na plonowanie i wartość odżywczą ziela bazylii pospolitej (*Ocimum basilicum* L.). Acta Agrophys. 22(2), 165–172. [In Polish]. https://bibliotekanauki.pl/articles/35990 [access: 30.01.2026].

Markiewicz M., 2016. Roślinne surowce lecznicze. Eliksir 2(4), 19–22. [In Polish]. http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-020a5369-4f58-493c-bba5-645ab1b434af

Markowska J., Polak E., Kasprzyk I., 2015. Ziołowe surowce przyprawowe w przetwórstwie żywności. Przem. Spoż. 69(11), 21–25. [In Polish]. http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-74f14185-bbb2-4e4f-a313-7bc3a25f8017

Martínez-Gracia C., González-Bermúdez C.A., Cabellero-Valcarcel A.M. et al., 2015. Use of herbs and spices for food preservation: advantages and limitations. Curr. Opin. Food Sci. 6, 38–43. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.011

Massarioli A.P., Alencar S.M., Siqueira A.F. et al., 2023. Evaluation of the quality and antioxidant activity of dehydrated medicinal herbs. Horticulturae 9(5), 597. https://doi.org/10.3390/horticulturae9050597

Newerli-Guz J., 2009. Marka własna produktów żywnościowych na przykładzie przypraw. Zesz. Nauk. US, Ekon. Probl. Usług 42, 559, 259–265. [In Polish]. https://doi.org/10.18276/miz.2017.48-15

Newerli-Guz J., 2011. Zachowanie konsumentów na rynku mieszanek przyprawowych na przykładzie ziół prowansalskich. Zesz. Nauk. Uniw. Ekon., Poznań 206, 170–176. [In Polish].

Newerli-Guz J., 2017. Analiza rynku przypraw w Polsce. Marketing Zarz. 2(48), 167–175. [In Polish]. https://doi.org/10.18276/miz.2017.48-15

Newerli-Guz J., 2018. Zachowanie osób starszych na rynku przypraw i produktów przyprawowych. Marketing Zarz. 2(52), 93–103. [In Polish]. https://doi.org/10.18276/miz.2018.52-09

Newerli-Guz J., Śmiechowska M., 2006. Zachowanie konsumentów na rynku mieszanek przyprawowych. Handel Wew. 6, 106–110. [In Polish].

Nikolaus C.J., Ellison B., Heinrichs P.A. et al., 2017. Spice and herb use with vegetables: Liking, frequency, and self-efficacy among US adults. Am. J. Health Behav. 41(1), 52–60. https://doi.org/10.5993/AJHB.41.1.5

Nowosad K., Sujka M., 2021. Wpływ metody suszenia na właściwości przeciwutleniające ziela bazylii, mięty oraz pietruszki. Żywn. Nauka Technol. Jakość 28(4), 57–68. [In Polish]. https://doi.org/10.15193/zntj/2021/129/400

Opara E.I., Chohan M., 2014. Culinary herbs and spices: their bioactive properties, the contribution of polyphenols, and the challenges in deducing their true health benefits. Int. J. Mol. Sci. 15(10), 19183–19202. https://doi.org/10.3390/ijms151019183

Parker E.A., Feinberg T.M., Bowden B. et al., 2018. Spices and herbs increased vegetable palatability among underserved urban adolescents. Health Behav. Policy Rev. 5(6), 76–89. https://doi.org/10.14485/HBPR.5.6.7.

Pereira A.S.P., Banegas-Luna A.J., Peña-García J. et al., 2019. Evaluation of the antidiabetic activity of some common herbs and spices: providing new insights with inverse virtual screening. Molecules 24(22), 4030. https://doi.org/10.3390/molecules24224030

Peters J.C., Polsky S., Stark R. et al., 2014. The influence of herbs and spices on overall liking of reduced fat food. Appetite 79, 183–188. https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.04.019

Qian L., Li F., Liu H. et al., 2022. Rice vs. wheat: does staple food consumption pattern affect food waste in Chinese University Canteens? Resour. Conserv. Recycl. 176, 105902. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105902

Rani J., Kaur P., Chuwa C., 2023. Nutritional benefits of herbs and spices to human beings. Ann. Phytomed. 12(1), 187–197. http://dx.doi.org/10.54085/ap.2023.12.1.88

Sadowski A., Kozłowska-Burdziak M., 2013. Przetwórstwo ziół i możliwości jego zwiększenia w województwie podlaskim. Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrobiz. 15(2), 325–329, https://bibliotekanauki.pl/articles/868983 [access: 30.01.2026]. [In Polish].

Simonson I., Carmon Z., Dhar R. et al., 2021. Consumer research: in search of identity. Ann. Rev. Psychol. 52, 249–276. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.52.1.249

Studzińska-Sroka E., Dudek-Makuch M., Czapska I., 2018. Zastosowanie roślin w profilaktyce i leczeniu zwierząt hodowlanych. Wiad. Zootech. 56(3), 66–78, https://wz.iz.edu.pl/files/WZ_2018_3_art10.pdf [access: 30.01.2026]. [In Polish].

Suryaningrum D.A., Dewanti R.P., Indreswari R. et al., 2024. Consumer preferences on processed herbs and spices products of smes in Sukoharjo. J. Inform. Teknol. 6(2), 116–122. https://doi.org/10.60083/jidt.v6i2.537

Szajdek A., Borowska J., 2004. Właściwości przeciwutleniające żywności pochodzenia roślinnego. Żywn. Nauka Technol. Jakość 4(41), 5–28, https://wydawnictwo.pttz.org/wp-content/uploads/pelne_zeszyty/full_2004441S.pdf [access: 30.01.2026]. [In Polish].

Śmiechowska M., Kaczmarczyk A., 2014. Mieszanki przyprawowe – ukryte źródło soli. Probl. Hig. Epidemiol. 95(1), 128–130, http://phie.pl/pdf/phe-2014/phe-2014-1-128.pdf [access: 30.01.2026]. [In Polish].

Tapsell L.C., Hemphill I., Cobiac L. et al., 2006. Health benefits of herbs and spices: the past, present, and future. Med. J. Aust. 21, 185(S4), 1–24. https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2006.tb00548.x

Thangavel P., Pathak P., Chandra B., 2022. Consumer decision-making style of Gen Z: A generational cohort analysis. Glob. Bus. Rev. 23(3), 710–728. https://doi.org/10.1177/0972150919880128

United States Department of Agriculture, 2024. https://www.fs.usda.gov/wildflowers/ethnobotany/food/spices.shtml#:~:text=Spices%20and%20herbs%20are%20defined,of%20as%20non%2Dwoody%20plants [access: 30.10.2025].

Wang W.C., Worsley A., 2014. Who uses herbs and spices? Nutr. Food Sci. 44(4), 363–374. https://doi.org/10.1108/NFS-09-2013-0105

Wilson N.A., Mantzioris E., Villani A., 2025. Sensory preferences are important motivators for using herbs and spices: A cross-sectional analysis of Australian adults. J. Hum. Nutr. Diet. 38, 1, 13406. https://doi.org/10.1111/jhn.13406

Żwirska J., Żyła K., Błaszczyk E. et al., 2015. Źródła wiedzy i zastosowanie przypraw ziołowych przez osoby dorosłe zamieszkujące okręg małopolski i śląski. Bromat. Chem. Toksykol. 48(3), 594–598. [In Polish].

Source of funding: This research received no external funding.

Authors' contributions: E.C. – working on a conception and assumptions, development of methods, conducting research; writing the manuscript; J.K. – conducting research, writing and revision the manuscript.

Received: 18.02.2026
Accepted: 31.03.2026
Online first: 28.05.2026
Published: 3.07.2026

Citation: Czernyszewicz E., Król J., 2026. Familiarity, utilization, and preferences concerning herbs and spices among Generation Z consumers. Agron Sci. 81(2), 5–20. https://doi.org/10.24326/as.2026.5669

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI (2) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5673

CEZARY TRAWCZYŃSKI[1]

Wpływ *Methylobacterium symbioticum* na wielkość i jakość handlową plonu ziemniaka

The effect of *Methylobacterium symbioticum* on the quantity and marketable quality of potato yield

Abstrakt. W dwuletnich badaniach polowych określono wpływ mikrobiologicznego preparatu Blue N zastosowanego dolistnie na plon, strukturę i wady bulw. Zastosowany preparat mikrobiologiczny zawierał bakterie *Methylobacterium symbioticum* o właściwościach wiązania azotu z powietrza. Czynnikami doświadczenia były: odmiana (Hermes, Tajfun), preparat (obiekt kontrolny – bez stosowania preparatu mikrobiologicznego, obiekt z preparatem Blue N), dawka azotu mineralnego (podstawowa – 100 kg N·ha^{-1}, obniżona o 30% – 70 kg N·ha^{-1}). W badaniach oceniono poziom plonu handlowego, udział frakcji bulw oraz wady zewnętrzne bulw (deformacje, zazielenienia, porażenie parchem zwykłym). Na obiekcie po zastosowaniu preparatu mikrobiologicznego uzyskano plon handlowy bulw większy o 8,1% w stosunku do obiektu kontrolnego. Zastosowanie preparatu przyczyniło się do istotnego wzrostu w plonie bulw dużych oraz obniżenia porażenia bulw parchem zwykłym w porównaniu do obiektu kontrolnego. Wykazano, że zastosowanie preparatu mikrobiologicznego Blue N umożliwia obniżenie dawki azotu mineralnego.

Słowa kluczowe: bakterie wiążące azot, plon handlowy, struktura plonu, wady bulw, ziemniak

WSTĘP

Ziemniak należy do gatunków roślin o dość dużym znaczeniu żywieniowym dla człowieka [Devaux i in. 2021]. Ziemniaki są spożywane przez człowieka głównie w formie obranych i ugotowanych bulw [Pyryt i Kolenda 2009]. Należy więc zadbać, aby bulwy przygotowywane do konsumpcji wyróżniały się korzystnymi cechami zewnętrznymi. Chodzi o uzyskanie jak najmniejszej ilości bulw małych oraz pozbawionych wad, szczególnie zewnętrznych [Nowacki 2006]. Duży wpływ na uzyskanie plonu handlowego bulw ma stosowana agrotechnika ziemniaka, w tym kluczowe jest nawożenie, szczególnie azotowe [Fontes i in. 2010, Kumar i in. 2017]. Nawożenie azotem w różnej formie ma zasadniczy wpływ na kształtowanie cech jakości handlowej bulw ziemniaka [Mazurczyk i in. 2002, Lombardo i in. 2020]. Z jednej strony chodzi o uzyskanie jak największej masy bulw nadających się do konsumpcji. Z drugiej strony wysokie ceny nawozów azotowych powinny skłaniać do wyboru oszczędniejszych alternatywnych rozwiązań gwarantujących uzyskanie odpowiednio wysokiego poziomu plonu handlowego. Dodatkowo należy też mieć na uwadze ograniczoną dostępność azotu z gleby wynikającą z ekstremów pogodowych, czemu można zaradzić poprzez pozakorzeniowe dostarczanie tego składnika. Jednym z rozwiązań umożliwiających uzyskanie odpowiedniej jakości handlowej bulw, ekonomicznym w stosunku do stosowania azotu na rośliny, może być płynny preparat zawierający mikroorganizmy zdolne do niesymbiotycznego wiązania tego składnika z powietrza [Ardanov i in. 2011, Woźniak i Gałązka 2019, Gałązka i Podleśny 2024], np. bakterie, które wnikają przez aparaty szparkowe liści [Buren i Rubio 2018]. Przykładem ta-

[1] Zakład Agronomii Ziemniaka, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy Radzików, Oddział w Jadwisinie, ul. Szaniawskiego 15, 05-140 Jadwisin, 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 conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

kiego preparatu jest Blue N zawierający szczep bakterii *Methylobacterium symbioticum* [Corteva 2024]. W pracy poddano weryfikacji hipotezę badawczą zakładającą pozytywny wpływ preparatu mikrobiologicznego na przyrost plonu i poprawę jakości handlowej bulw ziemniaka wobec hipotezy zerowej mówiącej o braku wpływu tego czynnika.

Celem badań było określenie oddziaływania zastosowanego dolistnie mikrobiologicznego preparatu Blue N wiążącego azot z powietrza na plon handlowy i wady zewnętrzne bulw ziemniaka.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2022–2023 na glebie rzędu płowoziemnych, typu gleby płowe, podtypu gleby płowe opadowo-glejowe o składzie granulometrycznym piasku gliniastego [IUSS Working Group WRB 2015].

Gleba w latach badań charakteryzowała się kwaśnym odczynem, wysoką zawartością przyswajalnego fosforu, średnią zawartością potasu i niską magnezu (tabela 1).

Tabela 1. Właściwości chemiczne gleby przed założeniem doświadczenia

Lata	pH w KCl	Formy przyswajalne ($mg \cdot kg^{-1}$)		
		P	K	Mg
2022	5,5	84,0	87,0	30,0
2023	5,3	86,0	116,0	25,0

Doświadczenie trzyczynnikowe założono w układzie losowanych podbloków w trzech powtórzeniach. Czynnikami doświadczenia były:

– odmiana (I): Hermes (chipsowa, średnio wczesna, Agrico Polska sp. z o.o., Holandia) i Tajfun (jadalna, średnio wczesna, Pomorsko-Mazurska Hodowla Ziemniaka sp. z o.o., Polska);

– preparat (II): bez zastosowania preparatu Blue N (obiekt kontrolny) oraz z zastosowaniem preparatu Blue N;

– dawka azotu mineralnego (III): 100 kg $N \cdot ha^{-1}$ oraz 70 kg $N \cdot ha^{-1}$.

Nawożenie organiczne stanowiła rozdrobniona słoma przyorana bezpośrednio po zbiorze pszenżyta ozimego w dawce 5 $t \cdot ha^{-1}$ i międzyplon z gorczycy białej przyorany jesienią w dawce 15–6 $t \cdot ha^{-1}$. Nawożenie mineralne fosforem i potasem zastosowano wczesną wiosną w dawce 26,2 kg $P \cdot ha^{-1}$ (superfosfat potrójny – 17,4% P) i 99,6 kg $K \cdot ha^{-1}$ (siarczan potasu – 41,5% K). Nawożenie mineralne azotem w dawce podstawowej (100 $N \cdot ha^{-1}$) i obniżonej o 30% (70 kg $N \cdot ha^{-1}$) zastosowano w jednym terminie wiosną przed sadzeniem bulw w formie saletrzano-amonowej (Saletrzak – 27% N). Preparat mikrobiologiczny zawierający bakterie *Methylobacterium symbioticum* SB0023/3 T zastosowany został dolistnie na rośliny ziemniaka w fazie BBCH 35 (druga dekada czerwca) w dawce 333 $g \cdot ha^{-1}$ po rozpuszczeniu w 300 $l \cdot ha^{-1}$ wody.

Chwasty niszczono mechanicznie, stosując obsypnik przed wschodami roślin ziemniaka, i chemicznie, stosując dwukrotnie herbicydy (Proman 500 SC i i Titus 25 WG). W każdym roku czterokrotnie w okresie wegetacji stosowano zabiegi zwalczające zarazę ziemniaka przy wykorzystaniu preparatów Ridomil Gold 67,8 WG, Carial Star 500 SC, Acrobat MZ 69 WG i Revus 250 SC. W okresie wegetacji przeciwko stonce ziemniaczanej trzykrotnie stosowano preparaty Nuprid 200 SC, Spintor 240 SC, Coragen 200 SC. Wszystkie preparaty stosowano w dawkach zalecanych przez producentów.

Warunki pogodowe w latach badań określono na podstawie współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa (tabela 2). Wartości współczynników w poszczególnych miesiącach i latach były zróżnicowane. W 2022 roku stwierdzono, że w okresie sadzenia i początkowego wzrostu roślin ziemniaka w kwietniu było umiarkowanie wilgotno, w maju sucho, natomiast w czerwcu umiarkowanie sucho. Z kolei w pełni rozwoju roślin w lipcu wartość współczynnika była najwyższa (umiarkowanie wilgotno). W końcowym okresie wegetacji roślin, w sierpniu współczynnik był najniższy (ekstremalnie sucho)

spośród wszystkich miesięcy tego roku. Wrzesień – miesiąc dojrzewania i zbioru bulw – zaliczał się do optymalnych. Ogólnie okres wegetacji w 2022 roku był umiarkowanie suchy. W 2023 roku w kwietniu wartość współczynnika hydrotermicznego była optymalna. W maju i lipcu było sucho, w czerwcu bardzo sucho, a sierpień był umiarkowanie suchy. Wrzesień zaliczał się do ekstremalnie suchych. Ogólnie okres wegetacji 2023 roku należał do suchych.

Tabela 2. Warunki pogodowe w latach badań na podstawie współczynnika hydrotermicznego Sielaninova

Rok	Miesiąc						
	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	średnio
2022	1,65	0,88	1,14	1,86	0,38	1,39	1,22
2023	1,55	0,86	0,64	0,83	1,22	0,24	0,89

Wartość współczynnika Sielianinova [Skowera 2014]: ekstremalnie sucho $k \leq 0,4$; bardzo sucho $0,4 < k \leq 0,7$; sucho $0,7 < k \leq 1,0$; umiarkowanie sucho $1,0 < k \leq 1,3$; optymalnie $1,3 < k \leq 1,6$; umiarkowanie wilgotno $1,6 < k \leq 2,0$; wilgotno $2,0 < k \leq 2,5$; bardzo wilgotno $2,5 < k \leq 3,0$; ekstremalnie wilgotno $k > 3,0$.

Ziemniaki sadzono w trzeciej dekadzie kwietnia w rozstawie 75 cm × 33 cm, zbierano w trzeciej dekadzie września. Na poletku o wielkości 14,85 m^2 posadzono 60 roślin. Na podstawie prób bulw pobranych podczas zbioru z każdego poletka określono strukturę plonu: udział bulw małych (o średnicy do 35 mm), bulwy średnich (o średnicy 35–60 mm), bulw dużych (o średnicy powyżej 60 mm) oraz oceniono ich wady zewnętrzne: deformacje, zazielenienia, porażenie parchem zwykłym. Wielkość plonu handlowego wyliczono po odrzuceniu frakcji bulw małych oraz bulw z wadami. Plon i jakość handlową bulw określono według metodyki IHAR [Roztropowicz 1999].

Wyniki badań opracowano statystycznie, posługując się programem Statistica 13.3 i stosując analizę wariancji Anova. Analizę wariancji dotyczącą plonu i cech jakości (zmienne zależne) odniesiono do odmiany, preparatu, dawki i lat (zmienne niezależne). Analizę porównania średnich przeprowadzono z wykorzystaniem testu Tukeya na poziomie $p = 0,05$ [TIBCO Statistica 2017].

WYNIKI I DYSKUSJA

Ocena wpływu czynników

W badaniach wykazano zróżnicowany wpływ czynników na plon ziemniaka, strukturę i wady bulw (tabela 3). Odmiana miała bardzo istotny wpływ na udział bulw średnich i dużych w plonie. Wykazano, że czynnik odmianowy miał istotny wpływ na plon bulw w przypadku większej ilości badanych genotypów [Trawczyński 2020]. Preparat bardzo istotnie różnicował plon oraz udział bulw średnich, dużych i bulw porażonych parchem zwykłym. Dawka azotu oddziaływała bardzo istotnie na plon oraz udział bulw średnich i dużych, co było zbieżne z wynikami uzyskanymi przez Trawczyńskiego [2020]. Największy wpływ (bardzo istotny i istotny) na plon ziemniaka i analizowane cechy (z wyjątkiem deformacji bulw) miały warunki pogodowe w poszczególnych latach. W dotychczasowych doniesieniach potwierdzono większy wpływ warunków pogodowych w latach niż innych czynników na plon ziemniaka i cechy bulw [Sawicka i in. 2011, Kołodziejczyk 2014, Kumar i in. 2017].

Tabela 3. Wpływ badanych czynników oraz lat

Cecha	Odmiana	Preparat	Dawka N	Rok
Plon bulw	–	xx	xx	xx
Bulwy małe (<35 mm)	–	–	–	x
Bulwy średnie (35–60 mm)	xx	x	x	xx
Bulwy duże (>60 mm)	xx	x	x	xx
Deformacje (%)	–	–	–	–
Zazielenienia (%)	–	–	–	x
Parch zwykły (%)	–	x	–	xx

xx – bardzo istotny, x – istotny, – nieistotny

Struktura plonu

Udział małych bulw w plonie stanowił od 1,4% do 5,2% i nie zależał istotnie od czynników doświadczenia (tabela 4), natomiast zależał od lat badań (tabela 5). W roku suchym uzyskano istotnie więcej bulw małych w plonie niż w roku umiarkowanie suchym. Zróżnicowanie pomiędzy czynnikami wykazano w stosunku do bulw średnich i dużych. Istotnie największy był udział bulw średnich w plonie u obu odmian w obiekcie bez stosowania preparatu po zastosowaniu zmniejszonego poziomu azotu mineralnego (tabela 4). Ogólnie udział bulw średnich w przypadku odmiany Hermes był istotnie większy w porównaniu z odmianą Tajfun. Uzyskano istotnie mniejszy udział w plonie bulw średnich w obiekcie z preparatem i po zastosowaniu pełnej dawki azotu. W roku suchym uzyskano o 30,5% więcej bulw średnich w plonie niż w roku umiarkowanie suchym (tabela 5).

Tabela 4. Wpływ badanych czynników w latach na strukturę plonu bulw

Rok	Odmiana	Dawka azotu mineralnego				Średnio
		bez Blue N		z zastosowaniem Blue N		
		100 kg N·ha^{-1}	70 kg N·ha^{-1}	100 kg N·ha^{-1}	70 kg N·ha^{-1}	
Udział bulw małych – o średnicy poniżej 35 mm (%)						
2022	Hermes	1,8 ^{a}	2,3 ^{a}	1,4 ^{a}	3,4 ^{a}	2,2 ^{A}
	Tajfun	3,1 ^{a}	1,4 ^{a}	1,4 ^{a}	2,4 ^{a}	2,1 ^{A}
2023	Hermes	2,0 ^{a}	2,6 ^{a}	5,2 ^{a}	2,0 ^{a}	3,0 ^{A}
	Tajfun	3,0 ^{a}	4,0 ^{a}	3,0 ^{a}	4,3 a	3,6 ^{A}
Średnio		2,5 ^{A}	2,6 ^{A}	2,7 ^{A}	3,0 ^{A}	–
Udział bulw średnich – o średnicy 35–60 mm (%)						
2022	Hermes	49,2 ^{cd}	51,1 ^{cd}	39,3 ^{d}	44,4 ^{d}	46,0 ^{C}
	Tajfun	39,8 ^{d}	41,6 ^{d}	39,8 ^{d}	37,6 ^{e}	39,7 ^{D}
2023	Hermes	76,7 ^{bc}	87,8 ^{a}	68,1 ^{bc}	84,2 ^{ab}	79,2 ^{A}
	Tajfun	67,7 ^{bc}	69,6 ^{bc}	66,4 ^{bc}	65,7 ^{bc}	67,4 ^{B}
Średnio		58,3 ^{AB}	62,5 ^{A}	53,4 ^{B}	58,0 ^{AB}	–
Udział bulw dużych – o średnicy powyżej 60 mm (%)						
2022	Hermes		46,6 ^{ab}	59,3 ^{a}	52,2 ^{a}	51,8 ^{B}
	Tajfun	57,1 ^{a}	57,0 ^{a}	58,8 ^{a}	60,0 ^{a}	58,2 ^{A}
2023	Hermes	21,3 ^{cd}	9,5 ^{d}	26,7 ^{cd}	13,8 ^{cd}	17,8 ^{D}
	Tajfun	29,3 ^{bc}	26,4 ^{cd}	30,6 ^{cd}	30,0 ^{bc}	29,1 ^{C}
Średnio		39.2 ^{AB}	34,9 ^{B}	43,9 ^{A}	39,0 ^{AB}	–

a, b, c – dla współdziałania rok × odmiana × preparat × dawka; A, B – dla wartości średnich.
Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy poziomie p = 0,05 według testu Tukeya.

Tabela 5. Wpływ badanych czynników i lat na plon (t·ha^{-1}), strukturę i wady bulw (%)

Cecha	Odmiana		Preparat Blue N		Dawka N		Rok	
	Hermes	Tajfun	nie zastosowano	zastosowano	100 kg N·ha^{-1}	70 kg N·ha^{-1}	2022	2023
Plon bulw	40,2 ^{a}	39,9 ^{a}	38,5 ^{b}	41,6 ^{a}	41,4 ^{a}	38,6 ^{b}	49,2 ^{a}	30,9 ^{b}
Bulwy małe	2,6 ^{a}	2,8 ^{a}	2,5 ^{a}	2,9 ^{a}	2,6 ^{a}	2,8 ^{a}	2,1 ^{b}	3,3 ^{a}
Bulwy średnie	62,6 ^{a}	53,6 ^{b}	60,4 ^{a}	55,7 ^{b}	55,8 ^{b}	60,3 ^{a}	42,8 ^{b}	73,3 ^{a}
Bulwy duże	34,8 ^{b}	43,6 ^{a}	37,1 ^{b}	41,4 ^{a}	41,6 ^{a}	36,9 ^{b}	55,1 ^{a}	23,4 ^{b}
Deformacje	3,1 ^{a}	4,2 ^{b}	3,3 ^{a}	4,0 ^{a}	3,9 ^{a}	3,3 ^{a}	3,2 ^{a}	4,1 ^{a}
Zazielenienia	2,1 ^{a}	3,2 ^{a}	3,0 ^{a}	2,2 ^{a}	2,4 ^{a}	2,8 ^{a}	3,3 ^{a}	2,0 ^{b}
Parch zwykły	7,1 ^{a}	7,3 ^{a}	8,2 ^{a}	6,2 ^{b}	7,3 ^{a}	7,1 ^{a}	4,9 ^{b}	9,5 ^{a}

a, b – dla wartości średnich.
Wartości średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy poziomie p = 0,05 według testu Tukeya.

Odwrotną zależność pomiędzy czynnikami uzyskano w stosunku do udziału bulw dużych w plonie. Istotnie największy udział bulw dużych w plonie zanotowano po zastosowaniu preparatu przy pełnej dawce azotu (tabela 4). Ogólnie odmiana Tajfun charakteryzowała się istotnie większym udziałem bulw dużych w plonie niż odmiana Hermes. Zastosowanie preparatu i dawki 100 kg N·ha^{-1} przyczyniło się do istotnego wzrostu udziału bulw dużych w plonie w porównaniu z obiektem kontrolnym i obniżoną dawką azotu. W roku umiarkowanie suchym uzyskano o 31,7% więcej bulw dużych w strukturze niż w roku suchym (tabela 5). Podobny kierunek zmienności udziału bulw w strukturze plonu w stosunku do stosowania azotu mineralnego, preparatów dolistnych i lat odnotowano w innych badaniach [Badr i in. 2012, Kołodziejczyk 2014, Trawczyński 2022, Ginter i in. 2023].

Wady bulw

Analiza wad zewnętrznych bulw wykazała niewielkie zróżnicowanie w stosunku do badanych czynników. Udział bulw zdeformowanych wahał się od 1,3% do 7,0% (tabela 6). Tylko w roku umiarkowanie suchym w stosunku do odmiany Hermes uzyskano istotnie mniejszy udział w plonie bulw zdeformowanych w porównaniu z odmianą Tajfun. Na obiekcie bez stosowania preparatu przy obu poziomach nawożenia azotem wykazano tendencję do mniejszej deformacji bulw niż po zastosowaniu preparatu mikrobiologicznego. Ogólnie odmiana Hermes charakteryzowała się istotnie mniejszym udziałem w plonie bulw zdeformowanych niż odmiana Tajfun. W stosunku do pozostałych czynników nie wykazano istotnego zróżnicowania udziału bulw zdeformowanych w plonie. W roku suchym uzyskano większy udział w plonie bulw zdeformowanych (tabela 5). W badaniach Lutomirskiej i Jankowskiej [2012] wykazano większy – wynoszący ponad 20% – udział bulw zdeformowanych w plonie ogólnym ziemniaka. Stwierdzono, że udział ten zależał od uprawianych odmian i był większy w latach o dużych wahaniach wilgotności gleby. Lata z nadmiarem opadów również mogą przyczynić się do uzyskania większego udziału w plonie bulw zdeformowanych [Zarzyńska i Boguszewska-Mańkowska 2024].

Tabela 6. Wpływ badanych czynników w latach na wady bulw

Rok	Odmiana	Dawka azotu mineralnego				Średnio
		bez Blue N		z zastosowaniem Blue N		
		100 kg N·ha^{-1}	70 kg N·ha^{-1}	100 kg N·ha^{-1}	70 kg N·ha^{-1}	
Udział bulw zdeformowanych (%)						
2022	Hermes	1,4 ^{a}	2,1 ^{a}	1,6 ^{a}	2,5 ^{a}	1,9 ^{B}
	Tajfun	5,9 ^{a}	4,1 ^{a}	1,3 ^{a}	6,7 ^{a}	4,5 ^{A}
2023	Hermes	2,8 ^{a}	3,7 ^{a}	4,8 ^{a}	5,2 ^{a}	4,3 ^{A}
	Tajfun	1,4 ^{a}	4,2 ^{a}	7,0 ^{a}	3,0 ^{a}	3,9 ^{A}
Średnio		3,1 ^{A}	3,5 ^{A}	3,7 ^{A}	4,3 ^{A}	–
Udział bulw zazielenionych (%)						
2022	Hermes	3,1 ^{a}	1,3 ^{a}	4,8 ^{a}	1,3 ^{a}	2,6 ^{AB}
	Tajfun	3,1 ^{a}	5,8 ^{a}	3,5 ^{a}	3,9 ^{a}	4,1 ^{A}
2023	Hermes	1,0 ^{a}	3,0 ^{a}	1,3 ^{a}	1,2 ^{a}	1,6 ^{B}
	Tajfun	2,8 ^{a}	4,3 ^{a}	0,0 ^{a}	2,4 ^{a}	2,4 ^{AB}
Średnio		2,5 ^{A}	3,6 ^{A}	2,4 ^{A}	2,1 ^{A}	–
Udział bulw porażonych parchem zwykłym (%)						
2022	Hermes	6,8 ^{a}	3,9 ^{a}	6,0 ^{a}	5,7 ^{a}	5,5 ^{BC}
	Tajfun	8,4 ^{a}	2,3 ^{a}	3,2 ^{a}	3,5 ^{a}	4,3 ^{C}
2023	Hermes	9,2 ^{a}	10,5 ^{a}	6,6 ^{a}	8,5 ^{a}	8,7 ^{AB}
	Tajfun	10,6 ^{a}	13,8 ^{a}	7,4 ^{a}	9,2 ^{a}	10,3 ^{A}
Średnio		8,7 ^{A}	7,6 ^{A}	5,8 ^{A}	6,7 ^{A}	–

a, b, c – dla współdziałania rok × odmiana × preparat × dawka; A, B – dla wartości średnich.
Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy poziomie p = 0,05 według testu Tukeya.

Udział bulw zazielenionych w plonie wahał się od 1,0% do 5,8% (tabela 6). W badaniach Nowackiego [2006] zazielenienie bulw było mniejsze, ale stanowiło większy udział w plonie niż bulwy zdeformowane, czego nie potwierdzono w badaniach własnych. Odmiana Hermes w obu badanych latach charakteryzowała się istotnie mniejszym udziałem bulw zazielenionych. Mniejszą tendencję do zielenienia bulw stwierdzono w obiekcie z preparatem po zastosowaniu pełnej dawki azotu mineralnego. Ogólnie badane czynniki nie miały istotnego wpływu na udział bulw zazielenionych w plonie, a jedynie lata (tabela 5). W roku umiarkowanie suchym uzyskano większy udział bulw zazielenionych w plonie niż w roku suchym. W latach z nadmierną ilością opadów może następować częściowe rozmywanie redlin, powodując zielenienie bulw, co udowodniono w badaniach [Zarzyńska i Boguszewska-Mańkowska 2024].

Największy udział w plonie (do 13,8%) stanowiły bulwy porażone parchem zwykłym (tabela 6). Podobnie największy udział tej wady w plonie bulw uzyskał Nowacki [2006]. Warunki pogodowe istotnie różnicowały udział w plonie bulw porażonych parchem zwykłym w stosunku do badanych odmian. W roku umiarkowanie suchym istotnie większym porażeniem parchem zwykłym charakteryzowały się bulwy odmiany Hermes, natomiast w roku suchym bulwy odmiany Tajfun. Tendencję wzrostu udział w plonie bulw porażonych parchem zwykłym wykazano na obiekcie bez stosowania preparatu mikrobiologicznego przy obu poziomach nawożenia azotem. Ogólnie po zastosowaniu preparatu stwierdzono istotne obniżenie udziału w plonie bulw porażonych parchem zwykłym w stosunku do obiektu kontrolnego Wykazano również istotnie większy udział w plonie bulw porażonych parchem zwykłym w roku suchym (tabela 5), co było potwierdzeniem badań Zarzyńskiej i Boguszewskiej-Mańkowskiej [2024].

Plon handlowy bulw

Na podstawie składowych plonu niehandlowego wykazano, że uzyskany plon handlowy był średnio o 16,2% mniejszy w stosunku do plonu ogólnego. Wynikało z tego, że udział plonu handlowego w ogólnym stanowił 83,8%. W badaniach Nowackiego [2006] uzyskano tylko 70,8% udziału plonu handlowego w ogólnym. W roku umiarkowanie suchym istotnie większy plon bulw uzyskano dla odmiany Tajfun, natomiast w roku suchym w przypadku odmiany Hermes. Mogło to świadczyć o większej tolerancji tej odmiany na stres związany z niedoborem wody. Na obiekcie z preparatem uzyskano istotnie większy plon niż na obiekcie kontrolnym pod wpływem pełnej jak i obniżonej dawki azotu. W przypadku odmiany Hermes po zastosowaniu dawki 70 kg $N \cdot ha^{-1}$ uzupełnionej preparatem uzyskano plon bulw podobny jak pod wpływem dawki 100 kg $N \cdot ha^{-1}$ bez preparatu. W stosunku do odmiany Tajfun w jednym roku badań uzyskano plon bulw istotnie większy na obiekcie z preparatem po zastosowaniu dawki 70 kg $N \cdot ha^{-1}$ niż na obiekcie bez preparatu z dawką 100 kg $N \cdot ha^{-1}$ (tabela 7). Inne badania również wskazywały na możliwość częściowego obniżenia dawki nawożenia mineralnego azotem po zastosowaniu uzupełniającego nawożenia dolistnego [Trawczyński 2022]. Z badań Mohammeda i in. [2014] wynika, że preparaty doglebowe bakteryjne pokrywały 50% zapotrzebowania ziemniaka na azot, a dolistne szczepionki 25% w porównaniu z obiektem kontrolnym. W innych badaniach wykazano wzrost plonu ziemniaka o 42,4% po zastosowaniu preparatu mikrobiologicznego zawierającego bakterie Azospirillum brasilense 410 przy zmniejszeniu dawki azotu do 40 $kg \cdot ha^{-1}$, a przy dawce 80 kg $N \cdot ha^{-1}$ wzrost o 116,9% w porównaniu z obiektem kontrolnym [Volkogon i in. 2021]. Zróżnicowany wpływ preparatu mikrobiologicznego z udziałem szczepu bakterii Methylobacterium symbioticum stwierdzono w przypadku kukurydzy. W badaniach Rodriguesa i in. [2024] wykazano nieistotny wpływ stosowanej dolistnie szczepionki bakteryjnej z *Methylobacterium symbioticum* na plon ziarna kukurydzy. Z kolei w badaniach Very i in. [2024] uzyskano istotnie dodatnie oddziaływanie preparatu z udziałem tej bakterii na plon kukurydzy. Ogólnie istotnie dodatni wpływ na plon ziemniaka miało zastosowanie preparatu mikrobiologicznego, wzrost dawki azotu mineralnego i układ warunków pogodowych z większą ilością opadów (tabela 5).

Tabela 7. Wpływ badanych czynników w latach na plon handlowy ziemniaka (t·ha^{-1})

Rok	Odmiana	Dawka azotu mineralnego				Średnio
		bez Blue N		z zastosowaniem Blue N		
		100 kg N·ha^{-1}	70 kg N·ha^{-1}	100 kg N·ha^{-1}	70 kg N·ha^{-1}	
2022	Hermes	44,9 ^{b}	44,5 ^{b}	45,6 ^{b}	45,5 ^{b}	45,2 ^{B}
	Tajfun	50,6 ^{b}	48,9 ^{b}	60,4 ^{a}	52,8 ^{ab}	53,2 ^{A}
2023	Hermes	36,0 ^{c}	33,0 ^{c}	36,2 ^{c}	35,9 ^{c}	35,2 ^{C}
	Tajfun	27,8 ^{cd}	22,0 ^{e}	29,8 ^{cd}	26,7 ^{d}	26,6 ^{D}
Średnio		39,8 ^{B}	37,1 ^{BC}	43,0 ^{A}	40,2 ^{AB}	–

a, b, c – dla współdziałania rok × odmiana × preparat × dawka; A, B – dla wartości średnich.
Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy poziomie p = 0,05 według testu Tukeya.

WNIOSKI

1. Pod wpływem zastosowania preparatu mikrobiologicznego Blue N zawierającego szczep bakterii *Methylobacterium symbioticum* uzyskano przyrost plonu handlowego bulw o 8,1% w stosunku do obiektu kontrolnego.

2. Zastosowanie preparatu mikrobiologicznego wskazywało na możliwość częściowego obniżenia dawki azotu mineralnego.

3. Preparat mikrobiologiczny Blue N dodatnio oddziaływał na strukturę plonu oraz zmniejszenie udziału bulw z wadami zewnętrznymi w stosunku do obiektu kontrolnego.

PIŚMIENNICTWO

Ardanov P., Ovcharenko L., Zaets I. i in., 2011. Endophytic bacteria enhancing growth and disease resistance of potato (*Solanum tuberosum* L.). Biol. Control 56(1), 43–49. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.09.014

Badr M.A., El-Tohamy W.A., Zaghloul A.M., 2012. Yield and water use efficiency of potato grown under different irrigation and nitrogen levels in an arid region. Agric. Water Manag. 110, 9–1 5. http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.03.008

BlueN Bioestimulante, Otimize o rendimento da sua cultura com BlueN®, 2024. Corteva Biologicals, Agriscience. https://www.corteva.pt/content/dam/dpagco/corteva/eu/pt/pt/files/folletos/DOC-BlueN-Folheto-Corteva_EU_PT.pdf [dostęp: 20.02.2026].

Buren S., Rubio L.M., 2018. State of the art in eukaryotic nitrogenase engineering. FEMS Microbiol. Lett., 365(2). https://doi.org/10.1093/femsle/fnx274

Devaux A., Goffart J.P., Kromann P. i in., 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

Fontes P.C.R., Braun H., Busato C. i in., 2010. Economic optimum nitrogen fertilization rates and nitrogen fertilization rate effects on tuber characteristics of potato cultivars. Potato Res. 53, 167–1 79. DOI 10.1007/s11540-010-9160-3

Gałązka A., Podleśny J. (red.) 2024. Preparaty mikrobiologiczne w rolnictwie i ochronie środowiska, Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG–PIB. 66.

Ginter A., Zarzecka K., Gugała M. i in., 2023. Biostimulants and herbicides a tool to reduce non-commercial yield tubers and improve potato yield structure. Sci. Rep. 13, 20468. https://doi.org/10.1038/s41598-023-47831-0

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

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

Kumar U., Chandra G., Raghav M., 2017. Nitrogen management in potato for maximum tuber yield, quality and environmental conservation. Veg. Sci. 44(2), 43–48.

Lombardo S., Pandino G., Mauromicale G., 2020. Optimizing nitrogen fertilization to improve qualitative performances and physiological and yield responses of potato (*Solanum tuberosum* L.). Agronomy 10(3), 352. https://doi.org/10.3390/agronomy10030352

Lutomirska B., Jankowska J., 2012. Występowanie deformacji i spękań bulw ziemniaka w zależności od warunków meteorologicznych i odmiany. Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl. 266, 131–1 42.

Mazurczyk W., Lis B., Trawczyński C. i in., 2002. Dolistne dokarmianie azotem a stan odżywienia roślin ziemniaka tym pierwiastkiem oraz ich plonowanie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 489, 175–182.
Mohammed T.A., Mervat A.H., Hanan H.Y. i in., 2014. Bio-preparates support the productivity of potato plants grown under desert farming conditions of north Sinai: Five years of field trials. J. Adv. Res. 5(1), 41–48. https://doi.org/10.1016/j.jare.2012.11.004
Nowacki W., 2006. Udział plonu handlowego w plonie ogólnym jadalnych odmian ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 511, 429–439.
Pyryt B., Kolenda H., 2009. Charakterystyka jakości sensorycznej bulw gotowanych w zależności od odmiany ziemniaka i sposobu gotowania. Bromat. Chem. Toksykol. 42(3), 386–390.
Rodrigues M.Â., Correia C.M., Arrobas M., 2024. The application of a foliar spray containing *Methylobacterium symbioticum* had a limited effect on crop yield and nitrogen recovery in field and pot-grown maize. Plants 13(20), 2909. https://doi.org/10.3390/plants13202909
Roztropowicz S., 1999. Metodyka obserwacji, pomiarów i pobierania prób w agrotechnicznych doświadczeniach z ziemniakiem. Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział w Jadwisinie, 1–50.
Sawicka B., Michałek W., Pszczółkowski P., 2011. Uwarunkowania potencjału plonowania średnio późnych i późnych odmian ziemniaka w warunkach środkowo – wschodniej Polski. Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl. 259, 219–228.
Skowera B., 2014. Zmiany warunków hydrotermicznych na obszarze Polski (1971–2010). Fragm. Agron. 31(2), 74–87.
Tibco Statistica. v. 13.3.0. TIBCO Software Inc. Palo Alto. CA. USA; 2017. https://www.tibco.com/products/tibco-statistica
Trawczyński C., 2020. The effect of nitrogen fertilization on yield efficiency and quality of tubers potato varieties cultivated in an integrated production system. Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl. 288, 15–22. https://doi.org/10.37317/biul-2020-0002
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
Vera R.T., García A.J.B., Álvarez F.J.C. i in., 2024. Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize and strawberry crops. Folia Microbiol. 69, 121–131. https://doi.org/10.1007/s12223-023-01078-4
Volkogon V.V., Dimova S.B., Volkogon K.I. i in., 2021. Biological nitrogen fixation and denitrification in rhizosphere of potato plants in response to the fertilization and inoculation. Front. Sustain. Food Syst. 5., 606379. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606379
Woźniak M., Gałązka A., 2019. The rhizosphere microbiome and its beneficial effects on plants. Current knowledge and perspectives. Postęp. Mikrobiol. 58, 59–69. https://doi.org/10.21307/PM-2019.58.1.059
Zarzyńska K., Boguszewska-Mańkowska D., 2024. Commercial quality of potato tubers of different varieties from organic and conventional production system. Agronomy 14, 778. https://doi.org/10.3390/agronomy14040778

Źródło finansowania: Umowa na prace badawcze pomiędzy PU-H Chemirol sp. z o.o. a IHAR-PIB Radzików.

Abstract. In two-year field studies, the effect of the microbiological preparation Blue N applied foliar on the marketable yield, structure and tubers defects was determined. The microbiological preparation contained *Methylobacterium symbioticum* bacteria with properties of nitrogen fixation from the air. The experimental factors were: cultivar (Hermes, Tajfun), preparation (control object – without the use of microbiological preparation, object with the Blue N preparation), dose of mineral nitrogen (basic – 100 kg N·ha^{-1}, reduced by 30% – 70 kg N·ha^{-1}). The studies assessed the level of marketable tuber yield, share of tuber fractions and external defects of tubers (deformations, greening, infection with common scab). On the object after the application of the microbiological preparation, the marketable tuber yield was higher by 8.1% compared to the control object. The use of preparation contributed to a significant increase of large tubers and decrease infection with common scab in compared to the control object. The studies showed that the use of the Blue N microbiological preparation made it possible to reduce the dose of mineral nitrogen.

Keywords: nitrogen-fixing bacteria, marketable yield, yield structure, tuber defects, potato

Otrzymano/Received: 24.02.3036
Zaakceptowano/Accepted: 9.05.2026
Published: 3.07.2026

Cytowanie: Trawczyński C., 2026. Wpływ *Methylobacterium symbioticum* na wielkość i jakość handlową plonu ziemniaka. Agron. Sci. 81(2), 21–28. https://doi.org/10.24326/as.2026.5673

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI (2) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5671

MAŁGORZATA GNIADZIK-ZASAŃSKA[1], MARCIN KOZAK[2],
ANNA WONDOŁOWSKA-GRABOWSKA[3]

Wpływ zróżnicowanej rozstawy rzędów i aplikacji biostymulatora Asahi SL na cechy morfologiczne i plonowanie soi (*Glycine max* (L.) Merrill). Cz. I. Cechy morfologiczne soi

The effect of different row spacing and the application of Asahi SL biostimulant on the morphological features and yielding of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). Part I. Morphological features of soybean

Abstrakt. W latach 2015–2017 na polach doświadczalnych Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu przeprowadzone zostały badania dotyczące wpływu rozstawy rzędów i aplikacji biostymulatora Asahi SL na rozwój i plonowanie soi. Badania polowe założono w układzie split-plot, w czterech powtórzeniach, z dwoma czynnikami zmiennymi. Pierwszy czynnik – rozstawa rzędów (15 cm, 30 cm), drugi czynnik – aplikacja biostymulatora Asahi SL (kontrola – bez aplikacji; faza listnienia – BBCH 14–15; faza pąkowania – BBCH 51; fazy listnienia i pąkowania – BBCH 14–15 i BBCH 51). Zróżnicowana rozstawa rzędów (15 cm, 30 cm) istotnie kształtowała: wysokość osadzenia pierwszego strąka, liczbę rozgałęzień pierwszego rzędu, liczbę nasion z rośliny, masę strączyn, łodyg i całej rośliny. Aplikacja biostymulatora Asahi SL wpłynęła korzystnie, w porównaniu z obiektem kontrolnym, na zwiększenie: wysokości roślin przed zbiorem, liczby i masy nasion z rośliny, masy łodyg i całej nadziemnej części rośliny oraz masy 1000 nasion. Przebieg warunków pogodowych w latach prowadzenia eksperymentu polowego miał istotny wpływ na wszystkie oceniane cechy morfologiczne roślin soi przed zbiorem.

Słowa kluczowe: soja, *Glycine max*, rozstawa rzędów, biostymulator

WSTĘP

W Polsce w ostatnich latach (2023–2025) obserwowany jest stały wzrost zainteresowania produkcją soi na nasiona (44,4 tys. ha, 79,8 tys. ha, 98,8 tys. ha) [ARiMR 2023, 2024, 2025]. Wciąż jednak istotnym zagadnieniem pozostaje optymalizacja agrotechniki, która ma decydujący wpływ na ekonomiczny sukces uprawy. Przyczyn uzyskiwania w praktyce niskich plonów nasion soi upatruje się m.in. w jej nieodpowiedniej pozycji w zmianowaniu, niewłaściwym terminie siewu i zbioru, niezastosowaniu szczepienia nasion kulturami bakterii symbiotycznych, nieterminowym zwalczaniu chwastów, niewłaściwie dobranej architekturze łanu lub braku wiedzy o właściwym doborze odmiany hodowlanej do warunków klimatyczno-glebowych miejsca uprawy [Strażyński i in. 2023].

W agrotechnice soi niezmiernie ważnym elementem jest właściwe rozmieszczenie roślin na jednostce powierzchni, które determinuje architekturę łanu, a przez to umożliwia optymalne wykorzystanie zasobów środowiska [Bellaloui i in. 2015]. Jednocześnie właściwe zagęszczenie roślin na polu w prak-

[1] Instytut Agroekologii i Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24A, 50-365 Wrocław, Polska, https://orcid.org/0009-0002-3248-7936
[2] Instytut Agroekologii i Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24A, 50-365 Wrocław, Polska, https://orcid.org/0000-0003-0715-6844; autor korespondencyjny: marcin.kozak@upwr.edu.pl
[3] Instytut Agroekologii i Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24A, 50-365 Wrocław, Polska, https://orcid.org/0000-0002-6180-4593

© 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 conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

tyce często wpływa na wzrost roślin, ich cechy morfologiczne, a także plonowanie [De Bruin i Pedersen 2008, Sobko i in. 2019]. Zwiększona obsada roślin na jednostce powierzchni, w porównaniu z mniejszą liczbą roślin, wpływa na zwiększenie konkurencji np. o światło, co powoduje zmniejszenie ilości rozgałęzień, a także liczby strąków na roślinie [Toleikiene i in. 2021]. Optymalna obsada roślin na polu jest jednym z głównych czynników warunkujących plonowanie soi.

Według obowiązującego w Unii Europejskiej rozporządzenia 1009/2019 (Załącznik 1. PFC 6.) biostymulator to produkt nawozowy UE, którego funkcja polega na stymulowaniu procesów odżywiania roślin niezależnie od zawartości składników pokarmowych w produkcie, którego wyłącznym celem jest poprawa co najmniej jednej z następujących cech rośliny lub ryzosfery rośliny: efektywności wykorzystania składników pokarmowych, odporności na stres abiotyczny, cech jakościowych lub przyswajalności składników pokarmowych z form trudnodostępnych w glebie lub ryzosferze.

Biostymulator Asahi SL jest znany na rynkach europejskich i światowych pod nazwą Chaperone (USA) bądź Atonik [Bynum i in. 2007]. Asahi SL jest preparatem, w którego składzie znajdują się substancje aktywne z grupy nitrofenoli, tj. para-nitrofenolan sodu (3 g·dm^{-3}), orto-nitrofenolan sodu (2 g·dm^{-3}), 5-nitrowajakolan sodu (1 g·dm^{-3}). Substancje te po aplikacji preparatu w postaci oprysku dolistnego, w wyniku przebiegu procesów metabolicznych, przekształcają się do substancji naturalnie występujących w roślinach [Przybysz i in. 2014].

Oddziaływanie preparatu Asahi SL jest obserwowane w procesach biochemicznych, molekularnych i fizjologicznych zachodzących w roślinach, po potraktowaniu ich biostymulatorem. Badania dotyczące działania Asahi SL na poziomie molekularnym zostały potwierdzone obserwacją zmian ekspresji genów, które są odpowiedzialne za wzrost wegetatywny i generatywny rośliny, przebieg procesu fotosyntezy, a także stopień odporności na czynniki stresowe (abiotyczne i biotyczne) [Borowski i Blamowski 2009].

Celem prowadzonych w latach 2015–2017 badań polowych była ocena wpływu zróżnicowanej rozstawy rzędów i aplikacji biostymulatora Asahi SL na rozwój i cechy morfologiczne soi uprawianej w warunkach agroekologicznych województwa dolnośląskiego. Przyjęta hipoteza badawcza zakładała, że zróżnicowana rozstawa rzędów i aplikacja biostymulatora wpłyną istotnie na kształtowanie rozwoju i cech morfologicznych roślin soi.

WARUNKI BADAŃ

Lokalizacja, warunki glebowe i klimatyczne

Trzyletnie doświadczenie polowe zostało przeprowadzone na polach doświadczalnych Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w latach 2015–2017. Pola doświadczalne zlokalizowane są w Ramiszowie (17°02'E, 51°31'N, 122 m n.p.m.) oddalonym o około 10 km od centrum Wrocławia.

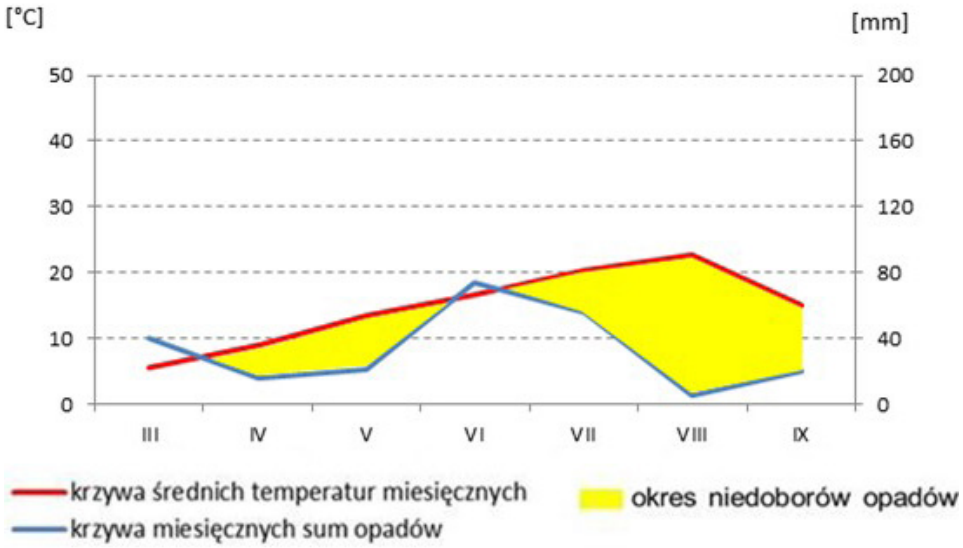
Doświadczenie polowe zakładano na glebie klasyfikowanej jako gleba płowa opadowo-glejowa w rzędzie gleb płowoziemnych [Kabała i in. 2019], wytworzona z gliny piaszczystej na glinie zwykłej, zaliczanej do drugiego kompleksu przydatności rolniczej – pszennego dobrego, klasy bonitacyjnej III b. Każdego roku, przed założeniem doświadczeń polowych pobierano próbki gleby zgodnie z normą [PN-R-04031:1997] w celu oznaczenia zawartości składników pokarmowych – potasu, magnezu, fosforu i pH gleby w 1 M KCl. Zasobność gleby w 2015 i 2017 roku w fosfor była wysoka, natomiast w 2016 roku bardzo wysoka. Zawartość potasu w glebie w latach 2015 i 2017 kształtowała się na średnim poziomie, a w 2016 roku na wysokim. Zawartość magnezu w glebie zmieniała się od średniej do bardzo wysokiej. Odczyn pH gleby w latach badań był kwaśny (tabela 1).

Tabela 1. Niektóre właściwości chemiczne gleby w latach 2015–2017

Lata	Fosfor (mg·1000 g^{-1} gleby)	Potas (mg·1000 g^{-1} gleby)	Magnez (mg·1000 g^{-1} gleby)	pH (1 M KCl)
2015	78,9	146,1	81,9	5,8
2016	99,4	184,0	64,0	5,7
2017	76,5	134,5	157,0	5,8

Dla zobrazowania wpływu warunków meteorologicznych na rozwój roślin soi przedstawiono zależności średnich temperatur powietrza oraz sum opadów na diagramach klimatycznych (ryciny 1–3) według metody Gaussena-Waltera w modyfikacji Łukasiewicza [Łukasiewicz 2006].

Rycina 1. Diagram klimatyczny Gaussena-Waltera w modyfikacji Łukasiewicza – 2015 rok
[Stacja Meteorologiczna Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej UPWr, 2015]

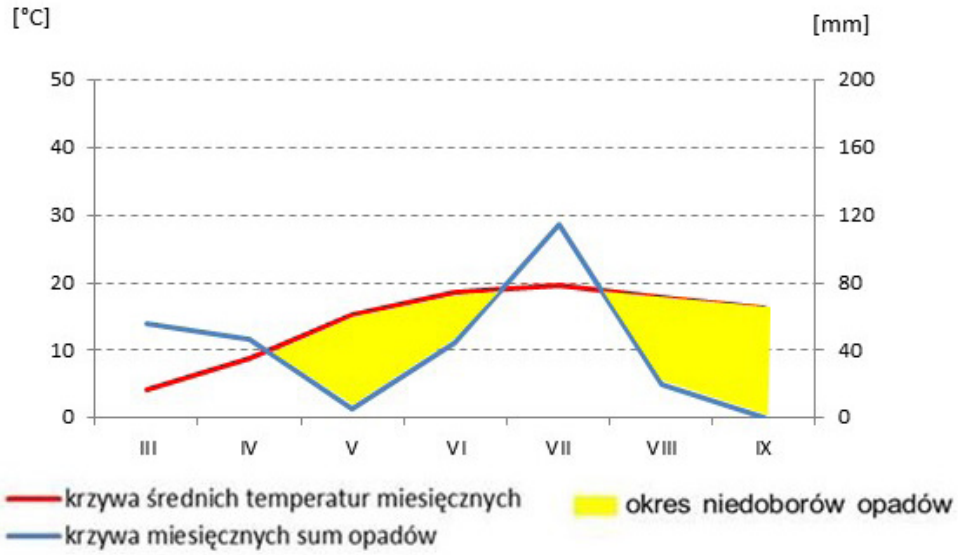


W 2015 roku warunki termiczne były korzystne dla szybkiego kiełkowania nasion i wschodów roślin. Niestety opady w drugiej dekadzie kwietnia kształtowały się na znikomym poziomie 0,4 mm, a w trzeciej dekadzie wyniosły tylko 4,6 mm przy średniej temperaturze powietrza 11,8°C, co spowodowało stopniowe rozpoczęcie długiego okresu niedoboru wilgoci (rycina 1). Dalsze niedobory wilgoci zaobserwowano w drugiej i trzeciej dekadzie maja (opady odpowiednio 5,8 mm i 0,1 mm) przy wartościach temperatury powietrza (13,1°C i 14,0°C). W czerwcu 2015 roku odnotowano zwiększone opady na poziomie 73,3 mm, które przyczyniły się do poprawienia bilansu wodnego w glebie. Z kolei sierpień, który jest miesiącem zawiązywania strąków przez rośliny soi oraz wypełniania ich nasionami, był w 2015 roku okresem znacznych niedoborów wilgoci glebowej – suma opadów w tym okresie wyniosła tylko 5,6 mm. W czasie zbioru obserwowano pękanie strąków, które wywołane było bardzo silną suszą. Pękanie i osypywanie nasion nie jest cechą typową dla roślin soi, które posiadają mocny szew łączący obie strączyny. Podczas udomowienia soja nabyła odporność na pękanie strąków poprzez zagęszczenie czapeczki włókien nad strefą pękania oraz poprzez zmniejszenie skrętu strąka [Dong i in. 2014, Funatsuki i in. 2014]. Właściwość ta w latach o normalnym przebiegu warunków wilgotnościowo-termicznych zapobiega pękaniu i osypywaniu się nasion ze strąków przed zbiorem kombajnowym i w czasie zbioru.

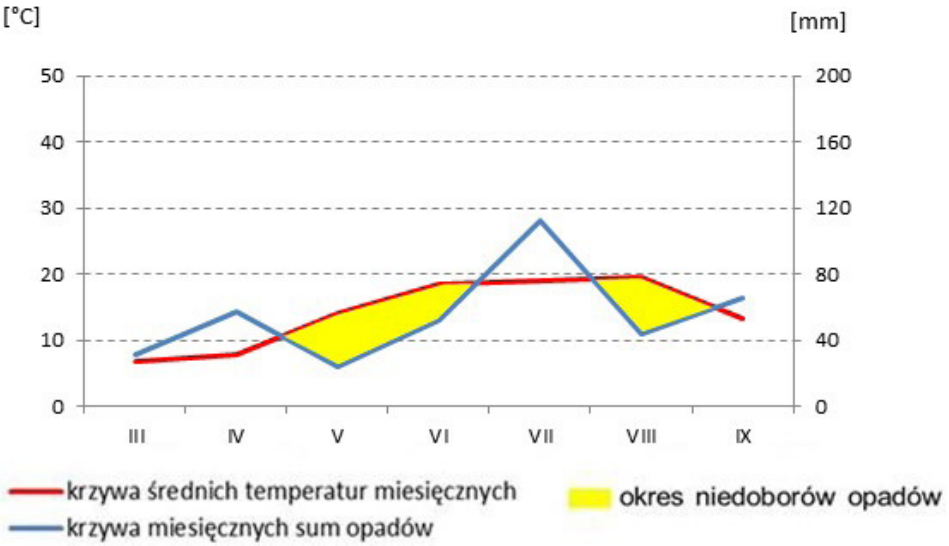
Układ warunków termicznych w okresie wegetacji soi w 2016 roku był korzystny dla wzrostu i rozwoju roślin. Niestety w trzeciej dekadzie kwietnia suma opadów wynosiła 7,9 mm, a w całym miesiącu maju opady wyniosły tylko 5,3 mm. Spowodowało to rozpoczęcie długotrwałego okresu niedoborów opadów, który trwał aż do drugiej dekady czerwca (rycina 2). Deficyt opadów spowodował skrócenie okresu rozwoju wegetatywnego roślin i przyśpieszenie rozwoju generatywnego. Poprawa warunków wilgotnościowych nastąpiła w drugiej i trzeciej dekadzie czerwca (opady odpowiednio 25,5 mm i 18,1 mm) oraz w lipcu (suma opadów wyższa o 35,4 mm niż w wieloleciu). Sierpień 2016 roku charakteryzował się niekorzystnym układem warunków termiczno-wilgotnościowych z uwagi na fakt, że suma opadów z całego miesiąca wyniosła 27,1 mm i była niższa o 34,6 mm od sumy z wielolecia 1985–2014. Spowodowało to rozpoczęcie drugiego okresu niedoborów wilgoci dla soi (rycina 2). Pierwsza dekada września cechowała się wysoką średnią temperaturą powietrza 18,8°C i niską sumą opadów (7,7 mm), co stworzyło dogodne warunki do dojrzewania nasion w strąkach. Nie zaobserwowano jednak, jak w 2015 roku, zjawiska pękania strąków i osypywania się nasion.

Warunki wilgotnościowe w 2017 roku nie były korzystne dla początkowego rozwoju soi (rycina 3). Suma opadów w kwietniu wyniosła 57,0 mm i była wyższa o 27,2 mm od sumy z wielolecia 1985–2014. W trzeciej dekadzie kwietnia średnia temperatura powietrza wynosiła 6,7°C, a w pierwszej dekadzie

Rycina 2. Diagram klimatyczny Gaussena-Waltera w modyfikacji Łukasiewicza – 2016 rok
[Stacja Meteorologiczna Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej UPWr, 2016]



Rycina 3. Diagram klimatyczny Gaussena-Waltera w modyfikacji Łukasiewicza – 2017 rok
[Stacja Meteorologiczna Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej UPWr, 2017]



maja 9,4°C, co w połączeniu z wysoką sumą opadów opóźniło kiełkowanie nasion i wschody roślin. Postępujący stopniowo niedobór wilgoci glebowej został zniwelowany wysokimi opadami dopiero w trzeciej dekadzie czerwca (51,9 mm) i w lipcu (miesięczna suma opadów wyniosła 112,2 mm). W dniu 7 lipca 2017 roku odnotowano na polu doświadczalnym wystąpienie silnego gradobicia, które w znaczący sposób uszkodziło rośliny. Częściowemu uszkodzeniu uległy wierzchołki pędów, kwiatostany, blaszki liściowe oraz dolne stręki. Sierpień charakteryzował się wysoką średnią temperaturą powietrza (19,4°C) i jednocześnie niższą sumą opadów o 18,1 mm niż w wieloleciu 1985–2014, co spowodowało powstanie kolejnego okresu z niedoborami wilgoci glebowej. Wysokie sumy wartości opadów w pierwszej dekadzie września (35,4 mm) wydłużyły dojrzewanie roślin i opóźniły termin zbioru.

Warunki agrotechniczne

Ramiszów położony jest w zlewni środkowej Odry. Długość okresu wegetacyjnego wynosi średnio 220–237 dni, a jego rozpoczęcie następuje najczęściej w pierwszej dekadzie marca, natomiast zakończenie w pierwszej dekadzie listopada [Tomczyk i Szyga-Pluta 2016]. Soja odmiany Merlin była wysiewana w każdym roku badań po przedplonie zbożowym, którym była pszenica ozima. Liczba wysiewanych na-

sion o pełnej wartości użytkowej wynosiła 70 szt. na 1 m^2 i była zgodna z zaleceniami agrotechnicznymi hodowcy tej odmiany. Siew soi został wykonany 22.04.2015 r., 25.04.2016 r. i 25.04.2017 r. siewnikiem poletkowym Tool Carrier 2700 firmy Wintersteiger na głębokość 3–4 cm. Szczegółową agrotechnikę soi zestawiono w tabeli 2, a była ona przede wszystkim uzależniona od dopuszczonych do stosowania w Polsce w danym sezonie wegetacyjnym środków ochrony roślin. Zbiór soi wykonano jednoetapowo kombajnem poletkowym Wintersteiger w fazie dojrzałości pełnej nasion (BBCH 89) odpowiednio 3.09.2015 r., 13.09.2016 r. i 29.09.2017 r.

Tabela 2. Agrotechnika soi w latach 2015–2017 (przedplonem była pszenica ozima)

Wyszczególnienie	Terminy		
	2015	2016	2017
uprawa gleby			
Zbiór przedplonu	9.08.2014	4.08.2015	5.08.2016
Gruberowanie	11.08.2014	6–7.08.2015	7.08.2016
Orka zimowa	7.11.2014	17.11.2015	14.11.2016
Bronowanie broną ciężką	16.03.2015	25.03.2016	6.03.2017
Agregat uprawowy (brona wirnikowa + wał ugniatający)	20.04.2015	19.04.2016	25.04.2017
nawożenie przedsiewne i siew			
P_2O_5 60 kg·ha^{-1} (40% superfosfat potrójny)	22.04.2015	25.04.2016	25.04.2017
K_2O 120 kg·ha^{-1} (60% sól potasowa)	22.04.2015	25.04.2016	25.04.2017
N 30 kg·ha^{-1} (34% saletra amonowa)	22.04.2015	25.04.2016	25.04.2017
Siew	22.04.2015	25.04.2016	25.04.2017
środki ochrony roślin			
Sencor Liquid 600 SC (0,55 dm^3·ha^{-1})	23.04.2015	–	–
Afalon Dyspersyjny 450 SC (1,5 dm^3·ha^{-1})	–	26.04.2016	–
Corum 502,4 SL (1,5 dm^3·ha^{-1}) + Dash HC (0,6 dm^3·ha^{-1})	–	19.05.2016	–
Boxer 800 EC (4,0 dm^3·ha^{-1})	–	–	27.04.2017
Corum 502,4 SL (0,62 dm^3·ha^{-1}) + Dash HC (0,3 dm^3·ha^{-1})	–	–	25.05.2017 9.06.2017
Zbiór	3.09.2015	13.09.2016	29.09.2017

METODYKA BADAŃ

Trzyletnie doświadczenie polowe założono jako dwuczynnikowe w układzie split-plot, w czterech powtórzeniach. Czynnikami badawczymi były: pierwszy czynnik – rozstawa rzędów (15 cm, 30 cm), drugi czynnik – aplikacja biostymulatora Asahi SL (1 – kontrola (bez aplikacji); 2 – faza listnienia (BBCH 14–15); 3 – faza pąkowania (BBCH 51); 4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51).

Powierzchnia pojedynczego poletka do siewu wynosiła 16,5 m^2 (1,5 m × 11 m), a do zbioru odpowiednio 15,0 m^2 (1,5 m × 10 m). W dojrzałości pełnej nasion (BBCH 89), bezpośrednio przed zbiorem soi na 10 losowo wybranych roślinach z każdego poletka doświadczalnego oceniono następujące cechy: wysokość roślin (cm), wysokość osadzenia pierwszego strąka (cm), liczbę rozgałęzień pierwszego rzędu (szt.), liczbę strąków na roślinie (szt.), liczbę nasion z jednej rośliny (szt.), masę nasion z jednej rośliny (g), masę nasion w jednym strąku (g), masę strączyn z jednej rośliny (g), masę łodyg z jednej rośliny (g). Masę 1000 nasion (g) obliczono z 4 losowo wydzielonych prób nasion (4 × 100 szt.) wg ISTA [2025]. Syntezę wyników przeprowadzono po zakończeniu trzyletnich doświadczeń polowych. Analizę wariancji (ANOVA) wykonano zgodnie z metodyką doświadczeń polowych w układzie split-plot [Elandt 1964]. Uzyskane wyniki oceniono testem t-Studenta za pomocą NIR (Najmniejsza Istotna Różnica) przy poziomie ufności P = 0,05. Do obliczeń statystycznych wykorzystano programy: AWA [Bartkowiak 1978], Statistica 13.3 PL oraz Microsoft Excel.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Wszystkie oceniane cechy morfologiczne roślin soi nie były istotnie zależne od współdziałania badanych czynników (tabele 3–5). Zróżnicowana rozstawa rzędów kształtowała wysokość osadzenia pierwszego strąka, liczbę rozgałęzień jednego rzędu oraz liczbę nasion z rośliny (tabela 4) oraz masę części nadziemnej soi (tabela 6), które były istotnie wyższe przy wysiewie soi w rozstawie rzędów 30 cm. Strażyński i in. [2023] wskazują, że w polskich warunkach stosowanie szerszej rozstawy rzędów może być korzystniejszym rozwiązaniem w uprawie soi, niż siew wąskorzędowy, szczególnie w aspekcie jej integrowanej produkcji. Aplikacja biostymulatora Asahi SL, w porównaniu z kontrolą (bez aplikacji), wpłynęła na wysokość roślin i liczbę rozgałęzień pierwszego rzędu oraz liczbę i masę nasion z rośliny (tabela 4). Uzyskane wyniki potwierdzają doniesienia Kociry [2017] dotyczące istotnego wpływu aplikacji biostymulatora Asahi SL na większość cech morfologicznych soi. W badaniach własnych zastosowanie preparatu w każdej z wybranych faz rozwojowych istotnie determinowało zwiększenie wysokości roślin w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Z kolei liczba rozgałęzień pierwszego rzędu oraz liczba nasion z rośliny były istotnie najwyższe po aplikacji Asahi SL w fazie BBCH 14–15 oraz w fazach BBCH 14–15 + BBCH 51. Badania własne nie wykazały wpływu zastosowania biostymulatora na wysokość osadzenia pierwszego strąka (tabela 4). Odmienne wyniki dotyczące wysokości osadzenia pierwszego strąka uzyskała Kocira [2017], która odnotowała istotny wpływ wykonanych oprysków różnymi biostymulatorami na ten parametr soi. Z kolei Serafin-Andrzejewska i Kozak [2018] stwierdzili, że zastosowanie biostymulatora Asahi SL w agrotechnice gorczycy białej wpływało istotnie statystycznie na wszystkie badane parametry morfologiczne roślin. Podwójny zabieg biostymulatorem zwiększał wysokość roślin o 5,1%, a pojedynczy o 3,0% w porównaniu z kontrolą. Wysokość do pierwszego rozgałęzienia była odpowiednio wyższa o 5,7% i 8,5% w odniesieniu do kombinacji bez zastosowania biostymulatora.

Tabela 3. Cechy morfologiczne roślin soi przed zbiorem – średnie dla współdziałania czynników

Rozstawa rzędów	Aplikacja Asahi SL (obiekty)	Wysokość roślin (cm)	Wysokość osadzenia pierwszego strąka (cm)	Liczba r ozgałęzień pierwszego rzędu (szt.)	Liczba strąków na roślinie (szt.)	Liczba nasion z rośliny (szt.)	Liczba nasion w strąku (szt.)	Masa nasion w strąku (g)	Masa nasion z rośliny (g)	Masa 1000 nasion (g)
15 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	60	9,8	1,3	20,8	41,8	1,99	0,315	6,75	165
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	65	10,0	1,7	21,7	44,1	2,00	0,338	7,64	165
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	62	9,6	1,5	21,9	42,4	1,92	0,314	7,19	170
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	66	10,0	1,6	22,6	46,1	2,01	0,323	7,62	169
30 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	60	10,0	1,6	21,6	43,7	1,98	0,315	7,14	163
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15),	61	10,5	1,7	22,7	46,8	2,02	0,322	7,64	168
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	64	10,5	1,6	22,3	45,2	1,99	0,326	7,61	169
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	63	10,7	1,7	22,8	45,8	1,96	0,320	7,66	169
NIR (α = 0,05)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Przebieg warunków pogodowych w latach prowadzenia badań miał istotny wpływ na wszystkie oceniane cechy morfologiczne roślin soi przed zbiorem (tabele 4 i 6). Najwyższe rośliny przed zbiorem (74 cm), z najwyżej osadzonym pierwsxym strąkiem (10,6 cm) zaobserwowano w 2015 roku (tabela 4).

W 2016 roku liczba wykształconych prawidłowo strąków płodnych (tabela 4) była najwyższa (27,4 szt.), co skutkowało uzyskaniem największej liczby nasion z rośliny (61,3 szt.). Dodatkowo w wyżej wymienionym roku liczba nasion w strąku była najwyższa w odniesieniu do pozostałych lat badań. Wartości poszczególnych cech morfologicznych roślin soi w 2015 roku zostały znacząco ograniczone poprzez narastającą suszę, a w 2017 roku przez nagłe wystąpienie gradobicia (7 lipca). Zdaniem Szyrmera i Federowskiej [1978] różnice w liczbie wykształconych strąków w trakcie prowadzonych badań są wynikiem odmiennego rozkładu opadów, temperatury i nasłonecznienia w okresie kwitnienia roślin.

Ponadto masa nasion z rośliny, masa nasion w strąku oraz masa 1000 nasion były istotnie zależne od przebiegu warunków termiczno-wilgotnościowych w latach prowadzenia badań. W 2015 roku z uwagi na niską sumę opadów w okresie wegetacji rośliny soi wykształciły nasiona o istotnie najniższej masie 1000 sztuk (tabela 4). Lata 2016 i 2017 były zbliżone pod względem przebiegu warunków pogodowych w okresie zawiązywania i wypełniania strąków nasionami, co skutkowało uzyskaniem podobnych wartości masy 1000 nasion.

Masa strączyn, łodyg oraz sumaryczna masa rośliny soi nie były istotnie determinowane przez współdziałanie badanych czynników (tabela 5). Masa całej rośliny oraz masa strączyn i łodyg były kształtowane przebiegiem warunków pogodowych w latach badań (tabela 6). Sumaryczna masa całej rośliny była najniższa w 2015 roku z uwagi na występującą w okresie wegetacji suszę, natomiast w 2017 roku występujące gradobicie ograniczyło znacząco masę nadziemnych części rośliny. Uprawa soi w szerszej rozstawie rzędów (30 cm) sprzyjała istotnemu zwiększeniu masy strączyn, łodyg i sumarycznej masy całej rośliny w porównaniu do wysiewu soi w rozstawie 15 cm (tabela 6). Wcześniejsze badania Kozaka i in. [2008] wykazały istotny wpływ aplikacji Asahi SL na stymulowanie wzrostu wegetatywnej części nadziemnej soi. W badaniach własnych stwierdzono, że rośliny soi pozbawione działania biostymulatora Asahi SL cechowały się istotnie niższą masą łodyg oraz całej rośliny w porównaniu z roślinami stymulowanymi tym preparatem w wybranych fazach rozwojowych (tabela 6).

Tabela 4. Cechy morfologiczne roślin soi przed zbiorem – średnie dla czynników i lat

Wyszczególnienie		Wysokość roślin (cm)	Wysokość osadzenia pierwszego strąka (cm)	Liczba rozgałęzień pierwszego rzędu (szt.)	Liczba strąków na roślinie (szt.)	Liczba nasion z rośliny (szt.)	Liczba nasion w strąku (szt.)	Masa nasion w strąku (g)	Masa nasion z rośliny (g)	Masa 1000 nasion (g)
Rozstawa rzędów	15 cm	63	9,9	1,5	21,8	43,6	1,98	0,323	7,30	167
	30 cm	62	10,4	1,7	22,4	45,4	1,99	0,321	7,51	167
NIR (α = 0,05)		r.n.	0,43	0,11	r.n.	1,25	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
Aplikacja Asahi SL (obiekty)	1 – kontrola (bez aplikacji)	60	9,9	1,5	21,2	42,7	1,98	0,315	6,94	164
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	63	10,3	1,7	22,2	45,5	2,01	0,330	7,64	167
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	63	10,1	1,5	22,1	43,8	1,95	0,320	7,40	170
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	64	10,4	1,7	22,7	45,9	1,99	0,322	7,64	169
NIR (α = 0,05)		1,9	r.n.	0,15	r.n.	2,00	r.n.	r.n.	0,357	3,0
Lata	2015	74	10,6	1,6	18,6	32,1	1,73	0,227	4,46	137
	2016	58	9,4	2,0	27,4	61,3	2,24	0,399	10,90	183
	2017	55	10,3	1,2	20,2	40,0	1,98	0,341	6,88	182
NIR (α = 0,05)		1,8	0,52	0,10	0,82	1,53	0,045	0,0082	0,282	3,4

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Tabela 5. Masa strączyn, łodyg i sumaryczna masa nadziemnej części rośliny soi – średnie dla współdziałania czynników

Rozstawa rzędów	Aplikacja Asahi SL (obiekty)	Strączyny (g)	Łodygi (g)	Roślina (g)*
15 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	3,26	3,73	13,7
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	3,30	3,91	14,8
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	3,26	3,81	14,3
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	3,36	4,03	15,0
30 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	3,63	3,84	14,6
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	3,63	4,12	15,4
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	3,66	4,06	15,3
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	3,72	4,13	15,5
NIR (α = 0,05)		r.n.	r.n.	r.n.

* Roślina – masa nasion + masa strączyn + masa łodyg (g)
r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Tabela 6. Masa strączyn, łodyg i sumaryczna masa nadziemnej części rośliny soi – średnie dla czynników i lat

Wyszczególnienie		Strączyny	Łodygi	Roślina*
Rozstawa rzędów	15 cm	3,29	3,87	14,5
	30 cm	3,66	4,04	15,2
NIR (α = 0,05)		0,079	0,148	0,29
Aplikacja Asahi SL (obiekty)	1 – kontrola (bez aplikacji)	3,44	3,78	14,2
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	3,46	4,01	15,1
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	3,46	3,93	14,8
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	3,54	4,08	15,3
NIR (α = 0,05)		r.n.	0,194	0,43
Lata	2015	2,42	4,36	11,2
	2016	4,92	3,96	19,8
	2017	3,09	3,54	13,5
NIR (α = 0,05)		0,097	0,181	0,35

* Roślina – masa nasion + masa strączyn + masa łodyg (g)
r.n. – różnica nieistotna statystycznie

WNIOSKI

1. Przebieg warunków pogodowych w latach prowadzenia eksperymentu polowego miał istotny wpływ na wszystkie oceniane cechy morfologiczne roślin soi przed zbiorem. W sezonie wegetacyjnym 2016 roku rośliny soi charakteryzowały się przed zbiorem największą: liczbą rozgałęzień pierwszego rzędu, liczbą strąków płodnych, liczbą i masą nasion z rośliny, liczbą nasion w strąku oraz masą strączyn z rośliny, a także masą 1000 nasion.

2. Czynnik zróżnicowanej rozstawy rzędów (15 cm, 30 cm) istotnie kształtował: wysokość osadzenia pierwszego strąka, liczbę rozgałęzień pierwszego rzędu, liczbę nasion z rośliny, masę strączyn, łodyg i całej rośliny.

3. Aplikacja biostymulatora Asahi SL wpłynęła korzystnie, w porównaniu z obiektem kontrolnego pozbawionego działania preparatu, na zwiększenie: wysokości roślin przed zbiorem, liczby i masy nasion z rośliny, masy łodyg i całej nadziemnej części rośliny oraz masy 1000 nasion.

4. Aplikowanie biostymulatora w technologii uprawy soi może być dla polskich rolników cennym uzupełnieniem dotychczas stosowanych standardowych zabiegów agrotechnicznych.

PIŚMIENNICTWO

ARiMR 2023. https://rejestrupraw.arimr.gov.pl/# [dostęp 18.02.2026].

ARiMR 2024. https://rejestrupraw.arimr.gov.pl/# [dostęp 18.02.2026].

ARiMR 2025. https://rejestrupraw.arimr.gov.pl/# [dostęp 18.02.2026].

Bartkowiak A., 1978. Analiza wariancji dla układów ortogonalnych. Program AWA. W: Opis merytoryczny programów statystycznych opracowanych w Instytucie Informatyki Uniwersytetu Wrocławskiego. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 43–60.

Bellaloui N., Bruns H.A., Abbas H.K. i in., 2015. Effects of row-type, row-spacing, seeding rate, soil-type, and cultivar differences on soybean seed nutrition under US Mississippi Delta conditions. PLOS ONE 10(6), e0129913. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129913

Borowski E., Blamowski Z.K., 2009. The effects of triacontanol TRIA and Asahi SL on the development and metabolic activity of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants treated with chilling. Folia Hortic. 21(1), 39–48. https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0124

Bynum J.B., Cothren J.T., Lemon R.G. I in., 2007. Field evaluation of nitrophenolate plant growth regulator (Chaperone) for the effect on cotton lint yield. J. Cotton Sci. 25, 20–25.

De Bruin J.L., Pedersen P., 2008. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. Agron. J. 100(3), 704–710. https://doi.org/10.2134/agronj2007.0106.

Dong Y., Yang X., Liu J. i in., 2014. Pod shattering resistance associated with domestication is mediated by a NAC gene in soybean. Nat. Commun. United Kingdom 5, 3352. https://doi.org/10.1038/ncomms4352

Elandt R., 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego. PWN, Warszawa.

Funatsuki H., Suzuki M., Hirose A. i in., 2014. Molecular basis of a shattering resistance boosting global dissemination of soybean. Proc. Nat. Acad. Sci. 111(50), 17797–17802. https://doi.org/10.1073/pnas.1417282111

ISTA, 2025. Międzynarodowe przepisy oceny nasion 2025, tłum. i oprac. mer. E. Małuszyńska, B. Wiewióra, T. Oleksiak i in. Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy.

Kabała C., Charzyński P., Chodorowski J., Drewnik M., Glina B., Greinert A., Hulisz P., Jankowski M., Jonczak J., Łabaz B., Łachacz A., Marzec M., Mendyk Ł., Musiał P., Musielok Ł., Smreczak B., Sowiński P., Świtoniak M., Uzarowicz Ł., Waroszewski J., 2019. Polish Soil Classification, 6th edition – principles, classification scheme and correlations. Soil Science Annual, 70(2), 71–97.

Kocira A., 2017. Biostymulatory w uprawie soi jako czynnik determinujący cechy biometryczne, plon i skład chemiczny nasion. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach, Monografie i rozprawy naukowe 54, ss. 135.

Kozak M., Malarz W., Serafin-Andrzejewska M., Kotecki A., 2008. The effects of sowing rate and Asahi SL biostimulator on soybean growth and yield. Ed. Zbigniew T. Dąbrowski: Biostimulators in modern agriculture. Part: Field Crops. s. 77–84.

Łukasiewicz S., 2006. Propozycja modyfikacji metody wykreślania okresu wilgotnego, humidowego, w diagramie klimatycznym Gaussena-Waltera, w Badania Fizjograficzne Nad Polską Zachodnią Seria A – Geografia Fizyczna, PTPN. Poznań, 95–99.

PN-R-04031:1997, 1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby - Pobieranie próbek.

Przybysz A., Gawrońska H., Gajc-Wolska J., 2014. Biological mode of action of a nitrophenolates-based biostimulant: case study. Front. Plant Sci.,5, 713. doi: 10.3389/fpls.2014.00713.

Serafin-Andrzejewska M., Kozak M., 2018. Reakcja gorczycy białej uprawianej na nasiona na włączenie biostymulatora Asahi SL do technologii uprawy Cz. I. Cechy morfologiczne roślin przed zbiorem i plon nasion. Fragm. Agron. 35(3), 89–98.

Sichilima I., Mataa M., Mweetwa A.M., 2018. Morpho-physiological and yield responses associated with plant density variation in soybean (*Glycine max* L. (Merrill)). IJEAB 3(1), 274–285. doi: 10.22161/ijeab/3.1.35.

Sobko O., Hartung J., Zikeli S., Claupein W., Gruber S., 2019. Effect of sowing density on grain yield, protein and oil content and plant morphology of soybean (*Glycine max* L. Merrill). Plant, Soil Environ. 65(12), 594–601. doi: 10.17221/346/2019-PSE.

Strażyński P., Kardasz P., Mrówczyński M., 2023. Metodyka integrowanej produkcji soi. Instytut Ochrony Roślin – PIB, Warszawa, ss. 73.

Szyrmer J., Federowska B., 1978. Badania odmian i form soi ze światowej kolekcji. Biul. IHAR, 134, 123–144.

Toleikiene M., Slepetys J., Sarunaite L., Lazauskas S., Deveikyte I., Kadziuliene Z., 2021. Soybean development and productivity in response to organic management above the northern boundary of soybean distribution in Europe. Agronomy 11(2), 214. doi: 10.3390/agronomy11020214.

Tomczyk A., Szyga-Pluta K., 2016. Okres wegetacyjny w Polsce w latach 1971–2010 – Growing seasons in Poland in the period 1971–2010. Przegląd Geograficzny 88(1), 75–86. doi: 10.7163/PrzG.2016.1.4.

Źródło finansowania: Projekt wewnętrzny B/010/2026 Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Wkład autorów: Wkład autorów w powstawanie pracy: opracowanie koncepcji i założeń – M.G.-Z., M.K.; opracowanie metod – M.K., A.W.-G.; przeprowadzenie badań – M.G.-Z., M.K., A.W.-G.; pozostały wkład – M.G.-Z., M.K., A.W.-G.

Abstract. In 2015–2017, in the proving grounds of the Institute of Agroecology and Plant Production of Wrocław University of Environmental and Life Sciences, field studies were carried out on the different row spacing and the application of the Asahi SL biostimulant on soybean development and yield. The field study employed a split-plot method, with four replications, and two variable factors: Factor I – varying row spacing (15 and 30 cm); Factor II – the application of the Asahi SL biostimulant (control – no application, foliage stage – BBCH 14–15, budding stage – BBCH 51, foliage and budding stage – BBCH 14–15 and BBCH 51). Varying row spacing significantly affected: first pod height, number of first-order branches, number of seeds per plant, pod, stem, and whole plant weight. Application of the Asahi SL biostimulant, compared to the control treatment, had a positive effect on increasing the following: plant height before harvest, seed number and weight per plant, stem and above-ground plant weight, and 1000-seed weight. Weather conditions during the years of the field experiment had a significant impact on all assessed morphological traits of soybean plants before harvest.

Keywords: soybean, *Glycine max,* row spacing, biostymulant

Otrzymano/Received: 20.02.3036
Zaakceptowano/Accepted: 8.05.2026
Oublikowano/Published: 3.07.2026

Cytowanie: Gniadzik-Zasańska M., Kozak M., Wondołowska-Grabowska A., 2026. Wpływ zróżnicowanej rozstawy rzędów i aplikacji biostymulatora Asahi SL na cechy morfologiczne i plonowanie soi (*Glycine max* (L.) Merrill). Cz. I. Cechy morfolo-giczne soi. Agron. Sci. 81(2), 29–38. https://doi.org/10.24326/as.2026.5671

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI (2) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5672

MAŁGORZATA GNIADZIK-ZASAŃSKA[1], MARCIN KOZAK[2],
ANNA WONDOŁOWSKA-GRABOWSKA[3]

Wpływ zróżnicowanej rozstawy rzędów i aplikacji biostymulatora Asahi SL na cechy morfologiczne i plonowanie soi (*Glycine max* (L.) Merrill). Cz. II. Plony nasion, resztek pozbiorowych i ich skład chemiczny

The effect of different row spacing and the application of Asahi SL biostimulant on the morphological features and yielding of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). Part II. Yields and chemical composition of seeds and harvest residues

Abstrakt. W latach 2015–2017 na polach doświadczalnych Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu przeprowadzone zostały badania dotyczące wpływu rozstawy rzędów i aplikacji biostymulatora Asahi SL na rozwój i plonowanie soi. Badania polowe założono w układzie split-plot, w czterech powtórzeniach, z dwoma czynnikami zmiennymi. Pierwszy czynnik – rozstawa rzędów (15 cm, 30 cm), drugi czynnik – aplikacja biostymulatora Asahi SL (kontrola – bez aplikacji; faza listnienia – BBCH 14–15; faza pąkowania – BBCH 51; listnienia i pąkowania – BBCH 14–15 i BBCH 51). Zróżnicowana rozstawa rzędów (15 cm, 30 cm) istotnie kształtowała plon resztek pozbiorowych soi, nie wpływając jednocześnie na zebrany plon nasion i wydajności składników pokarmowych. Szersza rozstawa rzędów (30 cm) sprzyjała wzrostowi plonu resztek pozbiorowych, zwiększonej zawartości Ca w nasionach oraz Mg w łodygach. Stosowanie biostymulatora Asahi SL wpłynęło korzystnie, w porównaniu z obiektem kontrolnym, na zwiększenie plonów nasion i resztek pozbiorowych soi, a także wydajności tłuszczu surowego i białka ogółem z 1 hektara.

Słowa kluczowe: soja, *Glycine max*, rozstawa rzędów, biostymulator, plon, skład chemiczny

WSTĘP

Zainteresowanie uprawą i przerobem soi na różne cele spowodowane jest unikalnym składem chemicznym nasion, w tym m.in. zawartością 35–45% białka oraz 18–22% tłuszczu [Medic i in. 2014, Natarajan 2014]. Białko soi zawiera wszystkie egzogenne aminokwasy, w przeważającej ilości lizynę, i posiada znaczącą wartość biologiczną [Young i Pellett 1994, Popovic i in. 2012, Lee i in. 2013]. Zawartość tłuszczu w nasionach soi uzależniona jest przede wszystkim od cech genetycznych odmiany i przebiegu warunków wilgonościowo-termicznych w okresie jej wzrostu [Hou i in. 2006, Abdelghany i in. 2020]. Należy zauważyć, że soja zajmuje drugie miejsce na światowym rynku surowców wykorzystywanych do produkcji oleju, ustępując miejsca jedynie olejowcowi gwinejskiemu, zwanemu popularnie palmą olejową [Clemente i Cahoon 2009, Sultan i in. 2015, Taheripour i in. 2019, Murphy 2025]. Wyniki badań nad gęstością siewu soi wskazują na potrzebę optymalnego zagęszczenia roślin na jednostce

[1] Instytut Agroekologii i Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24A, 50-365 Wrocław, Polska, https://orcid.org/0009-0002-3248-7936
[2] Instytut Agroekologii i Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24A, 50-365 Wrocław, Polska, https://orcid.org/0000-0003-0715-6844; autor korespondencyjny: marcin.kozak@upwr.edu.pl
[3] Instytut Agroekologii i Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24A, 50-365 Wrocław, Polska, https://orcid.org/0000-0002-6180-4593

© 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 conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

powierzchni, przy zachowaniu odpowiedniej rozstawy rzędów, dostosowanej do właściwości odmian i warunków uprawy [Pyzik 1982]. W przeszłości wielu autorów zalecało stosowanie siewu gniazdowego 60 cm × 60 cm, 45 cm × 45 cm po 6–10 nasion w gnieździe lub rzędowego i punktowego 50 cm × 20 cm, 40 cm × 20 cm, 35 cm × 10–15 cm, 70 cm × 10 cm przy wysiewie przeważnie 15–50 roślin na 1 m^2 [Bielików 1954, 1959, Babic 1975, Crookston 1976]. Aktualnie stosowana rozstawa rzędów w uprawie soi waha się w szerokich granicach od 15 cm do 75 cm i jest najczęściej uwarunkowana parametrami roboczymi używanych siewników (rzędowych, punktowych) [Strażyński i in. 2023].

Biostymulator Asahi SL był w Polsce dotychczas oceniany pod kątem wpływu na poziom plonowania wybranych gatunków roślin polowych. Przykładowo badania Czeczko i Mikos-Bielak [2004] wykazały, że zastosowanie preparatu Asahi SL zwiększało plon bulw ziemniaka średnio o ok. 14% (jednokrotny oprysk), korzenia selera w zakresie od 17% do 35%, a cebul pora od 22% do 34%. Serafin-Andrzejewska i Kozak [2018] obserwowali, że w uprawie gorczycy białej najniższy plon nasion (1,39 $t \cdot ha^{-1}$) zebrano z obiektu kontrolnego (bez aplikacji Asahi SL). Z kolei jednokrotny zabieg biostymulatorem zwiększał uzyskany plon o 6,5% i 8,6% (oprysk w fazie listnienia, pąkowania) w odniesieniu do obiektu kontrolnego, a podwójny oprysk (w fazie listnienia i pąkowania) zwiększył uzyskany plon nasion o 10,1%. Ponadto aplikacja preparatu Asahi SL korzystnie wpłynęła na zwiększenie koncentracji tłuszczu surowego w nasionach gorczycy białej oraz obniżenie zawartości popiołu surowego i włókna surowego. Składniki mineralne w nasionach gorczycy białej, takie jak fosfor, wapń i potas odnotowane zostały na niższym, a magnez i sód na wyższym poziomie, w kombinacjach z użyciem biostymulatora, w porównaniu do kontroli. Dla praktyki rolniczej konieczny jest stały dostęp do nowych informacji dotyczących technologii produkcji soi, pod kątem optymalizacji poziomu plonowania tego gatunku.

Stąd celem prowadzonych w latach 2015–2017 badań polowych i laboratoryjnych była ocena wpływu zróżnicowanej rozstawy rzędów i aplikacji biostymulatora Asahi SL, na plon nasion i resztek pozbiorowych soi oraz ich skład chemiczny. Przyjęta hipoteza robocza zakładała, że zróżnicowana rozstawa rzędów i/lub aplikacja Asahi SL wpłyną istotnie na wielkość uzyskanych plonów nasion i resztek pozbiorowych oraz ich jakość.

WARUNKI BADAŃ

Trzyletnie doświadczenie polowe zostało przeprowadzone na polach doświadczalnych Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, w latach 2015–2017. Pola doświadczalne zlokalizowane są w Ramiszowie (17°02'E, 51°31'N, 122 m n.p.m.) oddalonym o około 10 km od centrum Wrocławia.

Warunki meteorologiczne podczas prowadzenia doświadczenia przedstawiono na diagramach klimatycznych [vidi Gniadzik-Zasańska i in. 2026] według metody Gaussena-Waltera w modyfikacji Łukasiewicza [Łukasiewicz 2006].

Soja odmiany Merlin była wysiewana w każdym roku badań po przedplonie zbożowym, którym była pszenica ozima. Liczba wysiewanych nasion o pełnej wartości użytkowej wynosiła 70 szt. na 1 m^2 i była zgodna z zaleceniami agrotechnicznymi hodowcy tej odmiany. Siew soi został wykonany 22.04.2015 r., 25.04.2016 r. i 25.04.2017 r., siewnikiem poletkowym Tool Carrier 2700 firmy Wintersteiger na głębokość 3–4 cm. Pielęgnację soi wykonywano zgodnie z aktualnymi w danym roku badawczym zaleceniami integrowanej ochrony roślin. Zbiór soi wykonano jednoetapowo kombajnem poletkowym Wintersteiger w fazie dojrzałości pełnej nasion (BBCH 89) odpowiednio 3.09.2015 r., 13.09.2016 r. i 29.09.2017 r.

METODYKA BADAŃ

Trzyletnie doświadczenie polowe założono jako dwuczynnikowe w układzie split-plot, w czterech powtórzeniach. Czynnikami badawczymi były: pierwszy czynnik – rozstawa rzędów (15 cm, 30 cm), drugi czynnik – aplikacja biostymulatora Asahi SL (1 – kontrola (bez aplikacji); 2 – faza listnienia (BBCH 14–15); 3 – faza pąkowania (BBCH 51); 4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51). Powierzchnia pojedynczego poletka do zbioru wynosiła 15 m^2 (1,5 m × 10 m). Plon nasion i resztek pozbiorowych (strączyny, łodygi) określono z powierzchni 15 m^2, a następnie przeliczono na 1 hektar wraz z sprowadzeniem wilgotności materiału roślinnego do stałej wartości wynoszącej 15%.

Ocenę jakościową materiału roślinnego przeprowadzono w Laboratorium Instytutu Agroekologii i Produkcji Roślinnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu metodami: białko ogółem – nasiona (metoda Kjeldahla), tłuszcz surowy – nasiona (metoda odtłuszczonej reszty w aparacie Soxhleta), popiół surowy – nasiona (spalanie w piecu elektrycznym w temp. 600°C), sucha masa – nasiona, strączyny, łodygi (metoda suszarkowa poprzez suszenie rozdrobnionego materiału roślinnego przez 4 godz. w temperaturze 105°C, włókno surowe – nasiona (metoda Henneberga-Stohmanna), zawartość makroskładników w nasionach, strączynach, łodygach: K, Ca – metoda fotometrii płomieniowej, P, Mg – metoda kolorymetryczna. Zawartość bezazotowych związków wyciągowych (BZW) w nasionach została obliczona na podstawie następującej zależności: BZW = 1000 – (zwartość białka ogółem + zawartość tłuszczu surowego + zwartość popiołu surowego + zawartość włókna surowego).

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

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W odniesieniu do plonu nasion i resztek pozbiorowych soi oraz wydajności tłuszczu surowego i białka ogółem z 1 hektara nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu współdziałania badanych czynników (tabela 1). Zastosowana zróżnicowana rozstawa rzędów miała istotny wpływ jedynie na uzyskany plon resztek pozbiorowych, który przy rozstawie rzędów 30 cm był o 5,8% wyższy niż przy rozstawie rzędów 15 cm. Wykazano, że plony nasion soi i resztek pozbiorowych oraz wydajność tłuszczu surowego i białka ogółem były istotnie kształtowane przez termin aplikacji biostymulatora Asahi SL oraz przebieg warunków pogodowych (tabela 2). Udowodniono statystycznie, że zastosowanie biostymulatora zwiększa uzyskany plon nasion od 5,93% (obiekt 2, aplikacja w fazie BBCH 15) do 7,64% (obiekt 4, aplikacja w fazach BBCH 14–15 + BBCH 51) w porównaniu z kombinacją kontrolną (bez aplikacji). Ponadto odnotowano, że plon resztek pozbiorowych, wydajność tłuszczu surowego i białka ogółem z 1 ha była na najniższym poziomie w przypadku braku stosowania biostymulatora Asahi SL (tabela 2). Dla uzyskania najwyższego plonu nasion soi oraz wydajności białka ogółem i tłuszczu surowego z 1 hektara najbardziej korzystny okazał się przebieg warunków termiczno-wilgotnościowych w 2016 roku. Z kolei gradobicie, które wystąpiło w sezonie wegetacyjnym 2017 roku spowodowało istotne obniżenie zarówno plonów nasion, jak i resztek pozbiorowych soi (tabela 2). Podobne zależności dla soi w odniesieniu do plonowania i wydajności składników pokarmowych odnotowali Kozak i in. [2008].

Reszki pozbiorowe stanowią podstawowe źródło zaopatrzenia gleby w składniki organiczne [Lal 2005]. Badania Cox i Jolliff [1986] wykazały, że w przypadku lekkiego niedoboru wody plon suchej masy ulega redukcji o 18%, a w warunkach silnej suszy o 70%. Z kolei według powyższych autorów plon nasion w warunkach niewielkich niedoborów wilgoci został zmniejszony o 27%, a w przypadku znaczących niedoborów wody (susza) wykazano redukcję na poziomie 87%. Nieco odmienne spostrzeżenia wykazano w przeprowadzonym doświadczeniu. Plon resztek pozbiowych był najniższy w ciepłym i wilgotnym roku (2017). Z kolei w ciepłym 2015 roku, o suchym pod względem ilości opadów przebiegu okresu wegetacyjnego, uzyskano najwyższy plon resztek pozbiorowych. W roku 2016, o normalnym przebiegu średnich dobowych temperatur powietrza i dość wilgotnym, w którym wegetacja przebiegała w warunkach umiarkowanie suchych, uzyskano najwyższy plon nasion, wyższy o 40,7% w porównaniu z 2017 rokiem (tabela 2).

Interakcja badanych czynników nie modyfikowała istotnie składu chemicznego nasion soi (tabela 3). Przy określeniu wartości odżywczej nasion soi istotnymi parametrami są: tłuszcz surowy, białko ogółem i włókno surowe, których zawartości były istotnie zróżnicowane przez warunki pogodowe w latach badań (tabela 4). W badaniach własnych najwyższą zawartość tłuszczu surowego (253,6 g·kg^{-1}) w nasionach stwierdzono w 2015 roku, a BZW (333,5 g·kg^{-1} i 331,6 g·kg^{-1}) odpowiednio w latach 2015 i 2016. Z kolei najwyższą zawartością białka ogółem (330,8 g·kg^{-1}) charakteryzowały się nasiona zebrane w 2016 roku, a włókna surowego (65,9 g·kg^{-1}) w 2017 roku. Wyniki Biel i in. [2017] wykazały zawartość białka w nasionach soi na poziomie 375,9 g·kg^{-1}, natomiast Redondo-Cuenca i in. [2008] w uprawie konwencjonalnej soi uzyskali zawartość białka od 404 g·kg^{-1} do 418 g·kg^{-1}. Według Szwejkowskiej [2005] na zawartość

białka ogółem w nasionach roślin strączkowych wpływają przede wszystkim: czynnik odmianowy oraz warunki klimatyczne w czasie prowadzenia uprawy, co również potwierdziły wyniki badań własnych.

Tabela 1. Plony nasion i resztek pozbiorowych soi oraz plony tłuszczu surowego i białka ogółem z nasion – średnie dla współdziałania czynników

Rozstawa rzędów	Aplikacja Asahi SL (obiekty)	Plon nasion ($t \cdot ha^{-1}$)	Plon resztek pozbiorowych (łodygi + strączyny) ($t \cdot ha^{-1}$)	Plon tłuszczu surowego ($kg \cdot ha^{-1}$)	Plon białka ogółem ($kg \cdot ha^{-1}$)
15 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	2,51	2,70	512	689
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	2,68	2,68	547	738
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	2,71	2,83	560	774
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	2,73	2,83	563	766
30 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	2,58	2,84	529	718
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	2,73	2,95	561	760
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	2,72	2,91	565	765
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	2,77	3,04	570	775
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Tabela 2. Plony nasion i resztek pozbiorowych soi oraz plony tłuszczu surowego i białka ogółem z nasion – średnie dla czynników i lat

Wyszczególnienie		Plon nasion ($t \cdot ha^{-1}$)	Plon resztek pozbiorowych (łodygi + strączyny) ($t \cdot ha^{-1}$)	Plon tłuszczu surowego ($kg \cdot ha^{-1}$)	Plon białka ogółem ($kg \cdot ha^{-1}$)
Rozstawa rzędów	15 cm	2,66	2,76	545	742
	30 cm	2,70	2,93	556	754
NIR ($\alpha = 0,05$)		r.n.	0,139	r.n.	r.n.
Aplikacja Asahi SL (obiekty)	1 – kontrola (bez aplikacji)	2,54	2,77	521	704
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	2,70	2,81	554	749
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	2,71	2,87	562	769
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	2,75	2,93	567	771
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,071	0,173	14,1	18,8
Lata	2015	2,30	3,50	507	601
	2016	3,61	2,95	713	1038
	2017	2,14	2,10	433	605
NIR ($\alpha = 0,05$)		0,090	0,169	17,8	24,4

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Zawartość tłuszczu surowego w nasionach w poszczególnych latach badań mieściła się w zakresie 227,1–253,6 g·kg^{-1}, co jest zbliżone do wyników otrzymanych przez Biel i in. [2017], która dla odmiany Merlin wyniosła 228,31 g·kg^{-1} (tabela 4).

Jedynie zawartość popiołu surowego w nasionach soi była istotnie różnicowana przez zastosowaną rozstawę rzędów i aplikację biostymulatora Asahi SL. Zawartość popiołu surowego w nasionach była niejednoznacznie kształtowana przez wzajemne współdziałanie badanych czynników. Uprawa soi w szerszej rozstawie rzędów (30 cm) sprzyjała wyższej koncentracji popiołu surowego w nasionach, w porównaniu z rozstawą 15 cm. Ponadto aplikacja Asahi SL w uprawie soi w niejednoznaczny sposób wpływała na zawartość popiołu surowego w nasionach soi (tabela 4).

Tabela 3. Skład chemiczny nasion soi (g·kg^{-1}) – średnie dla współdziałania czynników

Rozstawa rzędów	Aplikacja Asahi SL (obiekty)	Tłuszcz surowy	Białko ogółem	Włókno surowe	Popiół surowy	Bezazotowe związki wyciągowe
15 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	236,1	313,0	59,6	53,8	337,5
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	237,1	314,5	64,0	55,2	329,2
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	236,2	323,0	57,6	53,2	330,0
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	237,9	319,0	59,7	56,8	326,6
30 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	237,3	319,6	58,1	55,7	329,3
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	238,6	319,6	58,5	55,9	327,4
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	241,3	322,3	60,0	56,0	320,4
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	238,3	320,2	57,7	55,6	328,2
NIR (α = 0,05)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Tabela 4. Skład chemiczny nasion soi (g·kg^{-1}) – średnie dla czynników i lat

Wyszczególnienie		Tłuszcz surowy	Białko ogółem	Włókno surowe	Popiół surowy	Bezazotowe związki wyciągowe
Rozstawa rzędów	15 cm	236,8	317,4	60,3	54,7	330,8
	30 cm	238,9	320,4	58,5	55,8	326,4
NIR (α = 0,05)		r.n.	r.n.	r.n.	0,77	r.n.
Aplikacja Asahi SL (obiekty)	1 – kontrola (bez aplikacji)	236,6	316,3	58,9	54,8	333,4
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	237,9	317,1	61,2	55,6	328,2
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	238,7	322,7	58,8	54,6	325,2
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	238,1	319,6	58,7	56,2	327,4
NIR (α = 0,05)		r.n.	r.n.	r.n.	1,09	r.n.
Lata	2015	253,6	300,6	57,3	55,0	333,5
	2016	227,1	330,8	55,0	55,5	331,6
	2017	232,8	325,3	65,9	55,3	320,7
NIR (α = 0,05)		5,77	5,00	4,75	r.n.	5,99

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Interakcja badanych czynników nie miała statystycznie istotnego wpływu na zawartość w nasionach wszystkich analizowanych makroskładników (tabela 5). Zróżnicowana rozstawa rzędów wpłynęła istotnie na zawartość fosforu (wyższa przy 15 cm) i wapnia (wyższa przy 30 cm) w nasionach soi. Zawartość składników mineralnych takich jak fosfor, potas, wapń i magnez była różnicowana przez aplikację biostymulatora Asahi SL oraz warunki wilgotnościowo-termiczne w latach badań (tabela 6). Zabieg tym preparatem zwiększał zawartość fosforu średnio od 1,6% do 9,5%, potasu od 1,1% do 3,3%, a wapnia od 23,5% do 41,2% w nasionach soi. Magnez przy jednorazowym zabiegu biostymulatorem w fazie listnienia (BBCH 14–15) był na tym samym poziomie zawartości, jak w kombinacji kontrolnej (3,4 $g \cdot kg^{-1}$), natomiast aplikacja Asahi SL w fazach BBCH 15 + BBCH 51 istotnie zwiększyła koncentrację tego makroskładnika w nasionach soi. Zawartość fosforu w latach badań mieściła się w zakresie 5,6–8,2 $g \cdot kg^{-1}$, potasu 18,1–18,7 $g \cdot kg^{-1}$, wapnia 0,96–3,6 $g \cdot kg^{-1}$, a magnezu 3,3–3,6 $g \cdot kg^{-1}$.

Tabela 5. Zawartość składników mineralnych ($g \cdot kg^{-1}$) w nasionach soi – średnie dla współdziałania czynników

Rozstawa rzędów	Aplikacja Asahi SL (obiekty)	Fosfor	Potas	Wapń	Magnez
15 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	6,3	18,2	1,7	3,4
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	6,4	18,4	1,9	3,4
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	6,9	18,6	2,1	3,4
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	7,1	18,6	2,3	3,7
30 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	6,3	18,2	1,8	3,4
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	6,3	18,4	2,2	3,4
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	6,5	18,6	2,2	3,5
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	6,7	19,0	2,4	3,7
NIR (α = 0,05)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Tabela 6. Zawartość składników mineralnych ($g \cdot kg^{-1}$) w nasionach soi – średnie dla czynników i lat

Wyszczególnienie		Fosfor	Potas	Wapń	Magnez
Rozstawa rzędów	15 cm	6,7	18,4	2,0	3,5
	30 cm	6,5	18,5	2,1	3,5
NIR (α = 0,05)		0,19	r.n.	0,09	r.n.
Aplikacja Asahi SL (obiekty)	1 – kontrola (bez aplikacji)	6,3	18,2	1,7	3,4
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	6,4	18,4	2,1	3,4
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	6,7	18,6	2,1	3,5
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	6,9	18,8	2,4	3,7
NIR (α = 0,05)		0,27	0,29	0,14	0,18
Lata	2015	5,6	18,7	1,6	3,3
	2016	6,0	18,1	0,96	3,6
	2017	8,2	18,7	3,6	3,6
NIR (α = 0,05)		0,23	0,25	0,12	0,16

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Przeprowadzona analiza statystyczna nie wykazała wpływu współdziałania badanych czynników na zawartość azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu w strączynach soi (tabela 7). Zastosowana rozstawa rzędów istotnie różnicowała jedynie zawartość Ca w strączynach, natomiast nie miała istotnego wpływu na koncentrację pozostałych składników mineralnych (tabela 8). Stwierdzono, że wysiew soi w węższej rozstawie rzędów (15 cm) skutkował wyższą o11,8% zawartością wapnia w strączynach. Zróżnicowane terminy aplikacji biostymulatora Asahi SL miały istotny wpływ na zawartość badanych składników mineralnych w strączynach soi. Istotnie najniższą zawartością wszystkich składników mineralnych w strączynach, charakteryzowała się soja uprawiana bez aplikacji biostymulatora Asahi SL, a jego aplikacja w fazie listnienia i fazie pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51) pozwoliła na najwyższą akumulację azotu, potasu, wapnia i magnezu (tabela 8).

Tabela 7. Zawartość składników mineralnych ($g \cdot kg^{-1}$) w strączynach soi – średnie dla współdziałania czynników

Rozstawa rzędów	Aplikacja Asahi SL (obiekty)	Azot	Fosfor	Potas	Wapń	Magnez
15 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	7,2	1,2	25,3	14,6	4,9
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	8,5	1,6	29,2	17,4	6,0
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	7,9	2,1	30,0	18,0	5,7
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	9,4	1,6	31,3	17,8	6,4
30 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	7,4	1,4	25,4	13,7	5,1
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	8,2	1,4	28,7	15,7	5,6
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	8,3	1,8	29,8	16,7	5,6
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	8,6	1,7	30,4	17,4	5,9

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Tabela 8. Zawartość składników mineralnych ($g \cdot kg^{-1}$) w strączynach soi – średnie dla czynników i lat

Wyszczególnienie		Azot	Fosfor	Potas	Wapń	Magnez
Rozstawa rzędów	15 cm	8,23	1,6	28,9	17,0	5,7
	30 cm	8,13	1,6	28,6	15,9	5,6
NIR (α = 0,05)		r.n.	r.n.	r.n.	0,79	r.n.
Aplikacja Asahi SL (obiekty)	1 – kontrola (bez aplikacji)	7,3	1,3	25,4	14,1	5,0
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	8,3	1,5	29,0	16,6	5,8
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	8,1	1,9	29,9	17,4	5,7
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	9,0	1,7	30,8	17,6	6,2
NIR (α = 0,05)		0,82	0,25	1,11	1,12	0,77
Lata	2015	7,2	1,4	32,4	17,6	3,6
	2016	7,3	2,0	29,7	17,7	7,9
	2017	10,0	1,4	24,2	13,9	5,4
NIR (α = 0,05)		0,71	0,21	0,96	0,97	0,67

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Zmienny układ warunków wilgotnościowo-termicznych w latach badań kształtował istotnie zawartość wszystkich badanych składników mineralnych w strączynach soi. Najwyższe zawartości fosforu i magnezu stwierdzono w strączynach soi pochodzących z uprawy w dość wilgotnym, z normalnym przebiegiem średniej dobowej temperatury powietrza 2016 roku, azotu w ciepłym i wilgotnym 2017 roku, a potasu – w ciepłym i dość wilgotnym 2015 roku (tabela 8).

Tabela 9. Zawartość składników mineralnych ($g \cdot kg^{-1}$) w łodygach soi – średnie dla współdziałania czynników

Rozstawa rzędów	Aplikacja Asahi SL (obiekty)	Azot	Fosfor	Potas	Wapń	Magnez
15 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	6,0	2,0	15,4	7,4	2,4
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	6,8	2,3	16,7	7,7	3,1
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	7,8	2,3	17,7	8,2	3,5
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	7,5	2,7	17,9	8,6	3,9
30 cm	1 – kontrola (bez aplikacji)	5,8	2,2	15,5	7,1	4,0
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15)	6,4	2,2	16,4	7,5	4,4
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	7,3	2,2	17,2	8,0	4,7
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	7,4	2,7	17,3	8,5	4,9
NIR (α = 0,05)		1,06	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Tabela 10. Zawartość składników mineralnych ($g \cdot kg^{-1}$) w łodygach soi – średnie dla czynników i lat

Wyszczególnienie		Azot	Fosfor	Potas	Wapń	Magnez
Rozstawa rzędów	15 cm	7,0	2,3	16,9	8,0	3,2
	30 cm	6,7	2,3	16,6	7,8	4,5
NIR (α = 0,05)		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	0,42
Aplikacja Asahi SL (obiekty)	1 – kontrola (bez aplikacji)	5,9	2,0	15,5	7,3	3,2
	2 – faza listnienia (BBCH 14–15),	6,6	2,2	16,6	7,6	3,7
	3 – faza pąkowania (BBCH 51)	7,5	2,2	17,4	8,1	4,1
	4 – faza listnienia i faza pąkowania (BBCH 14–15 + BBCH 51)	7,5	2,7	17,6	8,6	4,4
NIR (α = 0,05)		0,74	r.n.	r.n.	0,85	0,60
Lata	2015	4,5	2,2	17,5	7,3	4,1
	2016	7,2	2,2	15,4	7,7	4,4
	2017	8,9	2,6	17,4	8,6	3,1
NIR (α = 0,05)		0,64	r.n.	1,44	0,74	0,52

r.n. – różnica nieistotna statystycznie

Współdziałanie badanych czynników kształtowało zawartość azotu w łodygach soi, natomiast nie wpłynęło istotnie na koncentrację pozostałych ocenianych makroskładników (tabela 9). Zróżnicowana rozstawa rzędów determinowała istotnie tylko zawartość magnezu w łodygach, a na pozostałe badane makroskładniki nie miała wpływu (tabela 10). Uprawa soi w szerszej rozstawie (30 cm) skutkowała wyższą zawartością magnezu w łodygach. Aplikacja biostymulatora Asahi SL wpływała na zwiększenie koncentracji azotu, wapnia i magnezu w łodygach soi w porównaniu z kontrolą. Zawartość fosforu w ło-

dygach nie była determinowana terminem aplikacji biostymulatora ani przebiegiem warunków termiczno-wilgotnościowych w latach prowadzenia badań. Zmienny układ warunków pogodowych wpływał istotnie statystycznie na zawartość azotu, potasu, wapnia i magnezu. W 2017 roku zawartość azotu (8,9 $g \cdot kg^{-1}$) w łodygach soi była niemal dwukrotnie wyższa niż w 2015 roku (4,5 $g \cdot kg^{-1}$), w którym występowały znaczne niedobory wilgoci w okresie wegetacji. W ciepłym i wilgotnym 2017 roku, w którym okres wegetacji roślin przebiegał w chłodnych warunkach o optymalnej ilości opadów, sprzyjał gromadzeniu wapnia w łodygach soi (tabela 10).

WNIOSKI

1. Zmienne warunki wilgotnościowo-termiczne w latach prowadzenia doświadczeń polowych miały istotny wpływ na skład chemiczny nasion soi z wyjątkiem koncentracji popiołu surowego oraz poziom uzyskiwanych plonów nasion i resztek pozbiorowych. W sezonie wegetacyjnym 2016 roku rośliny soi charakteryzowały się najwyższym plonem nasion (3,61 $t \cdot ha^{-1}$), a także wydajnością białka ogółem (713 $kg \cdot ha^{-1}$) oraz tłuszczu surowego (1038 $kg \cdot ha^{-1}$).

2. Zróżnicowana rozstawa rzędów (15 cm, 30 cm) istotnie kształtowała plon resztek pozbiorowych soi, nie wpływając jednocześnie na zebrany plon nasion i wydajności składników pokarmowych. Szersza rozstawa rzędów (30 cm) sprzyjała wzrostowi plonu resztek pozbiorowych, zwiększonej zawartości Ca w nasionach oraz Mg w łodygach.

3. Stosowanie biostymulatora Asahi SL wpłynęło korzystnie w porównaniu z obiektem kontrolnym, na zwiększenie plonów nasion i resztek pozobiorowych soi, a także wydajności tłuszczu surowego i białka ogółem z 1 hektara. W tym zakresie potwierdzono założenia przyjęte w hipotezie roboczej.

4. Skład chemiczny nasion soi nie ulegał istotnym zmianom pod wpływem zastosowania biostymulatora, za wyjątkiem popiołu surowego, którego koncentracja w nasionach była zależna od fazy rozwojowej roślin, w której aplikowano preparat Asahi SL. Zastosowanie biostymulatora wpłynęło korzystnie na zawartość i nagromadzenie P, K, Ca i Mg w nasionach, strączynach oraz łodygach soi.

PIŚMIENNICTWO

Abdelghany A.M., Zhang S., Azam M. i in., 2020. Profiling of seed fatty acid composition in 1025 Chinese soybean accessions from diverse ecoregions. Crop J. 8(4), 635–644. https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.11.002

Babic A.A., 1975. Wlijanie gustoty stojania rastenij i krupnosti siemjon soi na urożaj. Sel. Semen. 6, 70–71.

Bartkowiak A., 1978. Analiza wariancji dla układów ortogonalnych. Program AWA. W: Opis merytoryczny programów statystycznych opracowanych w Instytucie Informatyki Uniwersytetu Wrocławskiego. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 43–60.

Bielików J.P., 1954. O nie kotorych biołogiczeskich osobiennostiach soi w swiazi s gustotoj jejo posiewa. Dokł. Akad. Nauk SSSR 96(4), 829–831.

Biel W., Gawęda D., Łysoń E. i in., 2017. Wpływ czynników genetycznych i agrotechnicznych na wartość odżywczą nasion soi. Acta Agroph. 24(3), 395–404.

Bielików J.P., 1959. Woprosy o biołogiczeskom obosnowanji kwadratno-gniezdowowo sposoba posiewa soi. Dokł. Akad. Nauk SSSR 2, 93–95.

Clemente T.E., Cahoon E.B., 2009. Soybean oil: genetic approaches for modification of functionality and total content. Plant Physiol. 151(3), 1030–1040. https://doi.org/10.1104/pp.109.146282

Crookston K.R., 1976. Intercropping a new version of an old idea. Crops and Soils. American Society Agronomy. Wisconsin, 7–9.

Cox W.J., Jolliff G.D., 1986. Growth and yield of Sunflower and Soybean under soil water deficits. Agron. J. 78(2), 226–230. https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800020002x

Czeczko R., Mikos-Bielak M., 2004. Efekty stosowania bistymulatora Asahi w uprawie różnych gatunków warzyw. Annales UMCS sec. E, Agricultura, 59(3), 1073–1079.

Elandt R., 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego. Warszawa, PWN, Warszawa.

Hou G., Gary R., Ablett K. i in., 2006. Environmental effects on fatty acid levels in soybean seed oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 83(9), 759–763. https://doi.org/10.1007/s11746-006-5011-4

Kozak M., Malarz W., Kotecki A. i in., 2008. Wpływ zróżnicowanej ilości wysiewu i biostymulatora Asahi SL na skład chemiczny nasion i resztek pozbiorowych soi uprawnej. Rośl. Oleiste 29, 217–230.

Lal R., 2005. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. Environ. Int. 31(4), 575–584. https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.09.005

Lee H., Cho B-K., Kim M.S., Lee W-H., Tewari J., Bae H., Sohn S-I, Chi H-Y., 2013. Prediction of crude protein and oil con-

tent of soybeans using Raman spectroscopy. Sens. Actuators B: Chem. 185, 694-700. https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.04.103.
Łukasiewicz S., 2006. Propozycja modyfikacji metody wykreślania okresu wilgotnego, humidowego, w diagramie klimatycznym Gaussena-Waltera. W: Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A – Geografia Fizyczna. Poznań, 95–99.
Medic J., Atkinson C., Hurburgh, C.R., 2014. Current knowledge in soybean composition. JAOCS 91(3), 363–384. https://doi.org/10.1007/s11746-013-2407-9
Murphy D.J., 2025. Agronomy and environmental sustainability of the four major global vegetable oil crops. Oil palm, soybean, rapeseed, and sunflower. Agronomy 15(6), 1465. https://doi.org/10.3390/agronomy15061465
Natarajan S., 2014. Analysis of soybean seed proteins using proteomics. J. Data Min. Genom. Proteom. 05(01), 10–12. https://doi.org/10.4172/2153-0602.1000e113
Popovic V., Malesevic M., Miladinovic J. i in., 2012. Effect of agroecological factors on variations in yield, protein and oil contents in soybean grain. Rom. Agric. Res. 30, 241–247.
Pyzik J., 1982. Wpływ warunków przyrodniczych i czynników agrotechnicznych na plon i skład chemiczny nasion oraz niektóre cechy morfologiczne nowych form soi. Zesz. Nauk. Akad. Rol. Krak. Rozprawa habilitacyjna 87, 1–33.
Redondo-Cuenca A., Villanueva-Suárez M. J., Mateos-Aparicio I., 2008. Soybean seeds and its by-product okara as sources of dietary fibre. Measurement by AOAC and Englyst methods, Food Chem. 108(3), 1099–1105. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.061
Serafin-Andrzejewska M., Kozak M., 2018. Reakcja gorczycy białej uprawianej na nasiona na włączenie biostymulatora Asahi SL do technologii uprawy Cz. I Cechy morfologiczne roślin przed zbiorem i plon nasion, Fragm. Agron. 35(3), 89–98.
Strażyński P., Kardasz P., Mrówczyński M., 2023. Metodyka integrowanej produkcji soi. Instytut Ochrony Roślin – PIB, Warszawa, ss. 73.
Sultan S.M., Dikshit N., Vaidya U.J., 2015. Oil content and fatty acid composition of soybean (*Glycine max* L.) genotypes evaluated under rainfed conditions of Kashmir Himalayas in India. J. Appl. Nat. Sci. 7(2), 910–915. https://doi.org/10.31018/jans.v7i2.706
Szwejkowska B., 2005. Wpływ intensywności uprawy grochu siewnego na zawartość i plon białka. Acta Sci. Pol., Agricultura 4(1), 153–161.
Taheripour F., Hertel T.W., Ramankutty N., 2019. Market-mediated responses confound policies to limit deforestation from oil palm expansion in Malaysia and Indonesia. Proc. Nat. Acad. Sci. Nat. Acad. Sci. 116(38), 19193–19199. https://doi.org/10.1073/PNAS.1903476116
Young V., Pellett P., 1994. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. Ame. J. Clin. Nutr. 59(5), 1203–1212.

Źródło finansowania: Projekt wewnętrzny B/010/2026 Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Wkład autorów: Wkład autorów w powstawanie pracy: opracowanie koncepcji i założeń – M.G.-Z., M.K.; opracowanie metod – M.K., A.W.-G.; przeprowadzenie badań – M.G.-Z., M.K., A.W.-G.; pozostały wkład – M.G.-Z., M.K., A.W.-G.

Abstract. In 2015–2017, in the proving grounds of the Institute of Agroecology and Plant Production of Wrocław University of Environmental and Life Sciences, field studies were carried out on the different row spacing and the application of the Asahi SL biostimulant on soybean development and yield. The field study employed a split-plot method, with four replications, and two variable factors: First factor – varying row spacing (15 cm and 30 cm); second factor – the application of the Asahi SL biostimulant (control – no application, foliage stage – BBCH 14–15, budding stage – BBCH 51, foliage and budding stage – BBCH 14–15 and BBCH 51). The variable row spacing factor (15 cm, 30 cm) significantly influenced soybean post-harvest residue yield, while not affecting the harvested seed yield or nutrient efficiency. Wider row spacing (30 cm) favored increased post-harvest residue yield, increased Ca content in seeds and Mg content in stems. The use of the Asahi SL biostimulant had a positive effect on increased seed and post-harvest residue yield, as well as crude fat and total protein yield per hectare, compared to the untreated control.

Keywords: soybean, *Glycine max,* row spacing, biostymulant, yield, chemical content

Otrzymano/Received: 20.02.3036
Zaakceptowano/Accepted: 8.05.2026
Oublikowano/Published: 3.07.2026

Cytowanie: Gniadzik-Zasańska M., Kozak M., Wondołowska-Grabowska A., 2026. Wpływ zróżnicowanej rozstawy rzędów i aplikacji biostymulatora Asahi SL na cechy morfologiczne i plonowanie soi (*Glycine max* (L.) Merrill). Cz. II. Plony nasion, resztek pozbiorowych i ich skład chemiczny. Agron. Sci. 81(2), 39–48. https://doi.org/10.24326/as.2026.5672

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI (2) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5657

ERIKA R. BUCIOR[1], PHAT M. DANG[2], CHARLES Y. CHEN[3], RONALD B. SORENSEN[4], MARSHALL C. LAMB[5]

Field-scale evaluation of peanut genotype responses to drought: yield, quality, and the limits of physiological prediction

Abstract. Understanding genotype-specific responses to drought is essential for improving crop resilience under variable climatic conditions. In this study, we evaluated 13 peanut (*Arachis hypogaea*) genotypes across two growing seasons (2023 and 2024) under irrigated and dryland field conditions. Irrigation increased pod yield across genotypes, with irrigated yields reaching up to 5.8 kg per plot compared to dryland maxima of 3.9 kg per plot, depending on genotype and year. The selected genotypes represent a range of drought tolerance ratings based on prior physiological characterizations. Our objective was to assess how water availability under natural weather conditions influences agronomic performance and seed quality. Across both years, genotype × environment interactions were strong, with yield responses varying substantially between seasons; dryland yield penalties were minimal in 2023 but pronounced in 2024. Commercial pod size distribution also shifted under irrigation, with Jumbo pod yield increasing by approximately 50–100% in high-performing genotypes such as AU18-35 and GA06G relative to dryland conditions. Results from this study indicate that expected physiological drought-response groupings did not consistently predict field-scale performance. Yield and commercial pod size were strongly influenced by environmental variability and stress timing, particularly early- versus late-season drought. These findings emphasize the importance of evaluating drought resilience under realistic field conditions to inform breeding and management strategies.

Keywords: commercial pod size, field evaluation, genotype-environment interaction, yield stability

INTRODUCTION

Drought is a major constraint to peanut production, causing up to an 85% reduction in pod yield and impairing nutrient uptake, which limits biomass accumulation, seed filling, and pod quality. The extent of yield and quality loss depends heavily on the timing, duration, and severity of drought stress, with critical stages such as flowering, peg initiation, and seed development being particularly sensitive. While early-season drought followed by rewatering can sometimes enhance yield through synchronized flowering and pod set, sustained drought during reproductive stages often reduces yield by as much as 50% [Jongrungklang et al. 2013]. Drought stress also impairs peg penetration and pod expansion under low soil moisture, resulting in smaller, poorly filled pods and skewed size distributions [Okello et al. 2010]. Because drought can substantially reduce peanut yield and pod quality, irrigation is widely used in commercial peanut production to stabilize productivity and reduce economic risk, particularly in drought-prone environments [Lamb et al. 2020].

[1] USDA-ARS National Peanut Research Laboratory, Dawson GA 39842, USA; Department of Crop and Soil Sciences, North Carolina State University, Raleigh NC 27606, USA; corresponding author: erbucior@ncsu.edu
[2] USDA-ARS National Peanut Research Laboratory, Dawson GA 39842, USA
[3] Department of Crop and Environmental Sciences, Auburn University, Auburn, AL 36849, USA
[4] USDA-ARS National Peanut Research Laboratory, Dawson GA 39842, USA
[5] USDA-ARS National Peanut Research Laboratory, Dawson GA 39842, USA

© 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 conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

Beyond total yield, pod size distribution (classified commercially into Jumbo, Medium, and U.S. No. 1 grades) plays a critical role in determining market value. Larger pods (Jumbos and Mediums) command higher prices and are favored in both domestic and export markets for direct consumption and processing. Drought conditions typically reduce the proportion of larger pods, thereby diminishing the overall economic value of a harvest even when some yield is retained. As such, evaluating genotype performance under drought must account for both yield and quality, particularly in terms of marketable size class distribution, to fully understand production risks and inform cultivar selection for water-limited environments.

In addition to reviewing the effect that duration and timing of climatic stress on yield and quality metrics, we also explore the practicality of using spectral or physiological traits as an indicator of potential yield penalty under stress. A multitude of recent reviews and small plot studies in peanut [Pilon et al. 2018, Zhang et al. 2022, Zhen et al. 2022] have highlighted significant differences in whole plant compensation mechanisms between genotypes under heat and drought stress. Differences in traits such as stomatal conductance, chlorophyl content, and carbon assimilation rate underlie variation in plant strategy, specifically resource acquisition, allocation, and reproductive output. These studies have shown that peanut response to stress is combated by employing varying stomatal control either limiting transpiration early in response to stress or keeping stomata open longer during mild and moderate stress to continue CO_2 uptake [Zhang et al. 2022]. These different strategies not only significantly impact carbon assimilation but influence daily and seasonal plant and soil water status. Other studies have found that other non-stomatal limitations linked to pigment contents were variable between genotypes and dependent on stress severity [Pilon et al. 2018]. Changes and variability in these characteristics lead to decline in plant performance due to declines in photosynthesis, actual quantum yield of PSII, and electron transport rate. By collecting additional physiological metrics in genotype × environment yield trials, we might further elucidate distinct tradeoffs between physiological characteristics. This complimentary information may substantially inform how we select for crop improvement strategies and how selection for agronomic traits influences crop fitness across ecosystem types and under changing environmental conditions.

MATERIAL AND METHODS

Field site and management

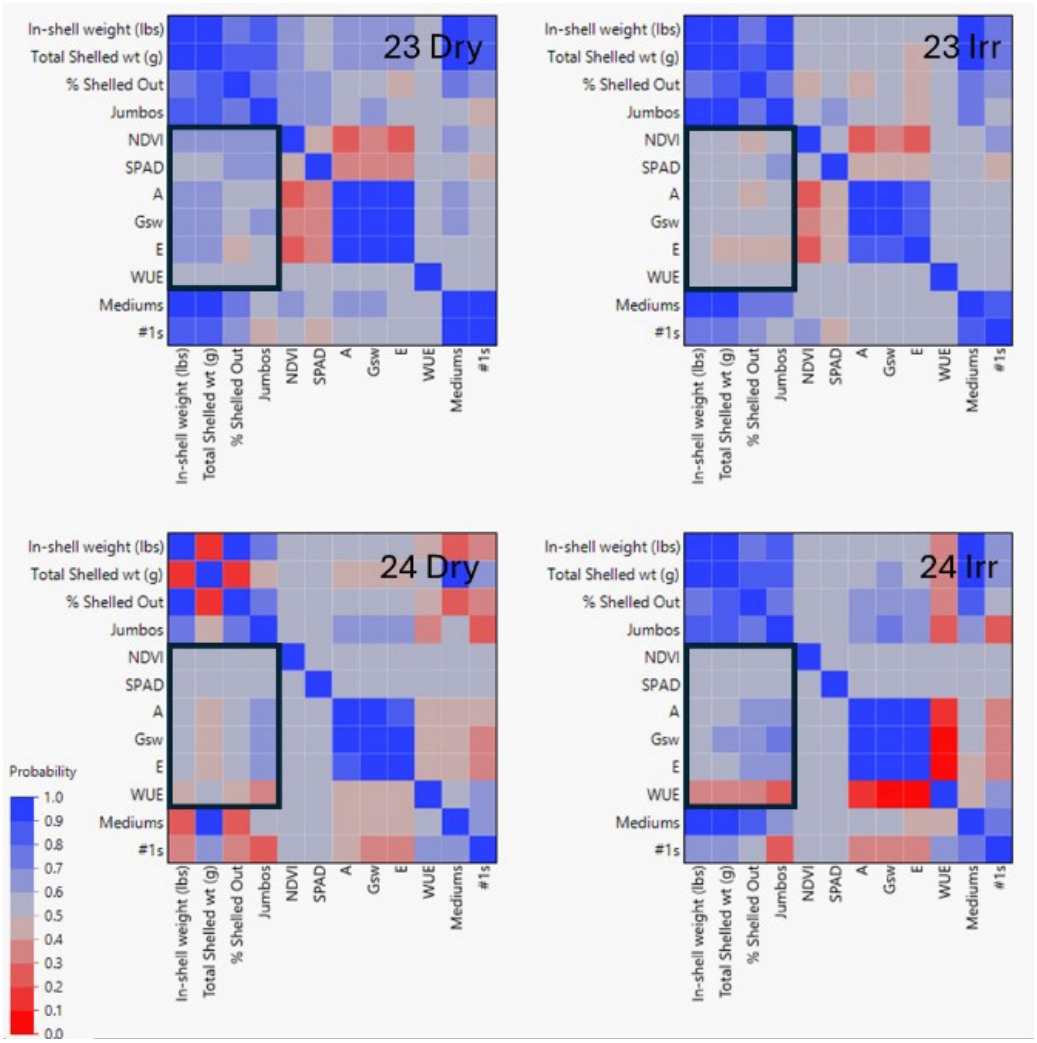
The study was conducted at the Hooks-Hanner Environmental Resource Center (HHERC farm, Greenville sandy loam; 31°43'52"N, 84°23'42"W) in Dawson GA, USA. Peanut genotypes (Supplementary table 1) were planted following a cotton–corn rotation all years. All genotypes were planted using a 91.44 cm row spacing after conventional tillage. Seeds were planted on 1 May 2023 and 23 May 2024 and the crop was managed for maximum yield with fertility, herbicides, fungicides, and insecticides being applied at recommended rates and timed as determined by field observation and manufacturer recommendation. While these applications varied year to year, soil pH was between 6.0–6.5 and macronutrient levels were kept within the guidelines reported by [Xie et al. 2020]. Each genotype was grown in side-by-side irrigation treatments. Dielectric water potential sensors (MPS2, Meter Environment, Pullman, Washington, USA) were placed at 25 cm and 50 cm depths and measurements were made every 15 minutes, uploaded to the cloud hourly and the data was observed daily. The irrigated plot was irrigated at –60 kPa, based on an average water potential measurements of both 25 cm and 50 cm depths. The dryland plot received no irrigation throughout the season and was dependent on rainfall events.

At harvest, all genotypes were considered to have similar maturity requirements, thus harvest time was determined by the hull scrape method [Williams and Drexler 1981] on GA06G. Peanuts were dug with a two-row inverter, field dried, and harvested using a field combine with bagging attachment in the field. Each sample of pods were dried to 10% of moisture for further evaluation of seed dormancy and germination, seed grading, and characteristics. Dried samples were shelled at the USDA-ARS National Peanut Research Laboratory following standard shelling protocols [Butts et al. 2016]. Peanut yield and grade were determined following official federal/state inspection guidelines [United States Department of Agriculture 1993].

Physiology measurements

A variety of physiological and spectral traits (figure 1) were recorded simultaneously in both plots, twice a week, over a 5-week period from 26 Jul 2023 to 29 Aug 2023, and 21 Aug 2024 to 26 Sep 2024 from 11 a.m. – 1 p.m. when the plants were at 90 days after planting (growth stage R7, beginning maturity) [Boote 1982]. Spectral reflectance (NDVI) was measured using a GreenSeeker 505 handheld optical sensor (N-Tech Industries, Ukiah, CA). Leaf chlorophyll concentration (SPAD) was measured spectrally with a handheld absorbance-based chlorophyll 'SPAD' meter (Minolta corporation, Ltd., Osaka, Japan). Mid-day leaf photosynthesis (A), stomatal conductance (gsw), and transpiration (E) were measured on the youngest fully expanded leaf on the apical meristem using the LI-6800 Portable photosynthesis system (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE).

Figure 1. Correlation color plots representing highlighting observed pairwise relationships between yield and shelling characteristics compared to physiological measurements made during pod filling



Data is pooled between genotypes but separated by year and treatment. Bolded boxed area indicates hypothesized area of correlation expected between yield characteristics and physiological metrics.

Statistics

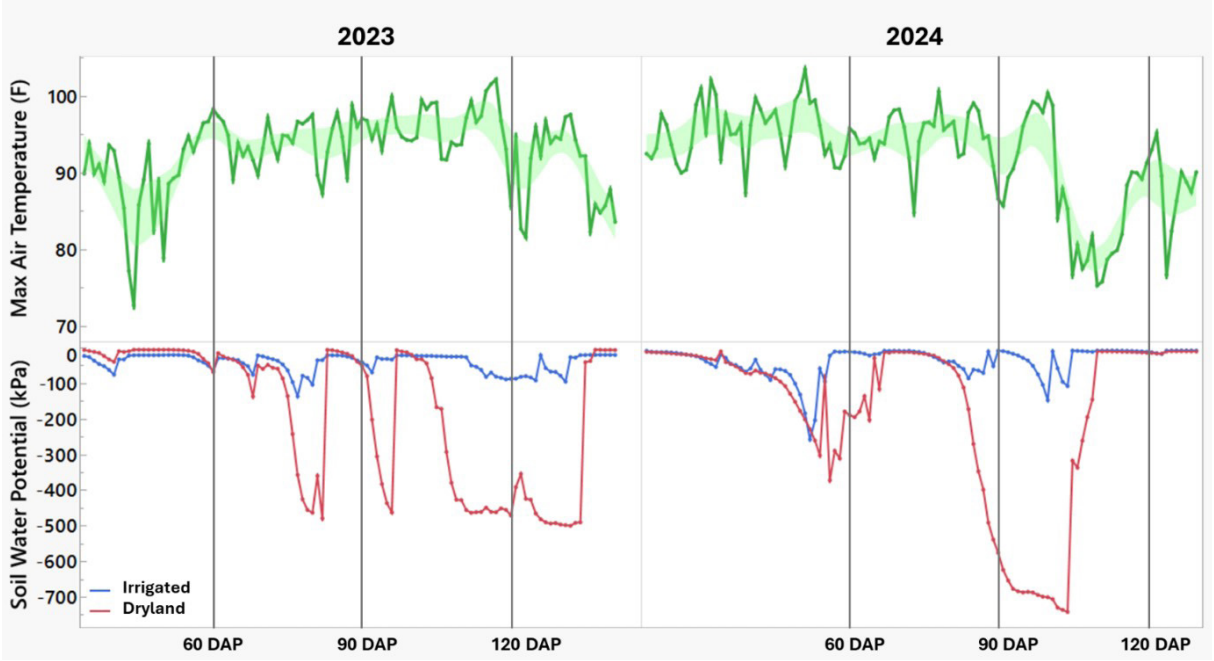
Trait values were tested for normality and equal variance using a Shapiro-Wilk test in R, and all values met those assumptions. ANOVAs were conducted for each measured variable across treatments and means were compared using both Tukey and Student T-tests. Bivariate trait relationships were analyzed with Pearson product–moment correlation using the Hmisc package in R. Figures were generated in both R and JMP (RStudio Team (2020) version 4.3.0; JMP, Version 17.2. SAS Institute Inc.).

RESULTS

Environment

In terms of environmental and soil moisture characteristics, we saw distinct differences between mean daily temperature and mean daily soil moisture between 2023 and 2024 (figure 2). The mean daily temperatures in 2023 were cooler in June, and warmer in August as compared to 2024. In terms of soil moisture, the dryland plot in 2023 experienced 3 significant dry down events, with the most prolonged event lasting 16 days, coupled with high temperatures. In 2024 the dryland plot also experienced a singular extreme dry down event lasting 10 days, however temperatures during this time were unseasonably cooler.

Figure 2. Average soil moisture (kilopascals) and maximum air temperature recorded at HHERC farm in irrigated and dryland plots during the 2023 and 2024 growing season



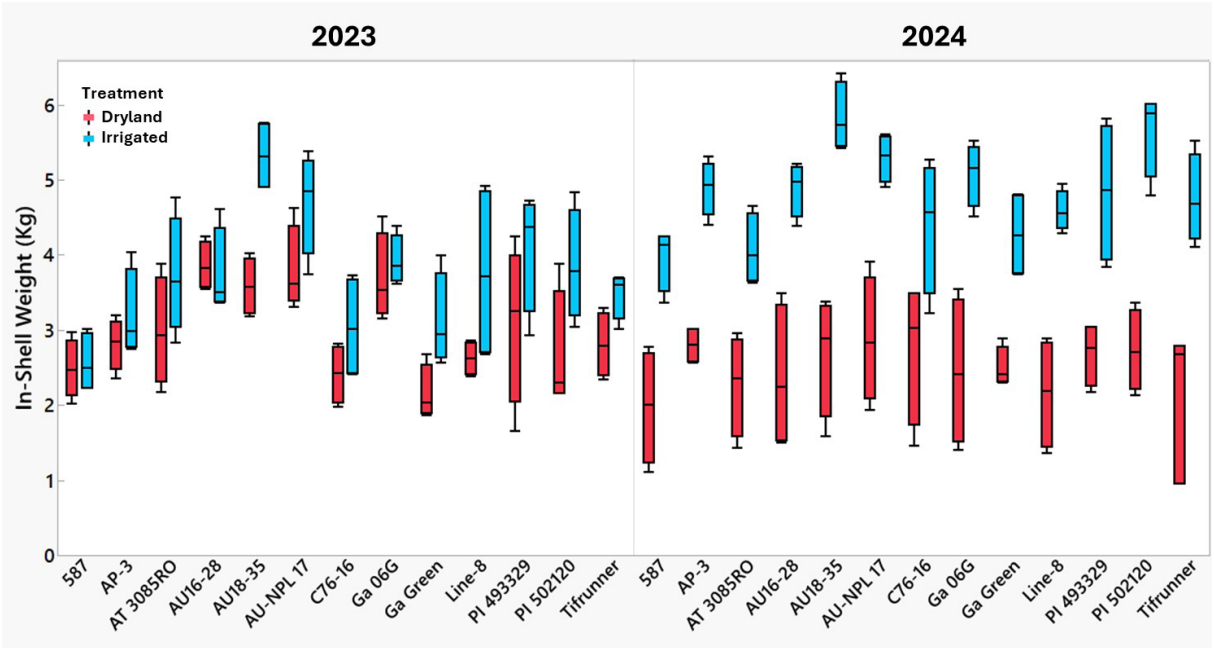
DAP – days after planting; red lines indicate dryland field soil water potential measurements whereas blue lines indicate irrigated field soil water potential measurements.

Yield

Peanut pod yield varied significantly among genotypes and between irrigation treatments within each year (supplementary table 1, figure 3). In 2023, yield under dryland conditions ranged from 2.15 kg (GA GREEN) to 3.86 kg (AU16-28), while irrigated yield ranged from 2.56 kg (587) to 5.32 kg (AU18-35). Across genotypes, irrigation significantly increased pod yield compared to dryland conditions, with the magnitude of response varying by genotype. For example, AU18-35 and AU16-28 maintained high yields under both irrigation regimes, while genotypes such as 587 and GA GREEN showed lower productivity regardless of irrigation. In 2024, pod yields under dryland conditions again demonstrated genotype-specific responses, ranging from 1.97 kg (587 and LINE 8) to 2.87 kg (AUNPL17). Under irrigation, yield ranged from 3.96 kg (587) to 5.82 kg (AU18-35), confirming a consistent positive yield response to irrigation across years. Several genotypes, including AU18-35, PI 502120, and TIFRUNNER, were top performers under irrigation in both years, each exceeding 4.54 kg per plot in 2024. Statistical comparisons revealed that genotype rankings differed more under irrigated than dryland conditions, as reflected by the greater spread and significance groupings (Tukey HSD, $p < 0.05$). Notably, AU18-35 and PI 502120 consistently ranked in the top statistical group under irrigation, suggesting superior yield potential and irrigation responsiveness. Conversely, 587 and GA GREEN consistently yielded less and were among the lower statistical groups across both years and treatments. Environmental conditions

in 2024 resulted in slightly higher dryland yields on average compared to 2023, likely due to improved rainfall distribution (not shown), though these differences between years were not directly tested due to year-specific environmental variation (figure 2). Overall, genotype by irrigation interactions were evident, underscoring the need to evaluate cultivar performance under variable moisture regimes to inform regionally optimized variety selection.

Figure 3. Peanut pod yield production for runner type cultivars (kilograms/plot)

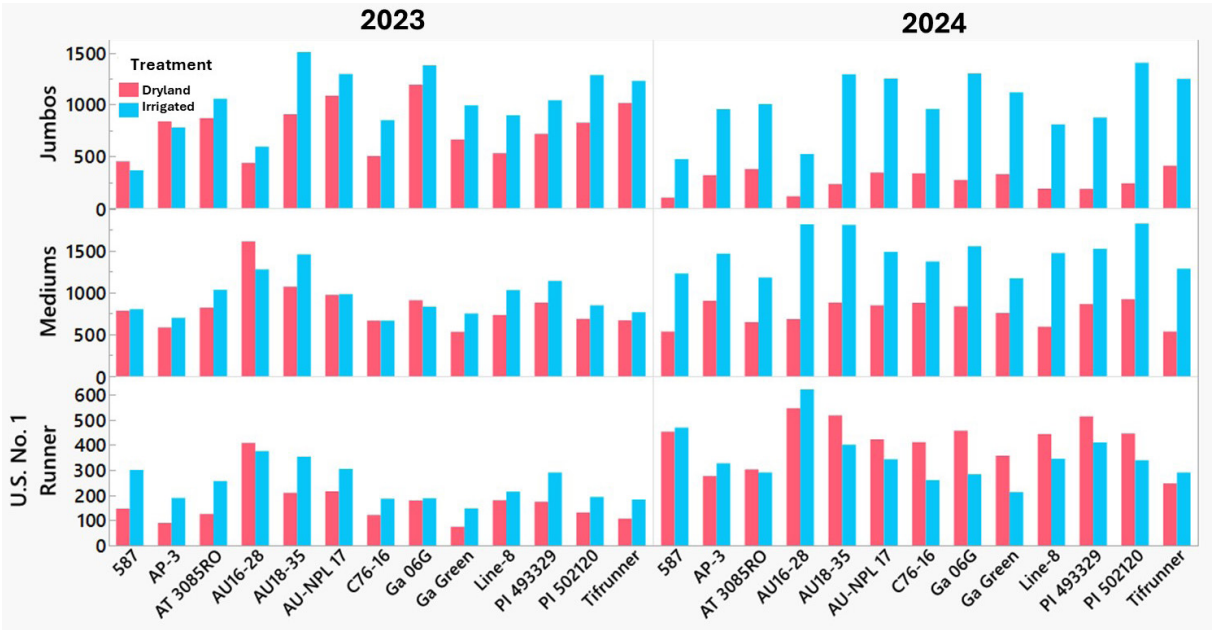


Red boxes denote dryland plot samples; blue boxes denote irrigated plot samples.
For differences in mean values see supplementary table 1.

Size distribution

Commercial pod size distribution differed significantly among genotypes and between irrigation treatments within each year (supplementary table 2, figure 4). Pod yield was classified into three market grades: Jumbos, Medium, and US No. 1. Across both years, irrigation generally increased the yield of all size classes, but the magnitude of response varied by genotype and grade. In 2023, irrigated treatments resulted in a marked increase in Jumbo pod yield for most genotypes. For example, AU18-35 produced the highest Jumbo yield under irrigation (1506.4 g), nearly doubling its dryland yield (907.0 g). Other top performers under irrigation included AT 3085R0 (1057.0 g) and GA06G (1379.8 g), while AU16-28 and 587 consistently had lower Jumbo yields under both water regimes. Conversely, under dryland conditions, only a few genotypes such as GA06G, AUNPL17, and AT 3085R0 exceeded 1000 g of Jumbos, suggesting superior performance under drought stress. Medium-grade pods followed a similar trend, with irrigated yields being substantially higher for most genotypes. In 2023, the highest Medium yield was observed in GA06G (1516.8 g) and PI 502120 (1306.3 g), while genotypes such as 587 and AP3 produced less than 350 g under irrigation. Notably, AU16-28 and AU18-35 also ranked among the top Medium yielders under irrigation in both years, demonstrating consistent size expansion in response to supplemental moisture. US No. 1 yield patterns showed more variability and smaller absolute differences across treatments. For instance, AU16-28 had the highest yield in 2024 under irrigation (545.8 g), whereas several genotypes including C7616, AP3, and AT 3085R0 produced less than 300 g. In contrast, dryland treatments often resulted in low US No. 1 yields across all genotypes, with many producing <300 g. GA06G and TIFRUNNER were exceptions, consistently producing above-average US No. 1 yields in both years and treatments.

Figure 4. Peanut pod yield for runner type cultivars sorted by commercial size classification (grams/plot)



Red bars denote dryland plot samples, blue bars denote irrigated plot samples.
For differences in mean values see supplementary table 2.

Among genotypes, AU18-35, GA06G, and PI 502120 exhibited strong and consistent performance across all size categories when irrigated, highlighting their responsiveness and potential for high-grade kernel production under managed water input. In contrast, genotypes such as 587 and GA GREEN yielded poorly in most size classes regardless of irrigation, underscoring their limited commercial value in variable environments. Year-to-year variation was evident, with overall higher size-class yields under irrigation in 2024 compared to 2023, particularly for Jumbos and Mediums. However, genotype by irrigation interactions remained prominent, emphasizing the need for cultivar-specific recommendations based on irrigation potential and targeted market grade.

Physiology between genotypes

In association with this yield and quality assessment, a simultaneous/complimentary study focused measuring a suite of physiological mechanisms and responses that differentiated whole plant water use responses between genotypes. While presenting much of that data any analysis is outside the scope of this study, some physiological traits were analyzed in conjunction with yield and quality data to determine if there was a functional metric that might correlate with yield. Standard gas exchange metrics were measured with the Li6800 including photosynthetic rate (A), stomatal conductance (gsw) and water use efficiency (WUE). For all genotypes, we saw a very distinct negative linear relationship between A and gsw both between irrigation regimes and years. In 2023 R^2 values ranged from 0.45 to 0.79, whereas in 2024 (where mid-day temperatures were significantly higher), R^2 values ranged from 0.78 to 1.0. In both irrigated and dryland plots, as well as across both years we did not find a significant or distinct response between genotypes and their response to declining soil moisture or temperature. Within treatment and between treatment, the rates of compensation as well as conductance and assimilation values varied greatly. We began to see slight separation in WUE between the genotypes at a soil water potential of –500, which was an observed inflection point in which some genotypes (Tifrunner, AP3, AU18-35) had extremely low WUE, as compared to genotypes whose WUE was almost five times greater (PI 493, Ga06G, Line 8). Spectral metrics including NDVI and SPAD were also measured. For these metrics of plant greenness we would expect to see that NDVI decreases with reduced soil moisture while SPAD slightly increases. However, for all genotypes we again found no sig-

nificant linear trends between or within treatments, and across years. While visually you could justify that the observed values meet standard biological assumptions, differences between genotypes were insignificant.

Physiology in relation to yield/quality

To see if some of these measured physiological or spectral metrics may indicate a relationship to total yield or shelling characteristics, we ran a multivariate correlation matrix split between irrigation regimes, and year (figure 1). In all 4 cases, we found that there was no significant correlation between our variables (as highlighted in the black rectangles). The only marginal significance we saw was in 2024 between Jumbos and gsw, and WUE ($p < 0.02$, $p < 0.03$ respectively) in the irrigated plots. Both traits showed a significant and positive linear relationship with the largest of the seed sizes.

DISCUSSION

Physiological strategy and field expression

This study evaluated peanut genotype performance under irrigated and dryland conditions at the whole-farm scale, with a particular focus on yield quantity and commercial size class distribution. The genotypes used in this trial were previously characterized in controlled, single-plant studies at Auburn University [Zhang et al. 2022, Zhen et al. 2022], where distinct physiological strategies were observed. Specifically, PI 502120 and AUNPL17 were classified as anisohydric, exhibiting high transpiration and dynamic water potential responses, while AU16-28 and Line 8 displayed more conservative, isohydric behavior. In theory, these divergent water-use strategies should drive predictable differences in drought tolerance, carbon allocation, and yield under field conditions [Martínez-Vilalta et al. 2017].

However, our field-scale observations did not reflect this expected physiological stratification. Gas exchange and spectral trait data were highly variable within genotypes, across irrigation treatments, and between years. As a result, the hypothesized link between intrinsic water-use strategy and yield performance was not consistently confirmed in practice. For example, although PI 502120 exhibited strong performance under irrigation, it did not consistently outperform under dryland conditions, despite its anisohydric classification. Likewise, isohydric genotypes such as AU16-28 did not exhibit the level of yield penalty under water-limited conditions that might be expected from early stomatal closure and reduced carbon gain.

This lack of concordance may be explained by the complexity of the soil–plant–atmosphere continuum at field scale, where root-soil dynamics, evaporative demand, and plant–plant interactions add layers of variability absent in single-plant experiments. Additionally, annual weather variation – especially in the timing and intensity of rainfall — likely contributed to differential expression of physiological traits. Our findings align with recent literature emphasizing that plant water use strategies may be context-dependent and plastic, rather than fixed [Martínez-Vilalta et al. 2017]. This challenges the notion of a consistent genotype “fingerprint” and underscores the need for integrated field-based assessments across environments. The absence of clear physiological stratification at field scale also suggests that additional structural indicators, including canopy development, biomass allocation, and reproductive architecture may be necessary to better explain how water use strategies utility influence yield formation and pod size distribution under variable environmental conditions [Sreelatha 2019].

Yield, size distribution, and drought priming

Despite the physiological variability observed, genotype-specific differences in yield and commercial pod size class were evident and influenced strongly by irrigation regime and year. In both 2023 and 2024, genotypes such as AU18-35, GA06G, and PI 502120 consistently produced higher

yields of Jumbo and Medium pods under irrigation, suggesting strong responsiveness to supplemental moisture. However, year effects were substantial. In 2023, dryland yields were comparable to irrigated yields across many genotypes, while in 2024, the yield penalty in dryland plots was much more pronounced.

These differences could be possibly attributed to a form of drought priming de Camargo Santos et al. 2024, Ru et al. 2025. In 2023, soil moisture was limited early in the season, potentially inducing mild, non-lethal stress that activated drought acclimation mechanisms such as osmotic adjustment or root proliferation. These responses are known to enhance WUE and reproductive resilience in peanut [Rowland et al. 2012, Zurweller et al. 2018]. In contrast, in 2024, early- and mid-season soil moisture remained high, but a late-season drought event occurred during pod filling – a critical period when stress can severely impact yield. This scenario likely caught many genotypes unprepared, particularly in dryland plots, leading to sharper yield declines and greater separation from irrigated performance.

Commercial pod size class distribution further illustrated the interaction between genotype and seasonal stress dynamics. While AU18-35 and GA06G maintained high proportions of Jumbos and Mediums under both treatments in 2023, their performance under dryland conditions declined in 2024. Conversely, genotypes like C7616 and GA GREEN showed consistently lower size-class yields across treatments and years, reflecting limited plasticity or adaptation.

Together, these results suggest that yield and quality metrics in peanut are shaped not only by genotype and water regime, but also by the timing and intensity of stress exposure. Drought priming and stress memory effects, especially when they occur during early vegetative stages, may play a critical role in shaping yield outcomes and buffering against reproductive failure. These insights have important implications for cultivar selection and irrigation timing in water limited environments. Rather than classifying genotypes strictly by isohydric or anisohydric behavior, emphasis should be placed on identifying genotypes with flexible and resilient responses to variable moisture regimes.

CONCLUSIONS

This study demonstrates the complexity of translating genotype-specific physiological strategies into consistent agronomic outcomes under field-scale conditions. While controlled environment and single-plant studies have successfully characterized intergenotype differences in drought response strategies such as isohydric versus anisohydric behavior, these distinctions were not clearly expressed at the whole-farm scale. Yield and commercial pod size distributions were shaped not only by genotype and irrigation treatment, but also by seasonal weather variability, soil conditions, and the inherent complexity of the soil–plant–atmosphere continuum.

It is worth emphasizing that small-plot and individual-plant studies remain critical for uncovering fundamental physiological traits and informing breeding and phenotyping frameworks. However, as our findings suggest, these insights do not always scale predictably to larger, operational environments where interacting stressors, plant-plant dynamics, and environmental heterogeneity may mask or modify physiological expression. In particular, irrigation increased peak pod yield from approximately 3.9 kg per plot under dryland conditions to 5.8 kg per plot under favorable moisture conditions, depending on genotype and year, highlighting the magnitude of management effects relative to genotype classification.

In particular, the concept of drought priming emerged as a potential explanation for year-to-year variation in performance. Early-season water deficits in 2023 may have conferred a degree of stress acclimation that buffered yield losses, while the absence of such priming in 2024 left crops more vulnerable to late-season drought. These observations underscore the importance of timing and sequence in stress exposure factors that are often absent from controlled trials but critical in real-world settings.

Ultimately, while it remains important to understand plant survival and tolerance traits, this study highlights the need for a more nuanced approach to genotype evaluation one that accounts for environmental variability and the emergent properties of complex production systems. Future breeding and management strategies should emphasize not only trait potential, but also trait plasticity and resilience under variable field conditions.

REFERENCES

Butts C.L., Sorensen R.B., Lamb M.C., 2016. Evaluation of a small-scale peanut sheller. Peanut Sci. 43(1), 67–73. https://doi.org/10.3146/0095-3679-43.1.67.

de Camargo Santos A., Schaffer B., Rowland D. et al., 2024. Cultivating resilience: Use of water deficit to prime peanut production and improve water stress tolerance. Plant Stress 14, 100637. https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100637

Jongrungklang N., Toomsan B., Vorasoot N. et al., 2013. Drought tolerance mechanisms for yield responses to pre-flowering drought stress of peanut genotypes with different drought tolerant levels. Field Crops Res. 144, 34–42.

Lamb M.C., Sorensen R. B., Butts C.L., 2020. Agronomic and economic effects of irrigation and rotation in peanut-based cropping systems. Peanut Sci. 47(3), 173–179. https://doi.org/10.3146/PS20-10.1

Martínez-Vilalta J., Garcia-Forner N., 2017. Water potential regulation, stomatal behaviour and hydraulic transport under drought: deconstructing the iso/anisohydric concept. Plant Cell Environ. 40(6), 962–976. https://doi.org/10.1111/pce.12846

Okello D.K., Kaaya A.N., Bisikwa J. et al., 2010. Aflatoxins in groundnuts. Management of aflatoxins in groundnuts: A manual for farmers, processors, traders and consumers in Uganda. Entebbe, National Agricultural Research Organisation.

Pilon C., Snider J.L., Sobolev V. et al., 2018. Assessing stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation under progressive drought in peanut (*Arachis hypogaea* L.). J. Plant Physiol. 231, 124–134. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.09.007

Rowland D.L., Faircloth W.H., Payton P. et al., 2012. Primed acclimation of cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.) through the use of deficit irrigation timed to crop developmental periods. Agric. Water Manag. 113, 85–95. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.023

Ru C., Liu Y., Hu X., Wang W., 2025. Intermittent drought priming improves photosynthesis, water status, antioxidant capacity, and tolerance to drought stress in winter wheat. J. Plant Growth Regul. 44, 4316–4335. https://doi.org/10.1007/s00344-025-11689-5

Sreelatha P., 2019. Influence of growth and canopy attributes on productivity of rainfed groundnut. Doctoral dissertation, Ph. D Thesis. Acharya N.G. Ranga Agricultural University, Lam, Guntur.

United States Department of Agriculture, 1993. Milled Peanuts: Inspection instructions. Washington, D. C.: U. S. Department of Agriculture, Agric. Marketing Serv., Fruit and Vegetable Division.

Williams E.J., Drexler J.S., 1981. A non-destructive method for determining peanut pod maturity. Peanut Sci. 8(2), 134–141. https://doi.org/10.3146/i0095-3679-8-2-15

Xie M., Wang Z., Xu X. et al., 2020. Quantitative estimation of the nutrient uptake requirements of peanut. Agronomy 10(1), 119. https://doi.org/10.3390/agronomy10010119

Zhang Q., Dang P., Chen C. et al., 2022. Tolerance to mid-season drought in peanut can be achieved by high water use efficiency or high efficient use of water. Crop Sci. 62(5), 1948–1966. https://doi.org/10.1002/csc2.20806

Zhen X., Zhang Q., Sanz-Saez A. et al., 2022. Simulating drought tolerance of peanut varieties by maintaining photosynthesis under water deficit. Field Crops Res. 287, 108650.

Zurweller B.A., Rowland D.L., Tillman B.L. et al., 2022. Soil water depletion of peanut subspecies as influenced by water-use traits and soil water availability. J. Agron. Crop Sci. 208(6), 928–940. https://doi.org/10.1111/jac.12554

Source of funding: This work was supported by the USDA Department of Agriculture, ARS, Research Project 6044-21000-005.

Acknowledgements: Thanks to the personnel from the USDA-ARS National Peanut Research Lab at Dawson, including Staci Ingram, Hunter Cook, Raymond Owens and Larry Hall Jr.

Authors' contributions: E.B. – methodology development, project management, data collection, data analysis, writing and editing; R.S. – project management, data collection, writing and editing; C.C. – conceptualization, project design; P.D. – conceptualization, project design, project management; M.L. – funding acquisition, project oversight.

Received: 19.01.2026
Accepted: 21.05.2026
Published: 3.07.2026

Citation: Bucior E.R., Dang P.M., Chen C.Y., Sorensen R.B., Lamb M.C., 2026. Field-scale evaluation of peanut genotype responses to drought: yield, quality, and the limits of physiological prediction. Agron. Sci. 81(2), 49–57. https://doi.org/10.24326/as.2026.5657

Supplementary table 1. Peanut pod yield production for runner type cultivars reported as in shell weight (kilograms/plot)

Cultivar	Dryland 23	Irrigated 23	Dryland 24	Irrigated 24
587	2.48 a, abc	2.56 a	1.97 a, b	3.96 b, a
AP3	2.81 a, abc	3.19 a	2.79 a, b	4.89 b, a
AT 3085R0	2.98 a, abc	3.72 a	2.27 a, ab	4.06 b, a
AU16-28	3.86 a, a	3.74 a	2.36 a, ab	4.88 b, a
AU18-35	3.58 a, ab	5.32 b	2.69 a, a	5.82 b, a
AUNPL17	3.76 a, ab	4.70 a	2.87 a, ab	5.28 b, a
C7616	2.41 a, bc	3.03 a	2.75 a, b	4.40 b, a
GA06G	3.68 a, ab	3.92 a	2.44 a, ab	5.08 b, a
GA GREEN	2.15 a, c	3.12 b	2.50 a, b	4.26 b, a
LINE 8	2.62 a, abc	3.76 a	2.15 a, ab	4.58 b, a
PI 493323	3.10 a, abc	4.10 a	2.68 a, ab	4.84 b, a
PI 502120	2.66 a, abc	3.86 a	2.72 a, ab	5.64 b, a
TIFRUNNER	2.80 a, abc	3.47 b	2.14 a, ab	4.74 b, a

Means are compared between treatments within each year. Means are not compared between years as each year experienced differences in environmental and soil dry down conditions. First letter compares means between treatment with students T-TEST, second between genotypes with Tukey-Kramer HSD. Levels not connected by same letter are significantly different with $p < 0.05$.

Supplementary table 2. Peanut pod yield for runner type cultivars sorted by commercial size classification (grams/plot)

Cultivar	Dryland 23			Irrigated 23			Dryland 24			Irrigated 24		
	Jumbos	Medium	US No. 1	Jumbos	Medium	US No. 1	Jumbos	Medium	US No. 1	Jumbos	Medium	US No. 1
587	452.3 a, d	785.1 a, bc	146.3 b, bcd	365.8 a, d	802.9 a, bc	300.0 a, ab	102.8 b, a	533.8 b, a	452.6 a, ab	474.58 a, e	1230.8 a, b	468.35 a, ab
AP3	837.2 a, abcd	583.0 a, c	89.6 b, cd	778.8 a, bcd	699.6 a, c	189.1 a, bc	318.1 b, a	902.6 b, a	276.4 a, b	954.7 a, bc	1466.7 a, ab	326.4 a, bcd
AT 3085R0	870.0 a, abcd	822.7 a, bc	125.5 b, bcd	1057.0 a, abc	1034.6 a, abc	255.9 a, abc	377.9 b, a	647.9 b, a	302.6 a, ab	1004.2 a, bc	1181.5 a, b	289.9 a, cd
AU16-28	437.4 a, d	1296.8 a, a	408.4 a, a	595.0 a, cd	1613.8 a, ab	375.2 a, a	114.3 b, a	683.6 b, a	620.5 a, a	523.1 a, de	1818.3 a, a	545.8 a, a
AU18-35	907.0 b, NA	1071.6 b, b	208.8 b, bc	1506.4 a, a	1458.6 a, a	353.6 a, a	233.6 b, a	882.5 b, a	517.8 a, ab	1293.7 a, ab	1813.0 a, a	401.0 a, bc
AUNPL17	1085.7 a, ab	974.6 a, bc	304.1 a, b	1294.9 a, ab	982.1 a, abc	215.4 a, ab	343.7 b, a	848.9 b, a	421.7 a, ab	1251.8 a, ab	1490.0 a, ab	353.3 a, bcd
C7616	502.6 a, cd	664.9 a, bc	121.0 a, bcd	850.15 a, abcd	665.2 a, c	185.9 a, bc	334.9 b, a	878.5 a, a	411.4 a, ab	958.0 a, bc	1374.2 a, ab	260.0 a, cd
GA06G	1191.9 a, a	833.5 a, bc	179.0 a, bcd	1379.8 a, ab	911.5 a, bc	187.9 a, bc	272.2 b, a	835.7 b, a	456.2 b, ab	1300.6 a, ab	1556.4 a, ab	283.3 a, cd
GA GREEN	661.9 a, bcd	531.7 a, c	74.8 a, d	992.1 a, abcd	751.2 a, c	147.8 b, c	327.8 b, a	756.7 b, a	357.7 a, ab	1117.3 a, abc	1171.6 a, b	212. a, d
LINE 8	530.9 a, cd	733.2 a, bc	213.9 a, bcd	895.7 a, abcd	1033.0 a, abc	179.7 a, bc	187.2 b, a	594.5 b, a	443.0 a, ab	807.7 a, cde	1474.2 a, ab	344.8 a, bcd
PI 493323	718.3 a, abcd	882.4 a, bc	173.8 a, bcd	1041.8 a, abcd	1141.0 a, abc	290.5 b, ab	185.1 b, a	863.5 b, a	513.1 a, ab	875.3 a, cd	1525.0 a, ab	409.9 a, bc
PI 502120	825.3 a, abcd	688.4 a, bc	131.68 a, bcd	1285.8 a, ab	850.15 a, bc	193.0 a, bc	239.8 b, a	921.9 b, a	445.0 a, ab	1402.7 a, a	1828.2 a, a	339.0 a, bcd
TIFRUNNER	1015.3 a, abc	668.6 a, bc	107.0 b, bcd	1229.2 a, abc	766.1 a, bc	183.2 a, bc	408.8 b, a	534.1 b, a	246.9 a, b	1247.8 a, ab	1289.0 a, ab	290.7 a, cd

Means are compared between treatments within each year. Means are not compared between years as each year experienced differences in environmental and soil dry down conditions. First letter compares means between treatment with students T-TEST, second between genotypes with Tukey-Kramer HSD. Levels not connected by same letter are significantly different with $p < 0.05$.

AGRONOMY SCIENCE

VOL. LXXXI (2) 2026

https://doi.org/10.24326/as.2026.5674

JAN BUCZEK[1], DOROTA GAWĘDA[2], BEATA MICHALSKA-KLIMCZAK[3]

Ocena produkcyjności i zachwaszczenia wybranych genotypów pszenicy ozimej w systemach uprawy roli

Evaluation of productivity and weed infestation of selected winter wheat genotypes in tillage systems

Abstrakt. Celem badań było porównanie plonu, parametrów wzrostu i wymiany gazowej oraz zachwaszczenia zróżnicowanych genotypowo ozimych odmian pszenicy uprawianych w trzech systemach uprawy roli. Uprawa płużna i uproszczona w porównaniu do siewu bezpośredniego powodowała wzrost plonu ziarna, wskaźnika powierzchni liści (LAI), wartości przewodnictwa szparkowego (Gs) oraz zmniejszenie kąta nachylenia liści (MTA). Odmiana Hyfi odznaczała się lepszymi parametrami LAI, zawartością chlorofilu (SPAD) i Gs oraz zbliżonym poziomem plonowania w uprawie płużnej i uproszczonej. Siew bezpośredni skutkował obniżeniem LAI, SPAD i Gs oraz najniższym plonem ziarna u odmian Hondia i Mewa. Systemy uprawy roli nie różnicowały intensywności transpiracji (E), a uprawa płużna sprzyjała wyższej intensywności fotosyntezy (Pn) u wszystkich odmian. Wyższe parametry zachwaszczenia stwierdzono w przypadku siewu bezpośredniego, niższe w uprawie uproszczonej, a najniższe w uprawie płużnej. Odmiana Hyfi była bardziej konkurencyjna dla dominujących gatunków chwastów *Galium aparine*, *Capsella bursa-pastoris*, *Cirsium arvense* i *Veronica persica* niż Mewa i Hondia. Zmienne warunki hydrotermalne w latach badań wpływały na zmiany ilościowe parametrów zachwaszczenia, nie różnicując składu gatunkowego chwastów.

Słowa kluczowe: uprawa roli, plon, parametry wzrostu, zachwaszczenie łanu, odmiana, pszenica ozima

WSTĘP

Produkcyjność pszenicy ozimej uzależniona jest głównie od wymagań glebowo-klimatycznych, genotypu odmiany, a także zabiegów agrotechnicznych, spośród których ważną rolę odgrywa uprawa roli realizowana w systemach uprawy płużnej i bezpłużnej [Anjum i in. 2021]. Uprawa płużna związana jest zwykle z większą intensywnością zabiegów, a przy tym z wyższymi kosztami oraz dużą ingerencją w zmiany właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleby [Gawęda i Haliniarz 2021]. Systemy uprawy

1 Katedra Produkcji Roślinnej, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów, Polska, https://orcid.org/0000-0002-9760-3603; autor korespondencyjny: jbuczek@ur.edu.pl
2 Katedra Herbologii i Technik Uprawy Roślin, Wydział Agrobioinżynierii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, Polska, https://orcid.org/0000-0001-7252-4725
3 Katedra Agronomii, , Wydział Rolnictwa i Ekologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, Polska, https://orcid.org/0000-0003-4992-4477

© 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.

bezpłużnej zmniejszają zużycie energii i emisję dwutlenku węgla, a resztki pożniwne pozostawione na glebie zwiększają retencję wody co ma znaczenie w latach suchych [Jaskulski i in. 2023]. Jednak wysoki udział resztek pożniwnych po zbiorze późnych przedplonów na powierzchni gleby może utrudniać zastosowanie zwłaszcza siewu bezpośredniego, dlatego istotnym jest ich dokładne rozdrobnienie, a w przypadku uprawy uproszczonej staranne wymieszanie z glebą [Sip i in. 2013]. Obecnie odpowiedni poziom plonowania oraz jakość ziarna pszenicy można uzyskać w systemie uprawy płużnej, jak również w systemach uprawy uproszczonej i siewu bezpośredniego [De Vita i in. 2007, Gandia i in. 2021]. Wzrost plonów ziarna pszenicy w uprawie uproszczonej oraz siewie bezpośrednim w porównaniu do uprawy płużnej stwierdzono w warunkach niedoborów opadów [Cantero-Martinez i in. 2007, Chouter i in. 2024]. Systemy bezorkowe z udziałem mulczowanych resztek pożniwnych sprzyjały poprawie magazynowania wilgoci w górnych warstwach gleby, co zwiększało efektywność wykorzystania wody [Huang i in. 2012].

Systemy uprawy roli wpływają także na stan i skład gatunkowy chwastów i ich rozmieszczenie zarówno w łanie rośliny, jak i w glebie [Woźniak i Soroka 2018]. W uprawie płużnej można zaobserwować większą różnorodność chwastów niż w systemie bezorkowym, ponieważ nasiona chwastów są rozprowadzane w całej warstwie ornej gleby i kiełkują w różnych porach sezonu wegetacyjnego [Sans i in. 2011, Prado i in. 2019]. Uproszczenia w uprawie roli i siew bezpośredni prowadzą do gromadzenia wielu gatunków chwastów o drobnych nasionach w wierzchniej warstwie gleby oraz dominacji gatunków wieloletnich [Feledyn-Szewczyk i in. 2020, Gandia i in. 2021]. Systemy uprawy roli w interakcji z genotypem odmiany mogą modyfikować intensywność zachwaszczenia, a tym samym wpływać na parametry fizjologiczne oraz jakość i poziom plonowania [Lotfi i in. 2023, Różewicz i in. 2024]. Zróżnicowana reakcja odmian może być związana z uprawą samej gleby i jej wpływem na rozwój systemu korzeniowego lub szybszym tempem wzrostu tych odmian i ich lepszą genetyczną odpornością na stresowe warunki środowiskowe i agronomiczne [Milan i in. 2020, Anjum i in. 2021].

Celem badań była ocena wpływu systemów uprawy bezorkowej w stosunku do uprawy płużnej na plon, parametry wzrostu i wymiany gazowej oraz zachwaszczenie wybranych genotypów pszenicy na tle warunków hydrotermicznych. W hipotezie założono, że wpływ czynnika genetycznego odmian na produkcyjność i poziom zachwaszczenia pszenicy jest nie mniejszy niż wpływ systemów uprawy roli.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2017–2020 na polach Podkarpackiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego w Boguchwale, województwo podkarpackie (49°59'N, 21°56'E). Dwuczynnikowy eksperyment założono w trzech powtórzeniach, w układzie bloków losowych, a powierzchnia poletka wynosiła 18 m^2.

Badanymi czynnikami były:

I. Systemy uprawy roli (CS): uprawa płużna (talerzowanie – 12 cm i orka przedsiewna – 20 cm), uprawa uproszczona (talerzowanie – 15 cm i kultywator ścierniskowy – 20 cm) i siew bezpośredni (siew w ściernisko siewnikiem z redlicami dwutarczowymi),

II. Odmiany pszenicy ozimej (C): Hondia (odmiana populacyjna, bezostna) – hodowca: Danko Hodowla Roślin sp. z o.o., Hyfi (odmiana hybrydowa, bezostna) – hodowca: Nordsaat Saatzucht GmbH Saatzucht Langenstein i Mewa (odmiana populacyjna, oścista) – hodowca: Danko Hodowla Roślin sp. z o.o.

Doświadczenie zlokalizowano na kompleksie pszennym dobrym, II klasy bonitacyjnej o uziarnieniu gleby płowej wytworzonej z lessu. Gleba odznaczała się zawartością próchnicy na poziomie 12,0 $g \cdot kg^{-1}$ i odczynem obojętnym (pH w KCl = 6,8). Średnia w latach badań zasobność gleby w przyswajalny fosfor (176,2 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$) i potas (225,9 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$) była wysoka, a w magnez (67,6 mg $MgO \cdot kg^{-1}$) bardzo wysoka. Przedplonem pszenicy była soja, którą uprawiano również w trzech badanych systemach uprawy

roli. Pszenicę wysiewano w drugiej dekadzie października, w ilości 300 nasion na 1 m^2 (odmiany populacyjne) i 180 nasion na 1 m^2 (odmiana hybrydowa). Nawożenie fosforowo-potasowe przeprowadzono jesienią w dawkach 100 kg·ha^{-1} (superfosfat potrójny, 46%) i 130 kg·ha^{-1} (sól potasowa, 60%). Nawożenie azotem (saletra amonowa, 34%) wynosiło 160 kg N·ha^{-1} w dawce dzielonej: 60 kg N·ha^{-1} na wiosnę (po ruszeniu wegetacji) oraz 60 kg N·ha^{-1} i 40 kg N·ha^{-1} w fazach strzelania w źdźbło i kłoszenia. Nawożenie mineralne oraz środki ochrony roślin stosowano w pszenicy zgodnie z rekomendacjami IOR-PIB w Poznaniu z lat 2017–2020, według skali BBCH (tabela 1).

Tabela 1. Nawożenie azotem oraz środki ochrony roślin w latach 2017–2020

Wyszczególnienie	Dawka (faza rozwojowa)
Azot (N)	160 kg N·ha^{-1} (60 kg·ha^{-1} – BBCH 32–33; 60 kg·ha^{-1} – BBCH 32–33; 40 kg·ha^{-1} – BBCH 32–33)
Herbicydy	Maraton 375 SC (pendimetalina + izoproturon) – 4,0 dm^3·ha^{-1} (BBCH 23–24); Huzar Activ 387 OD (jodosulfuron metylosodowy + 2,4-D) – 1,0 dm^3·ha^{-1} (BBCH 30–32)
Fungicydy	Soligor 425 EC (protiokonazol + spiroksamina + tebukonazol) – 1,0 dm^3·ha^{-1} (BBCH 32–33); Artea 330 EC (propikonazol + cyprokonazol) – 0,5 dm^3·ha^{-1} (BBCH 54–56)
Insektycyd	Karate Zeon 100 CS (lambda-cyhalotryna) – 0,4 dm^3·ha^{-1} (BBCH 54–56)
Regulator wzrostu	Moddus 250 EC (trineksapak etylu) – 0,4 dm^3·ha^{-1} (BBCH 31)
Nawóz dolistny	Plonvit Z – 2 × 1,0 dm^3·ha^{-1} (BBCH 32–33, BBCH 38–39)

Tabela 2. Przebieg warunków pogodowych w latach badań

Miesiąc	2017/2018	2018/2019	2019/2020	1980–2015
sumy opadów (mm)				
Październik	60,8	82,1	72,5	63,7
Listopad	26,2	73,1	63,5	45,4
Grudzień	51,5	79,0	95,3	36,5
Styczeń	34,6	15,6	20,1	24,6
Luty	47,0	12,9	14,2	21,0
Marzec	33,8	16,4	22,3	16,5
Kwiecień	31,7	22,1	17,5	27,9
Maj	149,5	152,0	58,9	45,6
Czerwiec	177,3	118,3	83,9	70,0
Lipiec	29,0	22,1	57,3	79,5
Suma	641,4	593,6	505,5	430,7
średnie temperatury powietrza (°C)				
Październik	10,1	9,2	13,2	12,0
Listopad	6,1	7,8	7,4	8,8
Grudzień	3,6	4,7	4,2	3,6
Styczeń	1,0	2,8	3,5	1,6
Luty	–1,5	–1,3	–0,3	0,9
Marzec	–0,5	1,1	–1,0	0,3
Kwiecień	1,7	3,1	4,2	2,1
Maj	4,8	7,1	9,5	7,3
Czerwiec	7,3	10,4	12,8	13,5
Lipiec	17,4	14,7	17,5	15,1
Średnia	6,5	6,8	9,0	6,5

Tabela 3. Współczynnik hydrotermiczny Sielianinova (K)

Lata	Okres wegetacji wiosenno-letniej				Średnia
	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	
2017/2018	0,71	2,31	3,19	0,62	1,71
2018/2019	0,59	3,40	2,55	0,52	1,77
2019/2020	0,75	0,51	0,85	0,90	0,75
1980–2015	0,83	1,22	1,42	1,15	1,16

K ≤ 0,5 – susza; 0,5 < K ≤ 1,0 – półsusza; 1,0 < K ≤ 1,5 – granica optymalnej wilgotności; >1,5 – nadmierna wilgotność

W okresie wegetacji określono parametry wzrostu: wskaźnik powierzchni liści (LAI) i kąt nachylenia liści (MTA) aparatem LAI 2000 LI-COR Inc., zawartość chlorofilu (SPAD) aparatem SPAD-502P Konica Minolta i wysokość roślin (przed zbiorem dwukrotnie na każdym poletku). Pomiary wymiany gazowej w liściu wykonano losowo na wybranych roślinach w dwóch powtórzeniach, mierząc parametry: intensywność fotosyntezy (Pn), intensywność transpiracji (E) i przewodnictwo szparkowe Gs) aparatem Photosynthesis Measurement System LCpro-SD, ADC BioScientific Ltd. Ocenę zachwaszczenia wykonano w fazie dojrzałości woskowej (BBCH 83–84), metodą botaniczno-wagową na losowo wybranych powierzchniach o wymiarach 0,5 m × 1,0 m na każdym poletku. Oznaczono liczbę i skład gatunkowy chwastów, oddzielnie dla gatunków krótkotrwałych i wieloletnich oraz powietrznie suchą masę, a wyniki przeliczono na 1 m^2. Pszenicę zebrano kombajnem poletkowym w fazie pełnej dojrzałości ziarna (BBCH 89–92). Plon ziarna z poletek przeliczono na 1 ha przy wilgotności 15%. Uzyskane wyniki badań poddano analizie wariancji (ANOVA), a istotność różnic oszacowano testem Tukeya na poziomie istotności $p \leq 0,05$. Do obliczeń wykorzystano program statystyczny Statistica 13.1. W tabeli 2 przedstawiono sumę opadów i średnią miesięczną temperaturę powietrza w poszczególnych sezonach wegetacyjnych pszenicy. W odniesieniu do okresów wegetacji wiosenno-letniej warunki hydrotermalne [Skowera i in. 2014] dla uprawy pszenicy były suche w 2019/2020 r, a wilgotne w 2017/2018 i 2018/2019 r, zwłaszcza w maju i czerwcu (tabela 3).

WYNIKI BADAŃ

Plon ziarna istotnie zależał od systemu uprawy roli, odmiany i lat badań (tabela 4). Istotny wzrost plonu ziarna po zastosowaniu uprawy uproszczonej i płużnej w porównaniu z siewem bezpośrednim wynosił odpowiednio 0,36 $t \cdot ha^{-1}$ i 0,59 $t \cdot ha^{-1}$. Najwyższy plon uzyskała odmiana hybrydowa Hyfi, niższy Mewa, a najniższy odmiana Hondia. Odmiana Hyfi odznaczała się najwyższym plonem we wszystkich systemach uprawy, a Mewa w uprawie płużnej i uproszczonej. Najniższy plon ziarna wykazano dla odmiany Hondia w uprawie uproszczonej oraz Hondia i Mewa w systemie siewu bezpośredniego (tabela 6). Plon ziarna był istotnie wyższy w sezonie 2019/2020 w porównaniu z pozostałymi sezonami. Siew bezpośredni skutkował niższym wskaźnikiem powierzchni liści (LAI) w porównaniu do uprawy płużnej i uproszczonej. Różnice w wartościach LAI między uprawą płużną i uproszczoną były nieistotne. Odmiana Hyfi uzyskała wyższe wartości LAI w porównaniu zwłaszcza z odmianą Hondia. Badane odmiany w systemie siewu bezpośredniego miały istotnie niższe wartości LAI. Najwyższe wartości LAI uzyskała odmiana Hyfi w uprawie płużnej i uproszczonej oraz Mewa w uprawie płużnej. Siew bezpośredni wpływał na obniżenie parametru LAI u odmian w zakresie od 4,01 do 4,32 $m^2 \cdot m^{-2}$. Istotnie najwyższy wskaźnik LAI odnotowano w trzecim sezonie badań. Kąt nachylenia liści (MTA) był wyższy w systemie siewu bezpośredniego, a najniższy w uprawie uproszczonej. Istotnie najwyższą wartość MTA wykazano u odmian Hondia i Hyfi. W warunkach uprawy uproszczonej badane odmiany charakteryzowały się niższym MTA. Istotnie wyższym MTA odznaczała się odmiana Hondia w siewie bezpośrednim i uprawie płużnej oraz Hyfi

w uprawie płużnej. Parametr ten przyjął wyższe wartości w drugim i trzecim sezonie badań. Sposób uprawy roli różnicował wysokość roślin. Rośliny pszenicy były najwyższe w uprawie płużnej i siewie bezpośrednim, a najniższe w uprawie uproszczonej. Zdecydowanie wyższymi roślinami charakteryzowała się odmiana Hondia zwłaszcza w warunkach uprawy płużnej i siewu bezpośredniego. Najniższe rośliny wykształciła odmiana Mewa w uprawie uproszczonej. W latach badań zaobserwowano wyższe rośliny w sezonach 2017/2018 i 2018/2019.

Tabela 4. Plon ziarna oraz parametry wzrostu pszenicy (2017–2020)

Systemy uprawy (CS)	Odmiany (C)	Plon ziarna ($t \cdot ha^{-1}$)	Wskaźnik powierzchni liści – LAI ($m^2 \cdot m^{-2}$)	Średni kąt nachylenia liści – MTA (°)	Wysokość roślin (cm)
Płużny	Hondia	7,47 ^{c}	4,94 ^{b}	59 ^{b}	98,7 ^{a}
	Hyfi	8,37^{a}	5,43 ^{a}	58 ^{b}	87,3 ^{b}
	Mewa	8,17 ^{a}	5,21 ^{a}	46 ^{d}	82,9 ^{c}
Uproszczony	Hondia	7,23 ^{cd}	4,79 ^{b}	51 ^{c}	88,5 ^{b}
	Hyfi	8,31 ^{a}	5,28 ^{a}	54 ^{c}	79,5 ^{c}
	Mewa	7,79 ^{b}	5,06 ^{b}	51 ^{c}	74,2 ^{d}
Siew bezpośredni	Hondia	7,18 ^{cd}	4,20 ^{c}	63 ^{a}	95,4 ^{a}
	Hyfi	7,94 ^{b}	4,32 ^{c}	56 ^{bc}	84,9 ^{b}
	Mewa	7,12 ^{d}	4,01 ^{c}	55 ^{c}	80,4 ^{c}
Płużny		8,00 ^{A}	5,20 ^{A}	54 ^{B}	89,6 ^{A}
Uproszczony		7,77 ^{A}	5,05 ^{A}	52 ^{B}	80,7 ^{B}
Siew bezpośredni		7,41 ^{B}	4,18 ^{B}	58 ^{A}	86,9 ^{A}
Odmiany (C)	Hondia	7,29 ^{C}	4,64 ^{B}	58 ^{A}	94,2 ^{A}
	Hyfi	8,20 ^{A}	5,01 ^{A}	56 ^{A}	83,9 ^{B}
	Mewa	7,69 ^{B}	4,76 ^{AB}	51 ^{B}	79,2 ^{C}
Lata (Y)	2017/2018	7,26 ^{B}	4,65 ^{B}	51 ^{B}	86,5 ^{A}
	2018/2019	7,62 ^{B}	4,80 ^{AB}	57 ^{A}	87,9 ^{A}
	2019/2020	8,30 ^{A}	4,97 ^{A}	56 ^{A}	82,9 ^{B}
Średnia		7,73	4,81	55	85,8

Średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie.
a, b, c, d – dla interakcji systemy uprawy × odmiany; A, B, C – dla średnich dla czynników.

Najwyższe wartości SPAD stwierdzono w uprawie płużnej, niższe w uprawie uproszczonej, a istotnie najniższe w systemie siewu bezpośredniego (tabela 5). Odmiana Hondia wykazała najniższą wartość SPAD w porównaniu z odmianami Mewa i Hyfi, odpowiednio o 4,2% i 6,2%. Najwyższe wartości SPAD zaobserwowano u odmian Hyfi i Mewa w uprawie płużnej i uproszczonej. Najniższy SPAD uzyskano u odmian Hondia i Mewa w systemie siewu bezpośredniego. Sposób uprawy roli istotnie wpłynął na aktywność fotosyntetyczną roślin pszenicy (tabela 6). Najwyższą wartość fotosyntezy netto (Pn) stwierdzono w uprawie płużnej, a najniższą w przypadku siewu bezpośredniego. Istotnie najwyższą wartość tej cechy wykazano u odmiany Hyfi i Mewa. Uprawa płużna nie różnicowała wartości Pn badanych odmian. W warunkach siewu bezpośredniego i uprawy uproszczonej Hondia charakteryzowała się istotnie najniższymi wartościami Pn w porównaniu z pozostałymi odmianami. Intensywność transpiracji (E) nie zależała od systemu uprawy, natomiast czynnik odmianowy różnicował ten parametr. Najwyższą wartość tej cechy stwierdzono u odmian Hyfi w uprawie płużnej i siewie bezpośrednim oraz Hondia w siewie bezpośrednim. Uprawa uproszczona nie różnicowała intensywności transpiracji (E) u odmian, a najniższe

wartości Gs wykazano w siewie bezpośrednim u odmiany Mewa. Wzrost wartości przewodnictwa szparkowego (Gs) w uprawie płużnej i uproszczonej w porównaniu z siewem bezpośrednim mieścił sie w zakresie od 0,025 mol (H_2O) $m^{-2}·s^{-1}$ do 0,087 mol (H_2O) $m^{-2}·s^{-1}$. Odmiana Hyfi wykazała istotnie wyższą wartość Gs w porównaniu z odmianami Hondia i Mewa, dla których nie stwierdzono istotnych różnic. Najniższe wartości Gs uzyskano dla odmian w siewie bezpośrednim, a najwyższe w uprawie płużnej i uproszczonej dla odmiany Hyfi. Spośród analizowanych lat badań najwyższe wartości SPAD oraz wskaźników wymiany gazowej odnotowano w sezonie 2019/2020, a najniższe w sezonie 2017/2018. Zdecydowanie najniższą intensywność transpiracji (E) stwierdzono w 2017/2018. Wartości SPAD i Pn nie różniły się istonie w sezonach 2017/2018 i 2018/2019, a wskaźnika E w 2018/2019 i 2019/2020.

Tabela 5. Zawartość chlorofilu i wskaźniki wymiany gazowej w liściu pszenicy (2017–2020)

Systemy uprawy (CS)	Odmiany (C)	Zawartość chlorofilu (SPAD)	Intensywność fotosyntezy (mmol (CO_2) $m^{-2}·s^{-1}$)	Intensywność transpiracji (mmol (H_2O) $m^{-2}·s^{-1}$)	Przewodnictwo szparkowe (mol (H_2O) $m^{-2}·s^{-1}$)
Płużny	Hondia	36,5 ^{b}	14,1 ^{a}	2,94 ^{b}	0,409 ^{ab}
	Hyfi	39,9 ^{a}	14,8 ^{a}	3,26 ^{a}	0,428 ^{a}
	Mewa	37,6 ^{a}	14,7 ^{a}	3,07 ^{b}	0,406 ^{b}
Uproszczony	Hondia	34,6 ^{c}	12,7 ^{c}	2,74 ^{b}	0,365 ^{c}
	Hyfi	36,3 ^{a}	13,8 ^{b}	2,96 ^{b}	0,413 ^{a}
	Mewa	37,7 ^{a}	14,2 ^{a}	2,99 ^{b}	0,391 ^{c}
Siew bezpośredni	Hondia	32,7 ^{c}	13,0 ^{b}	3,32 ^{a}	0,305 ^{d}
	Hyfi	34,6b ^{c}	14,1 ^{a}	3,23 ^{a}	0,317 ^{d}
	Mewa	33,0 ^{c}	13,2 ^{b}	2,33 ^{c}	0,286 ^{d}
Płużny		38,0 ^{A}	14,5 ^{A}	3,09 ^{A}	0,415 ^{A}
Uproszczony		36,2 ^{B}	13,5 ^{B}	2,90 ^{A}	0,390 ^{A}
Siew bezpośredni		33,4 ^{C}	13,4 ^{B}	2,96 ^{A}	0,303 ^{B}
Odmiany (C)	Hondia	34,6 ^{B}	13,2 ^{B}	3,00 ^{A}	0,360 ^{B}
	Hyfi	36,9 ^{A}	14,2 ^{A}	3,15 ^{A}	0,386 ^{A}
	Mewa	36,1 ^{A}	14,0 ^{A}	2,80 ^{B}	0,361 ^{B}
Lata (Y)	2017/2018	33,9 ^{B}	13,1 ^{B}	2,75 ^{B}	0,353 ^{B}
	2018/2019	34,1 ^{B}	13,8 ^{B}	3,08 ^{A}	0,368 ^{AB}
	2019/2020	39,6 ^{A}	14,5 ^{A}	3,13 ^{A}	0,386 ^{A}
Średnia		35,9	13,8	2,98	0,369

Średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie.
a, b, c, d – dla interakcji systemy uprawy × odmiany; A, B, C – dla średnich dla czynników.

Większą liczbę chwastów, w zakresie od 12,5 szt.·m^{-2} do 31,4 szt.·m^{-2} stwierdzono w uprawie uproszczonej i siewie bezpośrednim niż uprawie płużnej. Również powietrznie sucha masa chwastów była istotnie wyższa na obiekcie, gdzie stosowano siew bezpośredni w porównaniu z uprawą płużną. Nie wykazano jednak różnic dla tej cechy w przypadku uprawy uproszczonej i siewu bezpośredniego. Odmiana Hyfi w porównaniu z odmianami Hondia i Mewa charakteryzowała się wyższymi wartościami LAI, co wpływało na szybsze zwarcie łanu odmiany Hyfi i ograniczało jej zachwaszczenie (tabela 7).

Zachwaszczeniu bardziej ulegały odmiany Hondia i Mewa zwłaszcza w uprawie uproszczonej i siewie bezpośrednim. Odmiana Hyfi charakteryzowała się niższym zachwaszczeniem w uprawie płużnej, a parametry zachwaszczenia tej odmiany były do siebie zbliżone w uprawie uproszczonej i siewie bezpośrednim (tabela 6). Różnice w liczbie i masie chwastów występowały również między latami badań. Najwięcej chwastów stwierdzono w sezonie 2017/2018, kiedy odnotowano większą liczbę i masę chwastów w odniesieniu do sezonów 2018/2029 i 2019/2020.

Tabela 6. Wpływ systemów uprawy (CS), odmian (C) i lat badań (Y) – efekty główne i interakcje czynników

Wyszczególnienie	CS	C	Y	CS × C	CS × Y	C × Y	CS × C × Y
Plon ziarna	***	***	***	**	*	*	ns
Wskaźnik powierzchni liści	***	*	*	**	*	**	**
Średni kąt nachylenia liści	*	**	*	*	*	**	*
Wysokość roślin	**	***	**	**	**	**	**
Zawartość chlorofilu	***	***	***	**	*	ns	ns
Intensywność fotosyntezy	**	*	**	**	ns	ns	ns
Intensywność transpiracji	**	**	*	*	*	ns	ns
Przewodnictwo szparkowe	*	*	*	**	ns	ns	ns
Liczba chwastów	***	***	**	**	*	**	*
Powietrznie sucha masa chwastów	***	**	**	**	*	*	*

* < 0,05, ** < 0,01, *** < 0,001; ns – nieistotny.

Tabela 7. Zachwaszczenie w łanie pszenicy (2017–2020)

Systemy uprawy (CS)	Odmiany (C)	Liczba chwastów (pcs·m^{-2})	Powietrznie sucha masa chwastów (g·m^{-2})
Płużny	Hondia	29,7 ^{b}	17,5 ^{b}
	Hyfi	14,2 ^{c}	8,5 ^{c}
	Mewa	18,3 ^{c}	14,3 ^{b}
Uproszczony	Hondia	55,3 ^{a}	30,6 ^{a}
	Hyfi	27,1 ^{b}	15,3 ^{b}
	Mewa	36,5 ^{b}	27,3 ^{a}
Siew bezpośredni	Hondia	65,3 ^{a}	35,6 ^{a}
	Hyfi	32,0 ^{b}	18,9 ^{b}
	Mewa	59,1 ^{a}	29,6 ^{a}
Płużny		20,7 ^{C}	13,4 ^{B}
Uproszczony		39,6 ^{B}	24,4 ^{A}
Siew bezpośredni		52,1 ^{A}	28,0 ^{A}
	Hondia	50,1 ^{A}	27,9 ^{A}
	Hyfi	24,4 ^{C}	14,2 ^{B}
	Mewa	38,0 ^{B}	23,7 ^{A}
Lata (Y)	2017/2018	48,4 ^{A}	32,1 ^{A}
	2018/2019	41,1 ^{A}	20,5 ^{B}
	2019/2020	23,0 ^{B}	13,5 ^{C}
Średnia		37,5	22,0

Średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie.
a, b, c, d – dla interakcji systemy uprawy × odmiany; A, B, C – dla średnich dla czynników.

Skład gatunkowy chwastów zależał od systemu uprawy roli, odmiany oraz roku badań (tabela 8). W trakcie badań zidentyfikowano 19 gatunków chwastów, z tego 13 jednorocznych i 6 wieloletnich. W warunkach siewu bezpośredniego stwierdzono 19, a w uprawie uproszczonej i płużnej 16 i 13 gatunków chwastów. Najliczniej występowały gatunki krótkotrwałe: *Gallium aparine*, *Veronica persica*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media* oraz wieloletnie: *Cirsium arvense* i *Convolvulus arvensis.* Ponadto w uprawie uproszczonej i siewie bezpośrednim wystąpiło większe zagęszczenie *Viola arvensis* i *Lamium amplexicaule*, a dodatkowo w siewie bezpośrednim *Apera spica-venti*, *Sonchus arvensis* i *Equisetum arvense*. W porównaniu z odmianami Hondia i Mewa w zbiorowisku chwastów odmiany Hyfi nie wystąpiły *Avena fatua*, *Galinsoga parviflora*, *Polygonum aviculare* i *Elymus repens*.

Tabela 8. Skład gatunkowy i liczba (szt.·m^{-2}) chwastów w pszenicy (2017–2020)

Skład gatunkowy	Systemy uprawy			Odmiany			Lata		
	płużny	uproszczony	siew bezpośredni	Hondia	Hyfi	Mewa	2017/2018	2018/2019	2019/2020
Galium aparine Przytulia czepna	4,1	5,8	7,2	6,8	4,4	5,8	7,1	5,7	4,4
Veronica persica Przetacznik perski	2,2	3,7	4,7	5,2	2,4	2,8	5,1	3,5	2,0
Capsella bursa-pastoris Tasznik pospolity	2,5	4,2	4,8	4,9	4,3	2,3	4,0	4,5	2,8
Stellaria media Gwiazdnica pospolita	3,3	4,5	5,3	4,5	3,8	4,9	5,5	4,5	3,2
Cirsium arvense Ostrożeń polny	1,7	4,8	3,9	4,3	2,5	3,8	4,8	3,8	1,8
Convolvulus arvensis Powój polny	1,2	2,9	2,0	4,1	0,1	1,9	3,5	1,5	1,0
Viola arvensis Fiołek polny	0,3	2,8	3,2	3,8	0,5	2,0	2,6	2,3	1,5
Lamium amplexicaule Jasnota różowa	1,8	2,4	2,9	3,5	1,3	2,5	3,8	2,2	1,3
Avena fatua Owies głuchy	0,5	1,8	0,9	2,8	–	0,5	0,5	2,3	0,5
Fallopia convolvulus Rdest powojowy	0,5	1,1	1,8	2,4	0,1	0,9	1,2	1,6	0,6
Apera spica-venti Miotła zbożowa	1,7	–	4,2	2,3	1,1	2,5	4,2	1,7	–
Papaver rhoeas Mak polny	–	0,5	1,5	0,9	0,9	0,2	1,1	0,7	0,4
Galinsoga parviflora Żółtlica drobnokwiatowa	–	0,8	0,4	0,8	–	0,4	0,1	0,6	0,5
Thlaspi arvense Tobołki polne	0,8	1,0	0,4	0,5	0,5	1,0	1,1	0,8	0,3
Polygonum aviculare Rdest ptasi	–	–	1,3	0,8	–	0,5	0,4	0,9	–
Sonchus arvensis Mlecz polny	–	1,4	2,5	0,9	1,0	2,0	0,7	1,5	1,6
Equisetum arvense Skrzyp polny	0,1	0,7	2,2	0,8	0,7	1,5	0,4	1,7	0,8
Taraxacum officinale Mniszek pospolity	–	1,2	1,9	0,5	0,8	1,9	1,8	1,0	0,3
Elymus repens Perz właściwy	–	–	1,0	0,3	–	0,6	0,5	0,3	–
Liczba gatunków Number of species	13	16	19	19	15	19	19	19	16

Tabela 9. Dominujące gatunki chwastów (szt.·m^{-2}) w pszenicy w zależności od systemu uprawy i odmiany (2017–2020)

Gatunki	Płużny			Uproszczony			Siew bezpośredni		
	Hondia	Hyfi	Mewa	Hondia	Hyfi	Mewa	Hondia	Hyfi	Mewa
Galium aparine Przytulia czepna	4,2	2,5	5,7	9,5	3,5	4,3	6,8	7,2	7,5
Veronica persica Przetacznik perski	3,9	0,6	2,0	6,1	1,8	3,1	5,7	4,9	3,4
Capsella bursa-pastoris Tasznik pospolity	3,7	1,9	2,0	5,0	5,1	2,5	5,9	6,0	2,5
Stellaria media Gwiazdnica pospolita	3,5	3,9	2,5	5,5	4,7	3,4	4,4	2,7	8,7
Cirsium arvense Ostrożeń polny	2,5	0,9	1,9	5,7	3,5	5,3	4,6	3,1	4,1
Convolvulus arvensis Powój polny	1,7	0,1	1,5	4,7	0,1	4,0	5,8	0,1	0,1
Viola arvensis Fiołek polny	0,6	0,1	0,3	4,2	1,0	3,3	6,5	0,5	2,5
Lamium amplexicaule Jasnota różowa	2,6	0,9	1,0	3,5	2,0	1,7	4,3	0,5	4,7
Liczba chwastów Number of weeds	22,7	10,9	16,9	44,2	21,7	27,6	44,0	25,0	33,5

W porównaniu z siewem bezpośrednim w uprawie płużnej odmiany Hyfi liczba dominujących gatunków *Galium aparine*, *Capsella bursa-pastoris* i *Cirsium arvense* była około trzykrotnie, a *Veronica persica* ponad ośmiokrotnie niższa (tabela 9). Stopień zachwaszczenia odmian pszenicy *Cirsium arvense* był zbliżony w uprawie płużnej i siewie bezpośrednim, a niższy w uprawie uproszczonej. Większe zagęszczenie *Viola arvensis* i *Lamium amplexicaule* w uprawach bezpłużnych wystąpiło w odmianach Hondia i Mewa. Natomiast *Convolvulus arvensis* odznaczał się znacznie mniejszym występowaniem w warunkach siewu bezpośredniego w odmianie Mewa. Skład gatunkowy chwastów w latach badań nie różnił się zasadniczo, przy czym w pierwszym i drugim sezonie zanotowano 19 gatunków, a w trzecim 16 gatunków chwastów i brak występowania *Apera spica-venti*, *Polygonum aviculare* i *Elymus repens*.

DYSKUSJA

Niektóre badania wielokrotnie wykazały, że plony ziarna pszenicy form jarych i ozimych są często niższe w systemach bezorkowych w porównaniu z uprawą płużną [Sip i in. 2013, Woźniak i Rachoń 2020, Gandia i in. 2021]. Według Amato i in. [2013] decyduje o tym mniejsza dostępność azotu dla roślin, ponieważ wymagania nawozowe pszenicy dotyczące azotu są wyższe w systemach bezorkowych niż w systemie płużnym. Prowadzone badania wykazały wzrost plonu ziarna w uprawie uproszczonej i płużnej w porównaniu z siewem bezpośrednim w zakresie od 4,6% do 7,4%, a brak różnic w uprawie płużnej i uproszczonej. Znaczenie sposobów uprawy roli w kształtowaniu plonów pszenicy może wynikać z interakcji z genotypem odmiany i jego wpływem na wartości takich wskaźników łanu, jak LAI i SPAD [Weber 2011]. W badaniach własnych odmiana Hyfi w odniesieniu do pozostałych odmian odznaczała się lepszymi parametrami LAI i SPAD oraz zbliżonym poziomem plonowania w uprawie płużnej i uproszczonej niż w warunkach siewu bezpośredniego. Lepiarczyk i in. [2005] wykazali w uprawie płużnej, w porównaniu z uprawą uproszczoną, korzystniejszy rozwój aparatu asymilacyjnego LAI w fazie kłoszenia pszenicy, co

bezpośrednio przekładało się na wyższe plonowanie tego gatunku. Kulig i in [2010] nie stwierdzili istotnej korelacji między wartościami SPAD a plonem ziarna pszenicy, jednak w latach badań prowadzonych przez Autorów uzyskano wyższe wartości wskaźnika SPAD w systemie płużnym w porównaniu z systemem uproszczonym. Według Schiller i in. [2017] pszenica w uprawie płużnej wykształciła wyższe rośliny niż w systemie siewu bezpośredniego. W badaniach własnych zarówno uprawa płużna, jak i siew bezpośredni sprzyjały wyższym roślinom o wzrastającym poziomie wskaźnika MTA, szczególnie w przypadku odmiany Hondia. Większy kąt nachylenia liści (MTA) pszenicy zwiększa ich ekspozycję na światło, co może poprawić wykorzystanie energii świetlnej i ma kluczowe znaczenie dla fotosyntezy [Zang i in. 2023]. Dlatego przy prognozowaniu plonu ziarna różnych odmian pszenicy w sezonach wegetacyjnych o zróżnicowanej ilości opadów konieczne jest uwzględnienie zmiennych parametrów fotosyntezy [Zang i in. 2010]. Uprawa płużna sprzyjała bardziej efektywnej wymianie gazowej, o czym świadczą wyższe wartości fotosyntezy netto (Pn) i przewodnictwa szparkowego (Gs). Intensywność transpiracji (E) nie zależała od systemu uprawy. Wyższą intensywność fotosyntezy (Pn) u odmian w uprawie płużnej można powiązać z lepszym napowietrzeniem gleby, co wpływa na mineralizację materii organicznej i korzystniejszą dostępność azotu [Noor i in. 2023, Różewicz i in. 2024]. Natomiast niższe wartości Pn i Gs u analizowanych odmian, głównie w siewie bezpośrednim, mogą być skutkiem niedoboru azotu, ograniczającego rozwój pszenicy oraz efektywność fotosyntezy [Jia i in. 2015]. Uproszczenia w uprawie roli sprzyjają rozwojowi chwastów odpornych, ponieważ resztki pożniwne i nasiona chwastów pozostają na powierzchni gleby. Brak odwracania gleby sprawia, że nasiona chwastów znajdują idealne warunki do wschodów, co zwiększa presję na stosowanie herbicydów i przyspiesza selekcję biotypów odpornych [Feledyn-Szewczyk i in. 2020, Gandia i in. 2021]. W prowadzonych badaniach wyższe zachwaszczenie odmian pszenicy notowano w uprawach bezpłużnych, a szczególnie w warunkach siewu bezpośredniego [Woźniak i Soroka 2018]. Brak mieszania gleby po wykonaniu siewu bezpośredniego, przyczynia się do wzrostu ilości nasion chwastów w wierzchniej warstwie gleby, a spulchnianie roli w uprawie uproszczonej pobudza ich kiełkowanie [Weber i Hryńczuk 2005]. Niektóre badania wskazują jednak na większą liczbę chwastów w systemie płużnym [Bilalis i in. 2001] lub uproszczonym [Feledyn-Szewczyk i in. 2020] niż w systemie bezorkowym.

Zgodnie z oczekiwaniami w warunkach siewu bezpośredniego dominowały gatunki *Galium aparine*, *Veronica persica*, *Capsella bursa-pastoris* i *Lamium amplexicaule*, ponieważ mają małe lub średnie nasiona, które kiełkują na powierzchni gleby [Sans i in. 2011]. W uprawie płużnej w zbiorowisku chwastów występowały w mniejszym nasileniu gatunki wieloletnie *Cirsium arvense* i *Convolvulus arvensis* oraz nie obserwowano *Sonchus arvensis*. Według Gandia i in. [2021] dynamika chwastów dominujących na polu może się zmieniać w zależności od systemu uprawy, co szczególnie jest widoczne na obszarach suchych lub o niskich i nieregularnych opadach w okresie wegetacji. Wu i in. [2021] podają, że najbardziej konkurencyjne w stosunku do chwastów odmiany pszenicy to te, które posiadają dobrze rozwiniety system korzeniowy, większą powierzchnię liści, rosną najszybciej we wczesnej fazie wzrostu, nawet jeśli nie są najwyższe w fazie dojrzałości. Odmiana hybrydowa Hyfi, pomimo mniejszej ilości wysiewu intensywniej wchodziła w fazę krzewienia i w większym stopniu ograniczała ilość i masę chwastów niż pozostałe odmiany. Badania Milan i in. [2020] dowiodły, iż mimo bardziej zróżnicowanego poziomu zachwaszczenia i niższej normy siewu odmiana hybrydowa uzyskała podobny plon ziarna do odmiany populacyjnej nawet w latach opóźnionych siewów lub w warunkach suchej pogody. W badaniach własnych korzystniejszy plon ziarna oraz niższe parametry zachwaszczenia odmian pszenicy obserwowano w sezonie 2019/2020, kiedy niższa wilgotność gleby powodowała mniejszą konkurencję chwastów, co wpływało na wyższą stabilność plonowania pszenicy. Zdaniem De Vita i in. [2007] istnieje ścisła korelacja ujemna pomiędzy plonem ziarna pszenicy a sumą opadów w sezonie wegetacyjnym. Według Aula i in. [2023] w systemach uprawy roli czynniki środowiskowe, takie jak opady i temperatura w całym sezonie wegetacyjnym, mogą mieć większy wpływ na plony ziarna i zachwaszczenie pszenicy niż uprawa roli.

PODSUMOWANIE

Systemy uprawy płużnej i uproszczonej w porównaniu z siewem bezpośrednim powodowały istotny wzrost plonu ziarna, przy czym poziom plonowania w uprawie płużnej i uproszczonej był podobny. Odmiana Hyfi uzyskała korzystny plon ziarna we wszystkich systemach uprawy, a Mewa w uprawie płużnej i uproszczonej. Zastosowanie uprawy płużnej skutkowało zwiększeniem parametrów wzrostu LAI, SPAD i wyższymi wskaźnikami wymiany gazowej Pn i Gs, a jednocześnie zmniejszeniem kąta nachylenia liści (MTA). Odmiany Hondia i Mewa uzyskały najniższy plon ziarna, głównie w siewie bezpośrednim, gdzie wykazano obniżenie wartości LAI i SPAD oraz przewodnictwa szparkowego (Gs). Nie stwierdzono wpływu systemów uprawy roli na intensywność transpiracji (E), a uprawa płużna sprzyjała wyższej intensywności fotosyntezy (Pn) u wszystkich odmian.

W warunkach środowiskowych południowo-wschodniej Polski, ze względu na wyższy plon ziarna, lepsze parametry wzrostu oraz wyższą konkurencyjność do gatunków chwastów dominujących można zalecać do wszystkich systemów uprawy roli odmianę Hyfi, a w uprawie płużnej i uproszczonej odmianę Mewa. W przypadku uprawy odmiany Hondia zwłaszcza w warunkach siewu bezpośredniego poziom plonowania może być obniżony wskutek pogorszenia parametrów wzrostu i zwiększenia zachwaszczenia.

PIŚMIENNICTWO

Amato G., Ruisi P., Frenda A.S. i in., 2013. Long-term tillage and crop sequence effects on wheat grain yield and quality. Agron. J. 10(5), 1317–1327. https://doi.org/10.2134/agronj2013.0019

Anjum M.M., Arif M., Riaz M. I in., 2021. Performance of hybrid wheat cultivars facing deficit irrigation under semi-arid climate in Pakistan. Agronomy 11(10), 1976. https://doi.org/10.3390/ agronomy11101976

Aula L., Mikha M.M., Easterly C.A. i in., 2023. Winter wheat grain yield stability under different tillage practices. Agron. J. 115(2), 1006-1014. https://doi.org/10.1002/agj 2.21236

Bilalis D., Efthimiadis P., Sidiras N., 2001. Effect of three tillage systems on weed flora in a 3-year rotation with four crops. J. Agron. Crop Sci. 186, 135–141. https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2001.00458.x

Cantero-Martinez C., Angas P., Lampurlanes J., 2007. Long-term yield and water use efficiency under various tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. Ann. Appl. Biol. 150(3), 293–305. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00142.x

Chouter A., Benniou R., Sebbane M. i in., 2024. Effect of tillage systems on durum wheat production with different rotations in semiarid area of Algeria. Agric. Sci. Dig. 44(1), 53–57. https://doi.org/10.18805/ag.DF-438

De Vita P., Di Paolo E., Fecondo G., Di Fonzo N., Pisante M., 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. Soil Tillage Res. 92, 69–78. https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.012

Feledyn-Szewczyk B., Smagacz J., Kwiatkowski C.A. i in., 2020. Weed flora and soil seed bank composition as affected by tillage system in three-year crop rotation. Agriculture 10(5) 186. https://doi.org/10.3390/agriculture10050186

Gandia L.M., Del Monte P.J., Tenorio L.J. i in., 2021. The influence of rainfall and tillage on wheat yield parameters and weed population in monoculture versus rotation systems. Sci. Rep. 11, 22138. https://doi.org/10.1038/s41598-021-00934-y.

Gawęda D., Haliniarz M., 2021. Grain yield and quality of winter wheat depending on previous crop and tillage system. Agriculture 11, 133. https://doi.org/10.3390/ agriculture11020133

Huang G., Chai Q., Feng F. i in., 2012. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in arid northwest China. J. Integr. Agric. 11(8), 1286–1296. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60125-7

Jaskulski D., Jaskulska I., Różniak E. i in., 2023. Cultivation of crops in strip-till technology and micro granulated fertilisers containing a gelling agent as a farming response to climate change. Agriculture 13(10)), 1981. https://doi.org/10.3390/agriculture 13101981

Jia S., Lv J., Jiang S. i in., 2015. Response of wheat ear photosynthesis and photosynthate carbon distribution to water deficit. Photosynthetica 53, 95–109. https://doi.org/10.1007/s11099-015-0087-4

Kulig B., Lepiarczyk A., Oleksy A. i in., 2010. The effect of tillage system and forecrop on the yield and values of LAI and SPAD indices of spring wheat. Eur. J. Agron. 33(1), 43–51. https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.02.005

Lepiarczyk A., Kulig B., Stępnik K., 2005. Wpływ uproszczonej uprawy roli i przedplonu na plonowanie oraz kształtowanie LAI wybranych odmian pszenicy ozimej w płodozmianie zbożowym. Fragm. Agron. 2(86), 98–105.

Lotfi R., Pessarakli M., 2023. Effects of crop rotation and tillage on winter wheat growth and yield under cold dryland conditions. Crops 3(2), 88–100. https://doi.org/10.3390/crops 3020009

Milan M., Fogliatto S., Blandino M. i in., 2020. Are wheat hybrids more affected by weed competition than conventional cultivars?. Agronomy 10(4), 526. https://doi.org/10.3390/agronomy10040526

Noor H., Yan Z., Sun P. i in., 2023. Effects of nitrogen on photosynthetic productivity and yield quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). Agronomy 13(6), 1448. https://doi.org/10.3390/agronomy13061448

Pardo G., Cirujeda A., Perea F. i in., 2019. Effects of reduced and conventional tillage on weed communities: Results of a long-term experiment in Southwestern Spain. Planta Daninha 37. https://doi.org/10.1590/s0100-83582 019370100152
Różewicz M., Grabiński J., Wyzińska M., 2024. Effect of strip-till and cultivar on photosynthetic parameters and grain yield of winter wheat. Int. Agrophys. 38, 279–291. https://doi.org/10.31545/intagr/188352
Sans F.X., Berner A., Armengot L. i in., 2011. Tillage effects on weed communities in an organic winter wheat-sunflower-spelt cropping sequence. Weed Res. 51(4), 413–421. https:// doi.org/10.1111/j.1365-3180.2011.00859.x
Schiller M., Stankowski S., Podsiadło C. i in., 2017. Rating long-term use of simplifications in tillage and previous crop on biometric features, physiological and yield of winter wheat cultivar Kobra Plus. Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin. Agric. Aliment. Pisc. Zootech. 332(41)1, 53–62. https://doi.org10.21005/AAPZ2017.41.1.06
Sip V., Vavera R., Chrpova J. i in., 2013. Winter wheat yield and quality related to tillage practice, input level and environmental conditions. Soil Tillage Res. 132, 77–85. https://doi. org/ 10. 1016/j. still. 2013. 05. 002
Skowera B., Jędrszczyk E., Kopcińska J. i in., 2014. The effects of hydrothermal conditions during vegetation period on fruit quality of processing tomatoes. Polish J. Environ. Stud. 23, 195–202.
Weber R., 2011. Wpływ wysokości ścierniska przedplonu i sposobu uprawy roli na plonowanie kilku odmian pszenicy ozimej. Probl. Inż. Rol. 1, 31–39.
Weber R., Hryńczuk B., 2005. Wpływ sposobu uprawy roli i przedplonu na zachwaszczenie pszenicy ozimej. Annales UMCS. Sec. E. 60, 93–102.
Woźniak A., Rachoń L., 2020. Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties. Agriculture 10(9), 405. https://doi.org/10.3390/ agriculture10090405
Woźniak A., Soroka M., 2018. Effect of crop rotation and tillage system on the weed infestation and yield of spring wheat and on soil properties. Appl. Ecol. Environ. Res. 16(3), 3087–3096. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1603_30873096
Wu Y., Xi N., Weiner J., Zhang D.Y., 2021. Differences in weed suppression between two modern and two old wheat cultivars at different sowing densities. Agronomy 11(2), 253. https://doi.org/10.3390/agronomy11020253
Zhang F., Zhang D., Li L. i in., 2023. Effect of planting density on canopy structure, microenvironment, and yields of uniformly sown winter wheat. Agronomy 13(3), 870. https://doi.org/10.3390/agronomy13030870
Zhang X., Chen S., Sun H. i in., 2010.Water use efficiency and associated traits in winter wheat cultivars in the North China Plain. Agric. Water Manage. 97(8), 1010, 1117–1125. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.003

Źródło finansowania: Badania finansowano w ramach dotacji na utrzymanie potencjału badawczego MNiSW.

Wkład autorów w powstawanie pracy: J.B. – opracowanie koncepcji i założeń, opracowanie metod, przeprowadzenie badań, opracowanie wyników, obliczenia statystyczne, pisanie artykułu; D.G. – opracowanie wyników, obliczenia statystyczne, pisanie artykułu; B.M.-K. – opracowanie wyników, obliczenia statystyczne, pisanie artykułu.

Abstract. The aim of the study was to compare the yield, growth parameters, gas exchange, and weed infestation of genotypically diverse winter wheat cultivars grown in three tillage systems. Compared to direct drilling, plough and reduced tillage resulted in increased grain yield, leaf area index (LAI), stomatal conductance (Gs), and reduced leaf angle (MTA). The Hyfi cultivar demonstrated better LAI, chlorophyll content (SPAD), and Gs parameters, and similar yield levels in both plough and reduced tillage. Direct drilling resulted in lower LAI, SPAD, and Gs, and the lowest grain yield in the Hondia and Mewa cultivars. The tillage systems did not differ in transpiration intensity (E), while plough tillage promoted higher photosynthesis intensity (Pn) in all cultivars. Direct drilling and reduced tillage, followed by plough tillage, influenced the increase in weed infestation. The Hyfi cultivar was more competitive with the dominant weed species *Galium aparine*, *Capsella bursa-pastoris*, *Cirsium arvense*, and *Veronica persica* than Mewa and Hondia. Variable hydrothermal conditions during the study years influenced quantitative changes in weed infestation parameters, but did not differentiate weed species composition.

Keywords: soil cultivation, yield, growth parameters, weed infestation cultivar, winter wheat

Otrzymano/Received: 5.03.2026
Zaakceptowano/Accepted: 21.05.2026
Opublikowano/Published: 3.07.2026

Cytowanie: Buczek J., Gawęda D., Michalska-Klimczak B., 2026. Ocena produkcyjności i zachwaszczenia wybranych genotypów pszenicy ozimej w systemach uprawy roli. Agron. Sci. 81(2), 59–70. https://doi.org/10.24326/as.2026.5674