

The effect of biostimulators on the yield and quality of potato tubers grown in drought and high temperature conditions

Wpływ biostymulatorów na plon i jakość bulw ziemniaka uprawianego w warunkach suszy i wysokiej temperatury

Cezary Trawczyński

Zakład Agronomii Ziemniaka, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Jadwisinie,
✉ c.trawczynski@ihar.edu.pl

In the years 2018 – 2019, field trials were carried out on light soil on the effect of foliar fertilization of potato plants with biostimulators: Krzemian (silicon preparation), Naturamin Plus and Naturamin WSP (amino acid preparations) with regard to the yield and quality of potato tubers. Each year, two foliar fertilization treatments were carried in BBCH 19 and 39 phases - Naturamin Plus and Naturamin WSP preparations, and 39 and 70 – silicate preparation. The control was without foliar fertilization, water being used instead. The soil was amended each year by incorporating through ploughing, straw from winter triticale and green intercrop from white mustard, while mineral fertilization was applied in the following doses: 100 kg·ha⁻¹ N, 26.2 kg·ha⁻¹ P and 99.6 kg·ha⁻¹ K. Under the influence of the preparations used in the studies, a similar increase in tuber yield was obtained, higher by 17.3% compared to the control. A greater increase in tuber yield under the influence of preparations was obtained in the year of 2018, with less rainfall deficiency and higher air temperature than in the year of 2019. Under the influence of the preparations used, a significant increase in the content of starch, dry matter and vitamin C in tubers was obtained, but the preparation of Krzemian caused a decrease in the level of nitrates (V) in tubers, compared to the control.

Key words: biostimulators, quality of tubers, yield, weather conditions, potato

W latach 2018 – 2019 przeprowadzono na glebie lekkiej badania polowe nad określeniem wpływu dolistnego dokarmiania roślin ziemniaka biostymulatorami: Krzemian (preparat krzemowy), Naturamin Plus i Naturamin WSP (preparaty aminokwasowe) na plon i jakość bulw ziemniaka. W każdym roku wykonywano dwa zabiegi dolistnego dokarmiania w fazach BBCH 19 i 39 (preparatami Naturamin Plus i Naturamin WSP) oraz 39 i 70 (preparatem Krzemian). Kontrolę stanowił obiekt bez dolistnego dokarmiania i stosowania wody. Nawożenie organiczne stanowiły przyorywane każdego roku: słoma z pszenżyta ozimego i zielona masa międzyplonu z gorczycy białej. Nawożenie mineralne stosowano w dawkach: 100 kg·ha⁻¹ N, 26,2 kg·ha⁻¹ P i 99,6 kg·ha⁻¹ K. Pod wpływem zastosowanych preparatów uzyskano w badaniach zbliżony przyrost plonu bulw, większy o 17,3% w porównaniu do kontroli. Większy przyrost plonu bulw pod wpływem preparatów uzyskano w 2018 roku, o mniejszym niedoborze opadów i wyższej temperaturze powietrza, niż w 2019 roku. Pod wpływem zastosowanych preparatów uzyskano istotny wzrost zawartości skrobi, suchej masy i witaminy C w bulwach, a preparat Krzemian spowodował obniżenie poziomu azotanów (V) w bulwach w porównaniu do obiektu kontrolnego.

Słowa kluczowe: biostymulatory, jakość bulw, plon, warunki pogodowe, ziemniak

Introduction

Prevention of the negative effects of weather on the growth of plants and activation of natural defence mechanisms stimulating plant growth and development should be the foundation of prophylactic measures in modern environmentally-friendly potato production technologies (Rykaczewska 2013, Sharma et al. 2014). One way to improve the health of plants grown under unfavourable weather conditions, and thus to obtain a sufficiently high tuber yield and quality, may be foliar feeding of plants with products containing bioactive compounds and quickly

assimilable forms of nutrients (Erlichowski and Pawińska 2003, Trawczyński 2013, Wierzbowska et al. 2015). For this reason, biostimulants are attracting the increasing interest of farmers growing various crops, including potatoes. Because of origin and various production technologies, biostimulants were recently categorised into several classes (Du Jardin 2015). Due to the technological diversity and the presence of various bioactive elements and substances in their composition, these products may elicit different effects on individual plants species. This means that their effect may be positive in some

species, but not in others, which may result from the sensitivity of plants to specific bioactive molecules (Ertani et al. 2011). Therefore, the increasingly wider range of biostimulants emerging on the market prompted us to evaluate them, especially those with declared specific and comprehensive activity or containing elements with undefined properties. One category of these products comprises protein hydrolysate-based biostimulants (Colla et al. 2015). They can stimulate the growth of the above-ground organs and the root system, the synthesis of chlorophyll, the uptake of nutrients from the soil or the metabolism of basic elements (Popko et al. 2018). Among the elements, the biostimulating effect on various species of crops was demonstrated for certain forms of silicon (Mitani and Ma 2005, Raven 2003). In soil, silicon exists in the form of non-assimilable silica, but when applied on plants in a liquid formulation, e.g. orthosilicic acid, it can impregnate the external epidermal cells, strengthen cell walls, and increase their rigidity and resistance to physical damage (Sommer et al. 2006). A thicker cuticle saturated with silicon may reduce the loss of water and make plants less affected by fungal diseases and pests (Fauteuxi et al. 2005, Romero-Aranda et al. 2006, Sacała 2009). Previous studies have confirmed the beneficial effect of different silicon products on the yield and quality of dicotyledons, including root crops (Artyszak et al. 2016) and vegetables (Górecki and Danielski-Busch 2009, Stamatakis et al. 2003, Ugrinović et al. 2011), which prompted us to conduct relevant research on potatoes. Additionally, in reference to the above arguments, the strong correlation between the yield and quality of potato tubers and weather conditions stimulated the need for specific studies, especially in crops grown under extreme weather conditions.

Therefore, the aim of our research was to assess the effect of amino acid biostimulants and silicon on the yield and quality of potato tubers grown in drought and high temperatures.

Material and Methods

The field research was carried out in 2018-2019

at the IHAR-PIB department in Jadwisin (52°45' N, 21°63' E) on clay-illuvial soil, luvisol type, stagnic luvisol subtype (Marcinek et al. 2011). The soil was acidic, with a high content of available phosphorus, moderate content of potassium, manganese, zinc, copper and boron, and low content of magnesium (Table 1).

The experiment was established in a random block system in three replicates. The size of a single plot was 18.6 m². The following biostimulating products were used in the study: Krzemian, containing silicon and microelements, and Naturamin Plus and Naturamin WSP, containing amino acids from protein-rich plants. Amino acid biostimulants (Naturamin Plus and Naturamin WSP) were applied on potato plants at stage BBCH 19 (9 or more leaves of main stem unfolded) and BBCH 39 (crop cover complete: about 90% of plants meet between rows), and Krzemian was applied at stages BBCH 39 and 70 (flowering complete, first berries visible). The combination of treatments was as follows: 1. Control plot – no foliar feeding and watering, 2. Krzemian – 0.8 l·ha⁻¹, 3. Naturamin Plus – 1.5 l·ha⁻¹, 4. Naturamin WSP – 0.5 kg·ha⁻¹.

Composition of products used in the experiment:

Krzemian – Si(OH)₄ – 2.5%; Cu – 1.0%; Zn – 0.6%; B – 0.3%; Mo – 0.2%

Naturamin Plus – free amino acids – 32%; N – 6%; Fe – 1%; Mn – 0.6%; Zn – 0.2%; B – 0.1%; Cu – 0.1%; Mo – 0.047%

Naturamin WSP – free amino acids – 80%; N – 12.8%.

Biostimulants for each treatment were dissolved in 300 l·ha⁻¹ water.

Weather conditions during the growing season were assessed based on the sum of rainfall and mean air temperatures, and compared to multiannual sums of rainfall and mean air temperatures. In 2018, all months of vegetation were characterized by rainfall below the multiannual sum, and air temperature was significantly higher than the multiannual mean. The total rainfall for the entire growing season in 2018 was 79.2 mm lower, and the mean air temperature was 3.5°C higher than the corresponding

Tabela 1
Table 1

Właściwości chemiczne gleby przed założeniem doświadczenia
Soil chemical properties before planting of experiment

Lata Years	C organiczny % C organic %	pH w KCl pH in KCl	Zawartość mg·kg ⁻¹ / Content mg·kg ⁻¹						
			P	K	Mg	Mn	Cu	Zn	B
2018	0,88	5,4	84	104	26	118	4,0	4,3	1,32
2019	0,66	5,2	75	100	22	91	5,2	4,9	0,94

multiannual mean values. Based on the weather conditions, 2018 was defined as a dry and very warm year. On the other hand, in 2019, in the main months of the growing season, the shortage of rainfall was greater than in 2018 and the air temperature was higher than the multiannual mean value. The deficit of rainfall for the entire growing season in 2019 was 135.6 mm, and the air temperature was 2.3°C higher than the multiannual mean. Therefore, 2019 was defined as a very dry and warm year (Table 2).

Soil was amended by ploughing in shredded winter triticale straw (about 5 t·ha⁻¹ with the addition of 1 kg N per 100 kg of straw) after harvest, and green biomass from white mustard stubble intercrop (15–16 t·ha⁻¹) in autumn. Mineral fertilization with phosphorus (fortified superphosphate 17.4% P) and potassium (potassium salt 49.8%-K) relevant to the content of available forms of these components in the soil was applied in early spring before the start of cultivation at a dose of 26.2 kg P·ha⁻¹ and 99.6 kg K·ha⁻¹. Mineral fertilization with nitrogen (calcium ammonium nitrate-27% N) was applied at a dose of 100 kg N·ha⁻¹ in the spring before planting tubers.

Weeds were destroyed twice by using a hiller before the emergence of potato plants. Directly before emergence, after the last hilling, Linurex 500 SC was applied at a dose of 2 l·ha⁻¹ (in 2018) and Proman 500 SC at a dose of 4 l·ha⁻¹ (in 2019), and after the emergence of plants in both years Titus 23 WG at a dose of 60 g·ha⁻¹. During the growing season, plants were treated against potato blight: three times in 2018 and two times in 2019. Treatments against the Colorado beetle were also used: four times in 2018, and five times in 2019.

Potatoes (Oberon cultivar) were planted by hand in the last ten days of April, spaced 75 x 33 cm, and harvested in the last ten days of September.

There were 75 plants per plot. During harvest, the total yield of tubers from each plot was estimated and two 5-kilogram samples were taken to assess the yield structure, and the weight of tuber fractions with a diameter of: less than 35 mm, 36 – 50 mm, 51 – 60 mm and more than 60 mm (Regulation 2003), the share of tubers with defective appearance in the yield (deformed, with greenings, infected with common scab), and the chemical composition of tubers was analysed for the content of starch, nitrates, vitamin C and dry matter. The starch content was determined by the Evers method (starch hydrolysis in a boiling water bath, followed by the precipitation of protein with phosphotungstic acid) using an automatic Polamat S polarimeter. Nitrates NO₃ (V) were determined by the Griess method (with a mixture of zinc and manganese to reduce nitrates to nitrites) and the content was measured using a RQ Flex Merck reflectometer. Vitamin C content was determined as the sum of L-ascorbic and dehydroascorbic acids by Tillman's method and titration with a solution of 2,6-dichlorophenolindophenol. The content of dry matter was determined using a 2-stage drying method, at temperatures of 60 and 105°C.

Results from tests were statistically processed using the analysis of variance. Means were compared using Tukey's test at a significance level of p=0.05. In order to determine the sources of variance of the studied parameters in the total variance, the variance components were estimated using ANOVA software. Variance components were analysed to assess the effect of biostimulants and the study years, as well as their interaction on the variance of yield and quality characteristics of potato tubers.

Results and Discussion

Tabela 2
Table 2

Warunki pogodowe w latach badań na podstawie stacji meteorologicznej w Jadwisinie

Weather conditions in the investigation years on the base meteorological station in Jadwisin

Year Rok	Miesiąc / Month						Suma / Średnia Sum / Mean
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Suma opadów (mm) / Sum of rainfalls (mm)							
2018	21,7	43,4	41,0	75,2	60,6	30,9	272,8
2019	1,7	76,6	6,9	33,4	37,0	60,8	216,4
1967-2017	37,0	57,0	75,0	76,0	61,0	48,0	352,0
Średnia temperatura powietrza (°C) / Mean air temperature (°C)							
2018	13,2	17,6	19,1	21,2	20,8	15,8	18,0
2019	10,2	13,4	22,7	18,8	20,8	14,7	16,8
1967-2017	7,9	13,7	16,6	18,5	17,9	13,2	14,5

The study revealed significant differences in tuber yield between plants treated with biostimulants and control plants (not treated with foliar fertilizer) and between years (Table 3). Regardless of the years analysed, there was an increase in the yield of tubers after treatment: 19% for Naturamin WSP, 16.9% for Krzemian, and 15.9% for Naturamin Plus, compared to the control plot. Our earlier study showed an increase in tuber yield (13.8% on average in the study years) in plants treated with Tecamin, an amino acid biostimulant (Trawczyński 2014). Other researchers also reported a positive, but much more variable (3 to 36%) effect on the yield of potato tubers after treatment with biostimulants containing amino acids obtained from various sources (Matysiak and Adamczewski 2010, Mystkowska 2017 and 2018, Prajapati et al. 2016, Röder et al. 2018, Sarhan 2011). Considering the effect of silicon, our previous study showed a 9% increase in tuber yield associated with the foliar application of marine calcite, Herbagreen Basic, containing 7.99% of Si (Trawczyński 2013). With regard to sugar beet, treatment with Herbagreen Basic was associated with a mean 21% increase in the root yield compared to the control plants (Artyszak et al.

2016). In a Dutch study, foliar application of silicic acid increased tuber yield by 6.5% compared to the control plot (Laane 2017). Crusciola et al. (2009) reported that potatoes grown during drought and treated with calcium and magnesium silicate produced 11.4% higher tuber yield compared to control plants. Ryakhovskaya et al. (2016) tested the effects of different silicon products (liquid, gel and powder) and found a 10.7 to 20.3% increase in tuber yield compared to the control plants. In a study by Wróbel (2012) treatment with the foliar silicon product Actisil did not increase the yield of potato tubers in relation to the control plants. The analysis of variance components revealed that differences in the tuber yield were mainly associated with weather conditions in the study years (91.6%), while the treatment with a biostimulant accounted only for 8.1% of variance. Similar findings with respect to tuber yield were reported by Sawicka et al. (2011). Regardless of the treatment with foliar fertilizer, a significantly higher yield of potato tubers was obtained in 2018, which was a dry and very hot year, compared to 2019, which was very dry and less hot. The difference in tuber yield between the two years was 22.9%. This indicated

Tabela 3
Table 3

Wpływ dolistnego dokarmiania na plon bulw ($t \cdot ha^{-1}$) i strukturę plonu (%)
The effect of foliar fertilization on yield of tubers ($t \cdot ha^{-1}$) and yield of structure (%)

Obiekt i lata Object and years	Plon bulw Yield of tubers	Udział frakcji bulw (mm) Share of tubers fraction (mm)			
		<35	36-50	51-60	>60
Obiekt kontrolny*	41,5 b	1 b	28 a	31 a	40 a
Krzemian	48,5 a	2 a	25 a	30 a	43 a
Naturamin Plus	48,1 a	1 b	27 a	31 a	41 a
Naturamin WSP	49,4 a	1 b	26 a	29 a	44 a
2018	52,9 a	1 b	29 a	36 a	34 b
2019	40,8 b	2 a	23 b	25 b	50 a
Obiekt kontrolny*/2018	46,6 b	1 b	29 a	36 ab	34 a
Krzemian/2018	54,8 a	2 a	29 a	33 b	36 a
Naturamin Plus/2018	54,5 a	1 b	30 a	38 a	31 a
Naturamin WSP/2018	55,8 a	1 b	27 a	37 a	35 a
Obiekt kontrolny*/2019	36,4 b	2 b	26 a	25 ab	47 b
Krzemian/2019	42,2 a	1 c	21 b	28 a	50 ba
Naturamin Plus/2019	41,6 a	3 a	22 b	25 ab	50 ba
Naturamin WSP/2019	43,1 a	3 a	22 b	21 b	54 a
Udział w wariancji całkowitej/ Share in total variance (%)					
Preparat/Formuła (1)	8,1	1,4	4,2	0,7	1,4
Lata/Years (2)	91,6	70,2	91,0	95,8	97,5
(1x2)	0,3	28,4	4,8	3,5	1,1

*Control object; Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie / Means with the same letter do not differ significantly.

that rainfall had a greater impact on the potato yield than air temperature during the growing season, which was also reported by Mystkowska (2018). Generally, a more favourable effect of foliar feeding with the tested biostimulants was achieved in the hot year, but with a lower rainfall deficit, which was reflected in an increase from 1.7 to 2.6% compared to the year with a greater shortage of rainfall and less hot weather. In general, more positive effects of biostimulants on the yield were observed in the years with unfavourable weather during the growing season, mainly caused by the excess or deficiency of rainfall and air temperature higher than the multiannual mean (Artyszak et al. 2014, Mystkowska 2018, Trawczyński 2013 and 2014). Wierzbowska et al. (2015) showed that in years with excess rainfall and high air temperature, the tuber yield in plants treated with foliar biostimulants increased on average by 20% compared to the control plot. Similarly, Cwalina-Ambroziak et al. (2015) demonstrated a positive effect of biostimulants on the yield of tubers in potatoes at risk of potato blight resulting from very wet weather.

Differences in the shares of tuber fractions were less marked than differences in the yield of tubers. Regardless of the year studied, foliar feeding with biostimulants was associated with a decrease in the share of the fraction of tubers with a diameter of 36-50 mm and an increase in the share of large tubers, with a diameter of more than 60 mm (Table 3). The analysis of interaction revealed that only in the second year of the study significantly fewer tubers size 36-50 mm were obtained from plants treated with biostimulants compared to the control plants, and significantly more large tubers with a diameter greater than 60 mm were obtained from plants treated with Naturamin WSP. However, significant differences in all tuber size fractions were found between the study years. In the first year of the study, when the rainfall deficit was lower, significantly more tubers size 36–50 mm and 51–60 mm were harvested, while in the year with a greater deficit of rainfall, there was a greater share of large tubers with a diameter larger than 60 mm. This was probably associated with a smaller number of tubers formed in a very dry year and thus the formed tubers grew to a larger size. Previous studies revealed a positive effect of foliar feeding with a silicon biostimulant on the structure of tuber yield, mainly by a significant reduction in the share of small tubers with a diameter of less than 30 mm (Wróbel 2012). On the other hand, Głosek-Sobieraj et al. (2017) reported that treatment with foliar biostimulants was associated with an increased share of

36–50 mm tubers in the yield structure, while Baranowska et al. (2019) reported an increase in the share of tubers larger than 50 mm. In our research, weather conditions in the study years also had the greatest impact on the yield structure, since weather accounted for 70.2% of total variability for small tubers with a diameter below 35 mm, and 97.5% of total variability for tubers larger than 60 mm. Use of biostimulants as a variance component had the strongest effect on the share of tubers with a diameter of 36-50 mm, and the interaction between a biostimulant and study years on tubers smaller than 35 mm.

Considering the analysed defects of tuber appearance, treatment with biostimulants was associated only with significant differences in the share of deformed tubers (Table 4). On average in both years, treatment with Naturamin WSP was associated with the significantly lowest share of deformed tubers in the yield and a greater reduction in all defects compared to other plots. A decreasing trend was found in our previous study for the share of tubers deformed and with greening in plants treated with amino acid biostimulants (Trawczyński 2014). Analysis of the effects of biostimulants in individual years revealed a decrease in the sum of tuber defects during the dry year and an increase during the very dry year compared to the control plot. Regardless of the biostimulants used, the number of tubers with greenings was significantly higher in the dry year, while in the very dry year there were significantly more tubers infected with common scab. The greater share of tubers with greenings could be attributed to the greater weight of tuber yield in 2018, and the greater share of tubers infected with common scab could be attributed to a very large shortage of rainfall during the tuberization period (June) in 2019. The analysis demonstrated that the weather conditions in the years had the strongest effect on tuber greening and infestation with common scab (92 and 98.9% share in total variance, respectively), while interaction between years and used biostimulants had the strongest effect on the share of deformed tubers and the sum of defects in the yield. A similar strong effect of weather conditions on the share of tubers with defective appearance, including deformed ones, was shown in the study by Lutomska and Jankowska (2012).

The chemical analysis of tubers revealed significant differences in all components between plants treated with biostimulants and control plants (Table 5). On average, in the study years the content of starch in tubers was significantly higher in plants treated with Naturamin Plus and Krzemian

Wpływ dolistnego dokarmiania na udział w plonie bulw z wadami wyglądu (%)

The effect of foliar fertilization on share in yield of tubers with defects (%)

Obiekt Object	Zdeformowane Deformations	Zazielenione Greenings	Parch zwykły Common scab	Suma wad Sum of defects
Obiekt kontrolny*	9,1 ba	3,0 a	2,5 a	14,6 a
Krzemian	10,2 a	3,0 a	2,4 a	15,6 a
Naturamin Plus	9,1 ba	3,6 a	2,4 a	15,1 a
Naturamin WSP	8,5 b	3,5 a	2,4 a	14,4 a
2018	8,9 a	4,0 a	2,2 b	15,1 a
2019	9,6 a	2,5 b	2,7 a	14,8 a
Obiekt kontrolny*/2018	10,1 a	3,3 b	2,5 a	15,9 a
Krzemian/2018	9,2 ba	3,9 ba	2,2 ba	15,3 a
Naturamin Plus/2018	8,0 b	4,6 ba	2,0 b	14,6 a
Naturamin WSP/2018	8,1 b	4,3 a	2,0 b	14,4 a
Obiekt kontrolny */2019	8,2 b	2,7 a	2,5 a	13,4 b
Krzemian/2019	11,3 a	2,1 b	2,6 a	16,0 a
Naturamin Plus/2019	10,2 ba	2,7 a	2,8 a	15,7 a
Naturamin WSP/2019	8,9 ba	2,7 a	2,8 a	14,4 ba
Udział w wariancji całkowitej / Share in total variance (%)				
Preparat/Formuła (1)	25	4,6	1,0	2,7
Lata/Years (2)	30	92,0	98,9	32,0
(1x2)	45	3,4	0,1	65,3

*Control object; Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie / Means with the same letter do not differ significantly.

compared to the control plants. This is consistent with findings by Mystkowska (2019), who reported a significantly positive effect of various foliar biostimulants on the starch content in tubers. However, our previous study found no changes in the starch content in tubers after the use of amino acid biostimulants compared to the control plants (Trawczyński 2014). Differences in the content of starch in tubers from plants treated with biostimulants were similar to differences in the dry matter content (Table 5). Regardless of the year studied, all biostimulants contributed to a significant increase in the vitamin C content in tubers. The significantly highest content of vitamin C was found in tubers from plants treated with Naturamin WSP (Table 5). Treatment with Krzemian was associated with a significant decrease in the content of nitrates in tubers, both compared to the control plot and other biostimulants. Wróbel (2012) also reported a significant reduction in the content of nitrates (V) in tubers after treatment with Actisil containing silicon. Treatments with amino acid biostimulants were associated with a higher content of nitrates (V) in tubers compared to the control plants (Trawczyński 2014). Significant differences in the analysed

components were also found between study years. The content of starch and dry matter was higher in tubers harvested in 2019, when the deficit of rainfall was greater and air temperature was lower than in 2018, while the opposite relationship was found for the content of nitrates and vitamin C in tubers. Studies by different researchers also showed that dry summers promoted the increase in vitamin C content in tubers (Gąsiorowska and Zarzecka 2002 Kraska 2002 Mazurczyk and Lis 2004). Dry years with higher air temperature also had a more positive effect on the accumulation of dry matter and starch in tubers than wet and cool years (Kołodziejczyk and Szmigiel 2012, Rymuza et al. 2015). However, the extremely high temperatures recorded during the growing season of 2018 had a significant negative impact on the accumulation of these compounds in tubers compared to 2019. On the other hand, shortage of rainfall and high air temperature may cause excessive accumulation of nitrates (V) in tubers, as reported by Grudzińska and Zgórska (2008). Our study showed that the dry growing season with extremely high air temperature had a particularly negative effect through a significant increase in the accumulation of nitrates (V). The

Tabela 5
Table 5Wpływ dolistnego dokarmiania na skład chemiczny bulw ziemniaka
The effect of foliar fertilization on chemical composition of potato tubers

Obiekt Object	Skrobia Starch g·kg ⁻¹	Azotany (V) Nitrates (V) mg·kg ⁻¹	Witamina C Vitamin C mg·kg ⁻¹	Sucha masa Dry matter g·kg ⁻¹
Obiekt kontrolny*	122 c	94 b	227 d	188 c
Krzemian	132 a	82 c	236 b	198 a
Naturamin Plus	133 a	107 a	234 c	197 a
Naturamin WSP	126 b	108 a	240 a	191 b
2018	119 b	132 a	239 a	184 b
2019	138 a	63 b	230 b	203 a
Obiekt kontrolny */2018	119 a	108 b	231 d	184 a
Krzemian/2018	119 a	108 b	241 b	184 a
Naturamin Plus/2018	119 a	155 a	240 a	185 a
Naturamin WSP/2018	118 a	160 a	243 c	185 a
Obiekt kontrolny */2019	126 c	81 a	223 d	192 d
Krzemian/2019	146 a	56 b	231 b	213 a
Naturamin Plus/2019	146 a	59 b	229 c	209 b
Naturamin WSP/2019	134 b	57 b	238 a	198 c
Udział w wariancji całkowitej/ Share in total variance (%)				
Preparat/Formuła (1)	6,0	2,9	29,3	6,3
Lata/Years (2)	88,2	91,0	69,3	87,8
(1x2)	5,8	6,1	1,4	5,9

*Control object; Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie / Means with the same letter do not differ significantly.

analysis of variance components revealed that the study year accounted for 69.3% of total variability in vitamin C content to 91% of total variability in nitrates (V) content in tubers, while the use of biostimulants had the strongest effect on the content of vitamin C in tubers.

Conclusions

1. Treatments with the tested biostimulants were associated with a significant increase in the yield of tubers and positive effects on the content of nutrients in tubers compared to control plants.
2. Biostimulants had a more positive effect on tuber yield in the first year of the study, when the deficit of rainfall was lower and air temperature was higher than in the second year of the study.
3. Differences in weather conditions between the study years had a much greater impact on the yield of tubers and their quality parameters than treatments with biostimulants.

References

Artyszak A., Gozdowski D., Kucińska K. 2014. The effect

of foliar fertilization with marine calcite in sugar beet. *Plant Soil Environ.* 60: 413 — 417.

Artyszak A., Gozdowski D., Kucińska K. 2016. The effect of calcium and silicon foliar fertilization in sugar beet. *Sugar Technol.* 18(1): 109 — 114.

Baranowska A., Mystkowska I., Szczygielska E. 2019. Impact of growth biostimulators and herbicide on the yield structure of edible potato tubers (*Solanum tuberosum L.*). *Acta Agrophysica* 26(1): 25 — 36.

Colla G., Roupheal Y., Lucini L., Canaguier R., Stefanoni W., Fiorillo A., Cardarelli M. 2015. Protein hydrolysate-based biostimulants: origin, biological activity and application methods. [In:] II World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture 1148: 27 — 34.

Crusciol C.A.C., Pulz A.L., Lemos L.B., Soratto R.P., Lima G.P.P. 2009. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop Science* 49: 949 — 954.

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

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

Ertani A., Schiavon M., Altissimo A., Franceschi C., Nardi

- S. 2011. Phenol-containing organic substances stimulate phenylpropanoid metabolism in *Zea mays*. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174(3): 496 — 503.
- Erlichowski T., Pawińska M. 2003. Biologiczna ocena preparatu Kelpak w ziemniaku. *Prog. Plant Prot.* 43(2): 606 — 609.
- Fauteux F., Rémus-Borel W., Menzies J. G., Bélanger R. R. 2005. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters*, 249: 1 — 6.
- Gąsiorowska B., Zarzecka K. 2002. Wpływ terminu zbioru na plon i cechy jakościowe bulw ziemniaka uprawianego w rejonie Siedlec. — *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 489: 319 — 325.
- Głosek-Sobieraj M., Cwalina-Ambroziak B., Hamouz K. 2017. The effect of growth regulators and a biostimulator on the health status, yield and yield components of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Gesunde Pflanzen* 70: 1 — 11.
- Górecki R. S., Danielski-Busch W. 2009. Effect of silicate fertilizers on yielding of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.) in container cultivation. *J. Elementol.* 14(1): 71 — 78.
- Grudzińska M., Zgórska K. 2008. Wpływ warunków meteorologicznych na zawartość azotanów (V) w bulwach ziemniaka. *Żywn. Nauka. Technol. Jakość*, 5 (60): 98 — 106.
- Kołodziejczyk M., Szmigiel A. 2012. Skład chemiczny oraz wybrane parametry jakości bulw ziemniaka w zależności od terminu i stopnia redukcji powierzchni asymilacyjnej roślin. *Fragm. Agronom.* 29(3): 88 — 94.
- Kraska P. 2002. Wpływ sposobów uprawy, poziomów nawożenia i ochrony na wybrane cechy jakości ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 489: 229 — 237.
- Laane H. M. 2017. The effects of the application of foliar sprays with stabilized silicic acid: An overview of the results from 2003-2014. *Silicon*, 9: 803 — 807.
- Lutomirska B., Jankowska J. 2012. Występowanie deformacji i spękań bulw ziemniaka w zależności od warunków meteorologicznych i odmiany. *Biul. IHAR* 266: 131 — 142.
- Marcinek J., Komisarek J., Bednarek R., Mocek A., Skiba S., Wiatrowska K. 2011. Systematyka Gleb Polski. *Roczn. Glebozn.* 62 (3): 91 — 147.
- Matysiak K., Adamczewski K., 2010. Wpływ regulatora wzrostu i rozwoju roślin Moddus 250 EC, Kelpak SL, Algaminoplant, Humiplant i Yeald Plus na plonowanie i wielkość bulw ziemniaka. *Ziem. Polski*, 1: 28 — 33.
- Mazurczyk W., Lis B. 2004. Relacje między zawartością witaminy C i azotanów w bulwach różnych odmian ziemniaka. *Biul. IHAR* 232: 47 — 52.
- Mitani N., Ma J. F. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *J. Experimental Botany* 56: 1255 — 1261.
- Mystkowska I. 2017. Wpływ zróżnicowanej techniki odchwaszczania i stosowania biostymulatorów na efektywność ekonomiczną uprawy ziemniaków jadalnych. — *Rocz. Nauk. SERiA* 19(6): 190 — 194.
- Mystkowska I. 2018. Biostymulatory jako czynnik wpływający na plon ziemniaka jadalnego. *Acta Agroph.* 25(3): 307 — 315.
- Mystkowska I. 2019. Wpływ stosowania biostymulatorów na zawartość suchej masy i skrobi w bulwach ziemniaka. *Fragm. Agronom.* 36(1): 45 — 53.
- Popko M., Michalak I., Wilk R., Gramza M., Chojnacka K., Górecki H. 2018. Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. — *Molecules* 23(2): 470.
- Prajapati A., Patel C. K., Singh N., Jain S. K., Chongtham S. K., Maheshwari M. N., Patel R. N. 2016. Evaluation of seaweed extract on growth and yield of potato. — *Environ. Ecol.* 34(2): 605 — 608.
- Raven J. A. 2003. Cycling silicon – The role of accumulation in plants. *New Phytology* 158: 419 — 421.
- Romero-Aranda M. R., Jurado O., Cuartero J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *J. Plant Physiol.* 163: 847 — 855.
- Röder C., Mógor Á. F., Szilagyi-Zecchin V. J., Gemin L. G., Mógor G. 2018. Potato yield and metabolic changes by use of biofertilizer containing L-glutamic acid. — *Commun. Sci.* 9(2): 211 — 218.
- Rozporządzenie 2003. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 29 grudnia 2003 roku w sprawie szczegółowych wymagań w zakresie jakości handlowej ziemniaków. *Dz. U. Nr 194, poz. 1900.*
- Ryakhovskaya N. I., Gaynatulina V. V., Makarova M. A. 2016. Effectiveness of potato cultivation using nanosized silica under conditions of Kamchatka Krai. *Russian Agric. Sci.* 42: 299 — 303.
- Rykaczewska K. 2013. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. *Am. J. Plant Sci.* 4: 2386 — 2393.
- Rymuza K., Radzka E., Lenartowicz T. 2015. Wpływ warunków środowiskowych na zawartość skrobi w bulwach odmian ziemniaka średnio wczesnego. *Acta Agroph.* 22(3): 279 — 289.
- Sacała E. 2009. Role of silicon in plant resistance to water stress. *J. Elementol.* 14: 619 — 630.
- Sarhan T. Z. 2011. Effect of humic acid and seaweed extracts on growth and yield of potato plant (*Solanum tuberosum* L.) Desiree cv. Mesopotamia *J. Agric.* 39(2): 19 — 25.
- Sawicka B., Michałek W., Pszczółkowski P. 2011. Uwarunkowania potencjału plonowania średnio późnych i późnych odmian ziemniaka w warunkach środkowo – wschodniej Polski. *Biul. IHAR* 259: 219 — 228.
- Sharma H. S., Fleming C., Selby C., Rao J. R., Martin T. 2014. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *J. Appl. Phycology* 26(1): 465 — 490.

- Sommer M., Kaczorek D., Kuzyakov Y., Breuer J. 2006. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes – A review. *J. Plant Nutrition Soil Sci.* 169: 310 — 329.
- Stamatakis A., Papadantonakis N., Lydakakis-Simantiris N., Kefalas P., Savvas D. 2003. Effects of silicon and salinity on fruit yield and quality of tomato grown hydroponically. *Acta Horticulturae* 609: 141 — 147.
- Trawczyński C. 2013. Wpływ dolistnego nawożenia preparatem Herbagreen na plonowanie ziemniaków. *Ziem. Polski* 2: 29 — 33.
- Trawczyński C. 2014. Wpływ biostymulatorów aminokwasowych-tecamin na plon i jakość ziemniaków. *Ziem. Polski* 3: 29 — 34.
- Ugrinović M., Oljača S., Brdar-Jokanović M., Zdravković J., Girek Z., Zdravković M. 2011. The effect of liquid and soluble fertilizers on lettuce yield. *Serb. J. Agric. Sci.* 60: 110 — 115.
- Wierzbowska J., Cwalina-Ambroziak B., Głosek M., Sienkiewicz S. 2015. Effect of biostimulators on yield and selected chemical properties of potato tubers. *J. Elemntol.* 20: 757 — 768.
- Wróbel S. 2012. Wpływ nawożenia ziemniaka odmiany Jelly dolistnymi preparatami YaraVita Ziemniak oraz Actisil na plon i cechy jego jakości. *Biul. IHAR* 266: 295 — 306.

Wpływ biostymulatorów na plon i jakość bulw ziemniaka uprawianego w warunkach suszy i wysokiej temperatury

The effect of biostimulators on the yield and quality of potato tubers grown in drought and high temperature conditions

Cezary Trawczyński

Zakład Agronomii Ziemniaka, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Jadwisinie,
✉ c.trawczyński@ihar.edu.pl

W latach 2018 – 2019 przeprowadzono na glebie lekkiej badania polowe nad określeniem wpływu dolistnego dokarmiania roślin ziemniaka biostymulatorami: Krzemian (preparat krzemowy), Naturamin Plus i Naturamin WSP (preparaty aminokwasowe) na plon i jakość bulw ziemniaka. W każdym roku wykonywano dwa zabiegi dolistnego dokarmiania w fazach BBCH 19 i 39 (preparatami Naturamin Plus i Naturamin WSP) oraz 39 i 70 (preparatem Krzemian). Kontrolę stanowił obiekt bez dolistnego dokarmiania i stosowania wody. Nawożenie organiczne stanowiły przyorywane każdego roku: słoma z pszenżyta ozimego i zielona masa międzyplonu z gorczycy białej. Nawożenie mineralne stosowano w dawkach: 100 kg·ha⁻¹ N, 26,2 kg·ha⁻¹ P i 99,6 kg·ha⁻¹ K. Pod wpływem zastosowanych preparatów uzyskano w badaniach zbliżony przyrost plonu bulw, większy o 17,3% w porównaniu do kontroli. Większy przyrost plonu bulw pod wpływem preparatów uzyskano w 2018 roku, o mniejszym niedoborze opadów i wyższej temperaturze powietrza, niż w 2019 roku. Pod wpływem zastosowanych preparatów uzyskano istotny wzrost zawartości skrobi, suchej masy i witaminy C w bulwach, a preparat Krzemian spowodował obniżenie poziomu azotanów (V) w bulwach w porównaniu do obiektu kontrolnego.

Słowa kluczowe: biostymulatory, jakość bulw, plon, warunki pogodowe, ziemniak

In the years 2018 – 2019, field trials were carried out on light soil on the effect of foliar fertilization of potato plants with biostimulators: Krzemian (silicon preparation), Naturamin Plus and Naturamin WSP (amino acid preparations) with regard to the yield and quality of potato tubers. Each year, two foliar fertilization treatments were carried in BBCH 19 and 39 phases - Naturamin Plus and Naturamin WSP preparations, and 39 and 70 – silicate preparation. The control was without foliar fertilization, water being used instead. The soil was amended each year by incorporating through ploughing, straw from winter triticale and green intercrop from white mustard, while mineral fertilization was applied in the following doses: 100 kg·ha⁻¹ N, 26.2 kg·ha⁻¹ P and 99.6 kg·ha⁻¹ K. Under the influence of the preparations used in the studies, a similar increase in tuber yield was obtained, higher by 17.3% compared to the control. A greater increase in tuber yield under the influence of preparations was obtained in the year of 2018, with less rainfall deficiency and higher air temperature than in the year of 2019. Under the influence of the preparations used, a significant increase in the content of starch, dry matter and vitamin C in tubers was obtained, but the preparation of Krzemian caused a decrease in the level of nitrates (V) in tubers, compared to the control.

Key words: biostimulators, quality of tubers, yield, weather conditions, potato

Wstęp

Zapobieganie niekorzystnemu przebiegowi pogody na vegetację roślin oraz aktywacja naturalnych systemów obronnych, stymulujących ich wzrost i rozwój powinny stanowić podstawę działań profilaktycznych w nowoczesnych, proekologicznych technologiach produkcji ziemniaka (Rykaczewska 2013, Sharma i in. 2014). Jednym ze sposobów poprawy kondycji roślin w warunkach niekorzystnego układu warunków pogodowych, a przez to uzyskiwania odpowiednio wysokiego plonu i właściwej jakości bulw może być dolistne dokarmianie roślin preparatami

zawierającymi związki bioaktywne i szybko przyswajalne formy składników pokarmowych (Erlchowski i Pawińska 2003, Trawczyński 2013, Wierzbowska i in. 2015). Stąd biostymulatory budzą coraz większe zainteresowanie producentów różnych gatunków roślin rolniczych, w tym ziemniaka. Produkty te poprzez rodzaj pochodzenia i wytwarzanie w różnych technologiach klasyfikuje się obecnie na kilka klas (Du Jardin 2015). Z uwagi na zróżnicowanie technologiczne i obecność w składzie różnych pierwiastków i substancji bioaktywnych działanie tych preparatów zależy może od specyfiki poszczególnych

gatunków roślin. Oznacza to, że w przypadku jednych gatunków może być korzystne, a w odniesieniu do innych nie przynosić pożądanych efektów, co wynikać może z wrażliwości roślin na określone cząsteczki bioaktywne (Ertani i in. 2011). Dlatego coraz szerszy asortyment pojawiających się na rynku produktów biostymulujących, skłania do oceny, szczególnie tych, o deklarowanym specyficznym i kompleksowym działaniu czy zawierających pierwiastki o nieokreślonych właściwościach. Jedną z takich grup stanowią biostymulatory aminokwasowe uzyskiwane w procesie hydrolizy enzymatycznej (Colla i in. 2015). Stymulować one mogą wzrost części nadziemnych oraz rozwój systemu korzeniowego, syntezę chlorofilu, wchłanianie substancji odżywczych z gleby czy metabolizm podstawowych pierwiastków (Popko i in. 2018)). Spośród pierwiastków działanie biostymulujące na różne gatunki roślin rolniczych może wykazywać zastosowany w odpowiedniej formie krzem (Mitani i Ma 2005, Raven 2003). W glebie występuje w postaci nieprzyswajalnej krzemionki, ale zastosowany w formie płynnej np. kwasu ortokrzemowego na rośliny impregnować może zewnętrzne komórki epidermy, wzmacniać ściany komórkowe, zwiększać ich sztywność i odporność na uszkodzenia mechaniczne (Sommer i in. 2006). Grubsza kutikula wysycona krzemem ograniczać może straty wody, a rośliny mniej porażane przez choroby grzybowe i szkodniki (Fauteuxi in. 2005, Romero-Aranda i in. 2006, Sacala 2009). Dotychczasowe badania potwierdziły korzystne oddziaływanie na plon i jakość krzemu w formie różnego rodzaju preparatów stosowanych na rośliny dwuliścienne, w tym okopowe (Artyszak i in. 2016) oraz warzywne (Górecki i Danielski-Busch 2009, Stamatakis i in. 2003, Ugrinović i in. 2011), co skłoniło do przeprowadzenia określonych badań w stosunku do ziemniaka. Dodatkowo w nawiązaniu do powyższych argumentów, silna zależność plonu i jakości bulw ziemniaka od warunków pogodowych predysponowała do przeprowadzenia określonych badań, szczególnie przy ekstremalnym ich układzie w okresie wegetacji roślin.

Stąd celem badań była ocena oddziaływania

na wielkość plonu i wybrane cechy jakości bulw nowych biostymulatorów aminokwasowych oraz krzemu, zastosowanych na rośliny ziemniaka uprawiane w latach z niedoborem opadów i wysoką temperaturą powietrza.

Material i Metody

Badania polowe przeprowadzono w latach 2018 – 2019 w IHAR-PIB oddział w Jadwisinie (52°45' N, 21°63' E) na glebie zaliczanej do rzędu płowoziemnych, typu gleby płowe, podtypu gleby płowe opadowo glejowe (Marcinek i in. 2011). Gleba charakteryzowała się kwaśnym odczynem, wysoką zasobnością w przyswajalny fosfor, średnią w potas, mangan, cynk, miedź i bor oraz niską w magnez (tabela 1).

Doświadczenia zakładano w układzie losowanych bloków w trzech powtórzeniach. Wielkość poletka wynosiła 18,6 m². W badaniach zastosowano preparaty biostymulujące: Krzemian – z krzemem i mikroelementami oraz Naturamin Plus i Naturamin WSP – z zawartością aminokwasów pozyskanych z roślin wysokobiałkowych. Preparaty aminokwasowe: Naturamin Plus i Naturamin WSP zastosowano na rośliny ziemniaka w fazach BBCH 19 (zwieranie roślin ziemniaka w rzędach) i 39 (zwarcie roślin w międzyrzędziach), a preparat Krzemian w fazach BBCH 39 i 70 (po kwitnieniu roślin ziemniaka). Układ kombinacji był następujący: 1. Obiekt kontrolny – obiekt bez dolistnego dokarmiania i stosowania wody, 2. Krzemian – 0,8 l·ha⁻¹, 3. Naturamin Plus – 1,5 l·ha⁻¹, 4. Naturamin WSP – 0,5 kg·ha⁻¹.

Skład zastosowanych w badaniach preparatów był następujący:

Krzemian – Si(OH) 4– 2,5%; Cu – 1,0%; Zn – 0,6%; B – 0,3%; Mo – 0,2%

Naturamin Plus – wolne aminokwasy – 32%; N – 6%; Fe – 1%; Mn – 0,6%; Zn – 0,2%; B – 0,1%; Cu – 0,1%; Mo – 0,047%

Naturamin WSP – wolne aminokwasy – 80%; N – 12,8%.

Do każdego zabiegu preparaty rozpuszczano w 300 l·ha⁻¹ wody.

Warunki pogodowe w okresie wegetacji

Tabela 1
Table 1

Właściwości chemiczne gleby przed założeniem doświadczenia
Soil chemical properties before planting of experiment

Lata Years	C organiczny % C organic %	pH w KCl pH in KCl	Zawartość mg·kg ⁻¹ / Content mg·kg ⁻¹						
			P	K	Mg	Mn	Cu	Zn	B
2018	0,88	5,4	84	104	26	118	4,0	4,3	1,32
2019	0,66	5,2	75	100	22	91	5,2	4,9	0,94

oceniono na podstawie sumy opadów i średnich temperatur powietrza w porównaniu do sum i wartości średnich z wielolecia. W 2018 roku wszystkie miesiące wegetacji charakteryzowały się opadami poniżej sumy z wielolecia, a temperaturą powietrza znacznie powyżej średniej z wielolecia. Suma opadów za cały okres wegetacji w 2018 roku była mniejsza o 79,2 mm, a średnia temperatura powietrza większa o 3,5°C w stosunku do sumy i wartości średniej z wielolecia. Na podstawie układu warunków pogodowych 2018 rok określono jako suchy i bardzo ciepły. Z kolei w 2019 roku, w głównych miesiącach wegetacji zanotowano większy niż w 2018 roku niedobór opadów oraz temperaturę powietrza przekraczającą średnią z wielolecia. Deficyt opadów za cały okres wegetacji w 2019 roku wyniósł 135,6 mm, a temperatura powietrza większa była o 2,3°C w stosunku do średniej z wielolecia. Stąd 2019 rok scharakteryzowano jako bardzo suchy i ciepły (tabela 2).

Nawożenie organiczne stanowiła rozdrobniona i przyorywana po żniwach słoma pszenżyta ozimego w ilości około 5 t·ha⁻¹ z dodatkiem 1 kg N na 100 kg słomy oraz jesienią zielona masa międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej w ilości 15–16 t·ha⁻¹. Nawożenie mineralne fosforem (superfosfat wzbogacony-17,4% P) i potasem (sól potasowa-49,8% K) w oparciu o zasobność gleby w przyswajalne formy tych składników stosowano wczesną wiosną przed rozpoczęciem zabiegów uprawowych w dawce 26,2 kg P·ha⁻¹ i 99,6 kg K·ha⁻¹. Nawożenie mineralne azotem (saletrzak-27% N) stosowano wiosną przed sadzeniem bulw w dawce 100 kg N·ha⁻¹.

Chwasty niszczone stosując do wschodów roślin ziemniaka 2-krotnie obsypnik z łańcuchami. Bezpośrednio przed wschodami, po ostatnim obredleniu zastosowano Linurex 500 SC w dawce

2 l·ha⁻¹ (2018 rok) oraz Proman 500 SC w dawce 4 l·ha⁻¹ (2019 rok), a po wschodach roślin ziemniaka w obydwu latach badań Titus 23 WG w dawce 60 g·ha⁻¹. W okresie wegetacji 2018 roku zastosowano trzy zabiegi, a w 2019 roku dwa zabiegi przeciwko zarazie ziemniaka. Z kolei przeciwko stoncy w 2018 roku wykonano cztery, a w 2019 roku pięć zabiegów ochronnych.

Ziemniaki odmiany Oberon sadzono ręcznie w III dekadzie kwietnia w rozstawie 75 x 33 cm, a zbierano w III dekadzie września. Liczba roślin na poletku wynosiła 75. Podczas zbioru określono plon ogólny bulw z każdego poletka oraz pobierano 2 x 5-kilogramowe próby w celu określenia struktury plonu, udziału wagowego frakcji bulw o średnicy: poniżej 35 mm, 36 – 50 mm, 51 – 60 mm i powyżej 60 mm (Rozporządzenie 2003), procentowego udziału w plonie bulw z wadami wyglądu: zdeformowanych, zazielenionych, porażonych parchem zwykłym oraz składu chemicznego bulw: zawartości skrobi, azotanów, witaminy C i suchej masy. Zawartość skrobi oznaczono metodą Eversa (hydrolizę skrobi przeprowadzono we wrzącej łaźni wodnej, a następnie wytrącono białko przy pomocy kwasu fosforowo-wolframowego) z dokonaniem odczytów na automatycznym polarymetrze Pola-mat S. Azotany NO₃ (V) oznaczono metodą Griessa (z wykorzystaniem mieszaniny cynku i manganu przy redukcji azotanów do azotynów) z odczytem zawartości przy użyciu reflektometru RQ Flex Merck. Zawartość witaminy C określono jako sumę kwasu L-askorbinowego i dehydroaskorbinowego metodą Tillmansa za pomocą miareczkowania roztworem 2,6-dwuchlorofenoloindofenolu. Zawartość suchej masy oznaczono metodą 2-stopniowego suszenia, w temperaturze 60 i 105°C.

Wyniki doświadczeń opracowano statystycznie posługując się analizą wariancji. Analizę

Tabela 2
Table 2

Warunki pogodowe w latach badań na podstawie stacji meteorologicznej w Jadwisinie

Weather conditions in the investigation years on the base meteorological station in Jadwisin

Year Rok	Miesiąc / Month						Suma / Średnia Sum / Mean
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Suma opadów (mm) / Sum of rainfalls (mm)							
2018	21,7	43,4	41,0	75,2	60,6	30,9	272,8
2019	1,7	76,6	6,9	33,4	37,0	60,8	216,4
1967-2017	37,0	57,0	75,0	76,0	61,0	48,0	352,0
Średnia temperatura powietrza (°C) / Mean air temperature (°C)							
2018	13,2	17,6	19,1	21,2	20,8	15,8	18,0
2019	10,2	13,4	22,7	18,8	20,8	14,7	16,8
1967-2017	7,9	13,7	16,6	18,5	17,9	13,2	14,5

porównania średnich przeprowadzono z wykorzystaniem testu Tukeya na poziomie $p=0,05$. Celem określenia źródeł zmienności badanych cech w zmienności całkowitej przeprowadzono ocenę komponentów wariacyjnych wykorzystując program Anova. Procentowy udział poszczególnych komponentów wariacyjnych posłużył do oceny wpływu preparatu i badanych lat oraz ich współdziałania na zmienność plonu i określonych cech jakości bulw ziemniaka.

Wyniki i Dyskusja

W badaniach uzyskano istotne zróżnicowanie plonu bulw pod wpływem zastosowanych preparatów biostymulujących w porównaniu do obiektu kontrolnego, bez dolistnego dokarmiania oraz pomiędzy latami (tabela 3). Niezależnie od badanych lat przyrost plonu bulw po zastosowaniu preparatu Naturamin WSP wyniósł 19%, preparatu Krzemian stanowił 16,9%, a pod wpływem preparatu Naturamin Plus uzyskano plon większy o 15,9% w stosunku do obiektu kontrolnego. Wcześniejsze badania własne wykazały wzrost plonu bulw, średnio w latach o 13,8% pod wpływem biostymulatorów aminokwasowych – tecamin (Trawczyński

2014). Inni badacze wykazali również korzystne, ale bardzo zróżnicowane, od 3 do 36% oddziaływanie na wielkość plonu bulw ziemniaka biostymulatorów z aminokwasami uzyskiwanych na bazie różnych produktów (Matysiak i Adamczewski 2010, Mystkowska 2017 i 2018, Prajapati i in. 2016, Röder i in. 2018, Sarhan 2011). W stosunku do działania krzemu wcześniejsze badania własne wykazały wzrost plonu bulw o 9% po zastosowaniu dolistnym preparatu z kalcytu morskiego, Herbagreen Basic zawierającego 7,99% tego pierwiastka (Trawczyński 2013). W odniesieniu do buraka cukrowego pod wpływem preparatu Herbagreen Basic zanotowano wzrost plonu korzeni średnio o 21% w porównaniu do obiektu kontrolnego (Artyszak i in. 2016). W badaniach holenderskich po zastosowaniu dolistnym kwasu krzemowego uzyskano przyrost plonu bulw o 6,5% w stosunku do obiektu kontrolnego (Laane 2017). W badaniach Crusciola i in. (2009) w warunkach stresu suszy po zastosowaniu krzemianu wapnia i magnezu wykazano wzrost plonu bulw o 11,4% w stosunku do obiektu kontrolnego. Z kolei Ryakhovskaya i in. (2016) po zastosowaniu preparatów krzemowych w różnej formie: płynnej, żelu jak i proszku stwierdzili przyrost plonu

Tabela 3
Table 3

Wpływ dolistnego dokarmiania na plon bulw ($t \cdot ha^{-1}$) i strukturę plonu (%)
The effect of foliar fertilization on yield of tubers ($t \cdot ha^{-1}$) and yield of structure (%)

Obiekt i lata Object and years	Plon bulw Yield of tubers	Udział frakcji bulw (mm) Share of tubers fraction (mm)			
		<35	36-50	51-60	>60
Obiekt kontrolny*	41,5 b	1 b	28 a	31 a	40 a
Krzemian	48,5 a	2 a	25 a	30 a	43 a
Naturamin Plus	48,1 a	1 b	27 a	31 a	41 a
Naturamin WSP	49,4 a	1 b	26 a	29 a	44 a
2018	52,9 a	1 b	29 a	36 a	34 b
2019	40,8 b	2 a	23 b	25 b	50 a
Obiekt kontrolny*/2018	46,6 b	1 b	29 a	36 ab	34 a
Krzemian/2018	54,8 a	2 a	29 a	33 b	36 a
Naturamin Plus/2018	54,5 a	1 b	30 a	38 a	31 a
Naturamin WSP/2018	55,8 a	1 b	27 a	37 a	35 a
Obiekt kontrolny*/2019	36,4 b	2 b	26 a	25 ab	47 b
Krzemian/2019	42,2 a	1 c	21 b	28 a	50 ba
Naturamin Plus/2019	41,6 a	3 a	22 b	25 ab	50 ba
Naturamin WSP/2019	43,1 a	3 a	22 b	21 b	54 a
Udział w wariancji całkowitej/ Share in total variance (%)					
Preparat/Formuła (1)	8,1	1,4	4,2	0,7	1,4
Lata/Years (2)	91,6	70,2	91,0	95,8	97,5
(1x2)	0,3	28,4	4,8	3,5	1,1

*Control object; Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie / Means with the same letter do not differ significantly.

bulw od 10,7 do 20,3% w porównaniu do obiektu kontrolnego. Natomiast w badaniach Wróbla (2012) dolistny preparat krzemowy Actisil nie spowodował wzrostu plonu bulw ziemniaka w stosunku do obiektu kontrolnego. Na podstawie oceny komponentów wariacyjnej wykazano, że dominujący wpływ na zmienność plonu bulw miały warunki pogodowe w latach (91,6%), a udział preparatu stanowił tylko 8,1%. Podobnie, największy udział lat w gromadzeniu plonu bulw stwierdziła Sawicka i in. (2011). Niezależnie od obiektów z dolistnym dokarmianiem istotnie większy plon bulw uzyskano w 2018 roku, suchym i bardzo gorącym, niż w 2019 roku, bardzo suchym i mniej upalnym. Różnica w plonie bulw pomiędzy latami stanowiła 22,9%. Wskazywało to, że większy wpływ na plonowanie ziemniaka miały opady, niż temperatura powietrza w okresie wegetacji, co potwierdziła również Mystkowska (2018). Ogólnie korzystniejszy efekt dolistnego dokarmiania badanymi preparatami uzyskano w roku upalnym, ale z mniejszym deficytem opadów, co wyrażało się wzrostem od 1,7 do 2,6% w stosunku do roku z większym niedoborem opadów i mniej upalnym. Na ogół lepsze oddziaływanie preparatów biostymulujących na plonowanie stwierdza się w latach o niekorzystnym układzie warunków pogodowych w okresie wegetacji roślin, głównie związanych z nadmiarem lub niedoborem opadów oraz większą od średniej z wielolecia temperaturą powietrza (Artyszak i in. 2014, Mystkowska 2018, Trawczyński 2013 i 2014). Wierzbowska i in. (2015) wykazali w warunkach nadmiaru opadów i wysokiej temperatury powietrza wzrost plonu bulw pod wpływem zabiegów dolistnych biostymulatorami, średnio o 20% w porównaniu do obiektu kontrolnego. Podobnie Cwalina-Ambroziak i in. (2015) wykazali korzystne oddziaływanie biostymulatorów dolistnych na plon bulw w warunkach presji infekcyjnej zarazy ziemniaka wynikającej z nadmiaru opadów.

W badaniach stwierdzono mniejsze, w porównaniu do wielkości plonu zróżnicowanie frakcji bulw. Niezależnie od badanych lat pod wpływem dolistnego dokarmiania preparatami biostymulującymi w stosunku do obiektu kontrolnego wykazano tendencję malejącą frakcji bulw o średnicy 36–50 mm oraz tendencję wzrostu udziału w strukturze plonu bulw dużych, o średnicy powyżej 60 mm (tabela 3). Analizując współdziałanie wykazano, że tylko w drugim roku badań uzyskano istotnie mniej bulw frakcji 36–50 mm po zastosowaniu preparatów w porównaniu do obiektu kontrolnego oraz istotnie więcej bulw dużych, o średnicy powyżej 60 mm pod wpływem preparatu Naturamin WSP

w stosunku do obiektu kontrolnego. Natomiast istotne zróżnicowanie wszystkich frakcji bulw stwierdzono pomiędzy latami badań. W pierwszym roku badań, o mniejszym deficycie opadów uzyskano istotnie więcej bulw frakcji 36–50 mm oraz frakcji 51–60 mm, natomiast w roku o większym niedoborze opadów większy udział w strukturze plonu bulw dużych, o średnicy powyżej 60 mm. Wynikać to mogło z mniejszej ilości zawiązanych bulw w roku bardzo suchym i w efekcie końcowym dorastania bulw do większej średnicy. W dotychczas przeprowadzonych badaniach uzyskano korzystne oddziaływanie dolistnego dokarmiania preparatem krzemowym na strukturę plonu bulw głównie poprzez istotne zmniejszenie udziału frakcji bulw małych, o średnicy poniżej 30 mm (Wróbel 2012). Z kolei Głosek-Sobieraj i in. (2017) po zastosowaniu biostymulatorów dolistnych wykazali wzrost udziału w strukturze plonu bulw o średnicy 36–50 mm, a Baranowska i in. (2019) frakcji bulw o średnicy powyżej 50 mm. W przeprowadzonych badaniach, podobnie jak w stosunku do uzyskanego plonu bulw wykazano największy wpływ na strukturę plonu bulw warunków pogodowych w latach, który wahał się w zmienności całkowitej od 70,2% w przypadku bulw małych o średnicy poniżej 35 mm do 97,5% dla bulw o średnicy powyżej 60 mm. Udział preparatu w całkowitej zmienności największy był w stosunku do bulw o średnicy 36–50 mm, a współdziałania preparatu z latami w przypadku bulw o średnicy poniżej 35 mm.

Pod wpływem zastosowanych biostymulatorów, spośród ocenianych wad zewnętrznych istotne zróżnicowanie uzyskano tylko w stosunku do udziału w plonie bulw zdeformowanych (tabela 4). Średnio w latach, istotnie najmniejszy udział w plonie bulw zdeformowanych uzyskano po zastosowaniu biostymulatora Naturamin WSP oraz większą w porównaniu do pozostałych obiektów tendencję malejącą udziału sumy wad w plonie. Tendencję malejącą udziału w plonie bulw zdeformowanych i zazielenionych pod wpływem zastosowanych biostymulatorów aminokwasowych wykazano również we wcześniejszych badaniach własnych (Trawczyński 2014). Analizując oddziaływanie preparatów w poszczególnych latach wykazano tendencję malejącą sumy wad bulw w roku suchym oraz rosnącą w roku bardzo suchym w stosunku do obiektu kontrolnego. Niezależnie od zastosowanych biostymulatorów, w roku suchym uzyskano istotnie więcej bulw zazielenionych, natomiast w roku bardzo suchym bulw porażonych parchem zwykłym. Większy udział bulw zazielenionych wynikać mógł z większej masy uzyskanego plonu

Tabela 4
Table 4

Wpływ dolistnego dokarmiania na udział w plonie bulw z wadami wyglądu (%)

The effect of foliar fertilization on share in yield of tubers with defects (%)

Obiekt Object	Zdeformowane Deformations	Zazielenione Greenings	Parch zwykły Common scab	Suma wad Sum of defects
Obiekt kontrolny*	9,1 ba	3,0 a	2,5 a	14,6 a
Krzemian	10,2 a	3,0 a	2,4 a	15,6 a
Naturamin Plus	9,1 ba	3,6 a	2,4 a	15,1 a
Naturamin WSP	8,5 b	3,5 a	2,4 a	14,4 a
2018	8,9 a	4,0 a	2,2 b	15,1 a
2019	9,6 a	2,5 b	2,7 a	14,8 a
Obiekt kontrolny*/2018	10,1 a	3,3 b	2,5 a	15,9 a
Krzemian/2018	9,2 ba	3,9 ba	2,2 ba	15,3 a
Naturamin Plus/2018	8,0 b	4,6 ba	2,0 b	14,6 a
Naturamin WSP/2018	8,1 b	4,3 a	2,0 b	14,4 a
Obiekt kontrolny */2019	8,2 b	2,7 a	2,5 a	13,4 b
Krzemian/2019	11,3 a	2,1 b	2,6 a	16,0 a
Naturamin Plus/2019	10,2 ba	2,7 a	2,8 a	15,7 a
Naturamin WSP/2019	8,9 ba	2,7 a	2,8 a	14,4 ba
Udział w wariancji całkowitej / Share in total variance (%)				
Preparat/Formuła (1)	25	4,6	1,0	2,7
Lata/Years (2)	30	92,0	98,9	32,0
(1x2)	45	3,4	0,1	65,3

*Control object; Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie / Means with the same letter do not differ significantly.

bulw w 2018 roku, a większy udział bulw porażonych parchem zwykłym z bardzo dużego niedoboru opadów w okresie tuberyzacji (czerwiec) w 2019 roku. Wykazano, że warunki pogodowe w latach najbardziej kształtowały zazielenienia i porażenie bulw parchem zwykłym, odpowiednio 92 i 98,9%, natomiast udział bulw zdeformowanych i sumę wad w plonie współdziałał lat z zastosowanymi biostymulatorami. Podobnie wysoki wpływ warunków meteorologicznych na udział w plonie bulw z wadami wyglądu, w tym zdeformowanych wykazały w badaniach Lutomińska i Jankowska (2012).

Analizując skład chemiczny bulw w stosunku do zastosowanych biostymulatorów wykazano istotne zróżnicowanie wszystkich składników w porównaniu do obiektu kontrolnego (tabela 5). Średnio w latach uzyskano istotnie większą zawartość skrobi w bulwach, szczególnie po zastosowaniu preparatów Naturamin Plus i Krzemian w stosunku do obiektu kontrolnego. Podobnie Mystkowska (2019) stwierdziła istotnie dodatni wpływ różnego rodzaju biostymulatorów dolistnych na zawartość skrobi w bulwach. Z kolei we wcześniejszych badaniach własnych nie wykazano zmian zawartości skrobi w bulwach po zastosowaniu biostymulatorów

aminokwasowych w porównaniu do obiektu kontrolnego (Trawczyński 2014). Zmiany zawartości skrobi w bulwach pod wpływem zastosowanych biostymulatorów zbieżne były z zawartością suchej masy (tabela 5). Niezależnie od badanych lat, wszystkie zastosowane biostymulatory przyczyniły się do istotnego wzrostu zawartości witaminy C w bulwach. Istotnie największy poziom tego składnika uzyskano po zastosowaniu preparatu Naturamin WSP (tabela 5). Z kolei pod wpływem preparatu Krzemian uzyskano istotne obniżenie poziomu azotanów w bulwach, zarówno w stosunku do obiektu kontrolnego, jak i pozostałych biostymulatorów. W badaniach Wróbla (2012) również wykazano istotne obniżenie zawartości azotanów (V) w bulwach po zastosowaniu preparatu krzemowego Actisil w stosunku do obiektu kontrolnego. Natomiast biostymulatory aminokwasowe przyczyniły się do większej zawartości azotanów (V) w bulwach w stosunku do obiektu kontrolnego (Trawczyński 2014). Istotne zróżnicowanie oznaczonych składników uzyskano również w stosunku do lat badań. Większy poziom skrobi i suchej masy uzyskano w 2019 roku, z większym niedoborem opadów i niższą temperaturą powietrza niż w 2018

Tabela 5
Table 5Wpływ dolistnego dokarmiania na skład chemiczny bulw ziemniaka
The effect of foliar fertilization on chemical composition of potato tubers

Obiekt Object	Skrobia Starch g·kg ⁻¹	Azotany (V) Nitrates (V) mg·kg ⁻¹	Witamina C Vitamin C mg·kg ⁻¹	Sucha masa Dry matter g·kg ⁻¹
Obiekt kontrolny*	122 c	94 b	227 d	188 c
Krzemian	132 a	82 c	236 b	198 a
Naturamin Plus	133 a	107 a	234 c	197 a
Naturamin WSP	126 b	108 a	240 a	191 b
2018	119 b	132 a	239 a	184 b
2019	138 a	63 b	230 b	203 a
Obiekt kontrolny */2018	119 a	108 b	231 d	184 a
Krzemian/2018	119 a	108 b	241 b	184 a
Naturamin Plus/2018	119 a	155 a	240 a	185 a
Naturamin WSP/2018	118 a	160 a	243 c	185 a
Obiekt kontrolny */2019	126 c	81 a	223 d	192 d
Krzemian/2019	146 a	56 b	231 b	213 a
Naturamin Plus/2019	146 a	59 b	229 c	209 b
Naturamin WSP/2019	134 b	57 b	238 a	198 c
Udział w wariancji całkowitej/ Share in total variance (%)				
Preparat/Formuła (1)	6,0	2,9	29,3	6,3
Lata/Years (2)	88,2	91,0	69,3	87,8
(1x2)	5,8	6,1	1,4	5,9

*Control object; Średnie z tymi samymi literami nie różnią się istotnie / Means with the same letter do not differ significantly.

roku, natomiast odwrotną zależność w stosunku do zawartości azotanów i witaminy C w bulwach. Z badań różnych autorów również wynikało, że lata suche sprzyjały wzrostowi witaminy C w bulwach (Gąsiorowska i Zarzecka 2002, Kraska 2002, Mazurczyk i Lis 2004). Lata suche z większą temperaturą powietrza oddziaływały również korzystniej niż lata wilgotne i chłodne na gromadzenie suchej masy i skrobi w bulwach (Kołodziejczyk i Szmigiel 2012, Rymuza i in. 2015). Ekstremalnie wysokie temperatury jakie zanotowano w okresie wegetacji 2018 roku miały jednak istotnie ujemny wpływ na gromadzenie tych składników w bulwach w porównaniu do 2019 roku. Natomiast lata z niedoborem opadów i wysoką temperaturą powietrza mogą być przyczyną nadmiernego gromadzenia azotanów (V) w bulwach, o czym donosiły Grudzińska i Zgórska (2008). W przeprowadzonych badaniach wykazano, że szczególnie niekorzystny wpływ, poprzez istotny wzrost kumulacji azotanów (V) w bulwach miał suchy okres wegetacji z ekstremalnie wysoką temperaturą powietrza. Na podstawie analizy komponentów wariacyjnych wykazano, że w największym stopniu zawartość wszystkich składników, od 69,3% w przypadku zawartości witaminy

C do 91% w odniesieniu do poziomu azotanów (V) w bulwach kształtowały lata badań, natomiast największy udział preparatu zaznaczył się we wpływie na zawartość witaminy C w bulwach.

Wnioski

1. Pod wpływem badanych biostymulatorów uzyskano istotny przyrost plonu oraz korzystniejsze oddziaływanie na zawartość składników pokarmowych w bulwach w porównaniu do obiektu kontrolnego.
2. Korzystniejszy efekt plonowania pod wpływem zastosowanych biostymulatorów uzyskano w pierwszym roku, o mniejszym deficycie opadów i większej temperaturze powietrza w porównaniu do drugiego roku badań.
3. Znacznie większy wpływ na kształtowanie wielkości plonu i cech jakości bulw miały warunki pogodowe w latach niż oddziaływanie preparatów.

Literatura

Artyszak A., Gozdowski D., Kucińska K. 2014. The effect of foliar fertilization with marine calcite in sugar beet. *Plant Soil Environ.* 60: 413 — 417.

- Artyszak A., Gozdowski D., Kucińska K. 2016. The effect of calcium and silicon foliar fertilization in sugar beet. *Sugar Technol.* 18(1): 109 — 114.
- Baranowska A., Mystkowska I., Szczygielska E. 2019. Impact of growth biostimulators and herbicide on the yield structure of edible potato tubers (*Solanum tuberosum L.*). *Acta Agrophysica* 26(1): 25 — 36.
- Colla G., Roupheal Y., Lucini L., Canaguier R., Stefanoni W., Fiorillo A., Cardarelli M. 2015. Protein hydrolysate-based biostimulants: origin, biological activity and application methods. [In:] II World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture 1148: 27 — 34.
- Crusciol C.A.C., Pulz A.L., Lemos L.B., Soratto R.P., Lima G.P.P. 2009. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop Science* 49: 949 — 954.
- Cwalina-Ambroziak B., Głosek-Sobieraj M., Kowalska E. 2015. The effect of plant growth regulators on the incidence and severity of potato diseases. *Pol. J. Natural Sci.* 30(1): 5 — 20.
- Du Jardin P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hortic.* 196: 3 — 14.
- Ertani A., Schiavon M., Altissimo A., Franceschi C., Nardi S. 2011. Phenol-containing organic substances stimulate phenylpropanoid metabolism in *Zea mays*. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174(3): 496 — 503.
- Erlichowski T., Pawińska M. 2003. Biologiczna ocena preparatu Kelpak w ziemniaku. *Prog. Plant Prot.* 43(2): 606 — 609.
- Fauteux F., Rémus-Borel W., Menzies J. G., Bélanger R. R. 2005. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters*, 249: 1 — 6.
- Gąsiorowska B., Zarzecka K. 2002. Wpływ terminu zbioru na plon i cechy jakościowe bulw ziemniaka uprawianego w rejonie Siedlec. — *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 489: 319 — 325.
- Głosek-Sobieraj M., Cwalina-Ambroziak B., Hamouz K. 2017. The effect of growth regulators and a biostimulator on the health status, yield and yield components of potatoes (*Solanum tuberosum L.*). *Gesunde Pflanzen* 70: 1 — 11.
- Górecki R. S., Danielski-Busch W. 2009. Effect of silicate fertilizers on yielding of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus L.*) in container cultivation. *J. Elementol.* 14(1): 71 — 78.
- Grudzińska M., Zgórska K. 2008. Wpływ warunków meteorologicznych na zawartość azotanów (V) w bulwach ziemniaka. *Żywn. Nauka. Technol. Jakość*, 5 (60): 98 — 106.
- Kołodziejczyk M., Szmigiel A. 2012. Skład chemiczny oraz wybrane parametry jakości bulw ziemniaka w zależności od terminu i stopnia redukcji powierzchni asymilacyjnej roślin. *Fragm. Agronom.* 29(3): 88 — 94.
- Kraska P. 2002. Wpływ sposobów uprawy, poziomów nawożenia i ochrony na wybrane cechy jakości ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 489: 229 — 237.
- Laane H. M. 2017. The effects of the application of foliar sprays with stabilized silicic acid: An overview of the results from 2003-2014. *Silicon*, 9: 803 — 807.
- Lutomirska B., Jankowska J. 2012. Występowanie deformacji i spękań bulw ziemniaka w zależności od warunków meteorologicznych i odmiany. *Biul. IHAR* 266: 131 — 142.
- Marcinek J., Komisarek J., Bednarek R., Mocek A., Skiba S., Wiatrowska K. 2011. Systematyka Gleb Polski. *Roczn. Glebozn.* 62 (3): 91 — 147.
- Matysiak K., Adamczewski K., 2010. Wpływ regulatora wzrostu i rozwoju roślin Moddus 250 EC, Kelpak SL, Algaminoplant, Humiplant i Yeald Plus na plonowanie i wielkość bulw ziemniaka. *Ziem. Polski*, 1: 28 — 33.
- Mazurczyk W., Lis B. 2004. Relacje między zawartością witaminy C i azotanów w bulwach różnych odmian ziemniaka. *Biul. IHAR* 232: 47 — 52.
- Mitani N., Ma J. F. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *J. Experimental Botany* 56: 1255 — 1261.
- Mystkowska I. 2017. Wpływ zróżnicowanej techniki odchwaszczania i stosowania biostymulatorów na efektywność ekonomiczną uprawy ziemniaków jadalnych. — *Rocz. Nauk. SERiA* 19(6): 190 — 194.
- Mystkowska I. 2018. Biostymulatory jako czynnik wpływający na plon ziemniaka jadalnego. *Acta Agroph.* 25(3): 307 — 315.
- Mystkowska I. 2019. Wpływ stosowania biostymulatorów na zawartość suchej masy i skrobi w bulwach ziemniaka. *Fragm. Agronom.* 36(1): 45 — 53.
- Popko M., Michalak I., Wilk R., Gramza M., Chojnacka K., Górecki H. 2018. Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. — *Molecules* 23(2): 470.
- Prajapati A., Patel C. K., Singh N., Jain S. K., Chongtham S. K., Maheshwari M. N., Patel R. N. 2016. Evaluation of seaweed extract on growth and yield of potato. — *Environ. Ecol.* 34(2): 605 — 608.
- Raven J. A. 2003. Cycling silicon — The role of accumulation in plants. *New Phytology* 158: 419 — 421.
- Romero-Aranda M. R., Jurado O., Cuartero J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *J. Plant Physiol.* 163: 847 — 855.
- Röder C., Mógor Á. F., Szilagyi-Zecchin V. J., Gemin L. G., Mógor G. 2018. Potato yield and metabolic changes by use of biofertilizer containing L-glutamic acid. — *Comun. Sci.* 9(2): 211 — 218.
- Rozporządzenie 2003. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 29 grudnia 2003 roku w sprawie szczegółowych wymagań w zakresie jakości handlowej ziemniaków. *Dz. U. Nr 194, poz. 1900.*
- Ryakhovskaya N. I., Gaynatulina V. V., Makarova M. A. 2016. Effectiveness of potato cultivation using nanosized silica

- under conditions of Kamchatka Krai. Russian Agric. Sci. 42: 299 — 303.
- Rykaczewska K. 2013. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. Am. J. Plant Sci. 4: 2386 — 2393.
- Rymuza K., Radzka E., Lenartowicz T. 2015. Wpływ warunków środowiskowych na zawartość skrobi w bulwach odmian ziemniaka średnio wczesnego. Acta Agroph. 22(3): 279 — 289.
- Sacała E. 2009. Role of silicon in plant resistance to water stress. J. Elementol. 14: 619 — 630.
- Sarhan T. Z. 2011. Effect of humic acid and seaweed extracts on growth and yield of potato plant (*Solanum tuberosum* L.) Desiree cv. Mesopotamia J. Agric. 39(2): 19 — 25.
- Sawicka B., Michałek W., Pszczółkowski P. 2011. Uwarunkowania potencjału plonowania średnio późnych i późnych odmian ziemniaka w warunkach środkowo – wschodniej Polski. Biul. IHAR 259: 219 — 228.
- Sharma H. S., Fleming C., Selby C., Rao J. R., Martin T. 2014. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. J. Appl. Phycology 26(1): 465 — 490.
- Sommer M., Kaczorek D., Kuzyakov Y., Breuer J. 2006. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes – A review. J. Plant Nutrition Soil Sci. 169: 310 — 329.
- Stamatakis A., Papadantonakis N., Lydakis-Simantiris N., Kefalas P., Savvas D. 2003. Effects of silicon and salinity on fruit yield and quality of tomato grown hydroponically. Acta Horticulturae 609: 141 — 147.
- Trawczyński C. 2013. Wpływ dolistnego nawożenia preparatem Herbagreen na plonowanie ziemniaków. Ziem. Polski 2: 29 — 33.
- Trawczyński C. 2014. Wpływ biostymulatorów aminokwasowych-tecamin na plon i jakość ziemniaków. Ziem. Polski 3: 29 — 34.
- Ugrinović M., Oljača S., Brdar-Jokanović M., Zdravković J., Girek Z., Zdravković M. 2011. The effect of liquid and soluble fertilizers on lettuce yield. Serb. J. Agric. Sci. 60: 110 — 115.
- Wierzbowska J., Cwalina-Ambroziak B., Głosek M., Sienkiewicz S. 2015. Effect of biostimulators on yield and selected chemical properties of potato tubers. J. Elementol. 20: 757 — 768.
- Wróbel S. 2012. Wpływ nawożenia ziemniaka odmiany Jelly dolistnymi preparatami YaraVita Ziemniak oraz Actisil na plon i cechy jego jakości. Biul. IHAR 266: 295 — 306.

