



Zakład Agronomii Ziemiaka
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Oddział w Jadwisinie, ul. Szaniawskiego 15, 05-140 Serock
c.trawczynski@ihar.edu.pl

CEZARY TRAWCZYŃSKI 

Ocena plonowania i jakości bulw po aplikacji dolistnej krzemu i mikroelementów

Assess of tuber yield and quality after foliar application of silicon
and microelements

Streszczenie. W latach 2017–2019 przeprowadzono na glebie lekkiej badania polowe nad określeniem wpływu dolistnego dokarmiania roślin ziemniaka nawozem krzemowym (Krzemian) na wielkość plonu i wybrane cechy jakości bulw ziemniaka. Użyty do badań nawóz zawierał: $\text{Si}(\text{OH})_4$ – 2,5%; Cu – 1,0%; Zn – 0,6%; B – 0,3%; Mo – 0,2%. W każdym roku wykonywano od jednego do trzech zabiegów dolistnego dokarmiania w fazach rozwojowych roślin ziemniaka BBCH 19, 39, 70. Kontrolę stanowił obiekt bez dolistnego dokarmiania. 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 nawozu uzyskano istotny przyrost plonu bulw, średnio o 12,9% w porównaniu z obiektem kontrolnym. Układ pogody w latach i liczba zabiegów wykonanych nawozem istotnie różnicowały przyrost plonu bulw. Istotnie największy przyrost plonu bulw uzyskano w roku suchym, o największej średniej temperaturze powietrza, stosując dwukrotnie w okresie wegetacji dolistne dokarmianie nawozem. Stwierdzono tendencję zwiększenia w strukturze plonu udziału bulw o średnicy powyżej 60 mm oraz tendencję malejącą bulw zdeformowanych po zastosowaniu nawozu Krzemian w porównaniu do obiektu kontrolnego. Wykazano korzystne oddziaływanie nawozu Krzemian na zawartość skrobi i witaminy C w bulwach.

Słowa kluczowe: dolistne dokarmianie, jakość bulw, krzem, plon, ziemniak

WSTĘP

Powtarzające się corocznie anomalie pogodowe objawiające się głównie niedoborem lub nadmiarem opadów czy wysoką temperaturą powietrza w okresie wegetacji sprządzają się ogólnie do zaburzeń wzrostu i rozwoju roślin, a w konsekwencji obniżenia ich plonowania [Kumar i in. 2003, Chmura i in. 2009, Rykaczewska 2013]. Ograniczenie wpływu niekorzystnych zmian pogodowych na wegetację roślin poprzez wprowadzanie

do uprawy określonych zabiegów agrotechnicznych powinno więc stanowić profilaktykę w kierunku aktywacji określonych procesów stymulujących wzrost i rozwój poszczególnych organów i łagodzenie stresu w krytycznych fazach [Birbal i in. 2009, Panda i in. 2012]. W przypadku roślin ziemniaka faza krytycznego rozwoju notowana jest od początku do końca okresu przyrostu masy bulw, co mieści się w dość szerokim przedziale czasowym [Głuska 2004]. Jednym ze sposobów ograniczenia stresu w warunkach niekorzystnego układu warunków pogodowych, a przez to uzyskiwania odpowiednio wysokiego plonu i właściwej jakości bulw może być dolistne dokarmianie roślin ziemniaka nawozami zawierającymi w odpowiedniej formie szybko przyswajalne składniki pokarmowe [Trawczyński 2013, Sharma i in. 2014, Wierzbowska i in. 2015]. Okazuje się, że takie działanie odżywcze i biostymulujące może wykazywać krzem [Raven 2003, Mitani i Ma 2005]. Zastosowany dolistnie w odpowiedniej formie wzmacniać może ściany komórkowe i ich odporność na uszkodzenia mechaniczne, a powierzchnia liści wysycona krzemem ograniczać straty wody [Romero-Aranda i in. 2006, Sommer i in. 2006, Sacala 2009]. Rośliny dwuliścienne zawierają niewielkie ilości, poniżej 0,5% krzemionki w suchej masie [Guntzer i in. 2012]. Dotychczasowe badania potwierdziły jednak korzystne oddziaływanie na wielkość i jakość plonu roślin dwuliściennych krzemu w formie nawozów stosowanych dolistnie [Górecki i Danielski-Busch 2009, Ugrinović i in. 2011, Artyszak 2018]. Silne uwarunkowanie plonowania i jakości bulw ziemniaka warunkami pogodowymi skłoniło do przeprowadzenia określonych badań w tym kierunku.

Stąd celem badań była ocena oddziaływania na wielkość plonu i wybrane cechy jakości bulw nawozu krzemowego zastosowanego na rośliny ziemniaka przy zróżnicowanym układzie warunków pogodowych.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2017–2019 w IHAR-PIB oddział w Jadwisinie (52°45' N, 21°63' E) na glebie lekkiej, o składzie mechanicznym piasku gliniastego. Gleba charakteryzowała się kwaśnym odczynem, wysoką zasobnością w przyswajalny fosfor, średnią w potas, magnez (w 2018 i 2019 roku zawartość niska), mangan, cynk, miedź i bor (w 2017 roku zawartość niska) – tabela 1.

Tabela 1. Właściwości chemiczne gleby (warstwa 0–20 cm) przed założeniem doświadczenia
Table 1. Soil chemical properties (layer of 0–20 cm) before planting of experiment

Lata Years	Węgiel organiczny (%) Organic carbon (%)	pH w KCl pH in KCl	Zawartość pierwiastków (mg·kg ⁻¹) Content of elements (mg·kg ⁻¹)						
			P	K	Mg	Mn	Cu	Zn	B
2017	0,48	5,0	80	122	32	120	2,4	3,8	0,43
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

Doświadczenia zakładano w układzie losowanych bloków w trzech powtórzeniach. Wielkość poletka do zbioru wynosiła 18,6 m². W badaniach zastosowano nawóz dolistny o nazwie handlowej Krzemian z dodatkiem adiuwanta Asystent.

W badaniach uwzględniono następujące obiekty:

1. obiekt kontrolny – bez dolistnego dokarmiania,
2. obiekt-Krzemian I – Krzemian + Asystent – jeden zabieg w fazie BBCH 39,
3. obiekt-Krzemian II – Krzemian + Asystent – dwa zabiegi w fazach BBCH 39 i 70,
4. obiekt-Krzemian III – Krzemian + Asystent – trzy zabiegi w fazach BBCH 19, 39 i 70.

Lata badań pod względem układu warunków pogodowych znacznie się różniły. W 2017 roku większość miesięcy okresu wegetacji charakteryzowała się opadami większymi niż suma z wielolecia i temperaturą powietrza wyższą od średniej z wielolecia. W całym okresie wegetacji 2017 roku suma opadów była wyższa o 57,1 mm od sumy z wielolecia, a średnia temperatura powietrza o 0,6°C wyższa w porównaniu z wynikami z wielolecia. Ogólnie okres wegetacji w 2017 roku należał do mokrych i umiarkowanie ciepłych. Z kolei w 2018 roku wszystkie miesiące wegetacji charakteryzowały się opadami poniżej sumy z wielolecia, a temperaturą powietrza znacznie wyższą niż średnia z wielolecia. Suma opadów za cały okres wegetacji w 2018 roku była mniejsza o 77,2 mm od sumy z wielolecia, a średnia temperatura powietrza wyższa o 3,4°C od 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 133,6 mm, a średnia temperatura powietrza była wyższa o 2,2°C od średniej z wielolecia, czyli był to rok bardzo suchy i ciepły (Tab. 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), z uwzględnieniem zasobności gleby w przyswajalne formy tych składników, stosowano jesienią przed wykonaniem orki przedzimowej 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·ha⁻¹ N. Preparat Krzemian zawierał: Si(OH)₄ – 2,5%; Cu – 1,0%; Zn – 0,6%; B – 0,3%; Mo – 0,2%. Zabiegi dolistne, w zależności od obiektu, wykonywano jedno-, dwu- i trzykrotnie w okresie wegetacji. Pierwszy zabieg przeprowadzono w okresie rozwoju liści na pędzie głównym (faza BBCH 19), drugi w okresie rozwoju pędów bocznych, zakrywania międzyrzędzi (faza BBCH 39), natomiast trzeci po kwitnieniu (faza BBCH 70). Do każdego zabiegu stosowano Krzemian w dawce 0,8 dm³·ha⁻¹. Dodatek adiuwanta (Asystent) na każdym obiekcie wynosił 0,1 dm³·ha⁻¹. Do każdego zabiegu nawóz rozpuszczano w 300 dm³·ha⁻¹ wody.

Chwasty niszczone, stosując dwukrotnie do wschodów roślin ziemniaka obsypnik z łańcuchami. Bezpośrednio przed wschodami, po ostatnim obredleniu zastosowano Linurex 500 SC (linuron) w dawce 2 dm³·ha⁻¹ (2017, 2018 rok) oraz Proman 500 SC (metobromuron) w dawce 4 dm³·ha⁻¹ (2019 rok), a po wschodach roślin ziemniaka we wszystkich latach badań Titus 23 WG (rimsulfuron) w dawce 60 g·ha⁻¹. W okresie wegetacji stosowano od dwóch (2019 rok) do czterech (2017 rok) zabiegów przeciwko zarazie ziemniaka, przy wykorzystaniu preparatów: Ekonom 72 WP (metalaksyl + mankozeb) w dawce 2 kg·ha⁻¹, Pyton Consento 450 SC (chlorowodorek propamokarbu) w dawce 2 dm³·ha⁻¹, Infinito 687,5 SC (chlorowodorek propamokarbu) w dawce 1,5 dm³·ha⁻¹, Revus 250 SC (mandipropamid) w dawce 0,6 dm³·ha⁻¹. Przeciwno stonce stosowano

od trzech (2017 rok) do pięciu (2019 rok) zabiegów przy wykorzystaniu preparatów: Actara 25 WG (tiametoksam) w dawce 70 g·ha⁻¹, Calypso 480 SC (tiachlopryd) w dawce 75 ml·ha⁻¹ i Apacz 50 WG (chlotianidyna) w dawce 60 g·ha⁻¹.

Tabela 2. Warunki pogodowe w latach badań przeprowadzonych w stacji meteorologicznej w Jadwisinie

Table 2. Weather conditions in the investigation years conducted in meteorological station in Jadwisin

Year Rok	Miesiąc Month						Suma/ Średnia Sum/Mean
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Suma opadów (mm) Sum of rainfall (mm)							
2017	8,9	10,1	107,5	78,8	57,0	140,8	407,1
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
2000–2016	37,0	56,0	75,0	76,0	60,0	48,0	350,0
Średnia temperatura powietrza (°C) Mean air temperature (°C)							
2017	7,3	14,1	18,1	18,4	19,4	13,8	15,2
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
2000–2016	7,9	13,6	16,5	18,5	17,9	13,1	14,6
Współczynnik hydrotermiczny Sielianinova (K)* Sielianinov's hydrothermal coefficients (K)*							
2017	0,40	0,23	1,98	1,38	0,95	3,39	1,39
2018	0,54	0,79	0,71	1,14	0,93	0,65	0,79
2019	0,06	1,85	0,10	0,57	0,57	1,38	0,76

* Wartość współczynnika [Bac i in. 1998]; K < 0,50 mocna susza; K: 0,51–0,99 susza; K: 1,00–2,00 mokro; K > 2,00 bardzo wilgotno.

* Coefficient value [Bac et al. 1998]; K < 0.50 strong drought; K: 0.51–0.99 drought; K: 1.00–2.00 wet; K > 2.00 very humid

Ziemniaki odmiany Oberon sadzono ręcznie w III dekadzie kwietnia (25.04.2017 r., 23.04.2018 r. i 24.04.2019 r.) w rozstawie 75 × 33 cm, a zbierano w III dekadzie września (27.09.2017 r., 21.09.2018 r. i 24.09.2019 r.). Liczba roślin na poletku wynosiła 75. Podczas zbioru określono plon ogólny bulw z każdego poletka oraz pobierano 2 × 5-kilogramowe próby w celu określenia struktury plonu (udział wagowy frakcji bulw małych, o średnicy poniżej 35 mm, bulw średnich, od 35 do 50 mm i od 50 do 60 mm oraz bulw dużych, powyżej 60 mm), procentowego udziału w plonie bulw z wadami wyglądu: zde-

formowanych, zazielenionych, porażonych parchem zwykłym oraz składu chemicznego bulw: zawartości skrobi, azotanów, witaminy C i suchej masy. Zawartość skrobi oznaczono metodą polarymetryczną Eversa (hydrolizę skrobi przeprowadzono we wrzącej łaźni wodnej, a następnie wytrącono białko przy pomocy kwasu fosforowo-wolframowego) z dokonaniem odczytów na automatycznym polarymetrze Polamat S. Zawartość azotanów $\text{NO}_3(\text{V})$ zmierzono reflektometrycznie przy użyciu przyrządu pomiarowego RQ Flex Merck według metodyki Merck. Zawartość witaminy C określono jako sumę kwasu L-askorbinowego i dehydroaskorbinowego metodą Tillmansa za pomocą miareczkowania roztworem 2,6-dwuchlorofenolindofenolu. Zawartość suchej masy oznaczono metodą dwustopniowego suszenia, w temperaturze 60 i 105°C.

Wyniki doświadczeń opracowano statystycznie, posługując się analizą wariancji. Analizę porównania średnich przeprowadzono z wykorzystaniem testu Tukeya na poziomie $p = 0,05$. Celem określenia źródeł zmienności badanych cech w zmienności całkowitej przeprowadzono ocenę komponentów wariancyjnych, wykorzystując program Anova. Procentowy udział poszczególnych komponentów wariancyjnych posłużył do oceny wpływu nawozu i badanych lat oraz oceny wpływu współdziałania tych czynników na zmienność plonu i określonych cech jakości bulw ziemniaka.

WYNIKI I DYSKUSJA

W badaniach uzyskano istotne zróżnicowanie plonu bulw w stosunku do obiektów z użyciem nawozu dolistnego Krzemian oraz pomiędzy latami (Tab. 3). Pod wpływem zastosowania nawozu w fazie początkowego wzrostu roślin ziemniaka (BBCH 19) uzyskano przyrost plonu o 3,8 t·ha⁻¹, czyli o 9% w stosunku do obiektu kontrolnego. Przyrost plonu bulw po dwukrotnym zastosowaniu nawozu, w fazie BBCH 19 oraz w fazie zwarcia roślin ziemniaka w międzyrzędziach (BBCH 39) był istotnie większy, o 5,8%, a w stosunku do obiektu kontrolnego był to wzrost o 14,8%. Podobny przyrost plonu bulw, średnio w latach uzyskano pod wpływem trzykrotnego zastosowania nawozu Krzemian, co dowodziło o braku zasadności wykonywania trzeciego zabiegu dolistnego tym nawozem, w fazie BBCH 70, po kwitnieniu roślin ziemniaka. Wcześniejsze badania własne wykazały wzrost plonu bulw o 9% po zastosowaniu dolistnym nawozu z kalcytu morskiego Herbagreen Basic zawierającego 7,99% krzemu [Trawczyński 2013]. W przypadku buraka cukrowego pod wpływem nawozu Herbagreen Basic zanotowano wzrost plonu korzeni średnio o 21% w porównaniu z obiektem kontrolnym [Artyszak i in. 2016]. W badaniach holenderskich z zastosowaniem dolistnym kwasu krzemowego uzyskano przyrost plonu bulw o 6,5% w stosunku do obiektu kontrolnego [Laane 2017]. W badaniach szklarniowych Crusciol i in. [2009], w warunkach stresu suszy po zastosowaniu krzemianu wapnia i magnezu, wykazali wzrost plonu bulw o 11,4% w stosunku do obiektu kontrolnego. Z kolei Ryakhovskaya i in. [2016] w zależności od rodzaju użytych preparatów krzemowych (w formie płynnej, żelu, proszku) stwierdzili przyrost plonu bulw od 10,7 do 20,3% w porównaniu z obiektem kontrolnym. Natomiast w badaniach polowych Wróbla [2012] dolistny nawóz krzemowy Actisil nie spowodował wzrostu plonu bulw ziemniaka w stosunku do obiektu kontrolnego. Na podstawie oceny komponentów wariancyjnych wykazano, że dominujący wpływ na zmienność plonu bulw miały warunki pogodowe w latach (95,5%), a udział nawozu stanowił tylko 4,1%. Podobnie, największy udział warunków pogodowych badanych lat w gromadzeniu plonu bulw stwierdziła Sawicka i in. [2011]. Niezależnie od obiektów z dolistnym dokarmianiem istotnie największy plon bulw

uzyskano w roku mokrym i umiarkowanie ciepłym. W roku suchym i bardzo ciepłym zanotowano spadek plonu bulw o 9%, a w roku z największym deficytem opadów o 49% w stosunku do roku niewykazującego deficytu opadów. Na ogół lepsze oddziaływanie nawozów biostymulujących na plonowanie stwierdza się w latach o niekorzystnym układzie warunków pogodowych w okresie wegetacji roślin, szczególnie wynikających z nadmiaru lub niedoboru opadów oraz odbiegającej od średniej z wielolecia temperatury powietrza [Trawczyński 2013, Artyszak i in. 2014]. Wierzbowska i in. [2015] wykazali w warunkach nadmiaru opadów i wyższej od średniej z wielolecia temperatury powietrza wzrost plonu bulw pod wpływem dolistnych biostymulatorów, średnio o 20% w porównaniu z obiektem kontrolnym. 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 przeprowadzonych badaniach, w warunkach braku deficytu opadów (2017 rok) przyrost plonu bulw pod wpływem nawozu dolistnego Krzemian wahał się od 6,4% po zastosowaniu jednego zabiegu do 12,9% po wykonaniu trzech zabiegów w porównaniu z obiektem kontrolnym. Z kolei w roku suchym przyrost plonu bulw stanowił odpowiednio od 12,2 do 17,6%, a w roku bardzo suchym od 9,8 do 15,1% w porównaniu z obiektem kontrolnym.

W uzyskanym plonie wykazano istotne zróżnicowanie w strukturze wielkości bulw (Tab. 3). W stosunku do zabiegów dolistnego dokarmiania dotyczyło to frakcji bulw o średnicy 35–50 mm oraz 50–60 mm (Tab. 3). Zanotowano istotnie mniejszy udział w strukturze plonu bulw o średnicy 35–50 mm, natomiast istotnie więcej bulw frakcji 50–60 mm po zastosowaniu zabiegów dolistnych, z wyjątkiem trzech zabiegów nawozem Krzemian, niż na obiekcie kontrolnym. Pod wpływem zastosowania nawozu Krzemian średnio w latach wykazano wzrost udziału w strukturze plonu bulw dużych, o średnicy powyżej 60 mm, w stosunku do obiektu kontrolnego. Natomiast w roku najbardziej suchym uzyskano istotnie większy udział w strukturze plonu bulw dużych pod wpływem dolistnego dokarmiania w porównaniu z obiektem kontrolnym. W innych badaniach również uzyskano korzystne oddziaływanie dolistnego dokarmiania nawozem krzemowym na strukturę plonu bulw głównie poprzez istotne zmniejszenie udziału frakcji bulw o średnicy poniżej 30 mm [Wróbel 2012]. Z kolei Głosek-Sobieraj i in. [2018] po zastosowaniu biostymulatorów dolistnych wykazali wzrost udziału w strukturze plonu bulw o średnicy 35–50 mm. W badanych latach, niezależnie od dolistnego stosowania nawozu Krzemian, w roku wilgotnym uzyskano istotnie większy udział w strukturze plonu bulw o średnicy poniżej 35 mm oraz bulw o średnicy 35–50 mm, natomiast w roku suchym i bardzo suchym istotnie więcej bulw o średnicy 50–60 mm i powyżej 60 mm. Wynikać to mogło z większej liczby związanych bulw w roku z nadmiarem opadów i w efekcie końcowym większego udziału w strukturze plonu bulw średnich. Wykazano, że w większym stopniu o kształtowaniu struktury plonu decydował układ warunków pogodowych w latach niż działanie nawozu.

Zastosowanie dolistnie Krzemianu nie różnicowało istotnie udziału w strukturze bulw zdeformowanych, zazielenionych i porażonych parchem zwykłym. Niezależnie od liczby wykonanych zabiegów dolistnych, w latach suchych uzyskano istotnie większy udział bulw zazielenionych i porażonych parchem zwykłym niż w roku wilgotnym (Tab. 4). Podobne zależności w analizowanych cechach w latach potwierdziły Lutomirska i Jankowska [2012]. W największym stopniu bulwy zazielenione i porażone parchem zwykłym zdeterminowane były przez układ warunków pogodowych w latach, natomiast zdeformowane przez współdziałanie warunków pogodowych w danych latach z nawozem.

Tabela 3. Wpływ dolistnego dokarmiania krzmem i mikroelementami w latach badań na plon bulw ($t \cdot ha^{-1}$) i strukturę plonu (%)
 Table 3. The effect of silicon foliar fertilization and microelements in investigation years on yield of tubers ($t \cdot ha^{-1}$) and yield of structure (%)

Obiekt Object	Plon bulw Yield of tubers	Udział frakcji bulw (mm) Share of tubers fraction (mm)			
		<35	35–50	50–60	>60
Obiekt kontrolny*	42,0 ^c	3,5 ^a	37,7 ^a	31,3 ^b	27,3 ^a
Krzemian I	45,8 ^b	3,2 ^a	30,1 ^b	36,8 ^a	29,8 ^a
Krzemian II	48,2 ^a	1,8 ^a	28,0 ^b	38,0 ^a	32,0 ^a
Krzemian III	48,1 ^a	3,2 ^a	33,2 ^b	31,9 ^b	31,5 ^a
2017	57,0 ^a	5,3 ^a	39,7 ^a	30,6 ^b	24,2 ^b
2018	52,0 ^b	2,2 ^b	24,9 ^c	38,5 ^a	35,0 ^a
2019	29,1 ^c	1,3 ^b	32,1 ^b	34,3 ^{ab}	31,2 ^a
Obiekt kontrolny*/2017	52,8 ^c	6,5 ^a	48,8 ^a	23,2 ^c	21,5 ^a
Krzemian I/2017	56,2 ^b	5,6 ^a	41,0 ^b	30,0 ^b	23,4 ^a
Krzemian II/2017	59,4 ^a	2,9 ^b	26,1 ^c	45,5 ^a	25,5 ^a
Krzemian III/2017	59,6 ^a	6,2 ^a	43,0 ^b	23,9 ^c	26,7 ^a
Obiekt kontrolny*/2018	46,6 ^c	1,0 ^a	28,8 ^a	36,0 ^b	34,2 ^a
Krzemian I/2018	52,3 ^b	0,7 ^a	17,9 ^b	46,2 ^a	35,2 ^a
Krzemian II/2018	54,8 ^a	2,0 ^a	28,9 ^a	33,2 ^b	35,9 ^a
Krzemian III/2018	54,1 ^a	1,7 ^a	24,2 ^a	38,7 ^b	35,4 ^a
Obiekt kontrolny*/2019	26,5 ^b	3,1 ^a	35,5 ^a	34,8 ^a	26,6 ^b
Krzemian I/2019	29,1 ^a	2,9 ^a	31,5 ^a	34,2 ^a	31,4 ^a
Krzemian II/2019	30,5 ^a	0,4 ^b	29,1 ^a	35,2 ^a	35,3 ^a
Krzemian III/2019	30,4 ^a	1,9 ^a	32,4 ^a	33,0 ^a	32,7 ^a
Udział w wariancji całkowitej Share in total variance (%)					
Nawóz Fertilizer (1)	4,1	10,6	19,4	18,7	13,8
Lata Years (2)	95,5	71,9	53,2	23,0	80,9
(1 × 2)	0,4	17,5	27,4	58,3	5,3

* Obiekt kontrolny; średnie z tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

* Control object; means with the same letters in the column do not differ significantly at $p = 0.05$

Tabela 4. Wpływ dolistnego dokarmiania krzemem i mikroelementami na udział w plonie bulw z wadami zewnętrznymi (%)

Table 4. The effect of silicon foliar fertilization and microelements on share in yield of tubers with external defects (%)

Obiekt Object	Zdeformowane Deformations	Zazielenione Greenings	Parch zwykły Common scab	Suma wad Sum of defects
Obiekt kontrolny*	8,8 ^a	3,9 ^a	1,8 ^a	14,5 ^a
Krzemian I	8,6 ^a	4,1 ^a	1,6 ^a	14,3 ^a
Krzemian II	8,1 ^a	3,7 ^a	1,5 ^a	13,3 ^a
Krzemian III	8,0 ^a	4,0 ^a	1,5 ^a	13,5 ^a
2017	8,2 ^a	1,8 ^c	0,3 ^b	10,3 ^c
2018	9,1 ^a	6,3 ^a	2,2 ^a	17,6 ^a
2019	7,9 ^a	3,5 ^b	2,4 ^a	13,8 ^b
Obiekt kontrolny*/2017	9,4 ^a	2,0 ^a	0,3 ^a	11,7 ^a
Krzemian I/2017	8,4 ^a	1,8 ^a	0,2 ^a	10,4 ^b
Krzemian II/2017	8,3 ^a	1,9 ^a	0,3 ^a	10,5 ^b
Krzemian III/2017	6,6 ^b	1,7 ^a	0,3 ^a	8,6 ^c
Obiekt kontrolny*/2018	10,1 ^a	5,8 ^a	2,5 ^a	18,4 ^a
Krzemian I/2018	9,1 ^b	6,4 ^a	2,2 ^a	17,7 ^b
Krzemian II/2018	9,2 ^b	6,2 ^a	2,0 ^a	17,4 ^b
Krzemian III/2018	8,1 ^c	6,9 ^a	2,0 ^a	17,0 ^b
Obiekt kontrolny*/2019	8,4 ^a	4,2 ^a	2,4 ^a	15,0 ^a
Krzemian I/2019	8,4 ^a	3,2 ^b	2,2 ^a	13,8 ^b
Krzemian II/2019	7,0 ^b	3,7 ^a	2,6 ^a	13,3 ^b
Krzemian III/2019	7,7 ^b	3,1 ^b	2,2 ^a	13,0 ^b
Udział w wariancji całkowitej (%) Share in total variance (%)				
Nawóz (1) Fertilizer (1)	13,3	0,5	1,4	2,2
Lata (2) Years (2)	30,0	97,0	97,8	93,9
(1 × 2)	56,7	2,5	0,8	3,9

* Obiekt kontrolny; średnie z tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

* Control object; means with the same letters in the column do not differ significantly at $p = 0.05$

W przypadku liczby wykonanych zabiegów dolistnego dokarmiania stwierdzono istotne zróżnicowanie zawartości skrobi i witaminy C w bulwach (Tab. 5).

Tabela 5. Wpływ dolistnego dokarmiania krzemem i mikroelementami w latach badań na skład chemiczny bulw ziemniaka
 Table 5. The effect of silicon foliar fertilization and microelements in investigation years on chemical composition of potato tubers

Obiekt Object	Skrobia Starch (%)	Azotany(V) Nitrates(V) (mg·kg ⁻¹)	Witamina C Vitamin C (mg·kg ⁻¹)	Sucha masa Dry matter (%)
Obiekt kontrolny*	12,6 ^b	70,6 ^a	226,8 ^c	18,9 ^b
Krzemian I	12,9 ^{ab}	68,4 ^a	236,1 ^b	19,2 ^a
Krzemian II	13,1 ^a	68,1 ^a	237,4 ^a	19,4 ^a
Krzemian III	13,2 ^a	66,1 ^a	238,0 ^a	19,6 ^a
2017	13,8 ^a	6,8 ^c	228,2 ^b	19,9 ^a
2018	11,9 ^c	108,1 ^a	237,6 ^a	18,5 ^c
2019	13,0 ^b	90,0 ^b	237,9 ^a	19,4 ^b
Obiekt kontrolny*/2017	13,1 ^c	5,3 ^a	224,0 ^c	19,0 ^b
Krzemian I/2017	13,8 ^b	7,0 ^a	227,6 ^b	19,5 ^a
Krzemian II/2017	14,3 ^a	7,3 ^a	229,0 ^b	19,8 ^a
Krzemian III/2017	14,3 ^a	7,6 ^a	232,3 ^a	19,6 ^a
Obiekt kontrolny*/2018	11,9 ^a	108,0 ^a	230,9 ^c	18,4 ^b
Krzemian I/2018	11,9 ^a	106,0 ^a	240,5 ^a	18,4 ^b
Krzemian II/2018	11,9 ^a	108,6 ^a	240,6 ^a	18,4 ^b
Krzemian III/2018	12,2 ^a	110,0 ^a	238,3 ^b	18,9 ^a
Obiekt kontrolny*/2019	12,8 ^a	98,6 ^a	225,6 ^c	19,4 ^b
Krzemian I/2019	12,9 ^a	92,3 ^a	240,1 ^b	19,9 ^a
Krzemian II/2019	13,0 ^a	88,3 ^{ab}	242,6 ^a	20,1 ^a
Krzemian III/2019	13,2 ^a	80,6 ^b	243,5 ^a	20,3 ^a
Udział w wariancji całkowitej (%) Share in total variance (%)				
Nawóz (1) Fertilizer (1)	8,0	0,1	44,7	13,7
Lata (2) Years (2)	88,0	99,2	44,2	82,2
(1 × 2)	4,0	0,7	11,1	4,1

* Obiekt kontrolny; średnie z tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

* Control object; means with the same letters in the column do not differ significantly at $p = 0.05$

Największą zawartość skrobi i witaminy C uzyskano po wykonaniu trzech zabiegów dolistnego dokarmiania nawozem Krzemian. Zawartość azotanów nie różniła się istotnie pomiędzy obiektami z zastosowaniem nawozu w stosunku do obiektu kontrolnego. We wcześniejszych badaniach własnych po dwukrotnym zastosowaniu nawozu krzemowego uzyskano istotne obniżenie zawartości azotanów w bulwach oraz potwierdzono podobnie jak w obecnych korzystne oddziaływanie na zawartość skrobi i witaminy C w bulwach [Trawczyński 2018]. Lata badań również istotnie różnicowały skład chemiczny bulw (Tab. 5). W roku o dostatecznej ilości opadów oraz umiarkowanie ciepłym uzyskano istotnie większą zawartość skrobi i suchej masy w bulwach niż w latach suchych przy ekstremalnie wysokich temperaturach powietrza, co zbieżne było z badaniami Żołnowskiego [2013]. Na ogół jednak lata suche sprzyjają gromadzeniu skrobi w bulwach, co potwierdziła Rymuza i in. [2015], ale w obecnych badaniach prawdopodobnie ekstremalnie wysoka temperatura powietrza, szczególnie w 2018 roku, zadecydowała o wysoce istotnym obniżeniu tego składnika w bulwach. Lata suche i ciepłe przyczyniły się również do istotnego wzrostu poziomu witaminy C oraz azotanów w bulwach. Wcześniejsze badania własne potwierdziły, że lata z nadmiarem opadów w okresie wegetacji nie sprzyjały gromadzeniu witaminy C w bulwach [Trawczyński 2016]. Natomiast Grudzińska i Zgórska [2008] potwierdziły, że suchy i gorący okres wegetacji sprzyjał kumulacji azotanów(V) w bulwach. Największy wpływ na zawartość skrobi i azotanów w bulwach miał układ warunków pogodowych w latach, co na ogół potwierdzało się w większości dotychczas przeprowadzonych badań [Leszczyński 1994, Kołodziejczyk 2013]. Natomiast zawartość witaminy C kształtowały w podobnym stopniu lata badań i zastosowany nawóz. W badaniach Wierzbowskiej i in. [2015] z kolei wykazano niewielki udział zastosowanych nawozów dolistnych w zmienności kształtowania jakości bulw ziemniaka.

WNIOSKI

1. Najbardziej efektywne okazało się wykonanie dwukrotnego zabiegu dolistnego dokarmiania roślin ziemniaka nawozem krzemowym, w fazie zwierania roślin ziemniaka w międzyrzędziach (BBCH 39) i po kwitnieniu (faza BBCH 70), co stanowiło przyrost plonu o 14,8% w porównaniu od obiektu kontrolnego, bez zastosowania nawozu.
2. Największy przyrost plonu bulw pod wpływem zastosowanego nawozu krzemowego w stosunku do obiektu kontrolnego uzyskano w roku suchym i najbardziej gorącym (z największą średnią temperaturą powietrza w okresie wegetacji).
3. Po zastosowaniu nawozu Krzemian stwierdzono tendencję wzrostu udziału w strukturze plonu bulw o średnicy powyżej 60 mm oraz spadek udziału bulw z wadami wyglądu.
4. Pod wpływem zastosowania nawozu krzemowego uzyskano istotny przyrost zawartości skrobi, witaminy C i suchej masy w bulwach ziemniaka w porównaniu do obiektu kontrolnego.

PIŚMIENNICTWO

- Artyszak A., Gozdowski D., Kucińska K., 2014. The effect of foliar fertilization with marine calcite in sugar beet. *Plant Soil Environ.* 60, 413–417. <https://doi.org/10.17221/451/2014-PSE>
- Artyszak A., Gozdowski D., Kucińska K., 2016. The effect of calcium and silicon foliar fertilization in sugar beet. *Sugar Technol.* 18(1), 109–114. <https://doi.org/10.1007/s12355-015-0371-4>

- Artyszak A., 2018. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality – a literature review in Europe. *Plants* 7, 54. <https://doi.org/10.3390/plants7030054>
- Bac S., Koźmiński C., Rojek M., 1998. *Agrometeorologia*. PWN, Warszawa, 274.
- Birbal W., Singh R.K., Kumar V., Kushwah V.S., 2009. Effect of foliar application of plant growth regulators on growth, yield and postharvest losses of potato (*Solanum tuberosum*). *Ind. J. Agric. Sci.* 79(9), 684–686.
- Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L., 2009. Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 9, 33–44.
- 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 Sci.* 49, 949–954. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.04.0233>
- 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. Nat. Sci.* 30(1), 5–20.
- Głosek-Sobieraj M., Cwalina-Ambroziak B., Hamouz K., 2018. 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.
- Głuska A., 2004. Wpływ zmiennego rozkładu opadów na cechy bulw ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) w warunkach polowych oraz wyznaczenie okresu krytycznego wrażliwości na niedobór wody u odmian o różnej długości okresu wegetacji. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 496, 217–227.
- Górecki R.S., Danielski-Busch W., 2009. Effect of silicate fertilizers on yielding of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.) in container cultivation. *J. Elem.* 14(1), 71–78.
- Grudzińska M., Zgórska K., 2008. Wpływ warunków meteorologicznych na zawartość azotanów(V) w bulwach ziemniaka. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 5(60), 98–106.
- Guntzer F., Keller C., Meunier J.D., 2012. Benefits of plant silicon for crops: A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 201–213. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0039-8>
- Kołodziejczyk M., 2013. Fenotypowa zmienność plonowania, składu chemicznego oraz wybranych cech jakości bulw średnio późnych i późnych odmian ziemniaka jadalnego. *Acta Agroph.* 20(3), 411–422.
- Kumar D., Minhas J.S., Singh B., 2003. Abiotic stress and potato production. In: Khurana, S.M.P., Minhas J.S., Pandey S.K. (Eds.). *The Potato: Production and Utilization in Sub-tropics*. Mehta Publishers, New Delhi, India, 314–322.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s12633-016-9466-0>
- Leszczyński W., 1994. Wpływ czynników działających w okresie wegetacji ziemniaka na jego jakość. *Post. Nauk Rol.* 41/46(6), 55–68.
- Lutomirska B., Jankowska J., 2012. Występowanie deformacji i spękań bulw ziemniaka w zależności od warunków meteorologicznych i odmiany. *Biul. IHAR* 266, 131–142.
- Mitani N., Ma J.F., 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *J. Exp. Bot.* 56, 1255–1261.
- Panda D., Pramanik K.B., Naya R., 2012. Use of sea weed extracts as plant growth regulators for sustainable agriculture. *Int. J. Biores. Stress Manag.* 3(3), 404–411.
- Raven J.A., 2003. Cycling silicon – The role of accumulation in plants. *New Phytol.* 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. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.05.010>
- 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. <https://doi.org/10.3103/S1068367416050177>
- Rykczevska 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. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412295>
- 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. Elem.* 14, 619–630. <https://doi.org/10.5601/jelem.2009.14.3.20>
- 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. Phycol.* 26, 465–490. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0101-9>
- Sommer M., Kaczorek D., Kuzyakov Y., Breuer J., 2006. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes – A review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169, 310–329. <https://doi.org/10.1002/jpln.200521981>
- Trawczyński C., 2013. Wpływ dolistnego nawożenia preparatem Herbagreen na plonowanie ziemniaków. *Ziemniak Polski* 2, 29–33.
- Trawczyński C., 2016. Wpływ odmiany i warunków pogodowych okresu wegetacji na zawartość wybranych składników odżywczych i antyżywniowych w bulwach ziemniaka. *Acta Agroph.* 23(1), 89–98.
- Trawczyński C., 2018. The effect of foliar preparation with silicon on the yield and quality of potato tubers in compared to selected biostimulators. *Fragm. Agron.* 35(4), 113–122. <https://doi.org/10.26374/fa.2018.35.47>
- 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. Elem.* 20, 757–768. <https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.4.799>
- 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.
- Żołnowski A.C., 2013. Studia nad zmiennością i jakością ziemniaka jadalnego (*Solanum tuberosum* L.) w warunkach zróżnicowanego nawożenia mineralnego. *Rozprawy i Monografie* 191, ss. 259.

Źródło finansowania: Praca została sfinansowana ze środków Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju wsi na działalność statutową Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – PIB Oddział w Jadwisinie.

Summary. In the years 2017–2019, field experiment was carried out on light soil to determine the effect of foliar fertilization of potato plants with a silicon fertilizer (Krzemian) on the yield and selected quality characteristics of potato tubers. The fertilizer used for the experiments contained: $\text{Si}(\text{OH})_4$ – 2.5%; Cu – 1.0%; Zn – 0.6%; B – 0.3%; Mo – 0.2%. Each year, from one to three foliar fertilization treatments were performed in the development stages of potato plants BBCH 19, 39, 70. The control was the object without foliar fertilization. Mineral fertilization was applied in the following doses: 100 kg N·ha⁻¹, 26.2 kg P·ha⁻¹ and 99.6 kg K·ha⁻¹. Under the influence of the applied fertilizer, a significant increase in tuber yield was obtained, mean by 12.9% compared to the control object. The weather pattern in the years and the number of treatments performed with the fertilizer significantly differentiated the increase in tuber yield. The highest increase in tuber yield was achieved in dry year with the highest mean air temperature, applying of fertilizer twice during the growing season. There was a general tendency of an increase in the yield structure of the share of tubers with a diameter of above 60 mm and a decreasing tendency of deformed tubers after application of the Krzemian fertilizer compared to the control object. A beneficial effect of the Krzemian fertilizer on the content of starch and vitamin C in tubers was demonstrated.

Key words: foliar fertilization, quality of tubers, silicon, yield, potato