

WPLYW DOLISTNEGO NAWOŻENIA KRZEMEM I WAPNIEM NA PLON I JAKOŚĆ TECHNOLOGICZNĄ BURAKA CUKROWEGO

DARIUSZ GÓRSKI¹, RENATA GAJ², AGNIESZKA ULATOWSKA¹, JACEK PISZCZEK¹

¹*Institut Ochrony Roślin Państwowy Instytut Badawczy, Terenowa Stacja Doświadczalna,
ul. Pigwowa 16, 87-100 Toruń*

²*Katedra Chemii Rolnej i Biogeochemii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 71F, 60-625 Poznań*

Synopsis. Celem pracy była ocena dolistnej aplikacji nawozu krzemowo-wapniowego na plon i jakość technologiczną buraka cukrowego na tle nawożenia stosowanego przez plantatorów. W latach 2011–2013 przeprowadzono 15 ścisłych doświadczeń polowych w pięciu lokalizacjach na terenie województwa kujawsko-pomorskiego. Doświadczenia jednoczynnikowe założono w układzie bloków losowanych kompletnych w czterech powtórzeniach. Ocenie poddano dwa warianty: (1) trzykrotny zabieg dolistny nawozem krzemowo-wapniowym, (2) kontrola (bez zabiegów dolistnych (Si-Ca)). Plony korzeni w porównaniu do średniej krajowej były wysokie i wahały się w przedziale od 63 t·ha⁻¹ do 93 t·ha⁻¹. Wpływ czynnika doświadczalnego na wielkość plonu korzeni i cukru technologicznego był zróżnicowany w zależności od stanowiska, roku badań oraz warunków siedliskowych. Synteza wyników z trzech lat badań nie wykazała istotnego wpływu czynnika doświadczalnego na plon i jakość korzeni oraz cukru technologicznego w porównaniu do wariantu kontrolnego. Plon cukru technologicznego wahał się w zakresie od 11,9 do 15,2 t·ha⁻¹.

Słowa kluczowe: burak cukrowy, nawożenie, krzem, jakość

WSTĘP

Problemy ekologiczne i ekonomiczne produkcji cukru skłaniają do poszukiwania nowych rozwiązań w zakresie technologii uprawy i nawożenia buraka, które ukierunkowane są na zmniejszenie poziomu nawożenia mineralnego, minimalizację liczby zabiegów uprawowych oraz poprawę jakości plonu [Koch i in. 2009]. W praktyce rolniczej wykorzystanie potencjału plonotwórczego buraka cukrowego, zależy nie tyle od ilości wprowadzonych do gleby składników pokarmowych w formie nawozów mineralnych, lecz od warunków fizycznych i chemicznych wpływających na ich pobranie. Według obowiązującej definicji niezbędnego składnika pokarmowego, sformułowanej po raz pierwszy przez Arnona i Stouta w 1939 roku, krzem dla większości roślin nie należy do grupy składników niezbędnych do prawidłowego wzrostu i rozwoju [Epstein 1994, Wiese i in. 2007]. W rozwoju rośliny, istotną rolę odgrywa dziesięć podstawowych pierwiastków, w skład których wchodzi makro i mikroelementy (N, P, K, Na, Mg, S, Ca, Mn, Zn, B, Cu, Mo). Pozostałe pierwiastki w tym krzem, mogą pośrednio stymulować wzrost roślin, przyczyniając się zarówno do wzrostu plonu korzeni jak również zwiększenia polaryzacji, przy jednoczesnym zmniejszeniu związków melasotwórczych. Burak cukrowy jest gatunkiem o specyficznych wymaganiach żywieniowych, wytwarzającym dużą biomasę, co

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address*: D.Gorski@iorpib.poznan.pl

wiąże się z intensywnym pobieraniem składników pokarmowych [Wiśniewski 1994]. Zarówno plon, jak i jakość technologiczna korzeni są warunkowane szeregiem czynników naturalnych i agrotechnicznych, takich jak: odmiana, nawożenie, ochrona [Kuc i Zimny 2005, Werker i Haggard 1998]. Ważnym zagadnieniem podejmowanym w ostatnich latach w uprawie buraka cukrowego, a także innych roślin uprawnych, jest poszukiwanie nowych technologii uprawy. Mowa między innymi o wykorzystaniu różnego rodzaju biostymulatorów [Jardin 2015, Savvas i Ntatsi 2015] oraz pierwiastków korzystnych, jak krzem, które pozwolą zmniejszyć nakłady ponoszone na uprawę, a z drugiej strony będą sprzyjać maksymalizacji produkcji cukru [Artyszak i in. 2014, 2016]. Wyniki wielu badań, zarówno krajowych i zagranicznych, wskazują, że krzem korzystnie oddziałuje na wzrost, rozwój i odporność roślin na różne czynniki stresowe, zarówno biotyczne jak i abiotyczne np.: wzrost odporności na choroby, suszę [Ahmed 2011, Balakhnina i Borkowska 2013, Datnoff i in. 1997, Epstein 1999, Ma 2004], zasolenie [Romero-Arnada i in. 2006], stres oksydacyjny [Zhu i in. 2004]. Zdaniem wielu autorów [Guntzer 2012, Ma i Yanaji 2008] korzystne działanie krzemu w optymalnych warunkach wzrostu roślin nie zawsze się uwidacznia. Dane literaturowe pokazują również, że krzem kontroluje pobieranie i częściowo łagodzi fitotoksyczność metali: glinu, manganu, cynku oraz niedobory mikroelementów w roślinach [Hernandez-Apaolaza 2014, Liang i in. 2001, 2005]. W literaturze światowej brak jest ścisłych i jednoznacznych badań wskazujących na wpływ nawożenia krzemem na plon buraka cukrowego oraz jego jakość technologiczną. Dotychczasowe doniesienia naukowe nie są jednoznaczne i poznanie roli tego pierwiastka w nawożeniu tej rośliny wymaga kontynuacji badań.

Celem przeprowadzonych badań eksperymentalnych było określenie wpływu dolistnej aplikacji krzemem i wapniem na plon i jakość technologiczną korzeni buraka cukrowego na tle warunków siedliskowych i nawożenia mineralnego stosowanego przez plantatorów.

MATERIAŁ I METODY

W latach 2011–2013 w pięciu miejscowościach położonych w woj. kujawsko-pomorskim przeprowadzono 15 ścisłych doświadczeń polowych. Testowaną rośliną był burak cukrowy. Zgodnie z celem badań autorzy celowo nie ingerowali w technologię uprawy oraz w nawożenie mineralne stosowane przez właścicieli pól, bez względu na to czy dane stanowisko było odpowiednie do uprawy buraka cukrowego, a nawożenie mineralne było dostosowane do zasobności gleby. Lokalizację doświadczeń oraz charakterystykę agrochemiczną stanowisk przedstawia tabela 1a, 1b i 1c. Doświadczenia założono w układzie bloków losowanych kompletnych w czterech powtórzeniach. Czynnikiem doświadczalnym było dolistne nawożenie nawozem krzemowo-wapniowym (Si-Ca) na tle wariantu kontrolnego bez aplikacji (Si-Ca). Zabieg przeprowadzono w trzech terminach, z których pierwszy przypadał na fazę 3-4 par liści właściwych (BBCH 13–14), natomiast kolejne w odstępach co 10–14 dni. Wielkość poletka brutto wynosiła 21,6 m² (2,7 × 8 m). W każdym terminie zastosowano 175 g SiO₂·ha⁻¹ i 415 g CaO·ha⁻¹. Skład chemiczny nawozu przedstawia tabela 2.

W fazie dojrzałości technologicznej buraków (BBCH 49) oznaczono plon korzeni, które zebrano ręcznie z każdego poletka, z czterech środkowych rzędów o długości 6 m, co stanowiło powierzchnię 10,8 m². Jakość korzeni oznaczono na podstawie próby 32 korzeni pobranych z każdego poletka z dwóch środkowych rzędów (16 kolejnych korzeni). Ocenę zawartości cukru, azotu, sodu i potasu wykonano na automatycznej linii Venema w KHBC w Straszku. Plon technologiczny cukru obliczono według formuły [Buchholz 1995]

Tabela 1a. Charakterystyka pól doświadczalnych w roku 2011

Table 1a. Characteristic of experimental fields in 2011

Cecha – Feature	Lokalizacja – Location				
	Brześć	Fałęcin	Koniczynka	Kryńsk	Skąpe
Szerokość geogr. Latitude	52°62'	53°23'	53°08'	52°65'	53°22'
Długość geogr. Longitude	18°92'	18°53'	18°69'	18°85'	18°59'
Kategoria gleby Type of soil	średnia medium	średnia medium	średnia medium	lekka low	średnia medium
Klasa – Class	IIIb	IIIa	IIIa	IVa	IIIb
pH	7,4	5,2	5,6	5,8	7,3
P, mg·kg ⁻¹ gleby/soil	90	80	110	80	100
K, mg·kg ⁻¹ gleby/soil	130	170	170	120	200
Mg, mg·kg ⁻¹ gleby/soil	70	60	70	40	30
Próchnica (%) Humus (%)	1,90	1,52	1,70	2,00	1,40
Przedplon Previous crop	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat
Odmiana – Cultivar	Argument	Nevenka	Boryna	Leopard	Jonas
Dawka N (kg·ha ⁻¹) Rate N (kg·ha ⁻¹)	84	173	146	102	186
Dawka P (kg·ha ⁻¹) Rate P (kg·ha ⁻¹)	7	22	31	13	35
Dawka K (kg·ha ⁻¹) Rate K (kg·ha ⁻¹)	28	110	126	50	119
Data siewu Sowing date	14.04.2011	12.04.2011	15.04.2011	17.04.2011	20.04.2011
Data zbioru Harvest date	11.10.2011	15.10.2011	15.09.2011	20.10.2011	10.10.2011

Tabela 1b. Charakterystyka pól doświadczalnych w roku 2012

Table 1b. Characteristic of experimental fields in 2012

Cecha – Feature	Lokalizacja – Location				
	Brześć	Fałęcin	Koniczynka	Kryńsk	Skąpe
Szerokość geogr. Latitude	52°62'	53°23'	53°08'	52°65'	53°22'
Długość geogr. Longitude	18°92'	18°53'	18°69'	18°85'	18°59'
Kategoria gleby Type of soil	średnia medium	średnia medium	średnia medium	lekka low	średnia medium
Klasa – Class	IIIb	IIIa	IIIa	IVa	IIIb

Tabela 1b. cd.
Table 1b. cont.

pH	7,1	5,5	6,8	5,0	5,9
P, mg·kg ⁻¹ gleby/soil	70	80	130	50	40
K, mg·kg ⁻¹ gleby/soil	150	170	220	190	190
Mg, mg·kg ⁻¹ gleby/soil	100	50	110	60	30
Przedplon Previous crop	pszenica jara spring wheat	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	rzepak oz. winter rape	pszenica oz. winter wheat
Odmiana – Cultivar	Schubert	Argument	Huzar	Goldena	Schubert
Dawka N (kg·ha ⁻¹) Rate N (kg·ha ⁻¹)	76	126	165	236	136
Dawka P (kg·ha ⁻¹) Rate P (kg·ha ⁻¹)	21	15	16	16	8,0
Dawka K (kg·ha ⁻¹) Rate K (kg·ha ⁻¹)	60	35	80	80	75
Data siewu Sowing date	03.04.2012	11.04.2012	28.03.2012	27.03.2012	13.04.2012
Data zbioru Harvest date	10.10.2012	02.10.2012	19.10.2012	09.10.2012	04.10.2012

Tabela 1c. Charakterystyka pól doświadczalnych w roku 2013
Table 1c. Characteristic of experimental fields in 2013

Cecha – Feature	Lokalizacja – Location				
	Brześć	Falęcin	Koniczynka	Kryńsk	Skąpe
Szerokość geogr. Latitude	52°62'	53°23'	53°08'	52°65'	53°22'
Długość geogr. Longitude	18°92'	18°53'	18°69'	18°85'	18°59'
Kategoria gleby Type of soil	średnia medium	średnia medium	średnia medium	lekka low	średnia medium
Klasa – Class	IIIb	IIIa	IIIa	IVa	IIIb
pH	7,4	6,2	6,9	7,3	6,8
P, mg·kg ⁻¹ gleby/ soil	110	90	110	110	110
K, mg·kg ⁻¹ gleby/ soil	120	200	200	190	190
Mg, mg·kg ⁻¹ gleby/soil	30	50	90	40	40
Próchnica (%) Humus (%)	2,11	1,63	1,65	2,11	1,52
Przedplon Previous crop	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	kukurydza maize	pszenica jara spring wheat
Odmiana – Cultivar	Fighter	Szyzyf	Telimena	Nancy	Sokrates

Tabela 1c. cd.
Table 1c. cont.

Dawka N (kg·ha ⁻¹) Rate N (kg·ha ⁻¹)	98	129	136	193	92
Dawka P (kg·ha ⁻¹) Rate P (kg·ha ⁻¹)	15	9	33	14	35
Dawka K (kg·ha ⁻¹) Rate K (kg·ha ⁻¹)	66	33	80	46	100
Data siewu Sowing date	23.04.2013	22.04.2013	24.04.2013	20.04.2013	23.04.2013
Data zbioru Harvest date	10.10.2013	23.09.2013	11.10.2013	09.10.2013	08.10.2013

Tabela 2. Skład chemiczny nawozu HerbaGreen®Basic
Table 2. Chemical composition HerbaGreen®Basic fertilizer

Zawartość składników – Nutrient content (%)									
Ca	Si	Fe	Mg	K	Ti	Na	S	P	Mn
29,9	8,2	2,2	1,3	0,42	0,30	0,30	0,16	0,04	0,06

$$CT = Pol - [0,12 \cdot (K + Na) + 0,24 \cdot (N\text{-amin}) + 1,08]$$

$$Y_{CT} = (Y_{PK} \cdot PCT) : 100$$

gdzie:

Pol – zawartość cukru biologicznego – polaryzacja (% świeżej masy);

K, Na, N- α -amin – zawartość potasu, sodu i azotu α -aminowego (mmol 100 g⁻¹);

Y_{PK} – plon korzeni (t·ha⁻¹);

Y_{PCT} – plon cukru technologicznego (t·ha⁻¹).

Do oceny wpływu czynnika doświadczalnego na wielkość plonu korzeni oraz jakość technologiczną zastosowano analizę wariancji ANOVA dla doświadczeń jednoczynnikowych. Ze względu na duże różnice w poziomie nawożenia i właściwościach gleby w poszczególnych lokalizacjach dla każdej miejscowości analiza statystyczna została wykonana osobno. Interakcje czynnika doświadczalnego i roku badań potraktowano jako efekt losowy. Istotność interakcji oznaczała istotny wpływ warunków pogodowych w roku badań na efekt działania czynnika doświadczalnego. Całość obliczeń wykonano w programie Excel 2010 oraz ARM 9 (Agriculture Research Manager) z wykorzystaniem dodatku ST 8 (Summary Across Trials). Do oceny istotności różnic między średnimi użyto test Newmana-Keulsa na poziomie istotności $p = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

W praktyce rolniczej plon jest podstawowym i wymiernym kryterium oceny wartości plonotwórczej stosowanych czynników produkcji. Plony korzeni w każdym roku badań niezależnie od nawożenia mineralnego, kształtowały się znacznie powyżej średniej krajowej i były zbliżone do plonów potencjalnych uzyskanych przez COBORU. Otrzymany poziom plonów świadczy

o wysokiej naturalnej żyzności gleb. Reakcja buraka na krzem aplikowany dolistnie była zróżnicowana i zależała od roku badań oraz warunków siedliskowych w danej lokalizacji (tab. 3). Istotne różnice pod wpływem dolistnego nawożenia Si-Ca w danym roku odnotowano tylko dla pojedynczych miejscowości. W sezonie wegetacyjnym 2011 istotny statystycznie wzrost plonu korzeni w porównaniu do obiektu kontrolnego stwierdzono w miejscowości Skąpe, natomiast w 2013 roku w Koniczynie. Wzrost plonu korzeni dla wymienionych lokalizacji w porównaniu do wariantu kontrolnego przedstawiał się odpowiednio 3,8 oraz 7,5%. W sezonie wegetacyjnym 2012, niezależnie od miejsca prowadzenia doświadczeń, stwierdzono brak istotnych różnic w plonach pod wpływem dolistnego nawożenia nawozem Herbagreen®Basic. W wymienionym roku dodatnią plonotwórczą reakcją buraków cukrowych na nawożenie Si-Ca odnotowano tylko w Kryńsku i Skąpe, gdzie wzrost plonu korzeni w porównaniu do wariantu kontrolnego kształtował się na poziomie, odpowiednio 10,8 oraz 1,0%. Przeprowadzona analiza syntezy wyników z trzyletnich badań polowych wskazuje, że działanie krzemu nie jest tak jednoznaczne jak w badaniach Artyszaka i in. [2014, 2016]. Zdaniem wymienionych autorów wprowadzenie krzemu (w dawce 239 i 319 g·ha⁻¹ oraz wapnia w ilości 789 i 1048 g·ha⁻¹) w technologii nawożenia buraka cukrowego skutkowało wzrostem plonu korzeni na poziomie 13%, ale otrzymana różnica nie była istotna statystycznie. W przeprowadzonych badaniach własnych (uwzględniając średnią z trzech lat), tendencję do wzrostu plonu buraków w zakresie od 2 do 4%, odnotowano w 3 spośród 5 analizowanych miejscowości (tab. 3). W dwóch pozostałych lokalizacjach (Brześć i Fałęcin) odnotowano spadek plonów, odpowiednio o 3,1 i 1,0% w porównaniu do wariantu kontrolnego. Przy czym istotny spadek stwierdzono tylko w przypadku lokalizacji pól w Brześciu. Dane te mogą wskazywać na większy wpływ innych czynników środowiskowych (warunki pogodowe, nawożenie mineralne) na wielkość plonu korzeni niż dolistne nawożenie krzemem i wapniem. Wpływ przebiegu warunków pogodowych w kształtowaniu plonu korzeni i cukru jest szeroko opisany w literaturze [Hartmann i in. 2012, Mubarak i in. 2016, Muchova i in. 1998,

Tabela 3. Wpływ dolistnego nawożenia krzemem i wapniem na plon korzeni (t·ha⁻¹)
Table 3. Effect of foliar application of silicon and calcium on the yield of roots (t·ha⁻¹)

Rok – Year	Wariant Treatment	Lokalizacja – Location				
		Brześć	Fałęcin	Koniczyna	Kryńsk	Skąpe
2011	Kontrola – Control	81,4 a	97,9 a	72,1 a	80,7 a	89,6 b
	Krzem – Silicon	79,0 a	96,5 a	71,6 a	78,6 a	93,1 a
2012	Kontrola – Control	77,7 a	89,1 a	89,1 a	77,2 a	84,7 a
	Krzem – Silicon	75,9 a	87,6 a	87,3 a	85,5 a	85,6 a
2013	Kontrola – Control	66,5 a	71,2 a	96,6 b	63,3 a	81,8 a
	Krzem – Silicon	63,8 a	71,3 a	103,9 a	66,1 a	82,8 a
Średnia – Mean 2011–2013	Kontrola – Control	75,2 a	86,0 a	86,0 a	73,8 a	85,4 a
	Krzem – Silicon	72,9 b	85,1 a	87,6 a	76,7 a	87,1 a
Rok × Wariant/Year × Treatment		i.n.	i.n.	i.n.	i.n.	i.n.

i.n. – interakcja nieistotna/no significant interaction

Średnie w kolumnach oznaczone tą samą literą w danym roku nie różnią się istotnie według testu Newmana-Keulessa ($p = 0,05$) / Means value in columns and year followed by the same letter do not differ significantly according to the Newman-Keuls test ($p = 0.05$)

Pacuta i in. 2000]. Większość doświadczeń była założona na glebach charakteryzujących się wysoką zasobnością w przyswajalny fosfor i potas oraz optymalnym odczynem dla uprawy tej rośliny (tabela 1a, 1b, 1c). Datnoff i in. [2001] wskazują, że efektywność stosowania krzemu w uprawie roślin jest ściśle uzależniona od źródła jego pochodzenia oraz uprawianego gatunku. Badania szklarniowe [Jarosz 2013, 2015] oraz polowe przeprowadzone przez innych autorów dowodzą, że uzyskane wyniki są często rozbieżne, a nawet sprzeczne. Nie można również wykluczyć różnic w poziomie plonowania buraka w zależności od badanej odmiany [Jaggard i in. 1999].

Plon cukru technologicznego (PCT) jest wypadkową plonu biologicznego i sumy strat cukru wynikających zarówno z ujemnego działania melasotworów na ekstrakcję cukru z korzeni w procesie przetwórczym, jak i strat cukru w procesie technologicznym. Reakcja buraka cukrowego na nawożenie krzemem wyrażona plonem cukru technologicznego, analogicznie jak w przypadku plonu korzeni, była niejednoznaczna i zależała od roku badań oraz warunków siedliskowych (tab. 4). Wyniki badań nie dają jednoznacznej odpowiedzi co do roli krzemu w kształtowaniu jakości korzeni buraka cukrowego. W sezonie wegetacyjnym 2011 wzrost PCT zaobserwowano w dwóch z pięciu lokalizacji (Koniczynka, Skąpe), przy czym istotną różnicę stwierdzono tylko w miejscowości Skąpe, dla której zanotowany wzrost plonu cukru w porównaniu do wariantu kontrolnego wynosił 3,5%. W roku 2012 wyraźną dodatnią tendencję do wzrostu plonu cukru pod wpływem nawożenia Si-Ca stwierdzono w Kryńsku i Fałęcinie. W przypadku tych lokalizacji wzrost PCT przedstawiał się odpowiednio 12,3 oraz 3,6%. W kolejnym sezonie wegetacyjnym przypadającym na rok 2013, poza doświadczeniem w Brześciu nawożenie krzemem i wapniem prowadziło do wzrostu plonu cukru, aczkolwiek istotną statystycznie różnicę na poziomie 7,8% odnotowano tylko w miejscowości Koniczynka. Synteza wyników plonu cukru technologicznego dla poszczególnych lokalizacji (średnia z 3 lat) wykazała, że działanie krzemu było silnie zdeterminowane warunkami lokalnymi w których prowa-

Tabela 4. Wpływ dolistnego nawożenia krzemem i wapniem na plon cukru technologicznego ($t \cdot ha^{-1}$)
Table 4. Effect of foliar application of silicon and calcium on the technological sugar yield ($t \cdot ha^{-1}$)

Rok – Year	Wariant Treatment	Lokalizacja – Location				
		Brześć	Fałęcin	Koniczynka	Kryńsk	Skąpe
2011	Kontrola – Control	13,4 a	16,6 a	10,4 a	13,9 a	15,8 b
	Krzem – Silicon	12,9 a	16,2 a	10,4 a	13,4 a	16,4 a
2012	Kontrola – Control	13,2 a	12,8 a	14,8 a	12,1 a	14,6 a
	Krzem – Silicon	12,9 a	13,2 a	14,6 a	13,6 a	14,7 a
2013	Kontrola – Control	10,8 a	10,3 a	15,7 b	9,5 a	14,1 a
	Krzem – Silicon	10,0 a	10,6 a	16,9 a	9,8 a	14,6 a
Średnia – Mean 2011–2013	Kontrola – Control	12,5 a	13,2 a	13,6 a	11,8 a	14,9 b
	Krzem – Silicon	11,9 b	13,3 a	14,0 a	12,3 a	15,2 a
Rok × Wariant/Year × Treatment		i.n.	i.n.	i.n.	i.n.	i.n.

i.n. – interakcja nieistotna/no significant interaction

Średnie w kolumnach oznaczone tą samą literą w danym roku nie różnią się istotnie według testu Newmana-Keulsa ($p = 0,05$)/Means value in columns and year followed by the same letter do not differ significantly according to the Newman-Keuls test ($p = 0.05$)

dzono badania (tab. 4). PCT wahał się w zakresie od 11,9 do 15,2 t·ha⁻¹. W trzech lokalizacjach w efekcie nawożenia krzemem stwierdzono tendencję do wzrostu plonu cukru (od 0,8 do 3,6%). W miejscowości Skąpe istotny wzrost PCT wynosił 2,5%, natomiast w Brześciu zanotowano jego istotny spadek o 4,3%. Różnice w plonach cukru wynikały głównie ze zmiennych warunków siedliskowych oraz zróżnicowanego poziomu nawożenia azotem. Wijayn [2016] podkreśla, że jedną z przyczyn niższej efektywności stosowanego krzemu, jest zbyt wysoki poziom nawożenia azotem w formie amonowej. Badania Wijata [2016] z trzciną cukrową wykazały, że nawożenie krzemem w większym stopniu wpływało na plon cukru niż na plon biomasy roślin. Autor uzyskał wzrost plonu cukru w zależności od badanej odmiany w zakresie od 7,8 do 8,3%, przy czym różnica również nie była istotna statystycznie.

Stosowanie wszelkich środków wspomagających efektywność wykorzystania azotu w technologii nawożenia buraka, w tym pierwiastków korzystnych, wymaga zwrócenia uwagi producenta na ich wpływ na parametry jakościowe korzeni tj.: zawartość cukru oraz melasotworów. Azot alfa-aminowy, K, Na określane są mianem tych składników, których obecność w miarodajnej korzeniowej utrudnia ekstrakcję cukru [Herlihy 1992]. Z punktu widzenia technologicznego surowiec jest tym lepszy, im więcej zawiera cukru, a mniej melasotworów. Z czynników żywieniowych, szczególną rolę w kształtowaniu zawartości cukru odgrywa azot. Nawożenie tym pierwiastkiem obniża polaryzację w korzeniach, a ponadto zwiększa udział w nich składników melasotwórczych.

W przeprowadzonych badaniach, niezależnie od lokalizacji doświadczeń, nawożenie krzemem nie miało stałego i powtarzalnego wpływu na zawartość cukru w korzeniach. Spośród pięciu lokalizacji tylko w jednej (Koniczynka), niezależnie od roku badań, zanotowano stałą tendencję do wzrostu zawartości cukru w korzeniach pod wpływem dolistnej aplikacji krzemu (tab. 5). Synteza wyników z 3 lat wykazała, że w miejscowości tej nawożenie krzemem

Tabela 5. Wpływ dolistnego nawożenia krzemem i wapniem na zawartość cukru w korzeniach (%)
Table 5. Effect of foliar application of silicon and calcium on sugar content in roots (%)

Rok – Year	Wariant Treatment	Lokalizacja – Location				
		Brześć	Fałęcin	Koniczynka	Kryńsk	Skąpe
2011	Kontrola – Control	18,1 a	18,8 a	16,30 a	19,1 a	19,5 a
	Krzem – Silicon	18,1 a	18,7 a	16,49 a	19,0 a	19,5 a
2012	Kontrola – Control	18,6 a	16,5 b	18,27 a	18,3 a	19,2 a
	Krzem – Silicon	18,7 a	17,0 a	18,43 a	18,6 a	19,1 a
2013	Kontrola – Control	17,8 a	16,6 a	17,99 a	17,2 a	19,2 a
	Krzem – Silicon	17,4 a	16,8 a	18,02 a	17,0 a	19,4 a
Średnia – Mean 2011–2013	Kontrola – Control	18,1 a	17,3 a	17,52 b	18,2 a	19,3 a
	Krzem – Silicon	18,0 a	17,5 a	17,65 a	18,2 a	19,3 a
Rok × Wariant/Year × Treatment		i.n.	i.n.	i.n.	i.n.	i.n.

i.n. – interakcja nieistotna – no significant interaction

Średnie w kolumnach oznaczone tą samą literą w danym roku nie różnią się istotnie według testu Newmana-Keulsa (p = 0,05)/Means value in columns and year followed by the same letter do not differ significantly according to the Newman-Keuls test (p = 0.05)

zwiększyło istotnie zawartość cukru w korzeniach o 0,13 punktu procentowego. W pozostałych lokalizacjach i latach badań kierunek zmian zawartości cukru był zmienny i niestabilny w analizowanym okresie. Zawartość cukru ulegała zmianie w zakresie od -0,41 (Brześć, 2013 r.) do 0,50 punktu procentowego (Fałęcin, 2012 r.). Niezależnie od wariantu doświadczalnego, w każdym roku badań zawartość cukru kształtowała się powyżej poziomu wartości standardowej 16% (tab. 5), co pośrednio wskazuje na efektywne wykorzystanie azotu przez rośliny. Badania laboratoryjne Sacały i Durbajło [2012] z kukurydzą wykazały, że wzbogacenie pożywki w krzem modyfikowało zawartość azotanów i cukrów rozpuszczalnych w liściach kukurydzy. Autorzy pracy wskazują jednak, że o ile pierwiastek ten może zmieniać wybrane parametry fizjologiczno-biochemiczne, to jednak jego działanie nie zawsze przyczynia się do poprawy wzrostu roślin rosnących w warunkach stresowych.

Analogicznie jak w przypadku zawartości cukru, kształtowały się zmiany zawartości potasu w korzeniach pod wpływem dolistnego nawożenia Si-Ca (tab. 6). Wpływ nawożenia krzemem na zawartość K był niejednoznaczny i zmienny zarówno w latach badań jak i w zależności od miejscowości. Stałą tendencją do wzrostu zawartości potasu w korzeniach pod wpływem nawożenia dolistnego Si-Ca niezależnie od miejscowości zanotowano tylko w 2012 r. i wzrost ten wahał się w przedziale 4,3% (Fałęcin) do 10,4% (Kryńsk). Średni wzrost zawartości K w korzeniach pod wpływem nawożenia krzemem dla pięciu lokalizacji wynosił 7,2%. Podobną zależność stwierdzono w 2011 r., z wyjątkiem miejscowości Kryńsk. W wymienionym sezonie wegetacyjnym zanotowany wzrost zawartości K w korzeniach kształtował się w zakresie od 2,0 (Fałęcin) do 7,1% (Koniczynka). W roku 2013 kierunek zmian zawartości potasu w korzeniach na skutek nawożenia krzemem zależał istotnie od lokalizacji doświadczeń. Najniższą zawartość tego składnika na obiektach nawożonych krzemem odnotowano w Brześciu, a najwyższą

Tabela 6. Wpływ dolistnego nawożenia krzemem i wapniem na zawartość potasu w korzeniach (mmol·1000 g⁻¹)

Table 6. Effect of foliar application of silicon and calcium on potassium content in roots (mmol·1000 g⁻¹)

Rok – Year	Wariant Treatment	Lokalizacja – Location				
		Brześć	Fałęcin	Koniczynka	Kryńsk	Skąpe
2011	Kontrola – Control	31,8 a	38,2 a	37,2 a	36,0 a	34,5 a
	Krzem – Silicon	33,1 a	38,9 a	39,8 a	35,3 a	35,2 a
2012	Kontrola – Control	26,4 a	39,2 a	31,4 a	30,8 a	33,9 a
	Krzem – Silicon	27,7 a	40,9 a	33,7 a	34,0 a	37,0 a
2013	Kontrola – Control	25,7 a	42,8 a	40,3 a	34,1 a	36,6 a
	Krzem – Silicon	27,1 a	39,5 a	40,0 a	36,7 a	33,9 a
Średnia – Mean 2011–2013	Kontrola – Control	27,9 b	40,1 a	36,3 a	33,6 a	35,0 a
	Krzem – Silicon	29,3 a	39,8 a	37,8 a	35,3 a	35,4 a
Rok × Wariant – Year × Treatment		i.n.	i.n.	i.n.	i.n.	i.n.

i.n. – interakcja nieistotna/no significant interaction

Średnie w kolumnach oznaczone tą samą literą w danym roku nie różnią się istotnie według testu Newmana-Keulsa ($p = 0,05$)/Means value in columns and year followed by the same letter do not differ significantly according to the Newman-Keuls test ($p = 0.05$)

w Koniczynie. Synteza wyników pokazała, że stały efekt działania krzemu na zawartość potasu w korzeniach, niezależnie od roku badań zaobserwowano jedynie w Brześciu. Biorąc pod uwagę średnie wyniki z trzech lat badań w wariacie nawożonym krzemem stwierdzono istotny wzrost zawartości potasu w korzeniach średnio o 5,0%.

Nie stwierdzono jednoznacznego wpływu nawożenia krzemem na zawartość sodu w korzeniach. W poszczególnych latach, w zależności od miejscowości, kierunek zmian był dodatni, ujemny lub mieszany. Niezależnie od roku badań stały i dodatni wpływ nawożenia krzemem na zawartość sodu w korzeniach stwierdzono w Brześciu (od 3,5 do 19,6%), natomiast w Koniczynie stwierdzono odwrotną zależność (od -24,6% do -5,1%). Przy czym obserwowane różnice w zdecydowanej większości przypadków były nieistotne (tab. 7).

Tabela 7. Wpływ dolistnego nawożenia krzemem i wapniem na zawartość sodu w korzeniach (mmol · 1000 g⁻¹)

Table 7. Effect of foliar application of silicon and calcium on sodium content in roots (mmol·1000 g⁻¹)

Rok – Year	Wariant Treatment	Lokalizacja – Location				
		Brześć	Fałęcin	Koniczyna	Kryńsk	Skąpe
2011	Kontrola – Control	3,45 a	2,88 a	3,35 a	2,88 a	1,98 a
	Krzem – Silicon	4,13 a	2,53 b	2,53 a	2,90 a	2,40 a
2012	Kontrola – Control	2,13 a	4,97 a	2,03 a	3,35 a	1,75 a
	Krzem – Silicon	2,20 a	4,30 a	1,90 a	3,63 a	1,85 a
2013	Kontrola – Control	3,35 a	5,93 a	2,45 a	4,83 a	1,53 a
	Krzem – Silicon	3,60 a	6,70 a	2,33 a	4,15 a	1,43 a
Średnia – Mean 2011–2013	Kontrola – Control	2,98 a	4,59 a	2,61 a	3,68 a	1,75 a
	Krzem – Silicon	3,31 a	4,51 a	2,25 a	3,56 a	1,89 a
Rok × Wariant – Year × Treatment		i.n.	i.n.	i.n.	i.n.	i.n.

i.n. – interakcja nieistotna/no significant interaction

Średnie w kolumnach oznaczone tą samą literą w danym roku nie różnią się istotnie według testu Newmana-Keulsa (p = 0,05)/Means value in columns and year followed by the same letter do not differ significantly according to the Newman-Keuls test (p = 0.05)

Wpływ krzemu na zawartość azotu α-aminowego w korzeniach był determinowany rokiem badań oraz lokalizacją doświadczenia (tab. 8). W roku 2011 niezależnie od miejscowości nawożenie krzemem zwiększało zawartość azotu w korzeniach i zakres zmian w porównaniu do obiektu kontrolnego wahał się od 3,5% (Koniczyna) do 77,4% (Brześć). W latach 2012–2013 zmiany zawartości azotu w korzeniach na skutek nawożenia krzemem były zróżnicowane w zależności od lokalizacji doświadczenia, a kierunek zmian w porównaniu do obiektu kontrolnego był dodatni albo ujemny. Niezależnie od roku badań stały i dodatni kierunek zmian zawartości azotu α-aminowego w korzeniach pod wpływem stosowania Si-Ca stwierdzono tylko w przypadku miejscowości Brześć. Nawożenie krzemem w tej lokalizacji prowadziło do istotnego wzrostu tego składnika w korzeniach średnio o 34,0%. Przeprowadzone badania wykazały, że

Tabela 8. Wpływ dolistnego nawożenia krzemem i wapniem na zawartość azotu α -aminowego w korzeniach ($\text{mmol}\cdot 1000\text{ g}^{-1}$)Table 8. Effect of foliar application of silicon and calcium on α -amino nitrogen content in roots ($\text{mmol}\cdot 1000\text{ g}^{-1}$)

Rok – Year	Wariant Treatment	Lokalizacja – Location				
		Brześć	Fałęcin	Koni-czynka	Kryńsk	Skąpe
2011	Kontrola – Control	4,0 a	10,0 a	13,6 a	12,9 a	11,3 a
	Krzem – Silicon	7,1 a	10,9 a	14,1 a	17,0 a	13,1 a
2012	Kontrola – Control	8,3 a	25,4 a	8,6 a	43,8 b	17,5 a
	Krzem – Silicon	9,1 a	13,3 b	8,3 a	47,6 a	15,5 a
2013	Kontrola – Control	7,4 a	18,6 a	5,9 a	29,0 a	13,6 a
	Krzem – Silicon	10,2 a	17,9 a	5,9 a	27,0 a	11,3 a
Średnia – Mean 2011–2013	Kontrola – Control	6,6 b	18,0 a	9,4 a	28,6 a	14,1 a
	Krzem – Silicon	8,8 a	14,0 a	9,4 a	30,6 a	13,3 a
Rok \times Wariant/Year \times Treatment		i.n.	i	i.n.	i	i.n.

i.n. – interakcja nieistotna/no significant interaction; i – interakcja istotna/significant interaction

Średnie w kolumnach oznaczone tą samą literą w danym roku nie różnią się istotnie według testu Newmana-Keulsa ($p = 0,05$)/Means value in columns and year followed by the same letter do not differ significantly according to the Newman-Keuls test ($p = 0.05$)

zawartość azotu α -aminowego w korzeniach powyżej wartości normatywnej ($22,5\text{ mmol}/1000\text{ g}$) odnotowano w Kryńsku, gdzie zastosowano największe dawki azotu. Bell i in. [1996] twierdzą, że zawartość azotu α -aminowego w korzeniach zależy od ilości azotu pobranego przez rośliny buraka, co w konsekwencji odzwierciedla ilość azotu mineralnego w glebie.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania wykazały brak jednoznacznego korzystnego wpływu dolistnego nawożenia krzemem i wapniem na plon i jakość korzeni buraka cukrowego.
2. Wpływ dolistnego nawożenia krzemem na wielkość plonu korzeni i cukru technologicznego był zróżnicowany w zależności od roku badań oraz warunków siedliskowych.
3. Synteza wyników z trzech lat badań i pięciu lokalizacji w żadnej z testowanych miejscowości nie wykazała istotnego wpływu dolistnego nawożenia krzemem na plon i jakość korzeni oraz plon cukru technologicznego w porównaniu do wariantu kontrolnego.

LITERATURA

- Ahmed M., Hassen F., Khurshid Y. 2011. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? *Agric. Water Manag.* 98: 1808–1812.
- 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 Tech* 18(1): 109–114.
- Balakhnina T., Borkowska A. 2013. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *Int. Agrophys.* 27: 225–232.
- Bell Ch., Milford G.F.J., Leigh R.A. 1996. Sugar beet. In: E. Zamski and A.A. Schaffer (Eds.). *Photoassimilate Distribution in Plants and Crops*. New York, Marcel Dekker Inc. 691–707.
- Buchholtz K., Märländer B., Puke H., Glatkowski H., Thielecke H. 1995. Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. *Zuckerindustrie* 120(2): 113–121.
- Datnoff L.E., Deren C.W., Snyder G.H. 1997. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Prot.* 16: 525–531.
- Datnoff L.E., Snyder G.H., Korndörfer G.H. 2001. Silicon in agriculture. *Studies in Plant Science*. Elsevier, Amsterdam, vol. 8: ss. 424.
- Epstein E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 11–17.
- Epstein E. 1999. Silicon. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 641–664.
- Guntzer F., Keller C., Meunier J.D. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32: 201–213.
- Hartmann P., Zink A., Fleige H., Horn R. 2012. Effect of compaction, tillage and climate change on soil water balance of Arable Luvisols in Northwest Germany. *Soil Tillage Res.* 124: 211–218.
- Herlihy M. 1992. Effects of N, P and K on yield and quality of sugar beet. *Irish J. Agric. Food Res.* 31:35–49.
- Hernandez-Apaolaza L. 2014. Can silicon partially alleviate micronutrient deficiency in plants? *Planta* 240: 447–458.
- Jaggard K.W., Clark C.J.A., Draycott P.A. 1999. The weight and processing quality of components of the storage roots of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *J. Sci. Food Agric.* 79: 1389–1398.
- Jardin P. 2015. Plant biostits: definition, concept, categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196: 3–14.
- Jarosz Z. 2013. The effect of silicon application and type of substrate on yield and chemical composition of cucumber. *J. Elementol.* 18: 403–414.
- Jarosz Z. 2015. The effect of different doses of silicon and manganese on the size and chemical composition of lettuce heads. *Nauka Przyr. Technol.* 9: 65–72.
- Kaya C., Tuna L., Higgs D. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *J. Plant Nut.* 29(8): 102–108.
- Koch H., Dieckmann J., Büchse A., Märländer B. 2009. Yield decrease in sugar beet caused by reduced tillage and direct drilling. *Europ. J. Agron.* 30: 101–109.
- Kovac K. 1998. The effect of different soil cultivation and fertilization on yield, quality and uptake of nutrients in sugar beet. *Rostl. Vyroba* 44(2): 59–64.
- Kuc P., Zimny L. 2005. Yielding and technological quality of sugar beet growing in different cultivation systems. *Ann. UMCS, Sect. E, Agricultura* 60: 133–143.
- Liang Y.C., Wong J.W.C., Wei L. 2005. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. *Chemosphere* 58: 475–483.
- Liang Y.C., Yang C.G., Shi H.H. 2001. Effects of silicon on growth and mineral composition of barley growth under toxic levels of aluminum. *J. Plant Nutr.* 24: 229–243.
- Ma J.F. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plant to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50: 11–18.
- Ma J.F., Yamaji N. 2008. Functions and transport of silicon in plants. *Cell. Mol. Life Sci.* 65: 3049–3057.
- Mubarak M.U., Zahir M., Achmed S., Wakeel A. 2016. Sugar beet yield and industrial sugar contents improved by potassium fertilization under scarce and adequate moisture conditions. *J. Integr. Agric.* 15: 2620–2626.
- Muchova Z., Francakova H., Slamka P. 1998. Effect of soil cultivation and fertilization of sugar beet quality. *Rost. Vyroba* 44(4): 161–172.
- Pacuta V., Cerny I., Karabinova M. 2000. The effect of selected factors on the yield and quality of sugar beet. *Rostl. Vyroba* 46(8): 371–378.
- Romero-Arnada M.R., Jourado O., Cuartero J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effects on tomato plant growth by improving plant water status. *J. Plant Physiol.* 163 : 847–855.

- Sacała E., Durbajło W. 2012. The effect of sodium silicate on maize growing under stress conditions. *Przem. Chem.* 91: 549–951.
- Savvas D., Ntatsi G. 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Sci Hortic.* 196: 66–81.
- Werker A., Haggard K.W. 1998. Dependence of sugar beet yield on Ligot interception and evapotranspiration. *Agric. Forest Meteorol.* 89: 229–240.
- Wiese H., Nikolic M., Römheld V. 2007. Silikon in plant nutrition. In: *The Apoplast of Higher Plants: Compartment of storage transport and reactions*: 33–47.
- Wijaya K.A. 2016. Effects of Si-fertilizer application through the leaves on yield and sugar content of sugarcane grown in soil containing abundant N. *Agric. Agricult. Sci. Procedia* 9: 158–162.
- Wiśniewski W. 1994. Dynamika wzrostu i pobierania składników pokarmowych przez buraki cukrowe i pastewne z uwzględnieniem ich jakości. *Hod. Rośl. Akl. Nasienn.* 38(1–2): 3–41.
- Zhu Z., Wei G., Li Q., Qian Q., Yu J. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Sci.* 167: 527–533.

D. GÓRSKI, R. GAJ, A. ULATOWSKA, J. PISZCZEK

EFFECT OF FOLIAR APPLICATION OF SILICON AND CALCIUM ON YIELDS AND TECHNOLOGICAL QUALITY SUGAR BEET

Summary

The aim of the study was to evaluate foliar application of silicate-calcium fertilizer on yield and technological quality of sugar beet roots. From 2011 to 2013, 2015 field experiments in five locations in the Kuyavian-Pomeranian voivodeship were carried out. One-factor experiments were set up in randomized blocks in four replications. Two variants were evaluated: (1) triple foliar application with Si-Ca fertilizer, (2) control (without Si-Ca foliar application). The studies were conducted on soils belonging to class IIIa and IVb, rich in assimilable nutrient forms. Obtained root yields were high and ranged from 63 to 93 t·ha⁻¹. The synthetic analysis of three years research results did not show any significant effect of the experimental factor on quantity and quality of roots yield and technological sugar yield. The foliar silicon application effect on yield and roots quality was strongly determined by year and habitat conditions at the research site.

Key words: sugar beet, fertilization, silicon, quality

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 15.09.2017

Do cytowania – *For citation*

Górski D., Gaj R., Ulatowska A., Piszczek J. 2017. Wpływ dolistnego nawożenia krzemem i wapniem na plon i jakość technologiczną buraka cukrowego. *Fragm. Agron.* 34(4): 46–58.