

## The use of water glass from the “Rudniki” Chemical Plant for fertilizing plants with silicon

# Wykorzystanie szkła wodnego z Zakładów Chemicznych „Rudniki” do nawożenia roślin krzemem

DOI: 10.15199/62.2024.5.2

*In 2 pot expts., corn and sunflower were grown and fertilized with liq. K glass or solid K silicate, which were a source of Si and K for plants. Their application resulted in a significant increase in the biomass of corn and sunflower of 20–30 and 13–18%, resp., compared to control plants, as well as an increase in the concn. of Si and K in their tissues. After harvesting of both plant species, the soil fertilized with the tested products showed an increased content of available K compared to the control.*

**Keywords:** potassium silicate, soil application, corn, sunflower

Badano efekty doglebowego stosowania płynnego szkła potasowego i krzemianu potasu w postaci stałej, jako źródeł krzemu i potasu dla roślin. Oba produkty okazały się bardzo dobrymi nawozami potasowo-krzemowymi, których aplikacja powodowała 13–30-proc. przyrost biomasy młodych roślin kukurydzy i słonecznika oraz wzrost w nich zawartości krzemu i potasu. Wobec niewielkiej oferty łatwo rozpuszczalnych nawozów krzemowych, badane produkty powinny być wykorzystywane głównie do nawożenia krzemem, zwłaszcza roślin jednoliściennych wykazujących duże zapotrzebowanie na ten pierwiastek. **Słowa kluczowe:** krzemian potasu, aplikacja doglebowa, kukurydza, słonecznik

Krzem (Si) to drugi, po tlenie, najpowszechniej występujący pierwiastek w skorupie ziemskiej. Jest jednym z podstawowych składników gleb i elementem niemal wszystkich skał macierzystych<sup>1</sup>. Krzem nie występuje w przyrodzie w stanie wolnym, ale w postaci krzemionki (SiO<sub>2</sub>) lub krzemianów. Są to formy praktycznie nierozpuszczalne w wodzie, a w związku z tym niedostępne dla roślin<sup>2</sup>. Jedyną przyswajalną formą Si jest kwas ortokrzemowy (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>). Mimo dużej całkowitej zawartości Si w glebie, pobieranie tego pierwiastka jest utrudnione, ponieważ powstawanie kwasu krzemowego z krzemionki i krzemianów jest procesem bardzo powolnym<sup>3</sup>. W ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się badaniom dotyczącym roli tego składnika w uprawie roślin<sup>4</sup>.

Krzemu nie zalicza się do pierwiastków niezbędnych dla roślin, ale do składników korzystnych dla ich wzrostu i rozwoju<sup>5</sup>. Pierwiastek ten jest pobierany i przemieszczany w roślinie, a następnie osadzany w ścianach komórkowych i przestrzeniach międzykomórkowych<sup>6</sup>. Jednak poszczególne gatunki roślin różnią się znacznie pod względem gromadzenia tego pierwiastka w swoich tkankach<sup>7</sup>. Jest to najprawdopodobniej przyczyną różnego wpływu nawożenia krzemem na różne gatunki roślin<sup>8</sup>.

Nawożenie krzemem zyskuje na popularności z powodu coraz częściej występujących w naszym kraju okresów suszy związanej z postępującymi zmianami klimatycznymi. Nawozy zawierające krzem przyswajalny dla roślin mogą zwiększyć ich tolerancję zarówno na suszę<sup>9–11</sup>, jak i inne



Prof. dr hab. Jolanta KORZENIOWSKA (ORCID: 0000-0003-3701-9576) w roku 1983 ukończyła studia na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczej we Wrocławiu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu). Pracuje na stanowisku profesora w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym, w Zakładzie Herbolgii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu. Specjalność – chemia rolna, ochrona środowiska, pierwiastki śladowe w żywieniu roślin.



Prof. dr hab. Ewa STANISŁAWSKA-GLUBIAK (ORCID: 0000-0003-1852-6732) w roku 1978 ukończyła studia na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczej we Wrocławiu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu). Jest zatrudniona na stanowisku profesora w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym, w Zakładzie Herbolgii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu. Specjalność – chemia rolna, ochrona środowiska i pierwiastki śladowe w żywieniu roślin.

**\* Adres do korespondencji:**

Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, Zakład Herbolgii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu, ul. Orzechowa 61, 50-540 Wrocław, tel.: (81) 478-68-94, e-mail: j.korzeniowska@iung.wroclaw.pl

Table 1. Characteristics of the tested products by manufacturer

Tabela 1. Charakterystyka badanych produktów wg producenta

Parametr	RK125 (SZkW)	330K50 (KrzP)
Forma	plynna	stała
Moduł molowy (SiO <sub>2</sub> /K <sub>2</sub> O)	4,1	3,3
Zawartość K <sub>2</sub> O, % mas.	8,34	28,4
Zawartość SiO <sub>2</sub> , % mas.	21,53	59,9
Zawartość K, % mas.	6,9	23,6
Zawartość Si, % mas.	10,0	27,5
Gęstość (20°C), g/cm <sup>3</sup>	1,26	-
Lepkość (20°C)*, cP	68	-
Straty prażenia (600°C), % mas.	-	11,6
Ciężar nasypowy, g/L	-	350

\* wg Brookfielda

czynnik stresowe<sup>12-14</sup>). Badania ostatnich lat dowodzą, że krzem wykazuje korzystne działanie na rośliny rosnące w warunkach stresu, stymulując ich procesy życiowe. Nawożenie tym pierwiastkiem wpływa na poprawę kondycji i odporności roślin, co w efekcie powoduje wzrost plonu. Krzem przyczynia się bowiem do zwiększenia w roślinach aktywności enzymów i innych substancji w celu łagodzenia stresu oksydacyjnego wywołanego brakiem wody i atakiem patogenów<sup>15,16</sup>). Stosowanie nawozów krzemowych może więc ograniczyć zużycie insektycydów i środków grzybobójczych<sup>17</sup>). Najnowsze badania donoszą również o możliwościach stosowania krzemu w rolnictwie ekologicznym. Krzem może być bowiem stosowany jako naturalny środek wspomagający ochronę roślin, co przy ograniczonych możliwościach stosowania pestycydów w rolnictwie ekologicznym staje się niebywale istotne<sup>15</sup>).

Rośliny jednoliścienne z rodziny traw i turzyc pobierają znacznie większe ilości krzemu niż rośliny dwuliścienne<sup>18</sup>). Dlatego krzem stosowany jest głównie w uprawie ryżu,

trzciny cukrowej, pszenicy i kukurydzy<sup>16,19</sup>). Do dogłębego nawożenia krzemem wykorzystuje się najczęściej mielone naturalne minerały, np. wollastonit (CaSiO<sub>3</sub>), lub odpady przemysłowe zawierające Si, głównie żużle hutnicze. Bardziej efektywne są jednak rozpuszczalne źródła krzemu, takie jak krzemian potasu i krzemian sodu. Substancje te mogą być aplikowane dogłębowo w formie stałej lub płynnej.

Celem badań była ocena efektywności nawozowej szkła wodnego potasowego oraz wytwarzanego z niego amorficznego krzemianu potasu, produkowanych przez Zakłady Chemiczne „Rudniki” SA. W badaniach testowano oba produkty głównie pod kątem ich przydatności jako źródła krzemu, a dodatkowo jako źródła potasu.

## Część doświadczalna

### Materiały

Jesienią 2023 r. przeprowadzono 2 doświadczenia wazonowe, w których badano efektywność rolniczą 2 produktów stosowanych dogłębowo, produkowanych w Zakładach Chemicznych „Rudniki” SA: (i) szkła wodnego potasowego RK125 (SzkW) oraz (ii) krzemianu potasowego suszonego 330K50 (KrzP). Charakterystykę badanych produktów przedstawiono w tabeli 1.

Szkło wodne potasowe otrzymywane jest ze szklistego krzemianu potasu, który również jest wytwarzany w Zakładach Chemicznych „Rudniki” SA. Szklisty krzemian potasu otrzymuje się w wyniku bezpośredniego stopienia piasku kwarcowego z bezwodnym węglanem potasu w piecu szklarskim w temp. powyżej 1000°C. Aby uzyskać szkło wodne, szklisty krzemian rozpuszczano w wodzie w podwyższonej temperaturze, a następnie poddawano filtracji oraz standaryzacji ciężaru właściwego, lepkości i zawartości tlenków SiO<sub>2</sub> i K<sub>2</sub>O.

Drugi z badanych produktów, amorficzny krzemian suszony, uzyskano, susząc w komorze suszarniczej roztwór szkła wodnego gorącym powietrzem do postaci proszku.

Jako rośliny testowe wykorzystano kukurydzę odmiany LG 31250 i słonecznik odmiany NS Kruna.

### Metodyka badań

Doświadczenia przeprowadzono w hali wegetacyjnej Stacji Doświadczalnej IUNG-PIB w Jelczu-Laskowicach, jedno z kukurydzą i jedno ze słonecznikiem. Do badań wykorzystano wazonny typ Mitscherlicha o pojemności 10 kg gleby (rys. 1). Oba doświadczenia wykonano w 4 powtórzeniach.

Glebę do wypełnienia wazonów przywieziono z pola. Gleba ta charakteryzowała się składem granulometrycznym gliny piaszczystej i lekko kwaśnym odczynem. Szczegółową charakterystykę gleby doświadczalnej przedstawiono w tabeli 2.



Fig. 1. General view of the corn experiment, October 20, 2023

Rys. 1. Ogólny obraz doświadczenia z kukurydzą, 20.10.2023 r.



Mgr inż. Andrzej ŁATA CZ w roku 1995 ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej. Od 1995 r. pracuje w Zakładach Chemicznych „Rudniki” SA, obecnie na stanowisku dyrektora ds. produkcji i rozwoju.

Table 2. Physicochemical properties of the experimental soil before setting up the experiment

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne gleby doświadczalnej przed założeniem doświadczenia

Cecha gleby	Wartość
pH w KCl	5,8
C <sub>org</sub> , %	0,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *, mg/100 g	37,8
K <sub>2</sub> O*, mg/100 g	28,8
Mg**, mg/100 g	5,6
Udział frakcji o średnicy (mm), %:	
2,0–0,05	69
0,05–0,002	27
< 0,020	22
< 0,002	4
Kategoria agronomiczna	głina piaszczysta

C<sub>org</sub> – węgiel organiczny, \*Egner i Riehm, \*\*Schachtschabel



Fig. 2. Corn and sunflower plants, September 26, 2023

Rys. 2. Rośliny kukurydzy i słonecznika, 26.09.2023 r.

W obu doświadczeniach testowano 5 identycznych obiektów nawozowych. Badane obiekty przedstawiono w tabeli 3. Ilości czystego Si i K, jakie wprowadzono do gleby wraz z zastosowanymi dawkami badanych produktów nawozowych przedstawiono w tabeli 4. Ze względu na to, że RK125 i 330K50 różniły się stosunkiem Si do K, nie było możliwości precyzyjnego porównania obu produktów, identyczna dawka K (1,38 g) dawała różne ilości Si (2 i 1,6 g), a taka sama dawka Si (2 g) dawała różne ilości K (1,38 i 1,72 g) (tabela 4, obiekty nr 3–5).

Oprócz nawożenia potasem i krzemem na wszystkie obiekty doświadczalne, łącznie z obiektem kontrolnym, zastosowano jako tło identyczne nawożenie N i P w ilości 1,5 g N na wazon (0,7 g przedsiewnie + 0,8 g pogłównie) oraz 0,7 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na wazon. Azot stosowano w formie saletry amonowej, a fosfor w formie fosforanu disodowego.

Zarówno badane produkty nawozowe, jak i nawóz azotowy i fosforowy wprowadzono do gleby w momencie wypełniania wazonów glebą i dokładnie z nią mieszano.

Table 3. Characteristics of the tested experimental treatments

Tabela 3. Charakterystyka badanych obiektów doświadczalnych

Opis obiektu (badany produkt)	Symbol obiektu	Dawka badanego produktu, g/wazon (mL/wazon)	Dawka KCl, g/wazon
Kontrola bez Si i K	0	0	0
KCl (bez Si)	KCl	0	2,63
Szkło wodne RK125	SzkW	20,0 (15,9)	0
Krzemian potasu 330K50, dawka I	KrzP-I	5,85	0
Krzemian potasu 330K50, dawka II	KrzP-II	7,27	0

Table 4. Amounts of potassium and silicon introduced into the vase in individual experimental treatments

Tabela 4. Ilości potasu i krzemu wprowadzone do wazonu w poszczególnych obiektach doświadczalnych

Numer obiektu	Obiekt	Si, g/wazon	K, g/wazon
1	0	0	0
2	KCl	0	1,38
3	SzkW	2,0	1,38
4	KrzP-I	1,6	1,38
5	KrzP-II	2,0	1,72

Nasiona kukurydzy i słonecznika wysiano do wazonów po 2 tygodniach od wprowadzenia nawozów do gleby. Początkowo do wazonu wysiewano po 10 nasion kukurydzy i 13 nasion słonecznika, aby po 6 dniach od wschodów wykonać przerywkę do 5 roślin w wazonie (rys. 2). W wazonach utrzymywano wilgotność na poziomie 60% połowej pojemności wodnej.

Po 50 dniach od siewu wszystkie rośliny ścinano kilka cm nad ziemią (rys. 3). Następnie pobierano próbki roślin oraz gleby z każdego wazonu. Próbki suszono, mielono, a następnie przekazano do laboratorium w celu wykonania w nich oznaczeń chemicznych. W glebie oznaczano pH i przyswajalny potas, a w roślinie krzemionkę i potas. Szczegółowe daty zabiegów agrotechnicznych przedstawiono w tabeli 5.

Wszystkie analizy chemiczne wykonano w Głównym Laboratorium Instytutu Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, akredytowanym przez Polskie Centrum Akredytacji (numer certyfikatu AB 339 na podstawie normy<sup>20</sup>).

Potas w próbkach roślinnych, po uprzedniej mineralizacji w piecu ze stężonym kwasem siarkowym i nadtlenkiem wodoru, analizowano metodą płomieniowej spektrometrii emisji atomowej. Krzemionkę analizowano metodą wagową<sup>21</sup>). W próbkach glebowych określono pH potencjometrycznie w 1 M KCl, przyswajalne formy P i K metodą Egnera i Riehma, a przyswajalne formy Mg metodą Schachtschabela. Ponadto skład granulometryczny gleby oznaczano metodą areometryczno-sitową, a węgiel organiczny metodą Tiurina.

Uzyskane w badaniach wyniki opracowano statystycznie, z wykorzystaniem testu Tukeya przy poziomie istotności  $\alpha < 0,05$ .





Fig. 3. Harvesting of the plants, October 23, 2024

Rys. 3. Zbiór roślin, 23.10.2024 r.

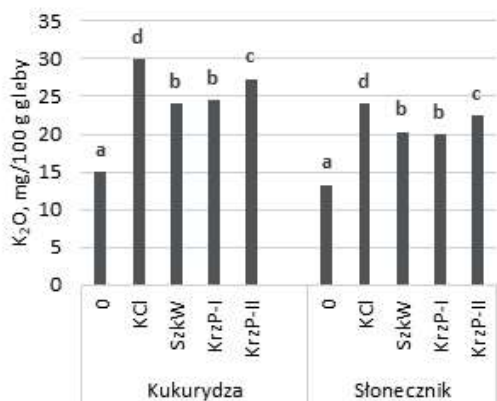
## Wyniki badań i ich omówienie

### Zawartość potasu w glebie

Po zbiorze obu gatunków roślin na obiektach nawożonych badanymi produktami stwierdzono zwiększoną zawartość przyswajalnego potasu w glebie w stosunku do kontroli (rys. 4). Generalnie poziom zawartości potasu w glebie na wszystkich obiektach był większy po zbiorze kukurydzy niż po zbiorze słonecznika. Może to świadczyć o łatwiejszym pobieraniu potasu z gleby przez słonecznik i szybszym zubożeniu zasobności gleby w potas w porównaniu z kukurydzą.

Po zbiorze kukurydzy zawartość potasu w glebie różnicowała się w zależności od zastosowanego produktu nawozowego (rys. 4, tabela 6). Dwukrotnie więcej tego składnika w porównaniu z kontrolą stwierdzono na obiekcie KCl. Była to zawartość istotnie większa w porównaniu z badanymi produktami potasowo-krzemowymi. Jednocześnie aplikacja produktów potasowo-krzemowych również spowodowała istotne zwiększenie zawartości potasu w glebie w stosunku do kontroli, ale pomiędzy nimi wystąpiły różnice.

Najmniejszy wzrost zawartości potasu, o 61–64%, odnotowano po aplikacji do gleby szkła wodnego i krzemianu potasu w mniejszej dawce (KrzP-I), przy czym nie było



Wartości oznaczone tymi samymi literami w ramach jednej rośliny nie różnią się istotnie wg testu Tukeya ( $p < 0,05$ )

Fig. 4. Potassium content in the soil after harvesting the plants

Rys. 4. Zawartość potasu w glebie po zbiorze roślin

istotnej różnicy pomiędzy tymi produktami. Najwięcej potasu w glebie pozostało po aplikacji krzemianu potasu w większej dawce (KrzP-II). Wzrost zawartości potasu w glebie na tym obiekcie wynosił 82% w porównaniu z kontrolą i była to zawartość istotnie większa niż na obiektach SzkW i KrzP-I.

Po zbiorze słonecznika, podobnie jak w przypadku kukurydzy, zawartość potasu w glebie była zróżnicowana w zależności od zastosowanego nawozu i istotnie

większa w porównaniu z obiektem kontrolnym (rys. 4, tabela 6). Najwięcej tego składnika, 80% więcej niż na kontroli, stwierdzono po aplikacji KCl. W dalszej kolejności pod względem wzbogacenia gleby w potas można wskazać krzemian potasu w większej dawce (KrzP-II), po aplikacji którego stwierdzono 70-proc. zwiększenie zawartości potasu. Była to zawartość istotnie mniejsza w porównaniu z obiektem KCl. Szkło wodne i krzemian potasu w mniejszej dawce (KrzP-I) w istotnie mniejszym stopniu niż KrzP-II wzbogaciły glebę w potas, bo w granicach 50–53% w stosunku do kontroli.

Table 5. Dates of agrotechnical treatments

Tabela 5. Daty zabiegów agrotechnicznych

Zabieg	Data
Doglebowa aplikacja nawozów	23.08.
Siew roślin	04.09.
Wschody	09.09.
Przerywka	15.09.
Pogłówna aplikacja N	28.09.
Ścięcie roślin i pobranie próbek roślinnych	23.10.
Pobranie próbek glebowych	24.10.

Table 6. Increase in potassium content in the soil compared to the control treatment

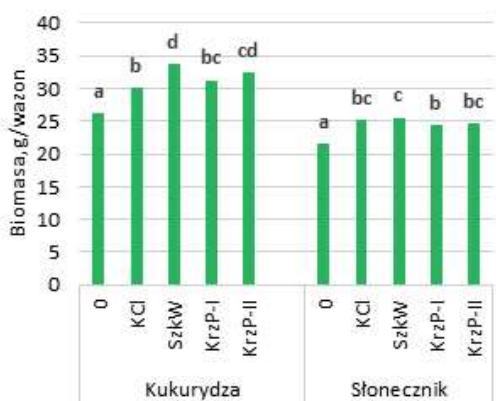
Tabela 6. Przyrost zawartości potasu w glebie w stosunku do obiektu kontrolnego

Obiekt (nawożenie)	Kukurydza	Słonecznik
	%	
0	100	100
KCl	200	180
SzkW	161	153
KrzP-I	164	150
KrzP-II	182	170

Uwaga: Obiekt kontrolny przyjęto za 100%

### Odczyn gleby

Aplikacja badanych nawozów nie zmieniła istotnie odczynu gleby w stosunku do stwierdzonego na obiekcie kontrolnym. Po zbiorze kukurydzy pH gleby wahało się pomiędzy 5,5 a 5,7 w zależności od obiektu nawozowego i były to różnice nieistotne. Po zbiorze słonecznika pH

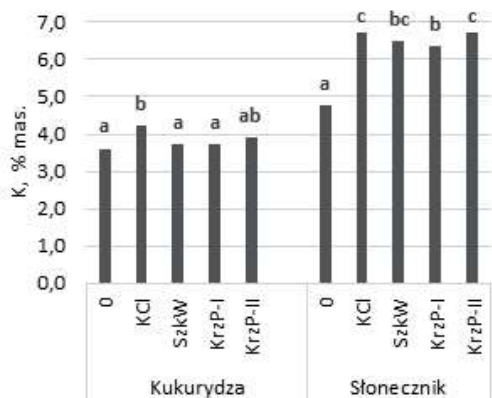


Wartości oznaczone tymi samymi literami w ramach jednej rośliny nie różnią się istotnie wg testu Tukeya ( $p < 0,05$ )

Fig. 5. Yield of experimental plants

Rys. 5. Plon roślin doświadczalnych

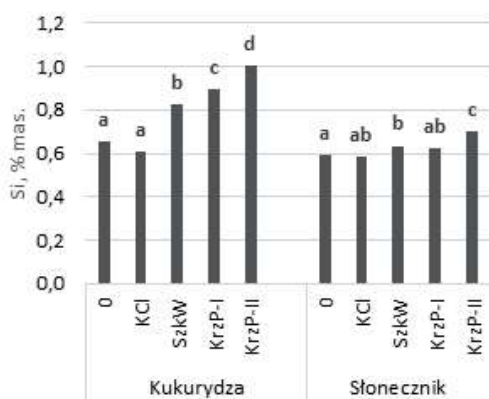
gleby w zakresie 5,2–5,3 również wskazywało na brak istotnych różnic pomiędzy badanymi produktami w działaniu na odczyn gleby.



Wartości oznaczone tymi samymi literami w ramach jednej rośliny nie różnią się istotnie wg testu Tukeya ( $p < 0,05$ )

Fig. 6. Potassium content in 2-month-old corn and sunflower plants

Rys. 6. Zawartość potasu w 2-miesięcznych roślinach kukurydzy i słonecznika



Wartości oznaczone tymi samymi literami w ramach jednej rośliny nie różnią się istotnie wg testu Tukeya ( $p < 0,05$ )

Fig. 7. Silicon content in 2-month-old corn and sunflower plants

Rys. 7. Zawartość krzemu w 2-miesięcznych roślinach kukurydzy i słonecznika

Table 7. Relative yield of experimental plants

Tabela 7. Plon względny roślin doświadczalnych

Objekt (nawożenie)	Kukurydza	Słonecznik
	%	
0	100	100
KCl	115	116
SzkW	130	118
KrzP-I	120	113
KrzP-II	125	114

Uwaga: Objekt kontrolny przyjęto za 100%

Table 8. Increase in K and Si content in plants compared to the control treatment

Tabela 8. Przyrost zawartości K i Si w roślinach w stosunku do obiektu kontrolnego

Objekt (nawożenie)	Kukurydza		Słonecznik	
	K	Si	K	Si
	%			
0	100	100	100	100
KCl	117	93	141	99
SzkW	103	126	136	108
KrzP-I	103	137	133	106
KrzP-II	108	154	141	119

Uwaga: Objekt kontrolny przyjęto za 100%

## Biomasa roślin

Po zastosowaniu szkła wodnego i krzemianu potasu stwierdzono istotny przyrost biomasy kukurydzy, w granicach 20–30%, w stosunku do roślin kontrolnych, pod które nie stosowano nawożenia krzemem i potasem (rys. 5, tabela 7). Przyrost biomasy słonecznika był mniejszy i wynosił 13–18%. Jednocześnie, w wyniku aplikacji samego potasu w formie KCl, uzyskano 15% więcej biomasy kukurydzy i 16% więcej biomasy słonecznika w porównaniu z kontrolą. Z uwagi na to, że dawka potasu w czystym składniku była taka sama na obiektach KCl, SzkW i KrzP-I (tabela 4), można wnioskować, że przyrost biomasy ponad poziom uzyskany na obiekcie KCl był spowodowany działaniem krzemu. Dodatkowym argumentem przemawiającym za plonotwórczym działaniem Si jest istotnie większy przyrost biomasy roślin po aplikacji szkła wodnego w dawce zawierającej 2 g Si (SzkW) w porównaniu z krzemianem potasu stosowanym w dawce zawierającej 1,6 g Si (KrzP-I). Porównując obiekty, na których stosowano jednakową dawkę Si w postaci szkła wodnego (SzkW) i krzemianu potasu (KrzP-II), stwierdzono tendencję lepszego plonotwórczego działania formy płynnej. Generalnie reakcja roślin na krzem była bardziej widoczna w przypadku kukurydzy w porównaniu ze słonecznikiem, ponieważ kukurydza jest gatunkiem o większym zapotrzebowaniu na ten pierwiastek.

## Zawartość potasu w roślinach

Badane produkty nie zmieniły istotnie zawartości potasu w kukurydzy w porównaniu z poziomem stwierdzonym w roślinach kontrolnych, choć można zauważyć nieudo-

wodnioną tendencję większej zawartości K na obiekcie nawożonym większą dawką krzemianu potasu (rys. 6). Istotny, 17-proc. wzrost zawartości K zaobserwowano jedynie na obiekcie nawożonym KCl (tabela 8). W słoneczniku natomiast, niezależnie od zastosowanego nawozu, nastąpił znaczny wzrost koncentracji potasu w biomase, o 33–41% w porównaniu z zawartością w roślinach kontrolnych. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy obiektami KCl oraz SzkW i KrzP-II oraz między SzkW i KrzP-I.

### Zawartość krzemu w roślinach

Krzem dostarczony wraz z badanymi produktami był gromadzony w większym stopniu przez kukurydzę niż przez słonecznik (rys. 7). W kukurydzy odnotowano istotny wzrost zawartości krzemu, w granicach 26–54% w stosunku do roślin kontrolnych, a w słoneczniku w granicach 6–19% (tabela 8).

W biomase kukurydzy stwierdzono istotne różnice zawartości tego pierwiastka pomiędzy poszczególnymi produktami zawierającymi krzem. Najwięcej krzemu było w roślinach nawożonych krzemianem potasu w większej dawce (KrzP-II), w których nastąpił 54-proc. wzrost koncentracji tego pierwiastka w stosunku do kontroli. Najmniejszy wzrost (26%) odnotowano po aplikacji szkła wodnego.

Nawożenie słonecznika badanymi produktami różnicowało zawartość krzemu w biomase w mniejszym stopniu niż w kukurydzy. Najwięcej krzemu zgromadziły rośliny nawożone krzemianem potasu w większej dawce (KrzP-II) (19-proc. wzrost w stosunku do kontroli). Aplikacja szkła wodnego i krzemianu potasu w mniejszej dawce (KrzP-I) okazały się gorsze w porównaniu z KrzP-II.

### Podsumowanie

Nawożenie badanymi produktami powodowało 13–30-proc. przyrost biomasy młodych roślin kukurydzy i słonecznika w porównaniu z roślinami nienawożonymi, zróżnicowany w zależności od produktu, dawki i gatunku rośliny. Przyrost biomasy był spowodowany łącznym działaniem potasu i krzemu. Większe przyrosty odnotowano dla kukurydzy. Nieco lepszy efekt plonotwórczy dla obu roślin testowych stwierdzono w przypadku płynnego szkła potasowego w porównaniu ze stałym krzemianem potasu, co było zapewne spowodowane szybszym udostępnieniem dla roślin potasu i krzemu z formy płynnej niż ze stałej.

Szkło wodne potasowe oraz krzemian potasu zastosowane doglebowo dostarczały roślinom krzem i potas w formach łatwo pobieranych przez korzenie roślin. Składniki te były pobierane w stopniu zależnym od potrzeb pokarmowych danego gatunku rośliny. W biomase kukurydzy nawożonej badanymi produktami stwierdzono 26–54-proc. zwiększe-

nie zawartości krzemu w porównaniu z kukurydzą nienawożoną, podczas gdy w biomase słonecznika analogiczny wzrost wynosił 6–19%. Bardziej wyraźna reakcja kukurydzy na krzem wynikała z faktu, że rośliny jednoliścienne, w tym kukurydza, potrzebują znacznie więcej krzemu niż rośliny dwuliścienne, do których zaliczany jest słonecznik. Słonecznik natomiast pobierał więcej potasu niż krzemu. Odnotowano 33–41-proc. zwiększenie zawartości potasu w roślinach słonecznika, co było konsekwencją 50–70-proc. zwiększenia przyswajalnej formy potasu w glebie na skutek doglebowej aplikacji badanych produktów.

Analiza plonów roślin testowych oraz zawartości w nich potasu i krzemu świadczy o tym, że oba badane produkty to bardzo dobre doglebowe nawozy potasowo-krzemowe. Produkty te powinny być wykorzystywane głównie jako źródło krzemu dla roślin, zwłaszcza, że ostatnio składnik ten budzi duże zainteresowanie z powodu jego korzystnego działania na odporność roślin w sytuacji stresu biotycznego i abiotycznego. Badane nawozy zawierają również łatwo przyswajalny dla roślin potas, ale nieco gorzej dostępny niż tradycyjnie stosowana sól potasowa (KCl). Na rynku jest wiele nawozów potasowych, które mogą konkurować z badanymi produktami, w przeciwieństwie do nawozów krzemowych, których oferta jest znacznie mniejsza.

Otrzymano: 27-02-2024

### LITERATURA

- [1] D.J. Conley, *Global Biogeochem. Cycl.* 2002, **16**, nr 4, 68.
- [2] A. Zajączkowska, J. Korzeniowska, *Studia i Raporty IUNG-PIB* 2020, **63**, nr 17, 179.
- [3] Y. Liang, M. Nikolic, R. Bélanger, H. Gong, A. Song, *Silicon in agriculture*, Springer, Dordrecht 2015.
- [4] A. Artyszak, R. Popielec, *Zag. Doradz. Rol.* 2022, **109**, 22.
- [5] J. Pavlovic, L. Kostic, P. Bosnic, E.A. Kirkby, M. Nikolic, *Front. Plant Sci.* 2021, **12**, 697592.
- [6] M.J. Hodson, D.E. Evans, *J. Exp. Bot.* 2020, **71**, 6719.
- [7] E. Epstein, *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1999, **50**, 641.
- [8] D. Coskun, R. Deshmukh, H. Sonah i in., *New Phytol.* 2019, **221**, 67.
- [9] M.A. Bukhari, M.Y. Ashraf, R. Ahmad, E.A. Waraich, M. Hameed, *Pak. J. Bot.* 2015, **47**, nr 5, 164.
- [10] E. Sacala, *J. Elementol.* 2009, **14**, nr 3, 619.
- [11] U. Sienkiewicz-Cholewa, J. Sumislawski, E. Sacala, M. Dziagwa-Becker, R. Kieloch, *Acta Physiol. Plant.* 2018, **40**, nr 3, 54.
- [12] M. Imtiaz, M.S. Rizwan, M.A. Mushtaq, M. Ashraf, S.M. Shahzad, B. Yousaf, D.A. Saeed, M. Rizwan, M.A. Nawaz, S. Mehmood, S. Tu, *J. Environ. Manage.* 2016, **183**, 521.
- [13] A. Zajączkowska, J. Korzeniowska, U. Sienkiewicz-Cholewa, *Agriculture* 2020, **10**, nr 11, 522.
- [14] N. Sakr, *J. Plant Prot. Res.* 2016, **56**, nr 4, 332.
- [15] J. Kowalska, J. Krzyżmińska, J. Łukaszyk, *Zag. Doradz. Rol.* 2023, **3**, 104.
- [16] K. Głowacka, M. Szultka-Młyńska, M. Cichorek, A. Orzoł, A. Rogowska, E.C. Tafur, B. Buszewski, *Kosmos* 2022, **71**, nr 1, 35.
- [17] S. Kovács, E. Kutasy, J. Csajbók, *Plants* 2022, **11**, nr 9, 1223.
- [18] J.F. Ma, E. Takahashi, *Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan*, Elsevier, Amsterdam 2002.
- [19] U. Sienkiewicz-Cholewa, A. Zajączkowska, *Prog. Plant Prot.* 2020, **60**, nr 4, 313.
- [20] ISO/IEC 17025:2018, *Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących*.
- [21] Procedura badawcza IUNG-PIB, PB 23.1-wyd. III-10.01.2014.