

Received: 18.03.2022 / Accepted: 09.05.2022

ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

Zmiany w nawożeniu – dobre i złe

Changes in fertilization – good and bad

Arkadiusz Artyszak*

Streszczenie

W pracy przedstawiono wybrane aspekty zmian w nawożeniu w latach 2006–2021. W tym okresie nie zwiększyła się ilość próbek gleby badanych w Okręgowych Stacjach Chemiczno-Rolniczych i wciąż pozostaje ona na niskim poziomie. Nieznacznie wzrosło zużycie nawozów wapniowych, co jest efektem wprowadzenia dopłat do wapnowania. Wciąż utrzymują się niewłaściwe proporcje w stosowaniu składników pokarmowych: dominacja azotu i niewystarczające dawki potasu. Zdecydowana większość producentów rolnych ustala dawki nawozów w sposób przypadkowy. W praktyce rolniczej upowszechnia się uprawa pasowa, aplikacja dolistna krzemu, a także stosowanie preparatów bakteryjnych. Od 1 sierpnia 2021 roku można stosować wyłącznie mocznik w formie granulowanej z inhibitorem ureazy lub powłoką biodegradowalną. Konieczne jest pilne zrewidowanie celów Zielonego Ładu, tak aby nie ograniczały one produkcji żywności, co powinno być obecnie podstawowym celem rolnictwa w Unii Europejskiej ze względu na wojnę na Ukrainie i masowy napływ emigrantów.

Słowa kluczowe: azot, fosfor, krzem, potas, odczyn gleby, wapnowanie

Abstract

The paper presents selected aspects of changes in fertilization in the years 2006–2021. During this period, the number of soil samples tested at the Regional Chemical and Agricultural Stations did not increase, and it still remains at a low level. The consumption of calcium fertilizers increased slightly, which is the result of the introduction of subsidies for liming. There are still the wrong proportions in the use of nutrients: the dominance of nitrogen and insufficient doses of potassium. The vast majority of agricultural producers set the doses of fertilizers at random. In agricultural practice, strip-tillage, foliar application of silicon and the use of bacterial preparations are becoming popular. From August 1, 2021, only granular urea with a urease inhibitor or a biodegradable coating may be used. It is urgent to revise the goals of the Green Deal so that they do not restrict food production, which should now be the primary goal of agriculture in the European Union due to the war in Ukraine and the massive influx of emigrants.

Key words: nitrogen, phosphorus, silicon, potassium, soil reaction, liming

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
*corresponding author: arkadiusz_artyszak@sggw.edu.pl
ORCID: 0000-0002-0272-1536

Wstęp / Introduction

Prawidłowe nawożenie nie tylko determinuje plon i jakość płodów roślin, ale również wpływa na zdrowotność roślin. Odporność roślin na patogeny zależy do zaopatrzenia roślin w azot, potas, wapń, siarkę, a z mikroelementów – miedź i żelazo (Grzebisz i wsp. 2007). W ostatnich latach coraz więcej uwagi przywiązuje się także do krzemu (Radkowski i Radkowska 2018; Coskun i wsp. 2019; Artyszak 2021). Duże znaczenie dla nawożenia ma także utrzymanie optymalnego pH dla danej gleby, które nie tylko wpływa na dostępność składników pokarmowych dla roślin, ale także na rozwój systemu korzeniowego, co ma znaczący wpływ na kondycję roślin. W ciągu ostatnich 15 lat w nawożeniu zaszły istotne zmiany. Na rynku pojawiły się nowe nawozy, a do praktyki weszły nowe technologie nawożenia. Wciąż jednak obserwuje się zbyt małe zainteresowanie wśród rolników regularnym badaniem zasobności gleby w przyswajalne formy makro- i mikroelementów oraz próchnicy.

Celem pracy jest ocena wybranych zmian, jakie zaszły w nawożeniu roślin rolniczych w latach 2006–2021.

Badania gleby / Soil research

Regulacja pH jest podstawowym zabiegiem agrotechnicznym. Większość producentów rolnych nie przeprowadza podstawowych badań gleby obejmujących pH oraz zasobność w przyswajalny fosfor, potas i magnez w Okręgowych Stacjach Chemiczno-Rolniczych (OSChR). W latach 2006–2020 ilość badanych próbek gleby wyniosła średnio około 1,6 mln szt., które reprezentowały obszar 3,8 mln ha, co stanowi około 20% użytków rolnych (tab. 1). Niestety, nie zaobserwowano na przestrzeni lat istotnego zwiększenia ilości analizowanych próbek. Podana liczba jest nieco zaniżona, ponieważ nie uwzględnia próbek zbadanych w laboratoriach prywatnych, ale nie jest ich dużo. Nieznana jest ilość badań zasobności gleb w przyswajalne mikroelementy, bo Główny Urząd Statystyczny nie prowadzi statystyki w tym zakresie, podobnie jest w przypadku zawartości

Tabela 1. Liczba przebadanych próbek glebowych w Okręgowych Stacjach Chemiczno-Rolniczych

Table 1. Number of soil samples tested at Regional Chemical and Agricultural Stations

Lata Years	Liczba przebadanych próbek [tys. szt.] Number of samples examined [thous. pcs]	Przebadana powierzchnia [tys. ha] Area examined [thous. ha]
2006–2009	1612	3635
2010–2013	1604	3858
2014–2017	1511	3613
2017–2020	1764	3906
Średnio – Mean	1623	3753

Źródło: opracowanie własne na podstawie Ochrona środowiska GUS (2010–2021)

Source: own study based on Environmental protection of the Central Statistical Office (2010–2021)

próchnicy. W 2021 roku OSChR wdrożyły metodę Mehlich 3 do oznaczania zawartości przyswajalnych form makro- i mikroelementów w glebie, co pozwala znacznie przyspieszyć wykonywanie analiz oraz zmniejszyć ich ceny. Jednak problemem nie jest wysokość opłat za badania, tylko powszechny brak świadomości na temat ich przydatności.

Za optymalny dla danej kategorii agronomicznej uważa się taki zakres pH, przy którym potrzeby wapnowania określone są jako ograniczone. W ostatnich 15 latach średnio tylko 17% próbek gleby zbadanych w OSChR charakteryzowało się prawidłowym pH (tab. 2). Dla aż 36% próbek wartość pH była rażąco niska i potrzeby wapnowania określono jako konieczne bądź potrzebne. Należy przypuszczać, że w gospodarstwach, w których nie przeprowadza się regularnie oceny pH, sytuacja jest jeszcze gorsza, czyli że większy jest udział gleb wymagających pilnego przeprowadzenia wapnowania. W ciągu ostatnich 15 lat zaobserwowano jedynie nieznaczne ograniczenie udziału próbek gleby, dla których potrzeby wapnowania są określone jako konieczne.

Tabela 2. Potrzeby wapnowania [%]

Table 2. Liming needs [%]

Lata – Years	Konieczne Required	Potrzebne Needed	Wskazane Recommended	Ograniczone Limited	Zbędne Needless
2006–2009	25	16	16	15	28
2010–2013	21	16	18	16	29
2014–2017	18	14	17	18	33
2017–2020	21	14	17	17	31
Średnio – Mean	21	15	17	17	30

Źródło: opracowanie własne na podstawie Ochrona środowiska GUS (2010–2021)

Source: own study based on Environmental protection of the Central Statistical Office (2010–2021)

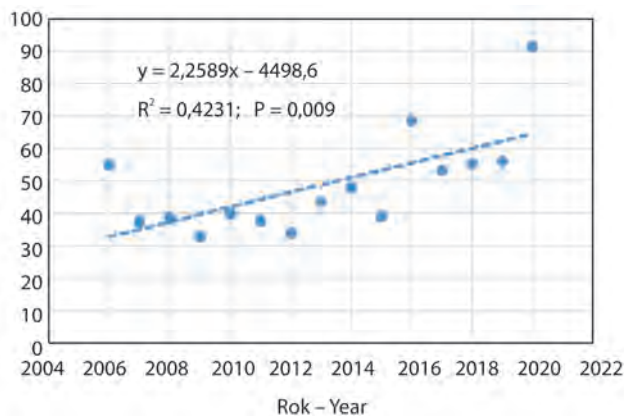
Dawki nawozów / Fertilizer doses

Zużycie nawozów wapniowych w naszym kraju wciąż jest daleko niewystarczające. Średnio w okresie 2006–2020 zastosowano niecałe 49 kg CaO/ha użytków rolnych (GUS). Dopiero w 2020 roku dawki nawozów wapniowych przekroczyły 90 kg CaO/ha UR, co było spowodowane wprowadzeniem dopłat do wapnowania.

W nawożeniu dominuje azot, chociaż zdecydowana większość gatunków roślin pobiera więcej potasu (w przeliczeniu na K_2O). W latach 2006–2020 średnia dawka azotu wyniosła 72 kg N/ha, fosforu 24,5 kg P_2O_5 /ha, a potasu 32,8 kg K_2O /ha (GUS). W analizowanym okresie stwierdzo-

no istotny trend wzrostu wielkości dawek nawozów wapniowych i potasowych, a malejący fosforowych, a jego brak w przypadku dawek nawozów azotowych (rys. 1–4). Dawki nawozów wapniowych wzrastały o 2,25 kg CaO/ha/rok, azotowych o 0,59 kg N/ha/rok, fosforowych malały o 0,29 kg P_2O_5 /ha/rok, a potasowych zwiększały się o 0,68 kg K_2O /ha/rok.

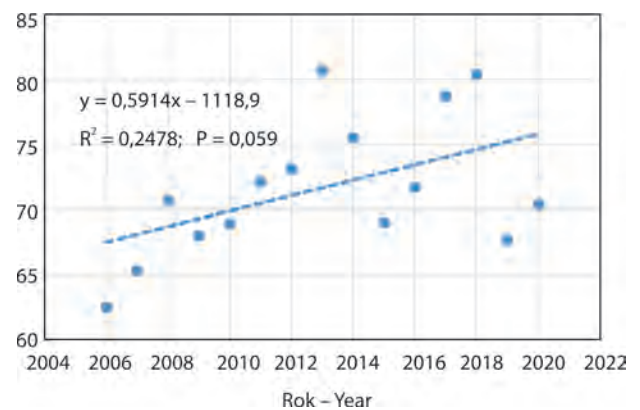
Niedostateczne nawożenie potasem jest szczególnie szkodliwe w gospodarstwach, które bezpowrotnie pozbywają się słomy. Jej wywożenie z pola nie tylko prowadzi do strat składników pokarmowych, w tym przede wszystkim potasu, ale także pogarsza bilans glebowej materii organicznej. Znacząco zmniejsza to zdolność gleby do za-



Rys. 1. Dawki nawozów wapniowych w latach 2006–2020 (kg CaO/ha użytków rolnych)

Fig. 1. Doses of calcium fertilizers in 2006–2020 (kg CaO/ha of agricultural land)

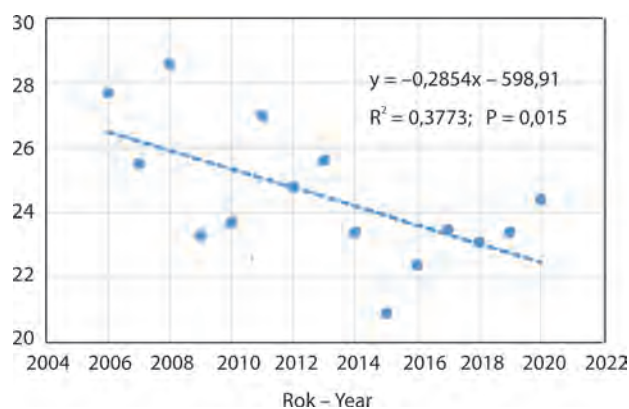
Źródło: opracowanie własne na podstawie Banku Danych Lokalnych GUS
Source: own study based on the Local Data Bank of the Central Statistical Office of Poland



Rys. 2. Dawki nawozów azotowych w latach 2006–2020 (kg N/ha użytków rolnych)

Fig. 2. Doses of nitrogen fertilizers in 2006–2020 (kg N/ha of agricultural land)

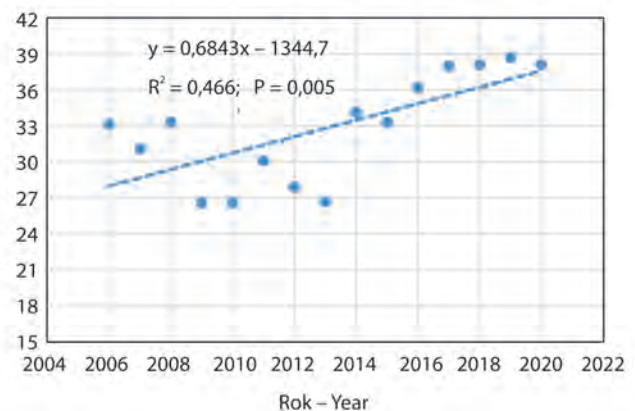
Źródło: opracowanie własne na podstawie Banku Danych Lokalnych GUS
Source: own study based on the Local Data Bank of the Central Statistical Office of Poland



Rys. 3. Dawki nawozów fosforowych w latach 2006–2020 (kg P_2O_5 /ha użytków rolnych)

Fig. 3. Doses of phosphorus fertilizers in 2006–2020 (kg P_2O_5 /ha of agricultural land)

Źródło: opracowanie własne na podstawie Banku Danych Lokalnych GUS
Source: own study based on the Local Data Bank of the Central Statistical Office of Poland



Rys. 4. Dawki nawozów potasowych w latach 2006–2020 (kg K_2O /ha użytków rolnych)

Fig. 4. Doses of potassium fertilizers in 2006–2020 (kg K_2O /ha of agricultural land)

Źródło: opracowanie własne na podstawie Banku Danych Lokalnych GUS
Source: own study based on the Local Data Bank of the Central Statistical Office of Poland

trzymywania wody. Ostatnio zwraca się także uwagę na problem wywożenia z pola wraz ze słomą łatwo przyswajalnego dla roślin krzemu występującego w niej w formie fitolitów (Guntzer i wsp. 2012a, b). Niestety w związku z brakiem produkcji zwierzęcej i niewiedzą części rolników co do wartości słomy, obserwuje się nasilenie takiego zjawiska, zwłaszcza na południowym wschodzie kraju. Bardzo niestabilna sytuacja na rynku nawozów przyczyni się w sezonie 2021/2022 do znacznego ograniczenia nawożenia. Trudno jest obecnie odpowiedzialnie szacować jego skalę. W przypadku azotu może sięgnąć 40%, a fosforu i potasu może być jeszcze większa. Niepewność na rynku zwiększa wojna na Ukrainie.

Na podstawie małej liczby próbek gleby zbadanych w OSChR w stosunku do powierzchni użytków rolnych można stwierdzić, że określanie dawek nawozów w zdecydowanej większości gospodarstw jest przypadkowe. Tylko w części z nich bierze się pod uwagę aktualną zasobność gleby w przyswajalne składniki pokarmowe, sposób zagospodarowania plonu ubocznego przedplonu oraz realny do uzyskania na danym polu plon. Pomocą w ustalaniu dawek nawozów służą programy doradcze. W lutym 2022 roku Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza uruchomiła ogólnodostępny program Inter-Naw. Program ten ułatwia przestrzeganie programu azotanowego (plan nawożenia azotem, maksymalna dawka azotu, plan nawożenia N, P, K, Mg, CaO i S, ewidencja nawożenia azotem, bilans N P K i Mg), a także kalkulatory (wapnowanie, nawożenie mikroelementami oraz dobór nawozów). Pozwala także na korzystanie z zakładki Wiedza oraz Kontakt z doradcą. Ogólnie dostępne są też programy na stronie IUNG – PIB w Puławach (<https://www.iung.pl/serwisy-informacyjne-monitoring-iung-pib/>).

Zmiany przepisów / Changes to the regulations

Od 1 stycznia 2019 roku weszły w życie przepisy regulujące zasady nawożenia azotem mineralnym (Rozporządzenie 2018, 2020). Wprowadziły one obowiązek prowadzenia ewidencji stosowania zabiegów nawożenia azotem, co należy uznać za korzystne ze względu na możliwą poprawę technologii nawożenia oraz ochronę środowiska naturalnego. Kontrowersje budzi dozwolony termin aplikacji azotu mineralnego w uprawach ozimych od 1 marca. Tylko w 2020 roku jednorazowo zezwolono, aby można było je stosować od 15 lutego. W 2022 roku trwa weryfikacja programu azotanowego. Producenci rolni słusznie postulują, aby uelastyczyć ten termin w zależności od przebiegu warunków pogodowych w danym sezonie.

Od 1 sierpnia 2021 roku zabrania się stosowania mocznika w formie granulowanej, a wyłącznie mocznik granulowany zawierający inhibitor ureazy albo powłokę biodegradowalną, co spowodowało wzrost cen tego nawozu. Działanie mocznika z inhibitorem nie jest dokładnie rozpoznane w naszych warunkach glebowo-klimatycznych, co będzie wymagało przeprowadzenia badań. Nie poleca się go stosować w opryskach dolistnych ze względu na spowolnione działanie. W związku z sytuacją na rynku polskim pojawił się alternatywny mocznik UFF, będący produktem ubocznym ekstrakcji kwasów tłuszczowych z ryb. Produkt zawiera 73% mocznika, 22% estrów etylowych oraz 5% etanolu, ma formę sypką, co utrudnia jego stosowanie. Ze względu na obecność estrów etylowych nie jest rekomendowany do stosowania dolistnego, gdyż może zatykać końcówki opryskiwacza. Na rynku dostępne są również produkty zawierające azot przeznaczone do aplikacji dolistnej (polimery mocznika o zmiennej długości). Roztwór saletrzano-mocznikowy, pomimo że jest w formie płynnej, ze względu na obecność parzących form azotu (NO_3^- i NH_4^+) nie może być stosowany dolistnie, co niekiedy obserwuje się w praktyce.

dawalną, co spowodowało wzrost cen tego nawozu. Działanie mocznika z inhibitorem nie jest dokładnie rozpoznane w naszych warunkach glebowo-klimatycznych, co będzie wymagało przeprowadzenia badań. Nie poleca się go stosować w opryskach dolistnych ze względu na spowolnione działanie. W związku z sytuacją na rynku polskim pojawił się alternatywny mocznik UFF, będący produktem ubocznym ekstrakcji kwasów tłuszczowych z ryb. Produkt zawiera 73% mocznika, 22% estrów etylowych oraz 5% etanolu, ma formę sypką, co utrudnia jego stosowanie. Ze względu na obecność estrów etylowych nie jest rekomendowany do stosowania dolistnego, gdyż może zatykać końcówki opryskiwacza. Na rynku dostępne są również produkty zawierające azot przeznaczone do aplikacji dolistnej (polimery mocznika o zmiennej długości). Roztwór saletrzano-mocznikowy, pomimo że jest w formie płynnej, ze względu na obecność parzących form azotu (NO_3^- i NH_4^+) nie może być stosowany dolistnie, co niekiedy obserwuje się w praktyce.

Uprawa pasowa / Strip-till

Dążenie do ograniczenia zużycia paliwa powoduje rezygnację z orki jako podstawowego zabiegu uprawowego i przejścia na uprawę bezplużną. Jednym z jej wariantów jest uprawa pasowa (strip-till). Z powodzeniem jest stosowana w różnych uprawach np. w buraku cukrowym (Górski i wsp. 2022). Uprawa pasowa pozwala ograniczyć dawki nawozów, ponieważ nawozy umieszcza się najczęściej podczas siewu w pasie siewnym. Najlepsze efekty uzyskuje się, gdy nawozy umieszczane są głęboko, na przykład w uprawie kukurydzy na 30 cm (Rusek i wsp. 2016).

Pierwiastki korzystne / Beneficial elements

Wśród składników pokarmowych wyróżnia się grupę pierwiastków niezaliczanych ani do makro-, ani do mikroelementów, które tworzą grupę pierwiastków korzystnych. Należy do nich między innymi krzem (Si), któremu poświęca się coraz więcej uwagi. Lata 2011–2020 nazywane są złotą dekadą krzemu. W latach 1996–2020 na pierwszym miejscu pod względem ilości publikacji na temat krzemu w roślinach znajdują się Chiny, następnie USA i Brazylia. Z Europy najwięcej publikacji pochodzi z Niemiec (5. miejsce), Wielkiej Brytanii (8), Francji (13) i Belgii (14), natomiast Polska zajęła 15. miejsce (Tripathi i wsp. 2020). Publikacje z ostatnich 5 lat zawierające wyniki badań krajowych, wyraźnie wskazują na korzystny wpływ stosowania dolistnego pierwiastka na zdrowotność oraz wielkość i jakość plonu wielu gatunków roślin rolniczych (tab. 3). Efekt ten jest zróżnicowany w poszczególnych latach i jest zależny od przebiegu warunków pogodowych. Im warunki pogodowe

Tabela 3. Wyniki badań krajowych potwierdzające korzystne efekty aplikacji dolistnej i doglebowej krzemu (2017–2021)
Table 3. National research results confirming the beneficial effects of silicon foliar and soil application (2017–2021)

Gatunek – Species	Źródła – Sources
Burak cukrowy – Sugar beet	Artyszak (2017, 2021); Artyszak i Gozdowski (2021a); Artyszak i wsp. (2021)
Groch siewny – Field peas	Sulewska i wsp. (2020)
Gryka – Buckwheat	Tobiasz-Salach i wsp. (2018)
Kukurydza na ziarno – Grain maize	Zamojska i wsp. (2018)
Łubin biały – White lupine	Niewiadomska i wsp. (2020)
Rzepak ozimy – Winter rapeseed	Zamojska i wsp. (2018)
Pszennica – Wheat	Kowalska i wsp. (2018, 2020a, b, 2021); Krzywińska (2021); Sienkiewicz-Cholewa (2021); Zajączkowska i Korzeniowska (2021); Zajączkowska i wsp. (2020); Zamojska i wsp. (2018)
Użytki zielone – Grasslands	Borawska-Jarmułowicz i wsp. (2022); Radkowski i Radkowska (2018); Radkowski i wsp. (2017)
Ziemniak – Potato	Trawczyński (2018, 2021)

są mniej korzystne dla wzrostu i rozwoju roślin tym efekty aplikacji dolistnej i doglebowej krzemu są większe. W praktyce obserwuje się rosnące zainteresowanie producentów rolnych aplikacją dolistną produktów zawierających krzem w różnych uprawach rolnych.

Tabela 4. Powierzchnia uprawy gatunków bobowatych grubonasiennych w latach 2006–2020

Table 4. The cultivation area of broad bean legumes species in the years 2006–2020

Lata Years	[tys. ha] [thous. ha]
2006	120
2007	137
2008	115
2009	123
2010	172
2011	163
2012	211
2013	173
2014	216
2015	407
2016	321
2017	272
2018	252
2019	270
2020	334
Średnio – Mean	219

Źródło: opracowanie własne na podstawie Roczników statystycznych rolnictwa (2009–2022)

Source: own study based on the Statistical Yearbooks of Agriculture (2009–2022)

Wykorzystanie bakterii / The use of bacteria

W związku ze strategią „Od pola do stołu”, w połączeniu z drastycznymi wzrostami cen nawozów azotowych poszukuje się innych możliwości dostarczenia roślinom uprawnym azotu. Jednym z nich może być uprawa roślin bobowatych grubonasiennych, które żyją w symbiozie z bakteriami brodawkowatymi wiążącymi wolny azot z powietrza. Dzięki temu bobowate wymagają zastosowania tylko niewielkiej dawki startowej azotu mineralnego albo w ogóle niestosowania tego składnika pokarmowego. Pozostawiają też stanowisko zasobne w azot pod rośliny następcze oraz przerywają następstwo zbóż po sobie i ograniczają presję chorób. Od 2006 do 2020 powierzchnia uprawy roślin bobowatych grubonasiennych według danych Głównego Urzę-

Tabela 5. Powierzchnia upraw gatunków bobowatych grubonasiennych zgłoszonych do dopłat bezpośrednich w latach 2020–2021 [tys. ha]

Table 5. Area of crops of broad bean legume species reported for direct payments in 2020–2021 [thous. ha]

Gatunek – Species	2020	2021
Bobik – Field bean	30,9	37,4
Groch – Field pea	75,3	95,6
Łubin biały – White lupin	13,4	15,1
Łubin wąskolistny – Narrow leaved lupin	164,5	153,9
Łubin żółty – Yellow lupin	25,4	19,7
Peluszka – Field pea	2,5	3,6
Soczewica – Lentils	12,4	14,8
Soja – Soya bean	21,5	25,6
Razem – Total	345,9	365,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ARiMR
 Source: own study based on ARiMR data

du Statystycznego wzrosła ze 120 do 334 tys. ha i średnio w tym okresie wyniosła 219 tys. ha (tab. 4). W latach 2020–2021 według danych Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa powierzchnia uprawy gatunków bobowatych grubonasiennych zwiększyła się z 345 do 366 tys. ha (tab. 5). Problemem jest jednak niska opłacalność produkcji tych roślin, co zniechęca rolników do ich uprawy.

Coraz popularniejsze staje się stosowanie produktów zawierających bakterie wiążące wolny azot oraz solubizujących fosfor. Wyniki badań przeprowadzone w zróżnicowanych warunkach glebowo-klimatycznych naszego kraju potwierdzają, że w połączeniu z produktami poprawiającymi właściwości gleby są one w stanie zrekomensować obniżenie dawek azotu mineralnego o 30% w uprawie buraka cukrowego, kukurydzy na ziarno, pszenicy ozimej i rzepaku ozimego (Artyszak i Gozdowski 2020a, b, 2021b, c).

Wnioski / Conclusions

1. W ciągu 15 lat nie wzrosło wśród producentów rolnych zainteresowanie badaniem gleby w OSChR. Dawki nawozów w zdecydowanej większości gospodarstw ustalone są w sposób przypadkowy.
2. Od roku 2020 zwiększyło się zużycie nawozów wapniowych, co ma ścisły związek z wprowadzeniem dopłat do wapnowania. Wciąż jednak jest ono niewystarczające.
3. W nawożeniu utrzymują się niewłaściwe proporcje w dawkach poszczególnych składników pokarmowych.
4. Wśród producentów rolnych wzrasta zainteresowanie stosowaniem krzemu w uprawach rolniczych.
5. Należy oczekiwać wzrostu znaczenia preparatów poprawiających właściwości gleby i zawierających mikroorganizmy, które pozwolą zrekomensować zmniejszenie dawek nawozów.
6. Ze względu na sytuację w Europie spowodowaną wojną na Ukrainie, główne cele Zielonego Ładu muszą zostać zrewidowane. Głównym celem produkcji rolnej w Unii Europejskiej musi stać się maksymalizacja produkcji żywności, czemu nie służy zakładane w strategii „Od pola do stołu” ograniczenie zużycia nawozów o 20% oraz wzrost udziału produkcji ekologicznej do 25%.
7. Wysokie ceny nawozów oraz wojna na Ukrainie spowodują drastyczne ograniczenie nawożenia.

Literatura / References

- Artyszak A. 2017. Możliwości wykorzystania krzemu do dokarmiania dolistnego buraka cukrowego. Wydawnictwo Wieś Jutra, Warszawa, 128 ss.
- Artyszak A. 2021. Wpływ aplikacji dolistnej nawozu zawierającego krzem i wapń na plonowanie oraz jakość technologiczną korzeni buraka cukrowego. [Effect of foliar application of a fertilizer containing silicon and calcium on the yield and technological quality of sugar beet roots]. *Progress in Plant Protection* 61 (3): 195–200. DOI: 10.14199/ppp-2021-021
- Artyszak A., Gozdowski D. 2020a. Is it possible to replace part of the mineral nitrogen dose in maize for grain by using growth activators and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria? *Agronomy* 10 (11): 1647. DOI: 10.3390/agronomy10111647
- Artyszak A., Gozdowski D. 2020b. The effect of growth activators and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) on the soil properties, root yield, and technological quality of sugar beet. *Agronomy* 10 (9): 1262. DOI: 10.3390/agronomy10091262
- Artyszak A., Gozdowski D. 2021a. Influence of various forms of foliar application on root yield and technological quality of sugar beet. *Agriculture* 11 (8): 693. DOI: 10.3390/agriculture11080693
- Artyszak A., Gozdowski D. 2021b. Is it possible to maintain the quantity and quality of winter wheat grain by replacing part of the mineral nitrogen dose by growth activators and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR)? *Sustainability* 13 (11): 5834. DOI: 10.3390/su13115834
- Artyszak A., Gozdowski D. 2021c. Application of growth activators and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria as a method of introducing a “farm to fork” strategy in crop management of winter oilseed. *Sustainability* 13 (6): 3562. DOI: 10.3390/su13063562
- Artyszak A., Gozdowski D., Siuda A. 2021. Effect of the application date of fertilizer containing silicon and potassium on the yield and technological quality of sugar beet roots. *Plants* 10 (2): 370. DOI: 10.3390/plants10020370
- Bank danych lokalnych GUS. <https://bdl.stat.gov.pl/> [dostęp: 15.03.2022].
- Borawska-Jarmułowicz B., Mastalerczuk G., Janicka M., Wróbel B. 2022. Effect of silicon-containing fertilizers on the nutritional value of grass–legume mixtures on temporary grasslands. *Agriculture* 12 (2): 145. DOI: 10.3390/agriculture12020145
- Coskun D., Deshmukh R., Sonah H., Menzies J.G., Reynolds O., Ma J.F., Kronzucker H.J., Richard Béelanger R.R. 2019. The controversies of silicon’s role in plant biology. *New Phytologist* 221 (1): 67–85. DOI: 10.1111/nph.15343
- Górski D., Gaj R., Ulatowska A., Miziniak W. 2022. Effect of strip-till and variety on yield and quality of sugar beet against conventional tillage. *Agriculture* 12 (2): 166. DOI: 10.3390/agriculture12020166
- Grzebisz W., Barłóg P., Waszak M., Łukowiak R. 2007. Homeostaza żywieniowa a odporność roślin uprawnych na stropy biotyczne. [Nutritional homeostasis and plant crops resistance to biotic stresses]. *Fragmenta Agronomica* (XXIV) 3 (95): 136–143.
- Guntzer F., Keller C., Meunier J.-D. 2012a. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32 (1): 201–213. DOI: 10.1007/s13593-011-0039-8
- Guntzer F., Keller C., Poulton P.R., McGrath S.P., Meunier J.D. 2012b. Long-term removal of wheat straw decreases soil amorphous silica at Broadbalk, Rothamsted. *Plant and Soil* 352 (1–2): 173–184. DOI: 10.1007/s11104-011-0987-4
- Kowalska J., Jakubowska M., Nowaczyk R. 2018. The effect of silicon application on growth of spring wheat under organic farming. [Wpływ stosowania krzemu na wzrost pszenicy jarej w systemie rolnictwa ekologicznego]. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 63 (3): 20–23.

- Kowalska J., Tyburski J., Bocianowski J., Krzywińska J., Matysiak K. 2020a. Methods of silicon application on organic spring wheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *vulgare*) cultivars grown across two contrasting precipitation years. *Agronomy* 10 (11): 1655. DOI: 10.3390/agronomy10111655
- Kowalska J., Tyburski J., Jakubowska M., Krzywińska J. 2020b. Effect of different forms of silicon on growth of spring wheat cultivated in organic farming system. *Silicon* 13 (9): 211–217. DOI: 10.1007/s12633-020-00414-4
- Kowalska J., Tyburski J., Krzywińska J., Jakubowska M. 2021. Effects of seed treatment with mustard meal in control of *Fusarium culmorum* Sacc. and the growth of common wheat (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*). *European Journal of Plant Pathology* 159 (2): 327–338. DOI: 10.1007/s10658-020-02165-9
- Krzywińska J. 2021. Ocena przydatności mikroorganizmów i krzemu do zaprawiania ziarna pszenicy z przeznaczeniem dla rolnictwa ekologicznego. [Usefulness of microorganisms and silicon for the treatment of wheat seeds in organic farming]. *Progress in Plant Protection* 61 (1): 62–67. DOI: 10.14199/ppp-2021-007
- Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna-Maruwka A., Ratajczak K., Waraczewska Z., Budka A. 2020. The influence of bio-stimulants and foliar fertilizers on yield, plant features, and the level of soil biochemical activity in white lupine (*Lupinus albus* L.) cultivation. *Agronomy* 10 (1): 150. DOI: 10.3390/agronomy10010150
- Ochrona środowiska 2010–2021. GUS, Warszawa.
- Powierzchnia upraw w gminach. <https://rejestrupraw.arimr.gov.pl/> [dostęp: 12.03.2022].
- Radkowski A., Radkowska I. 2018. Effects of silicate fertilizer on seed yield in timothy-grass (*Phleum pratense* L.). *Ecological Chemistry and Engineering*. S 25 (1): 169–180. DOI: 10.1515/eces-2018-0012
- Radkowski A., Sosin-Bzducha E., Radkowska I. 2017. Effects of silicon foliar fertilization of meadow plants on nutritional value of silage fed to dairy cows. *Journal of Elementology* 22 (4): 1311–1322. DOI: 10.5601/jelem.2017.22.1.1331
- Rocznik statystyczny rolnictwa 2009–2022. GUS, Warszawa.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2018 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Dz.U. 2018 poz. 1339).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Dz.U. 2020 poz. 243).
- Rusek P., Rutkowska B., Szulc W., Schab S., Łabętowicz J., Stępień W., Biskupski A., Niedziński T. 2016. Technologia wytwarzania nawozów NPS(M) na bazie superfosfatu mocznikowego. Cz. I, Ocena wpływu nawozów na rozwój systemu korzeniowego kukurydzy w warunkach wglębnego ich stosowania. [The urea superphosphate-based NPS(M) fertilizer production technology. Part I, The evaluation of fertilizer effect on development of maize root system after sub-soil application of the fertilizer]. *Przemysł Chemiczny* 95 (5): 1020–1024. DOI: 10.15199/62.2016.5.26
- Sienkiewicz-Cholewa U. 2021. Reakcja pszenicy jarej rosnącej w stresie suszy na dolistne i doglebowe stosowanie krzemu. [Response of spring wheat grown in drought stress to foliar and soil silicon application]. *Progress in Plant Protection* 61 (3): 207–213. DOI: 10.14199/ppp-2021-023
- Sulewska H., Niewiadomska A., Ratajczak K., Budka A., Panasiewicz K., Faligowska A., Wolna-Maruwka A., Dryjański L. 2020. Changes in *Pisum sativum* L. plants and in soil as a result of application of selected foliar fertilizers and biostimulators. *Agronomy* 10 (10): 1558. DOI: 10.3390/agronomy10101558
- Tobiasz-Salach R., Krochmal-Marczak B., Bobrecka-Jamro D. 2018. Ocena wpływu nawożenia dolistnego na plonowanie i skład chemiczny nasion gryki (*Fagopyrum esculentum* Moench). [Evaluating the influence of foliar fertilization on the yield and chemical composition of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench)]. *Fragmenta Agronomica* 35 (1): 106–114. DOI: 10.26374/fa.2018.35.10
- Trawczyński C. 2018. The effect of foliar preparation with silicon on the yield and quality of potato tubers in compared to selected biostimulators. [Wpływ dolistnego preparatu krzemowego na plon i jakość bulw ziemniaka w porównaniu do wybranych biostymulatorów]. *Fragmenta Agronomica* 35 (4): 113–122. DOI: 10.26374/fa.2018.35.47
- Trawczyński C. 2021. Ocena plonowania i jakości bulw po aplikacji dolistnej krzemu i mikroelementów. [Assess of tuber yield and quality after foliar application of silicon and microelements]. *Agronomy Science* LXXVI (1): 9–20. DOI: 10.24326/as.2021.1.1
- Tripathi D.K., Singh V.P., Lux A., Vaculik M. 2020. Silicon in plant biology: from past to present, and future challenges. *Journal of Experimental Botany* 71 (21): 6699–6702. DOI: 10.1093/jxb/eraa448
- Zajączkowska A., Korzeniowska J. 2021. Reakcja pszenicy rosnącej na glebie zanieczyszczonej miedzią na doglebowe nawożenie krzemem. [Response of wheat grown on copper-contaminated soil to soil silicon fertilization]. *Progress in Plant Protection* 61 (1): 31–39. DOI: 10.14199/ppp-2021-004
- Zajączkowska A., Korzeniowska J., Sienkiewicz-Cholewa U. 2020. Effect of soil and foliar silicon application on the reduction of zinc toxicity in wheat. *Agriculture* 10 (11): 522. DOI: 10.3390/agriculture10110522
- Zamojska J., Danielewicz J., Jajor E., Wilk R., Horoszkiewicz-Janka J., Dworzańska D., Węgorzek P., Korbas M., Bubniewicz P., Ciecierski W., Narkiewicz-Jodko J. 2018. The influence of foliar application of silicon on insect damage and disease occurrence in field trials. *Fresenius Environmental Bulletin* 27 (5A): 3300–3305.