

Jolanta Korzeniowska, Ewa Stanisławska-Głubiak, Tamara Jadczyzsyn

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

NOWY SYSTEM NAWOŻENIA MIKROELEMENTAMI*

Słowa kluczowe: ocena niedoborów, liczby graniczne, Mehlich 3, 1 M HCl, zalecenia nawozowe

Wstęp

Wielkość i jakość plonów roślin uprawnych zależą głównie od poziomu zaopatrzenia ich w wodę oraz składniki pokarmowe, wśród których podstawowe znaczenie mają makroelementy, takie jak: azot, fosfor, potas, magnez i siarka. Rola mikroelementów, takich jak: bor, miedź, żelazo, mangan, molibden i cynk, do niedawna nie była doceniana przez rolników. Badania IUNG-PIB przeprowadzone we współpracy z Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą w latach 2010–2011 na polach pszenicy ozimej zlokalizowanych w gospodarstwach o średniej intensywności produkcji wykazały niedobory mikroelementów w roślinach tego gatunku (5, 14). Niską zawartością Zn, Mn, Cu i B charakteryzowało się odpowiednio: 38, 29, 21 i 18% próbek. Nie stwierdzono natomiast niedoborów Fe (11%) i tylko nieliczne próbki (3%) wykazały niedobory Mo.

Obecnie wiedza na temat funkcji biochemicznych i fizjologicznych mikroelementów w roślinie jest szeroko dostępna. Coraz więcej producentów rolnych zdaje sobie sprawę, że niedostateczny poziom odżywienia roślin mikroelementami prowadzi do obniżenia ich odporności na niekorzystne warunki środowiska, takie jak choroby i szkodniki, susza, mróz czy konkurencyjność chwastów, co w konsekwencji wpływa na obniżenie poziomu plonowania i pogorszenie jakości plonu, mimo dobrego zaopatrzenia roślin w makroskładniki. Zatem oznaczanie zawartości mikroelementów w glebach uprawnych i ocena zasobności gleby w formy przyswajalne dla roślin powinno być praktykowane przez rolników w szerszym zakresie niż dotychczas.

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

W przypadku wykrycia niskiej zawartości któregośkolwiek mikroelementu, możliwe jest uzupełnienie jego niedoboru poprzez nawożenie doglebowe lub dolistne. Obecnie w ofercie rynkowej znajduje się bardzo dużo nawozów mikroelementowych, produkowanych przez różne firmy polskie i zagraniczne, o różnym składzie pierwiastkowym (15, 16).

Celem pracy było przedstawienie nowej metody oceny zasobności gleby w mikroelementy wraz ze szczegółowymi zaleceniami nawożenia roślin uprawnych tymi składnikami, w przypadku stwierdzenia ich niedoboru.

Metody oceny zasobności gleby w mikroelementy

Decyzja o nawożeniu, jak również wybór odpowiedniego nawozu mikroelementowego powinny być poprzedzone oceną zasobności gleby w mikroskładniki. W tym celu należy pobrać reprezentatywną próbkę gleby z pola i zlecić wykonanie takiej oceny najbliższej okręgowej stacji chemiczno-rolniczej (OSChR). Procedura oceny zasobności gleby w OSChR składa się z następujących etapów:

- 1) ekstrakcja pierwiastka z gleby za pomocą odpowiedniego ekstrahenta,
- 2) oznaczenie jego zawartości w ekstrakcie,
- 3) porównanie wyniku analizy z odpowiednią liczbą graniczną.

Liczby graniczne, odrębne dla każdego mikroskładnika, to wartości, które pozwalają określić, czy oznaczona zawartość mikroelementu w glebie jest wystarczająca dla roślin, czy jest za niska i czy konieczne będzie nawożenie.

W Polsce od 1986 roku laboratoria OSChR wykorzystują do ekstrakcji mikroelementów z gleby roztwór **1 M HCl** wraz z odpowiednimi liczbami granicznymi do oceny ich zawartości w glebie (10). Zastosowanie tego ekstrahenta pozwala na jednoczesną ekstrakcję wszystkich mikroelementów z gleby. Do oznaczenia zawartości makroelementów w glebie używa się dwóch innych roztworów ekstrakcyjnych: mleczanu wapnia (dla fosforu i potasu – metoda Egnera-Riehma) oraz chlorku wapnia (dla magnezu – metoda Schachtschabela). Pełna analiza makro- i mikroelementów wymaga więc użycia 3 ekstrahentów i przeprowadzenia 3 odrębnych ekstrakcji.

W roku 2015, w wyniku badań IUNG-PIB i Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej, w laboratoriach OSChR została wdrożona metoda **Mehlich 3**, która umożliwia jednoczesną ekstrakcję makro- i mikroelementów z gleby jednym roztworem ekstrakcyjnym. Roztwór Mehlich 3 jest mieszaniną pięciu składników, z których każdy pełni określone zadanie w trakcie przeprowadzanej ekstrakcji. W jego skład wchodzi: $0,2 \text{ M CH}_3\text{COOH} + 0,013 \text{ M HNO}_3 + 0,015 \text{ M NH}_4\text{F} + 0,25 \text{ M NH}_4\text{NO}_3 + 0,001 \text{ M EDTA}$. Podczas ekstrakcji kwas octowy pełni funkcję stabilizującą, utrzymując wartość pH na poziomie ok. 2,5 i zapobiegając wytrącaniu się wapnia. Kwas azotowy jest odpowiedzialny za ekstrakcję fosforanów wapnia, a fluorek amonu – fosforanów glinu i żelaza. Azotan amonu ekstrahuje potas, magnez i wapń, a EDTA odpowiada za kompleksowanie mikroelementów.

Przeprowadzanie jednej ekstrakcji wszystkich składników pokarmowych równocześnie, zamiast użycia kilku różnych ekstrahentów, jest dużym uproszczeniem i skróceniem procedury analitycznej, a tym samym wiąże się ze znaczną redukcją kosztów analiz. Według przeprowadzonych kalkulacji użycie roztworu Mehlich 3 do oznaczeń zawartości makroskładników pozwala zaoszczędzić 20% kosztów odczynników, 40% kosztów pracy oraz 83% i 95% zużycia odpowiednio wody i energii (tab. 1).

Tabela 1

Porównanie kosztów stosowania dotychczasowych metod analitycznych i nowej metody Mehlich 3 do oznaczeń zawartości makroelementów w glebie

| Specyfikacja | Metody dotychczasowe | Mehlich 3 |
|-----------------------|----------------------|-----------|
| Koszt odczynników (%) | 100 | 80 |
| Koszt pracy (%) | 100 | 60 |
| Zużycie wody (%) | 100 | 17 |
| Zużycie energii (%) | 100 | 5 |

Źródło: Kęsik, 2016 (6)

Zmniejszone koszty analiz gleby przekładają się na niższą cenę usługi dla rolników, co powinno przyczynić się do częstszego zlecenia przez nich oceny zasobności gleby w składniki pokarmowe. To z kolei skutkuje właściwym doбором dawek nawozów, a bardziej precyzyjne nawożenie wpływa na uzyskiwany poziom plonów, ich jakość, jak również na ochronę środowiska.

Metodę Mehlich 3 wdrożono w OSChR wraz z liczbami granicznymi do oceny zasobności gleby w fosfor, potas i magnez (2, 6, 7, 8). Wykorzystanie tej metody do oceny zasobności gleby w mikroelementy wymagało osobnych badań. W pierwszym etapie, w latach 2013–2015, prowadzono prace nad możliwością zastąpienia dotychczas stosowanego do ekstrakcji mikroelementów roztworu 1 M HCl roztworem Mehlich 3 (9). Kolejnym etapem, prowadzonym w latach 2016–2020, było opracowanie liczb granicznych dla roztworu Mehlich 3 (12, 17).

Analiza gleby metodą Mehlich 3 jest preferowana w przypadku potrzeby oceny zasobności we wszystkie składniki pokarmowe (makro- i mikroelementy). W przypadku zainteresowania zasobnością gleby jedynie w mikroelementy może być użyta zarówno metoda Mehlich 3, jak i metoda z zastosowaniem 1 M HCl, do której również opracowano nowe liczby graniczne (11).

Obie metody ekstrakcji mogą być stosowane do oceny zasobności gleby w mikroelementy, tj.: bor, cynk, mangan, miedź, żelazo. W przypadku molibdenu nie zaleca się wykonywania oznaczeń zawartości przyswajalnych form w glebie, ponieważ dostępność tego mikroelementu dla roślin jest ściśle związana z odczynem gleby i określenie pH jest wystarczającym parametrem do przewidywania ewentualnych niedoborów tego pierwiastka dla roślin.

Opracowanie nowych liczb granicznych dla metody Mehlich 3 i 1 M HCl

W ramach współpracy IUNG-PIB i Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej opracowano nowe liczby graniczne dla metody Mehlich 3 oraz 1 M HCl. Podstawą opracowania były duże zbiory próbek gleby i roślin, które rosły na tej glebie. Wykorzystano trzy zbiory:

- 1921 par próbek gleba–roślina pobranych w 2016 roku z pól pszenicy,
- 1944 pary próbek pobranych w 2017 roku z pól rzepaku,
- 1764 pary próbek pobranych w 2018 roku z pól kukurydzy.

Wszystkie próbki zostały pobrane przez próbobiorców OSChR z terenu 16 województw Polski, na ogół po jednej parze gleba–roślina z jednej gminy (tab. 2). W próbkach roślinnych oznaczono zawartość mikroelementów, a w próbkach glebowych zawartość mikroelementów obiema metodami oraz pH, skład granulometryczny, zawartość węgla organicznego i przyswajalnego fosforu. Dodatkowo dla wszystkich pól oszacowano plon ziarna po zbiorze roślin.

Tabela 2

Liczba par próbek gleba–roślina pobranych w poszczególnych województwach

| Lp. | Województwo | | Roślina | | |
|------|---------------------|---------------------------------|----------|--------|-----------|
| | nazwa | powierzchnia (km ²) | pszenica | rzepak | kukurydza |
| 1. | opolskie | 9 412 | 92 | 94 | 93 |
| 2. | świętokrzyskie | 11 711 | 63 | 72 | 72 |
| 3. | śląskie | 12 333 | 94 | 100 | 83 |
| 4. | lubuskie | 13 988 | 93 | 89 | 81 |
| 5. | małopolskie | 15 183 | 129 | 113 | 110 |
| 6. | podkarpackie | 17 846 | 110 | 119 | 114 |
| 7. | kujawsko-pomorskie | 17 972 | 118 | 90 | 108 |
| 8. | łódzkie | 18 219 | 137 | 154 | 152 |
| 9. | pomorskie | 18 310 | 124 | 139 | 80 |
| 10. | dolnośląskie | 19 947 | 115 | 109 | 106 |
| 11. | podlaskie | 20 187 | 67 | 70 | 93 |
| 12. | zachodniopomorskie | 22 892 | 135 | 129 | 55 |
| 13. | warmińsko-mazurskie | 24 173 | 140 | 195 | 144 |
| 14. | lubelskie | 25 122 | 133 | 127 | 109 |
| 15. | wielkopolskie | 29 826 | 182 | 186 | 175 |
| 16. | mazowieckie | 35 558 | 189 | 158 | 189 |
| Suma | | | 1921 | 1944 | 1764 |

Źródło: opracowanie własne

Liczby graniczne dla ekstrahenta Mehlich 3, jak również nowe liczby dla roztworu 1 M HCl, wyznaczono dwiema niezależnymi metodami: 1) metodą równań regresji oraz 2) tzw. metodą wysokich plonów. W pierwszym przypadku graniczną zawartość mikroelementu w glebie wyliczono z równania opisującego zależność pomiędzy współczynnikiem bioakumulacji R/G a określoną cechą gleby. Współczynnik ten jako stosunek zawartości mikroelementu w roślinie (R) do jego zawartości w glebie (G) informuje o stopniu przyswajalności mikroskładnika z gleby.

Podstawą drugiej metody obliczeń było wydzielenie z całego zbioru danych grupy tzw. wysokich plonów. Następnie w tej grupie wyliczono dolne kwintyle (QU1) dla zawartości poszczególnych mikroelementów w glebie oznaczonych w odpowiednim ekstrahencie i przyjęto je jako liczby graniczne. Porównanie liczb wyliczonych metodą równań regresji i metodą wysokich plonów wykazało ich duże podobieństwo, co potwierdziło wiarygodność tych liczb.

Charakterystyka nowych liczb granicznych

Nowe liczby graniczne, opracowane zarówno dla metody Mehlich 3, jak i dla 1 M HCl, uwzględniają różną wrażliwość roślin na niedobór mikroelementów. Dotychczasowe, stare liczby wyznaczone dla metody 1 M HCl były zróżnicowane jedynie w zależności od wybranych właściwości gleby i nie uwzględniały różnych potrzeb roślin. Ponadto nowe liczby są jednostopniowe, w odróżnieniu od trzystopniowych starych liczb, które określały zawartość niską, średnią i wysoką. Przy konstruowaniu nowych liczb uznano za wystarczające wyznaczenie jedynie granicy niskiej zawartości mikroelementu w glebie, poniżej której zalecane jest nawożenie roślin danym składnikiem. Ze względu na ochronę środowiska i dążenie do rolnictwa zrównoważonego, przyjęto, że nawożenie jest potrzebne tylko w przypadku niskiej zasobności gleby w mikroelement. W starym systemie doradztwa dokarmianie roślin mikroelementami rekomendowano również przy ich średniej zawartości w glebie.

W tabelach 3 i 4 przedstawiono przykładowo nowe liczby graniczne dla pszenicy, odpowiednio do obu metod analitycznych. Tabele z liczbami dla pozostałych gatunków roślin uprawnych zamieszczono w Instrukcji upowszechnieniowej (13).

Tabela 3

Liczby graniczne niskiej zawartości mikroelementów w glebie oznaczonych metodą Mehlich 3 dla pszenicy

| Bor (B) | | Miedź (Cu) | | Mangan (Mn) | | Cynk (Zn) | |
|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|--|----------------------------------|
| cecha gleby | zawartość (mg·kg ⁻¹) | cecha gleby | zawartość (mg·kg ⁻¹) | cecha gleby | zawartość (mg·kg ⁻¹) | cecha gleby | zawartość (mg·kg ⁻¹) |
| pH | | Corg (%) | | pH | | P _{M3} (mg·kg ⁻¹) | |
| ≤5,5 | <0,10 | ≤1,0 | <1,4 | ≤5,5 | <30 | ≤100 | <3,0 |
| 5,6–6,5 | <0,25 | 1,1–1,5 | <1,6 | 5,6–6,5 | <45 | 101–200 | <3,5 |
| 6,6–7,2 | <0,40 | 1,6–2,0 | <1,8 | 6,6–7,2 | <60 | 201–300 | <4,5 |
| ≥7,3 | <0,55 | ≥2,1 | <2,2 | ≥7,3 | <75 | ≥301 | <6,0 |

Uwaga: Corg – zawartość węgla organicznego w glebie, P_{M3} – zawartość fosforu w glebie oznaczonego metodą Mehlich 3

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4

Liczby graniczne niskiej zawartości mikroelementów w glebie oznaczonych metodą 1 M HCl dla pszenicy

| Bor (B) | | Miedź (Cu) | | Mangan (Mn) | | Cynk (Zn) | |
|--------------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|
| cecha gleby | zawartość (mg·kg ⁻¹) | cecha gleby | zawartość (mg·kg ⁻¹) | cecha gleby | zawartość (mg·kg ⁻¹) | cecha gleby | zawartość (mg·kg ⁻¹) |
| kat. agron. | | Corg (%) | | pH | | pH | |
| b. lekkie i lekkie | <0,4 | ≤1,0 | <2,2 | ≤5,5 | <60 | ≤5,5 | <4,5 |
| średnie | <0,7 | 1,1–1,5 | <3,0 | 5,6–6,5 | <100 | 5,6–6,5 | <6,0 |
| ciężkie | <0,9 | 1,6–2,0 | <3,4 | 6,6–7,2 | <130 | 6,6–7,2 | <7,5 |
| | | ≥2,1 | <4,2 | ≥7,3 | <150 | ≥7,3 | <8,5 |

Źródło: opracowanie własne

Dostępność mikroelementów dla roślin zależy od różnych cech gleby. Wynika stąd konieczność powiązania liczb granicznych z odpowiednimi cechami. W przypadku pszenicy ocena zawartości boru w glebie dla metody Mehlich 3 zależy od jej odczynu (pH), ocena zawartości miedzi od zawartości węgla organicznego (Corg) w glebie, manganu – od pH oraz cynku – od zawartości fosforu w glebie (tab. 3). Dla metody 1 M HCl powiązane z liczbami cechy gleby do oceny zasobności w bor i cynk są inne niż dla metody Mehlich 3 (tab. 4).

Porównanie niedoborów mikroelementów w glebach Polski według starych i nowych liczb granicznych

Ocena niedoborów mikroelementów w glebach Polski przy użyciu obowiązujących dotychczas liczb granicznych dla roztworu 1 M HCl i nowych dla roztworu Mehlich 3 daje odmienne wyniki. W tabeli 5 przedstawiono porównanie wyników oceny niedoborów według starych i nowych liczb granicznych. Oceniono, jaka ilość gleb

w Polsce wykazuje niedobór mikroelementów dla upraw pszenicy, rzepaku i kukurydzy. Ocena przeprowadzona w zbiorze danych liczącym 3865 próbek glebowych pobranych z terenu całej Polski.

Największą różnicę pomiędzy starymi i nowymi liczbami stwierdzono w ocenie niedoborów boru, co silnie przemawia na korzyść nowej metody. Stara metoda ze względu na zbyt duże szacowane niedobory tego pierwiastka wzbudzała do tej pory wiele wątpliwości i kontrowersji. Według oceny przeprowadzonej starymi liczbami deficyt tego pierwiastka wykazywało aż 66% gleb. Przy użyciu nowych liczb dla metody Mehlich 3 stwierdzono 19% gleb deficytowych dla pszenicy, 45% dla rzepaku i 33% dla kukurydzy. Biorąc pod uwagę bardzo dużą wrażliwość na niedobór B rzepaku, dużą wrażliwość kukurydzy i znacznie mniejszą pszenicy, wydaje się, że poziom liczb granicznych dla tego pierwiastka jest właściwie ustalony dla wszystkich 3 gatunków roślin.

Skala niedoborów mikroelementów dla pszenicy i rzepaku oszacowana za pomocą nowych liczb granicznych dla metody 1 M HCl jest bardzo zbliżona do oceny przeprowadzonej przy użyciu nowych liczb dla Mehlich 3.

Tabela 5

Porównanie niedoborów mikroelementów w glebach Polski według starych i nowych liczb granicznych

| Liczby | | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|----------------|-----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | próbki z niedoborami (%) | | | | |
| Stare 1 M HCl | | 66 | 20 | 17 | 1 | 12 |
| Nowe Mehlich 3 | pszenica | 19 | 30 | 21 | 16 | 20 |
| | rzepak | 45 | 14 | 10 | 15 | 14 |
| | kukurydza | 33 | 17 | 17 | 16 | 26 |
| | średnia | 32 | 20 | 16 | 16 | 20 |
| Nowe 1 M HCl | pszenica | 21 | 33 | 21 | 17 | 21 |
| | rzepak | 39 | 22 | 15 | 13 | 17 |
| | średnia | 30 | 28 | 18 | 15 | 19 |

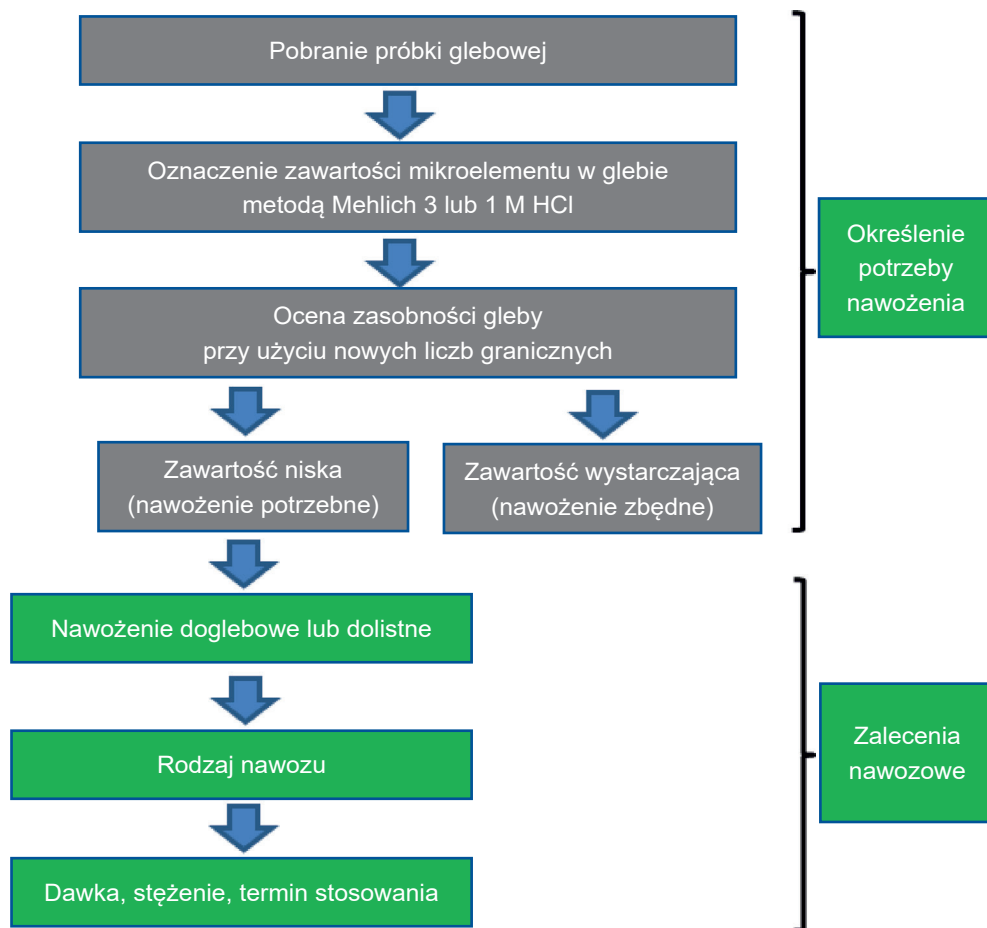
Źródło: opracowanie własne

Opracowane nowe liczby graniczne zostały wykorzystane do oceny zasobności gleby w badaniach naukowych z zakresu chemii rolniczej i ochrony środowiska, co zostało zaprezentowane w kilku publikacjach (1, 3, 4, 18).

Nawożenie mikroelementami – schemat postępowania

Nowy system nawożenia mikroelementami polega na określeniu potrzeb nawożenia rośliny uprawnej borem, cynkiem, miedzią, molibdenem, manganem i żelazem (nawo-

żenie potrzebne czy zbędne) oraz na wydaniu zaleceń nawozowych, tzn. wskazaniu odpowiedniego sposobu nawożenia (dolistnie lub doglebowo), rodzaju nawozów, wielkości dawek i terminów aplikacji. Poniżej przedstawiono schemat postępowania.



Zalecenia nawozowe

W Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa od wielu lat prowadzono badania dotyczące potrzeb mikroelementowych najważniejszych gospodarczo roślin uprawnych oraz ich reakcji na stosowane dawki mikroskładników. Badania opierano najczęściej na doświadczalnictwie polowym prowadzonym na terenie całego kraju oraz zbiorze danych zebranych z pól produkcyjnych, ale także na wynikach ścisłych doświadczeń wazonowych i mikropoletkowych. Wielkość dawek mikroelementów

rekomentowanych wówczas do praktyki rolniczej uwzględniała głównie ich działanie plonotwórcze. Nowsze badania IUNG-PIB pozwoliły na ocenę ich efektu środowiskowego. Badania te wykorzystano również do weryfikacji dawek nawozów, których wielkość umożliwia uzupełnienie deficytu mikroelementu w roślinie, a jednocześnie nie stanowi niepotrzebnego obciążenia dla środowiska. Do określenia wielkości dawek mikroelementów wykorzystano również dane literaturowe z krajów o warunkach glebowo-klimatycznych podobnych do warunków polskich.

Zalecenia nawożenia mikroelementami w nowym systemie są szczegółowo rozpisane dla każdego gatunku rośliny uprawnej, w odróżnieniu od starych zaleceń, które były bardziej uogólnione w stosunku do roślin. Zawierają wskazania odnośnie nawożenia doglebowego i dolistnego. Nawożenie dolistne rekomendowane jest przede wszystkim w celu uzupełnienia niedoborów manganu, molibdenu i żelaza, ponieważ w przypadku tych mikroelementów skuteczność nawożenia doglebowego jest zbyt krótkotrwała. Pozostałe mikroelementy: bor, miedź i cynk, można również stosować dolistnie. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że nawożenie dolistne będzie służyć poprawie stanu odżywienia roślin w mikroelement jedynie w danym sezonie wegetacyjnym, nie wzbogacając gleby w deficytowy składnik. Przykładowe dawki mikroelementów i liczbę oprysków oraz terminy ich stosowania w uprawie pszenicy i buraka cukrowego podano w tabelach 6 i 7. Analogiczne zalecenia dla pozostałych gatunków roślin znajdują się w Instrukcji upowszechnieniowej (13).

Do oprysków dolistnych, oprócz dawek i terminów aplikacji, proponuje się nawozy w postaci wodnych roztworów soli mineralnych (siarczanu miedzi, siarczanu cynku, siarczanu żelaza, boraksu, kwasu borowego, molibdenianu amonu lub sodu) lub dostępne w ofercie rynkowej nawozy mikroelementowe. Roztwory soli mineralnych powinny być stosowane w odpowiednim stężeniu, aby były bezpieczne dla roślin. W zaleceniach (13) podano sposoby ich sporządzania.

Tabela 6

Zalecana liczba oprysków dla pszenicy i buraka cukrowego oraz dawka pierwiastka na 1 oprysk w $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ przy dolistnym nawożeniu mikroelementami w formie soli mineralnych

| Gatunek | B | | Cu | | Fe | | Mn | | Mo | | Zn | |
|----------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | liczba | dawka | liczba | dawka | liczba | dawka | liczba | dawka | liczba | dawka | liczba | dawka |
| Pszenica | 1 | 200 | 2 | 300 | 1 | 500 | 2 | 1000 | - | - | 1 | 500 |
| Burak | 3 | 300 | 2 | 300 | 2 | 500 | 2 | 1500 | 2 | 100 | 1 | 500 |

Źródło: opracowanie własne

Tabela 7

Terminy (fazy rozwojowe roślin) dolistnego nawożenia solami mikroelementowymi pszenicy i buraka cukrowego

| Gatunek (mikroelement) | I termin | II termin | III termin |
|----------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Pszenica (B) | drugie/trzecie kolanko (BBCH 32-33) | x | x |
| Pszenica (Cu, Fe, Mn, Zn) | wiosna – krzewienie (BBCH 25-29) | początek strzelania w źdźbło (BBCH 31-32) | x |
| Burak (B) | 4–6 liści (BBCH 14-16) | 10 dni po 1 oprysku | 10 dni po 2 oprysku, ale przed pełnym zakryciem międzyrzędzi (do BBCH 39) |
| Burak (Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) | 4–8 liści (BBCH 14-18) | 10–12 dni po 1 oprysku, ale przed pełnym zakryciem międzyrzędzi (do BBCH 39) | x |

Źródło: opracowanie własne

Nawożenie doglebowe zalecane jest w celu uzupełnienia niedoborów miedzi, cynku i boru (tab. 8). Doglebową dawkę mikroelementu można zastosować w postaci soli mineralnych lub oferowanych na rynku nawozów, posiadających w swoim składzie mikroelementy, zgodnie z zaleceniami producenta.

Tabela 8

Zalecane doglebowe dawki mikroelementów stosowane w formie soli mineralnych (w $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przeliczeniu na formę pierwiastkową)

| Rodzaj gleby | B | Cu | Zn |
|----------------------|------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Bardzo lekka i lekka | 1 kg | 5 kg nie częściej niż raz na 4 lata | 8 kg nie częściej niż raz na 3 lata |
| Średnia | 2 kg | 6 kg nie częściej niż raz na 4 lata | 8 kg nie częściej niż raz na 3 lata |
| Ciężka | 2 kg | 6 kg nie częściej niż raz na 4 lata | 10 kg nie częściej niż raz na 3 lata |

Uwaga: Nie stosować B doglebowo bezpośrednio pod zboża

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Istotą nowego systemu nawożenia mikroelementami roślin uprawnych jest ocena zasobności gleby w mikroelementy z zastosowaniem nowych liczb granicznych wraz z nowymi zaleceniami nawozowymi, które zostały zweryfikowane pod kątem ochrony środowiska.

Nowe liczby graniczne do oceny deficytu mikroelementów glebowych zostały opracowane dwiema niezależnymi metodami, z wykorzystaniem kolekcji liczącej 5629 par próbek gleba–roślina. Nowy system nawożenia mikroelementami wpisuje

się w strategię rolnictwa zrównoważonego. Diagnoza oparta na nowych liczbach granicznych eliminuje przypadki braku nawożenia przy niedoborach mikroelementów lub niepotrzebnego nawożenia przy wystarczającej zasobności gleby w mikroskładniki, co w wielu sytuacjach miało miejsce przy wykorzystywaniu starych liczb granicznych.

Literatura

1. Figas A., Tomaszewska-Sowa M., Kobiernicki M., Sawilska A.K., Klimkowska K.: Hazard of contamination with heavy metals in *Thymus serpyllum* L. herbs from rural areas. *Agriculture*, 2021, **11(4)**: 375.
2. Fotyma M., Kęsik K., Lipiński W., Filipiak K., Purchała L.: Testy glebowe jako podstawa doradztwa nawozowego. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **42(16)**: 9-51.
3. Gibczyńska M., Tomaszewicz T., Stankowski S., Chudecka J., Gamrat R.: Content of heavy metals in reclaimed soil material and hard coal ash 15 years after the experiment. *Journal of Ecological Engineering*, 2021, **22(4)**: 59-65.
4. Kabała C., Galka B., Jezierski P.: Assessment and monitoring of soil and plant contamination with trace elements around Europe's largest copper ore tailings impoundment. *Science of The Total Environment*, 2020, **738**: 139918.
5. Kantek K., Korzeniowska J.: Potrzeby nawożenia zbóż mikroelementami w województwie dolnośląskim. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 145-157
6. Kęsik K.: Zastosowanie metody Mehlich 3 w systemie doradztwa nawozowego. *Studia i Raporty PIB*, 2016, **48(2)**: 95-104.
7. Kęsik K., Jadczyzyn T., Lipiński W., Jurga B.: Adaptacja testu Mehlicha 3 do rutynowych oznaczeń zawartości fosforu, potasu i magnezu w glebie. *Przemysł Chemiczny*, 2015, **94(6)**: 973-6.
8. Kęsik K., Lipiński W., Jadczyzyn T., Boreczek B., Janda B., Sumorek-Gołąbek A., Kocooń A., Ochala P., Pikuła D., Bochniarz A.: Liczby graniczne oraz procedura badawcza oznaczania metodą Mehlich 3 ruchomych form fosforu, potasu i magnezu w glebach mineralnych. Instrukcja wdrożeniowa nr 230, IUNG-PIB Puławy, 2014, ss. 26.
9. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E.: Comparison of 1 M HCl and Mehlich 3 for assessment of the micronutrient status of polish soils in the context of winter wheat nutritional demands. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2015, **46(10)**: 1263-1277.
10. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Jadczyzyn T.: Ewolucja metod oceny zasobności gleb Polski w przyswajalne formy mikroelementów. *Studia i Raporty IUNG-PIB.*, 2020, **63(17)**: 133-144.
11. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Lipiński W.: New limit values of micronutrient deficiency in soil determined using 1 M HCl extractant for wheat and rapeseed. *Soil Science Annual*, 2020, **71(3)**: 205-214.
12. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Lipiński W.: Opracowanie liczb granicznych niedoboru mikroelementów w glebie oznaczanych przy użyciu ekstrahenta Mehlich 3 dla polskich warunków glebowych. Część I. Pszenica. *Soil Science Annual*, 2019, **70(4)**: 314-323.
13. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Jadczyzyn T., Lipiński W.: Nawożenie upraw rolniczych mikroelementami. Nowe liczby graniczne do oceny zawartości mikroelementów w glebie. Instrukcja upowszechnieniowa nr 249, IUNG-PIB, Puławy 2021, ss. 26.
14. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Kantek K., Lipiński W., Gaj R.: Micronutrient status of winter wheat in Poland. *Journal of Central European Agriculture*, 2015, **16(1)**: 54-64.
15. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Jadczyzyn T.: Nawożenie mikroelementami. Katalog nawozów, środków wapnujących, stymulatorów wzrostu i środków poprawiających właściwości gleby. Nawożenie, 2021, s. 93-96.

16. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J.: Analiza rynku nawozów mikroelementowych na tle potrzeb nawożenia mikroelementami w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB.*, 2020, **63(17)**: 145-161.
 17. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Lipiński W.: Opracowanie liczb granicznych niedoboru mikroelementów w glebie oznaczanych przy użyciu ekstrahenta Mehlich 3 dla polskich warunków glebowych. Część II. Rzepak. *Soil Science Annual*, 2019, **70(4)**: 324-330.
 18. Tabak M.: Mehlich 3 – nowa metoda oznaczania przyswajalnych form pierwiastków w glebach. <https://nawozy.eu>, 2020
-

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jolanta Korzeniowska
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. 71 363 8707, w. 112
e-mail: j.korzeniowska@iung.wroclaw.pl

| AUTOR | ORCID |
|--------------------------|---------------------|
| Jolanta Korzeniowska | 0000-0003-3701-9576 |
| Ewa Stanisławska-Głubiak | 0000-0003-1852-6732 |
| Tamara Jadczyzyn | 0000-0002-4755-699 |