

Rola mikroelementów w uprawie buraka cukrowego

Stanisław Wróbel

*Zakład Techniki Uprawy Roli i Nawożenia
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
pl. Św. Macieja 55, 0-244 Wrocław
e-mail: s.wrobel@iungwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: burak cukrowy, mikroelementy, funkcje fizjologiczne, skutki niedoborów, wymagania pokarmowe, działanie plonotwórcze

Wprowadzenie

Plony buraka cukrowego i cukru z plantacji polskich wciąż odbiega od uzyskiwanych na zachodzie Europy. Średnie krajowe plony korzeni buraka z lat 1998–2001 wynosiły – $36,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a we Francji – $72,2 \text{ t}$ [34]. Obok czynnika klimatycznego i uprawowego winą za ten stan rzeczy obarczyć należy błędy w nawożeniu mineralnym buraka.

Specyficzne właściwości biologiczne buraka cukrowego związane z syntezą i kumulacją znacznych ilości sacharozy w tkankach korzeni warunkują duże potrzeby pokarmowe tej rośliny oraz dużą wrażliwość na wszelkie nieprawidłowości w nawożeniu. Wymagania pokarmowe buraka cukrowego w stosunku do mikroelementów są kilkakrotnie, a w wypadku boru nawet kilkunastokrotnie większe niż zbóż [8, 16]. W trzyletnim doświadczeniu przeprowadzonym w IUNG wykazano największą efektywność ekonomiczną nawożenia buraka cukrowego B, Zn, Mo i Cu w porównaniu z innymi roślinami uprawianymi w zmianowaniu [14].

W literaturze podręcznikowej przeważa wprawdzie pogląd, że dawka obornika rzędu $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ z reguły zabezpiecza zapotrzebowanie na mikroelementy buraka cukrowego (z wyjątkiem boru) jednak dane te odnieść można do odmian starszych generacji i plonów nie przekraczających $35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z najnowszych badań wynika, że w uprawie mieszańcowych wysokoplennych odmian buraka, obornik zabezpieczyć może jedynie potrzebne ilości manganu [43]. Przy drastycznym spadku produkcji obornika w kraju, a więc coraz częściej stosowanej z konieczności uprawy bezobornikowej,

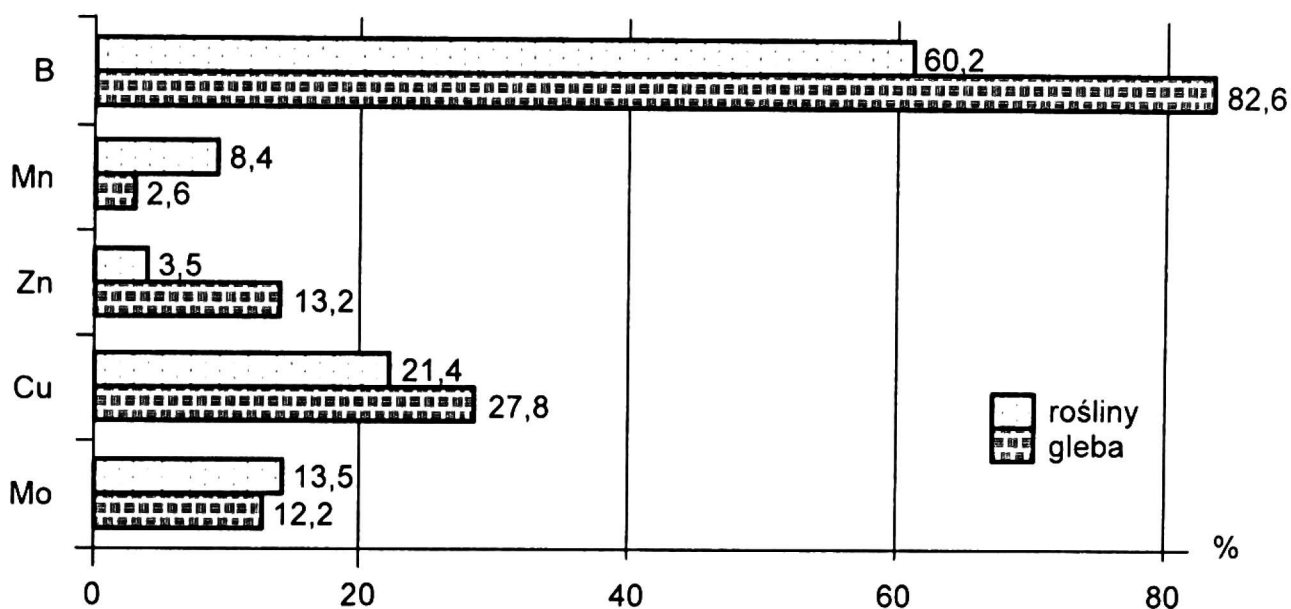
należy spodziewać się zaostżenia niedoboru mikroelementów w środowisku glebowym. Przykładem wskazującym na skalę problemu może być bilans mikroelementów sporządzony na podstawie perspektywicznych systemów nawożenia mineralnego. Według Czuby [9] w systemie stosowania nawozów zawieszinowych pokrycie zapotrzebowania na mikroelementy przy średnich plonach krajowych wynosi tylko 51% i zaledwie 35% przy plonach większych o 50%, z małymi różnicami w obrębie pięciu głównych mikroskładników (B, Cu, Mn, Mo i Zn). Takie plony osiąga się już w licznych gospodarstwach, głównie w zachodniej i północnej części kraju.

Mikroelementy i ich wpływ na rozwój i plonowanie buraka

Mikroelementy są niezbędne w procesach życiowych organizmów roślinnych najczęściej pełniąc rolę składników lub aktywatorów enzymów. Ich niedobory oddziałują zatem w sposób istotny na wykorzystanie składników strukturalnych oraz na proces formowania plonu. Naturalne zasoby rozpuszczalnych form mikroelementów w glebie, nie uzupełniane odpowiednim nawożeniem, ulegają stopniowemu wyczerpaniu, zwłaszcza w warunkach intensyfikacji uprawy i braku nawożenia organicznego. Uruchamianie się form zapasowych tych pierwiastków jest procesem długotrwałym, nie mającym znaczenia w skali jednego sezonu wegetacyjnego.

Do oceny poziomu zaopatrzenia roślin buraka cukrowego w mikroelementy stosuje się w Polsce najczęściej test Bergmanna [3]. Według tego kryterium optymalna zawartość mikroelementów w blaszkach liściowych pobranych ze środkowej rozety na przełomie czerwca i lipca (części wskaźnikowe) powinna wynosić (w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy): B – 40–100; Mn – 35–100; Zn – 20–80; Cu – 7–15; Mo – 0,25–1,5. Diagnostyka glebowa opiera się na stosowanej od 1986 roku w rutynowych badaniach stacji chemiczno-rolniczych analizie grupowej mikroelementów z zastosowaniem $1 \text{ mol HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$, jako wspólnego ekstraktora, i liczbach granicznych opracowanych w IUNG [45]. Wyniki ostatniej rotacji tych badań (lata 1994–1999) wykazały występowanie następujących niedoborów (w % użytków rolnych, w nawiasie liczba przebadanych próbek): B – 79% (66.929), Mn – 7% (85.073), Zn – 13% (93.489), Cu – 36% (101.521), Mo (dane z lat 1987–1993) – 23% (11.184) [10].

Badania własne autora przeprowadzone w sieci 115. pól produkcyjnych buraka cukrowego z całego kraju wykazały występowanie niedoboru mikroelementów, zarówno w glebie, jak i w roślinach (rys. 1). Deficyty stwierdzone w glebach dotyczyły najczęściej boru (ponad 82% badanych pól w tym 36% pól z ostrym niedoborem, tzn. zawartością mniejszą niż połowa wartości określającej granicę między zawartością średnią i niską), miedzi (27,8% pól w tym 8% pól z ostrym niedoborem) oraz molibdenu (ponad 12% badanych pól). W znacznie mniejszym zakresie niedobory dotyczyły cynku i manganu.



Rysunek 1. Udział pól produkcyjnych buraka cukrowego o niedoborowej zawartości mikroelementów w glebie i w roślinach [%]

W konsekwencji, według kryterium Bergmanna [3], zbyt niskie zawartości B w roślinach wykazywało ponad 60% badanych pól, Cu – 21,4 %, a Mo – 13,5% pól. Zawartości B, Cu i Mo były pozytywnie skorelowane z poziomem uzyskiwanych plonów korzeni buraka [43]. Są to mikroelementy o podstawowym znaczeniu dla buraka cukrowego. Bor uczestniczy w przemianach węglowodanów, wpływając na zawartość cukru w korzeniach. Miedź i molibden, a także mangan i cynk to komponenty grup prostetycznych i aktywatory enzymów uczestniczących w licznych procesach metabolicznych, w tym w przemianach związków azotowych i syntezie białek.

Bor. Bor jest mikroelementem o kluczowym znaczeniu w uprawie buraka cukrowego. Działanie boru w procesach metabolicznych jest znacznie bardziej wszechstronne niż mikroelementów metali, tj. Mn, Zn, Cu, czy Mo, których rola ogranicza się zazwyczaj do udziału w procesach enzymatycznych. Bor jest niezbędny w wielu procesach fizjologicznych, jak podział i różnicowanie się komórek w tkankach tworzących stożków wzrostu pędu i korzenia, dojrzewanie pyłku i wzrost łagiewek pyłkowych, synteza i transport węglowodanów, fotosynteza i oddychanie, metabolizm RNA i DNA, stabilizacja błon cytoplazmatycznych, działanie antyoksydacyjne itp. Największe zapotrzebowanie na bor występuje w młodych tkankach roślin, gdzie najbardziej intensywnie przebiegają procesy metaboliczne. Rośliny nie mają zdolności reutilizacji boru (podobnie jak wapnia) i przemieszczania go z części starszych do młodszych. Przy niedostatku tego pierwiastka w środowisku glebowym, młode części roślin w pierwszej kolejności wykazują więc objawy jego deficytu. U buraka prowadzi to do spadku plonów i zawartości cukru w korzeniach, wzrostu udziału substancji melasotwórczych, a przy pogłębiającym się deficycie występuje na plantacjach choroba fizjologiczna zwana zgorzelą liści sercowych, której następstwem jest sucha zgnilizna korzeni. Przeciętne pobranie boru z plonami buraka cukrowego wynosi około 600–700 g z 1 ha, a w warunkach upraw wysokoprodukcyjnych przekraczać może nawet 1500 g [43].

Dostępność boru dla roślin jest najlepsza przy wartości pH gleby w granicach 5,5–7,2. W glebie kwaśnej bor występuje w postaci łatwo rozpuszczalnego H_3BO_3 i w tej postaci jest pobierany biernie przez rośliny. Jednak jednocześnie może być łatwo wymywany w głąb profilu glebowego. Przy odczynie gleby powyżej pH 7,2, gdy zachodzi dysocjacja H_3BO_3 , raptownie spada jego dostępność jako efekt sorpcji jonów $B(OH)_4^-$ przez minerały ilaste, substancję organiczną oraz wodorotlenki żelaza i glinu. Susza i podwyższona zawartość Ca w glebie (np. po zwapnowaniu), wskutek antagonizmu $Ca \leftrightarrow B$ ograniczają jeszcze bardziej dostępność boru dla roślin. Duże potrzeby i brak reutilizacji boru prowadzą w takich warunkach zazwyczaj do niedożywienia buraka cukrowego borem. Stockfish i Koch wykazali, że niedostatek boru w intensywnych uprawach buraka obniża plon korzeni i zwiększa zawartość w nich substancji melasotwórczych, w wyniku czego plony cukru technologicznego mogą zmniejszać się nawet o 20% [36]. Wiele badań nad znaczeniem boru w uprawach buraka cukrowego potwierdza pozytywny wpływ tego składnika, zarówno na poziom uzyskiwanych plonów, jak i na kształtowanie jakości surowca buraczanego, w tym zawartości cukru w korzeniach, zawartości czynników melasotwórczych, czystości soku, zawartości azotanów i auksyn itp. [6, 11, 20, 30, 44]. W doniesieniach, zarówno krajowych, jak i zagranicznych, często podkreśla się przy tym najlepsze efekty produkcyjne uzyskiwane przy stosowaniu boru łącznie z innymi mikroelementami [20, 22, 29, 32, 43].

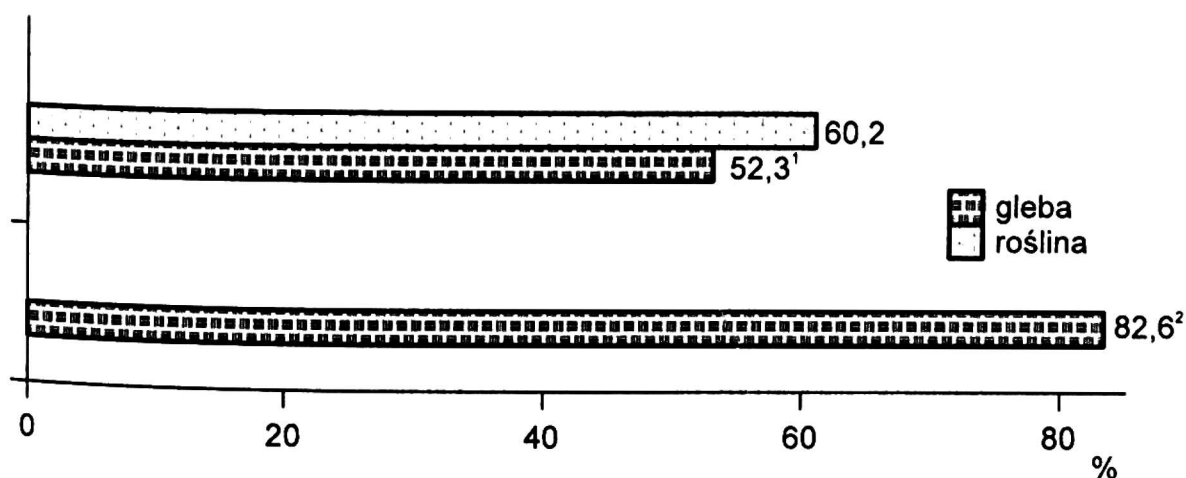
Od czasu gdy Brandenburg w 1931 roku wykazał skuteczność nawożenia borem w zwalczaniu zgorzeli liści sercowych buraka na plantacjach niemieckich, wykonano wiele doświadczeń potwierdzających wysoką efektywność nawożenia tym mikroskładnikiem w uprawach buraka cukrowego. W badaniach polskich Benedycka i Krauze określiły efektywność $1 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ w uprawie buraka na 4,4 jednostki zbożowej, jednak nawet dawka $4 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ nie zapewniała właściwego poziomu odżywienia roślin borem [2, 26]. Faber pod wpływem nawożenia doglebowego borem w dawkach $1\text{--}4 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ uzyskał średni przyrost plonów korzeni buraka uprawianego w zmianowaniu – 9,6% [14].

Celem rozpoznania stanu zaopatrzenia gleb i roślin buraka cukrowego w składniki pokarmowe, Wróbel [43] przeprowadził badania na 115 polach produkcyjnych z całego kraju. Badania te wykazały występowanie niedoborów boru (rozpuszczalnego w $1 \text{ mol HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$) w glebie 82,6% pól. Deficytom dostępnych form boru w glebie odpowiadało 60,2% upraw, które cechowała niedostateczna w świetle kryterium Bergmanna [3] zawartość tego mikroskładnika w częściach wskaźnikowych roślin. Tak znaczny zakres stwierdzanych niedoborów boru w glebach, częściowo tylko potwierdzony zbyt niskimi zawartościami tego składnika w uprawianych na nich roślinach, budzi jednak określone wątpliwości specjalistów z zakresu chemii rolnej, którzy wskazują na potrzebę weryfikacji zbyt rygorystycznego testu glebowego z $1 \text{ mol HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ [14]. Z drugiej strony jednak, deficyty glebowe boru występują najczęściej i dotyczą większych obszarów niż niedobory jakiegokolwiek innego składnika. Według Shorrocksa [35] stwierdzano je na znacznych obszarach rolniczych w ponad 70 krajach.

W latach 1991–1997 Wróbel [43] przeprowadził doświadczenia polowe ściśle z nawożeniem buraka cukrowego borem w dawce $2 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$, na tle nawożenia obornikiem w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, oraz w uprawie bezobornikowej. W 50% doświadczeń z obornikiem oraz w 75% doświadczeń z nawożeniem wyłącznie mineralnym, pod wpływem stosowania boru wystąpiły istotne statystycznie przyrosty plonów korzeni buraka. Zwyżki te w uprawie na oborniku wahały się w zakresie 5,7–8,3%, w uprawie bezobornikowej 6,4–15,8% w stosunku do obiektu kontrolnego. Stosowany bor korzystnie oddziaływał również na zawartość cukru w korzeniach (wzrost średnio o 0,5%), w rezultacie czego plony cukru zwiększały się o $0,50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, gdy stosowano obornik, oraz o $0,95 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ – w uprawie bezobornikowej. Na podkreślenie zasługuje fakt, że efekty takie stwierdzano często w warunkach optymalnego zaopatrzenia roślin w bor. Wskazuje to na większe wymagania pokarmowe nowych mieszańcowych odmian buraka cukrowego, a więc na potrzebę podwyższenia o około $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, granic optymalnej zawartości boru w częściach wskaźnikowych buraka [3].

Korzystając ze stosunkowo dużego zbioru danych analitycznych gleb i roślin z 235 upraw buraka cukrowego, który jest bardzo dobrą rośliną wskaźnikową odżywienia borem, w powyższych badaniach dokonano weryfikacji obowiązujących liczb granicznych, wykorzystując rachunek regresji wielokrotnej krokowej [43]. Dysponując nowymi kryteriami oceny zasobności gleby w bor, ponownie wyceniono częstotliwość występowania deficytów tego składnika na polach produkcyjnych buraka cukrowego. Uzyskany wynik (udział próbek o niskiej zawartości boru) wyniósł tym razem 52,3% (wobec 82,6% deficytu określonego poprzednio, przy użyciu liczb dotychczas stosowanych). W zestawieniu z niedoborami B w roślinach z tych samych pól (60,2%), relację taką uznać można za prawidłową, po uwzględnieniu szczególnie wysokich potrzeb buraka w odniesieniu do boru (rys. 2).

Nowa wycena uzasadnia również brak reakcji plonów korzeni na nawożenie borem w 50% doświadczeń ściśle polowych, których gleby okazały się przeważnie średnio zasobne w bor.



Rysunek 2. Zakresy deficytu boru w glebie 115 pól produkcyjnych buraka cukrowego ocenione według zmodyfikowanych oraz dotychczasowych liczb granicznych

- ¹ zakres deficytu boru w glebie wg zmodyfikowanych liczb granicznych
- ² zakres deficytu boru w glebie wg dotychczasowych liczb granicznych

W badaniach światowych zaznacza się w ostatnich latach coraz większe zainteresowanie borem w związku z odkryciami ważnych funkcji tego pierwiastka w organizmach ssaków [31].

Mangan. Z uwagi na duże potrzeby pokarmowe buraka cukrowego względem manganu pierwiastek ten zaliczany jest do mikroelementów o największym znaczeniu w uprawie tej rośliny. Jego najważniejsze funkcje w roślinie wiążą się z aktywacją około 35 enzymów uczestniczących głównie w reakcjach redox oraz z udziałem w fotosyntezie (fotoliza wody – reakcja Hilla). Mangan bierze również udział w aktywowaniu enzymów związanych z metabolizmem azotowym roślin, a także w biosyntezie ligniny, flawonoidów i kwasu indoliloctowego. Dostępność Mn dla roślin zwiększa się wyraźnie wraz ze spadkiem pH gleby. W badaniach niemieckich podejmowane są nawet próby oceny stopnia zakwaszenia gleb na podstawie zawartości Mn w uprawianych na nich roślinach (w tym w buraku cukrowym) [46]. Właściwość ta sprawia, że w kwaśnych na ogół glebach Polski niedobory manganu występują rzadko (7% użytków rolnych) [10].

Jednak w warunkach gleb wapiennych lub nadmiernie zwapnowanych, mangan dostępny ulega immobilizacji i można spodziewać się tam nawet wizualnych objawów jego niedostatku na roślinach buraka [7]. Występują one w postaci żółtych plam i perforacji młodych liści, które stają się wyprostowane, trójkątne. Dotyczy to zwłaszcza coraz częściej stosowanych upraw bezobornikowych. Niedobory manganu hamują rozwój korzeni buraka, a więc ograniczają plony cukru [25, 37]. Sugerowane w takiej sytuacji przez Fincka [15] wtórne obniżanie pH gleby poprzez pogłównne stosowanie nawozów azotowych fizjologicznie kwaśnych w celu poprawy dostępności manganu ma słabe strony, gdyż ograniczając dostępność molibdenu zwiększa zawartość czynników melasotwórczych w korzeniach, powodując spadek plonu cukru. Takie rozwiązanie problemu bywa jednak niekiedy stosowane, na co wskazują badania fińskie [13]. W warunkach polskich lepszym wyjściem z tej sytuacji jest aplikacja dolistna manganu. Optymalne terminy dolistnego dokarmiania mikroelementami buraka cukrowego, przypadają na okres od wytworzenia 2–4 par liści do początku zwierania rzędów. Doglebowe stosowanie manganu jest nieefektywne z uwagi na krótkotrwały efekt działania. W warunkach natlenionych gleb o wysokim pH Mn^{2+} szybko ulega utlenieniu do Mn^{3+} i Mn^{4+} i wytrąca się w postaci nierozpuszczalnej. O dostępności Mn decyduje również wartość stosunku Fe : Mn, którego optimum wynosi od 1,5 : 1 do 2,5 : 1 [16]. Nawożenie obornikiem wydatnie poprawia zaopatrzenie w mangan i cynk. Materia organiczna stwarza warunki redukcyjne w glebie, co zwiększa dostępność manganu i cynku, sama stanowiąc przy tym dobre źródło przyswajalnych form tych składników (Mn^{2+} , Zn^{2+}). Według badań własnych autora, ilości manganu uwalniane z obornika, zastosowanego w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, pokrywają w ciągu jednego roku potrzeby pokarmowe buraka cukrowego nawet przy plonach o 50% wyższych od średniej krajowej wg danych GUS. W badaniach tych, w obiektach doświadczeń nawożonych obornikiem nie uzyskano wyżek plonowania buraka przy stosowaniu dolistnym manganu, podczas gdy

w obiektach z uprawą bezobornikową w większości wypadków stwierdzano istotne przyrosty plonów korzeni w zakresie 7–14,6% [43].

Pomimo że badania inwentaryzacyjne gleb krajowych na ogół wykazują zaledwie kilkuprocentowy zakres niedoboru Mn (3–7%), niekiedy uzyskuje się pozytywne efekty nawożenia tym mikroskładnikiem. Wskazują na to badania Prośby-Białczyk i in. [33], potwierdzające związek pomiędzy poziomem miedzi i manganu w roślinach a plonem technologicznym cukru. Odmienna sytuacja, jak donoszą Haneklaus i in. [19] dotyczy gleb północnych Niemiec i wschodniej Danii, gdzie mangan obok miedzi jest najbardziej deficytowym mikroelementem w glebie upraw buraka cukrowego (27% pól Niemcy i 58% pól Dania). Wynika to niewątpliwie z uregulowanego odczynu gleb tych obszarów.

Cynk. Rola metaboliczna cynku w roślinie wiąże się z przemianami węglowodanów i białek. Poza tym Zn wchodzi w skład grup prostetycznych enzymów: polimerazy RNA, dehydrogenazy alkoholowej, dysmutazy nadtlenkowej, fosfolipazy oraz anhidrazy węglanowej. Bierze ponadto udział w metabolizmie azotowym i fosforowym oraz w syntezie tryptofanu. Przy niedoborze Zn nagromadzają się w roślinie proste związki azotowe, takie jak aminokwasy i amidy, których obecność w korzeniach buraka utrudnia krystalizację sacharozy w procesie technologicznym. Deficyt cynku w uprawie buraka cukrowego indukuje zaburzenia systemu wewnętrznych błon komórkowych chloroplastów, co prowadzi do zamierania komórek. Powstające chlorotyczne i nekrotyczne plamy na liściach zmniejszają powierzchnię asymilacyjną liści [16, 21].

Burak cukrowy wykazuje średnią wrażliwość na niedobory cynku, w związku z czym nieczęsto obserwuje się jego ostre niedobory w uprawach produkcyjnych. Niebezpieczeństwo takie może zaistnieć na glebach o niskiej zawartości Zn dostępnego, po zastosowaniu obfitego nawożenia fosforowego w warunkach przedłużającej się suszy. Objawy wizualne pojawiają się na najmłodszych, pionowo ustawionych liściach w postaci biało-brunatnych przejaśnień międzynerwowych części blaszek liściowych. Ta choroba fizjologiczna nosi nazwę „bielenie liści buraka”. Antagonistyczne działanie fosforu nasila się w warunkach wysokiego pH gleby [7].

W badaniach własnych autora istotnie statystycznie przyrosty plonów buraka cukrowego pod wpływem nawożenia doglebowego cynkiem ($8 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$) w doświadczeniach polowych częściej dotyczyły liści (do 15%). Pozytywna reakcja plonów korzeni buraka (7,4%), wystąpiła zaledwie w 1 z 12 doświadczeń, w warunkach niedoboru Zn w glebie obficie zaopatrzonej w fosfor [43]. Doniesienia zagraniczne wskazują na dobre wyniki łącznego stosowania cynku i boru. W warunkach bułgarskich na czarnoziemie wyługowanym największy plon korzeni uzyskiwano pod wpływem opryskiwania liści buraka borem i cynkiem w dawkach po $600 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ [38]. Podobny rezultat, lecz w nawożeniu doglebowym w badaniach tureckich, stwierdzili Gezgin i in. [17]. Interakcja B \times Zn wyrażała się w tym wypadku wzrostem udziału cukru w korzeniach z 18,6 do 19,9%. Doniesienia chińskie wskazują na korzystne współdziałanie cynku i potasu w kształtowaniu jakości korzeni buraka [39].

Miedź. Miedź należy do składników stosunkowo mało ruchliwych w roślinach. W roztworze glebowym, a także w roślinie, 98–99% Cu występuje w formie skompleksowanej. Większość funkcji miedzi jako składnika roślin wiąże się z jej zawartością w enzymach, będących miedzioproteinami, jak plastocyanina, oksydaza askorbinianowa, cytochromowa i fenolowa, dysmutaza nadtlenkowa i inne. Miedź zwiększa ponadto aktywność reduktazy azotanowej. Ponad 50% miedzi zawartej w roślinach zlokalizowane jest w chloroplastach i związane z plastocyaniną – enzymem niezbędnym w fotosyntezie. Z uwagi na ważne funkcje wymienionych enzymów w fotosyntezie, w metabolizmie białek, węglowodanów i błon komórkowych, w przemianach azotu i witaminy C i innych procesach metabolicznych, niedobory Cu mogą ograniczać plonowanie buraka. Właściwe zaopatrzenie w ten składnik warunkuje dobre wykorzystanie azotu mineralnego przez rośliny i ogranicza zawartość szkodliwego w procesie krystalizacji cukru N- α -aminowego w korzeniach.

Pomimo że burak cukrowy zaliczany jest do roślin o średniej wrażliwości na niedobory miedzi, wyniki badań od dawna wskazują na pozytywne efekty stosowania Cu w uprawie tej rośliny. Bobrzecka i Krauze [5] stwierdziły, że w zmianowaniu burak cukrowy pobierał największe ilości Cu w porównaniu z innymi roślinami. Przy największych plonach (do 49,6 t z ha) zawartość miedzi w korzeniach buraka utrzymywała się jednak nadal na niewysokim poziomie (4,8 mg · kg⁻¹ s.m.). Pozytywne efekty nawożenia miedzią buraka uzyskał także Faber [14] – wzrost plonu korzeni o 7,2%.

Przyrosty plonów korzeni buraka pod wpływem doglebowego stosowania 8,0 kg Cu · ha⁻¹ w doświadczeniach autora [43] wynosiły do 6,0% – gdy stosowano obornik oraz do 6,5% w uprawie bezobornikowej. Wzrost plonowania liści w tych doświadczeniach wyniósł odpowiednio do 15,2 i 15,5%. O znaczeniu tego składnika w uprawie buraka świadczy również wzrost zawartości miedzi w korzeniach (o 25–32%) oraz wzrost ich cukrowości (o około 0,3%). W rezultacie stwierdzono wysoką korelację pozytywną pomiędzy pobraniem Cu przez burak a plonem biologicznym cukru ($r = 0,81$ $\alpha = 0,001$). Podobny wynik, świadczący o związku cukrowości korzeni z zawartością miedzi w liściach buraka uzyskali Lawiński i in. [28]. Również badania Prośby-Białczyk i in. [33] wskazują na dodatni związek poziomu miedzi w roślinach z plonem technologicznym cukru.

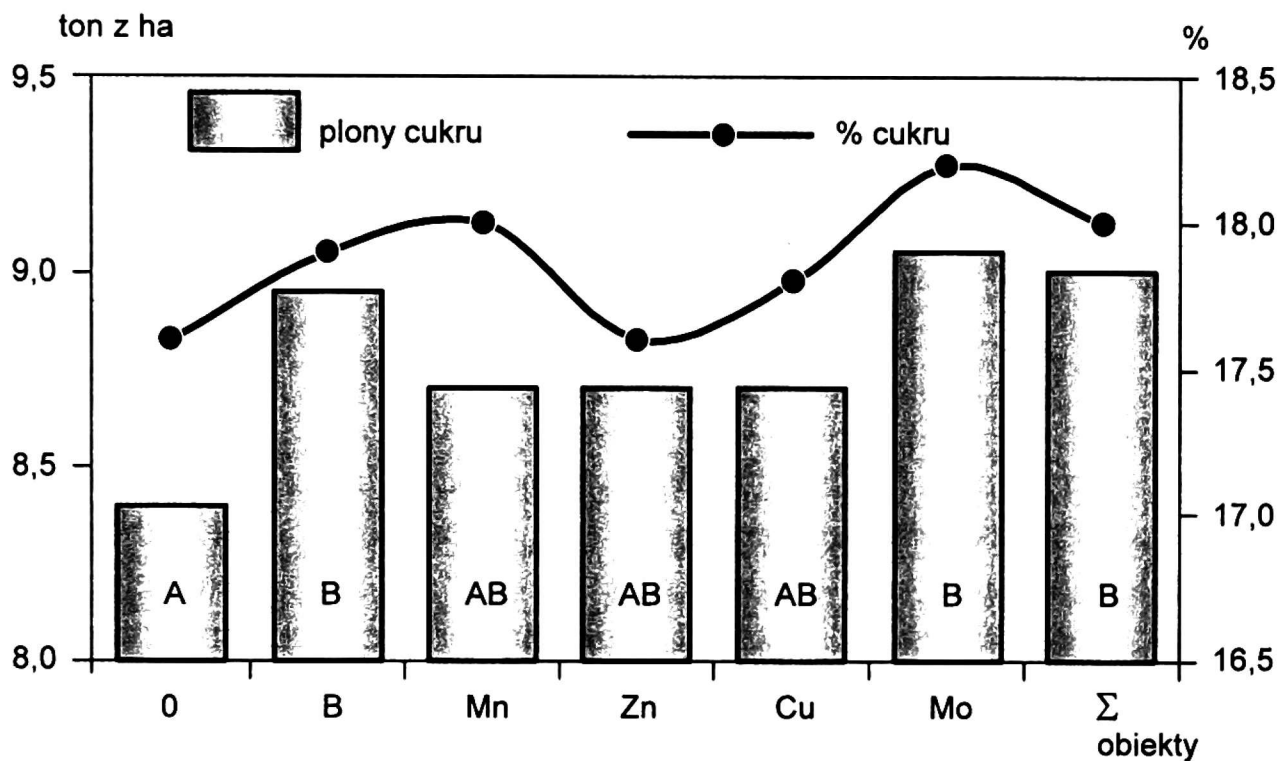
Rośliny pobierają miedź z gleby głównie w formie jonów Cu²⁺ oraz w postaci chelatów miedziowych. W tych formach może być również dostarczana roślinom na drodze dokarmiania dolistnego. Niska zawartość miedzi występuje w glebach 36% użytków rolnych Polski [10]. Niepokojącym zjawiskiem jest reguła występowania zbyt niskich zawartości miedzi w plonach największych. Nawożenie miedzią zalecać należy przede wszystkim na glebach cięższych, bogatych w substancję organiczną, gdzie dostępność Cu dla roślin jest ograniczona lub też na glebach lekkich piaszczystych ubogich w ten mikroelement [1]. Potrzeba nawożenia miedzią niedostatecznie zaopatrzonych upraw buraka cukrowego wynika również z jej znaczenia dla organizmów zwierzęcych w wypadku skarmiania liści. Przy zużyciu liści na nawóz zielony,

odpowiednia zawartość w nich Cu może być dobrym źródłem tego pierwiastka dla roślin następczych, ponieważ miedź ze związków organicznych o niskim ciężarze cząsteczkowym, które są uwalniane podczas rozkładu substancji organicznej jest łatwiej dostępna dla roślin niż schelatowana w próchnicy glebowej [40]. Wzrost zawartości miedzi w roślinach buraka może się jednak wiązać ze wzrostem udziału N-NO₃, o czym donoszą Domska i in. [11]. Wynika to z nasilającego się antagonizmu Cu w stosunku do Mo, który jako składnik reduktazy azotanowej wpływa na przemianę NO₃ w NH₄.

Molibden. Znaczenie molibdenu w uprawie buraka cukrowego wiąże się z istotną rolą tego pierwiastka w metabolicznym procesie przemian azotu. Molibden jest specyficznym komponentem grupy prostetycznej reduktazy azotanowej, enzymu adaptacyjnego (syntetyzowanego w ilościach uzależnionych od poziomu zawartości anionów NO³⁻ w cytoplazmie). Niedobór Mo oznacza zarazem niedostateczne ilości reduktazy azotanowej, zapewniającej redukcję NO³⁻ do NH₃ i asymilację azotu w roślinach. W takich warunkach NO³⁻ pobierany przez burak cukrowy, odkłada się w korzeniach między innymi w postaci azotanów, a także N- α -aminowego o działaniu melasotwórczym. Szkodliwość tych niekorzystnych procesów jest podwójna – skutkiem nieefektywnego wykorzystania N z nawozów jest spadek plonów i cukrowości korzeni, a nadmierna koncentracja niebiałkowych związków azotowych utrudnia krystalizację sacharozy w procesie produkcyjnym, prowadząc do spadku plonów cukru technologicznego. Wykazano również, że molibden stymuluje aktywność syntetazy glutaminowej oraz ATP-azy w liściach buraka cukrowego [24, 41]. Uczestnicząc w metabolizmie azotowym i gospodarce fosforowej roślin molibden poprawia jakość paszową liści, zapobiega odkładaniu się azotanów, fosforu nieorganicznego i innych związków niebiałkowych.

W przeciwieństwie do pozostałych z grupy pięciu mikroelementów, dostępność molibdenu dla roślin zwiększa się wraz ze wzrostem wartości pH gleby, w związku z czym w warunkach gleb o uregulowanym odczynie, na których uprawia się burak cukrowy, nieczęsto dochodzi do ostrych niedoborów tego mikroskładnika ujawniających się w postaci symptomów wizualnych na liściach przypominających niedożywienie azotem w postaci bladozielonych przebarwień liści i międzyżyłkowej cętkowanej chlorozy.

W warunkach intensywnej uprawy buraka, związanej ze stosowaniem dużych dawek nawozów azotowych fizjologicznie kwaśnych, dość często występuje wtórne zakwaszenie wierzchniej warstwy gleby, co w rezultacie powoduje okresowe niedobory molibdenu. Pomimo braku jakichkolwiek symptomów wizualnych, niedobory te powodując zaburzenia przemian azotu, mogą skutecznie ograniczać plony cukru technologicznego. Nawożenie molibdenem buraka cukrowego przynosi wtedy wymierne efekty produkcyjne, czego dowodem są wyniki badań własnych autora (rys. 3). Wynika z nich, że nawożenie molibdenem w dawce 0,4 kg Mo · ha⁻¹ stosowane doglebowo, zwiększało cukrowość korzeni średnio o 0,6% oraz plony cukru biologicznego



Rysunek 3. Cukrowość korzeni buraka na tle uzyskanych plonów cukru biologicznego (średnie z 8 doświadczeń ścisłych); plony oznaczone tą samą literą są statystycznie równorzędne wg testu Tukey'a przy $\alpha = 0,05$

o około $1,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ [43]. W badaniach tych wykazano również potrzebę weryfikacji kryteriów oceny zawartości Mo w glebie i w roślinie. Do tymczasowej oceny zaopatrzenia buraka cukrowego w molibden proponuje się przyjęcie przedziału wyznaczonego przez Neuberta i in. [4]: $0,2\text{--}2,0 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$, w miejsce stosowanego dotychczas zakresu optimum wg Bergmanna [3]: $0,25\text{--}1,5 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Mniejsze potrzeby pokarmowe odmian buraka starszych generacji oraz uprawa na oborniku, nie stwarzały niebezpieczeństwa powstawania niedoborów molibdenu, toteż w badaniach nad znaczeniem mikroelementów w uprawach buraka na ogół niewiele miejsca poświęcano temu pierwiastkowi. W doświadczeniach ścisłych wykazywano jednak plonotwórczy wpływ Mo, nawet w działaniu następczym. W badaniach Krauze i in. [27], istotna reakcja plonu korzeni buraka cukrowego w drugim roku po zastosowaniu pod bobik $0,5$ i $1,0 \text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ wynosiła od $5,1$ do $10,1\%$. W cytowanych wyżej badaniach Fabera – $1 \text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ w trzecim roku po zastosowaniu pod groch, spowodował wzrost plonowania buraka o $6,5\%$.

Pobranie molibdenu przez burak cukrowy nie przekracza z reguły $20 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, jednak w warunkach zwiększonej dostępności zawartość tego pierwiastka może wielokrotnie przekraczać zakres optymalny bez szkody dla roślin. Liście buraczane zawierające ponad $5 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. mogą być natomiast szkodliwe jako pasza dla zwierząt, wskutek naruszenia równowagi między molibdenem a miedzią. Prawidłowy stosunek Cu : Mo w paszy powinien wynosić od $5 : 1$ do $8 : 1$ [40].

Podsumowanie

Złożoność procesów, jakim podlegają mikroelementy w środowisku glebowym sprawia, że terminowe i skuteczne zaspokojenie dużego zapotrzebowania buraka cukrowego na mikroelementy jest zagadnieniem bardziej złożonym od nawożenia makroelementami. Likwidacja niedoborów Mn czy Zn indukowanych nadmiarem Ca lub P to nie to samo, co uzupełnienie rzeczywistych braków tych składników w glebie. Również korekta deficytu glebowego nie zawsze jest równoznaczna z zabezpieczeniem potrzeb wymagających roślin. Oprócz stwierdzenia niedoboru mikroelementów bardzo ważne jest więc określenie jego przyczyny (wyczerpanie form dostępnych składnika, zmiana uwilgotnienia, odczynu lub potencjału redoks gleby, antagonizm innych pierwiastków itd.). Niezbędne jest zatem korzystanie z diagnostyki analitycznej.

Mikroelementy podlegają licznym antagonizmom i synergizmom toteż w nawożeniu mikroelementami ma zastosowanie prawo maksimum Wallace'a [42], wskazujące na lepszy efekt plonotwórczy jednoczesnej eliminacji czynników występujących w minimum w porównaniu z sumą efektów wyeliminowania każdego z tych czynników osobno. Działanie tego prawa w odniesieniu do nawożenia mikroelementami buraka cukrowego zostało potwierdzone w badaniach własnych autora, gdzie najlepsze efekty plonotwórcze uzyskano pod wpływem selektywnego nawożenia mikroelementami deficytowymi w danej glebie w porównaniu z nawożeniem pojedynczymi, jak i zastosowanymi kompleksowo (B, Mn, Zn, Cu, Mo,) [43]. Szereg doniesień zagranicznych z ostatnich lat potwierdza celowość wykorzystania synergistycznego oddziaływania mikroelementów niedoborowych w nawożeniu buraka cukrowego [20, 22, 27, 32, 41].

Jak podkreśla Gutmański [18], koncentracja uprawy buraka cukrowego przy spadku produkcji obornika sprzyja degradacji i ubytkowi substancji organicznej w glebie. Oznacza to również spadek zaopatrzenia gleb w mikroelementy, a zatem potrzebę ich uzupełniania. Poprawę zaopatrzenia w mikroelementy uznać należy za jeden z najważniejszych czynników plonotwórczych w uprawie buraka cukrowego, uwzględniając poziom nawożenia NPK, który zbliża się do poziomu stosowanego w krajach zachodnich. Według Draycotta i in. [12] średnie zużycie $N + P_2O_5 + K_2O$ w krajach UE w uprawach buraka cukrowego zmniejszyło się z $458 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w 1970 r. do $389 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w 1996 r. Określona przez IHAR najbardziej efektywna dawka $N + P_2O_5 + K_2O$ dla warunków polskich wynosi $360 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (120 : 80 : 160, odpowiednio) [18].

Plon technologiczny – jako wypadkowa plonów korzeni, ich cukrowości i zawartości czynników melasotwórczych – zależy przede wszystkim od plonów korzeni buraka, co wyraża współczynnik korelacji 0,92. Wpływ zawartości cukru w korzeniach jest znacznie mniejszy – współczynnik korelacji 0,27 [23]. Nowe genetycznie wysokopienne odmiany mieszańcowe buraka cukrowego do wyprodukowania odpowiednio dużej ilości biomasy potrzebują znacznie większych zasobów pokarmowych (w tym mikroelementów) niż odmiany starszych generacji. Stąd też, opracowane

wcześniej, zalecenia nawozowe w ich wypadku z reguły nie spełniają swojego zadania. Ranga nawożenia mikroelementami wzrasta w warunkach uprawy bezobornikowej, a także uproszczonej (bezorkowej) czy też siewu bezpośredniego.

Biorąc pod uwagę wykazywane w badaniach deficyty w glebie i w roślinach oraz potwierdzone doświadczalnie działanie plonotwórcze – bor, miedź oraz molibden uznać należy za najważniejsze mikroelementy w krajowych uprawach buraka cukrowego. Na podkreślenie zasługuje stwierdzona w tych badaniach pozytywna reakcja cukrowości buraka na nawożenie molibdenem. W świetle przedstawionych wyników, weryfikacji wymaga pogląd o marginalnym znaczeniu tego pierwiastka w uprawie buraka cukrowego, a zatem i braku potrzeb jego stosowania. Niedobory manganu i cynku występują rzadziej i zależą od odczynu gleb, zasobności w fosfor, potencjału redoks oraz nawożenia organicznego. Uprawa bezobornikowa oraz zalecany dla upraw buraka cukrowego odczyn gleby zbliżony do obojętnego, ograniczający fitodostępność mikroskładników stwarzają niebezpieczeństwo powstawania ich niedoborów, a zatem również konieczność odpowiedniego nawożenia.

Literatura

-
- [1] Allison M.F., Last P.J., Bean K.M. 1996. Responses of sugar beet (*Beta vulgaris*) to foliar sprays of copper. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 72(2): 219–225.
 - [2] Benedycka Z., Krauze A. 1988. Badanie efektywności nawożenia mikroelementami w zmianowaniu. *Acta Acad. Agricult. Techn. Olszt. Agr.* 45: 43–51.
 - [3] Bergmann W. 1986. Bemerkungen und Tabellen zur analytischen Pflanzendiagnose der Pflanzen oder Blattanalyse. VEB Fischer Verlag. Jena: 38 ss.
 - [4] Bergmann W., Neubert P. 1976. Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena: 711 ss.
 - [5] Bobrzecka D., Krauze A. 1989. Nawożenie miedzią w zmianowaniu. *Acta Acad. Agricult. Techn. Olszt. Agr.* 48: 117–134.
 - [6] Bondok M.A. 1996. The role of boron in regulating growth, yield and hormonal balance in sugar beet. *Annals of Agricult. Sci. Cairo* 41(1): 15–33.
 - [7] Christenson D.R., Brimhall P.B., Hubbel L., Bricker C.E. 2000. Yield of sugar beet, soybean, corn, field bean and wheat as affected by lime application on alkaline soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31(9–10): 1145–1154.
 - [8] Czuba R. 1986. Zmiany zawartości składników pokarmowych w roślinach uprawnych na terenie kraju w zależności od nawożenia. *Mat. Symp. Wpływ nawożenia na jakość plonów.* ART Olsztyn 24–25. 06. z.1: 34–42.
 - [9] Czuba R. 2000. Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 471(2): 161–170.
 - [10] Dębowski M., Kucharzewski A. 2000. Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 471(1): 627–636

- [11] Domska D., Bobrzecka D., Wojtkowiak K. 1996. Wpływ dokarmiania dolistnego miedzią i borem na dynamikę zawartości azotanów w liściach buraka cukrowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 440: 81–87.
- [12] Draycott A.P., Allison M.F., Armstrong M.J. 1997. Changes in fertilizer usage in sugar beet production. Proceedings of the 60th IIRB Congress, Cambridge, 1–3 July 1997, Ashfield Green Farm, Wickhambrook, Suffolk, CB8 8UZ, UK: 39–54.
- [13] Erjala M. 1986. Control of manganese deficiency in sugar beet by placement of a manganated fertilizer. *Journal of Agricultural Science in Finland* 58: 215–220.
- [14] Faber A. 1992. Bezpośrednie i następcze działanie nawożenia borem, miedzią, molibdenem i cynkiem w zmianowaniu czteropolowym. Wyd. IUNG Puławy, H(2): 81 ss.
- [15] Finck A. 1982. Fertilizers and fertilization. Verlag Chemie. Weinheim, Deerfield Beach, Florida-Basel: 438 ss.
- [16] Fotyma M., Mercik S. 1995. Chemia rolna. Wydawnictwo Naukowe PWN: 354 ss.
- [17] Gezgin S., Önder M., Dursun N., Hamurcu M., Sade B., Babaoglu, M. 2001. Effects of various boron, zinc and NPK levels on the yield and sugar content of sugar beet. Proceedings of International Workshop Boron in Plant and Animal Nutrition. Bonn. 23–27.07.2001: 21–24.
- [18] Gutmański I. 2003. Uprawa buraka cukrowego. Wyd. IUNG Puławy: 104 ss.
- [19] Haneklaus S., Schnug E., Knudsen L. 1998. Minimum factors for the mineral nutrition of field grown sugar beet in northern Germany and eastern Denmark. *Aspects of Applied Biology* 52: 57–64.
- [20] Hassanin M.A., Abuldahab A. 1991. Effect of foliar fertilization with some micronutrients on the yield and quality of sugarbeet (*Beta vulgaris* L.). *Bulletin of Faculty of Agriculture, Egypt, Cairo* 42(3): 663–672.
- [21] Henriques F.S. 2001. Loss of blade photosynthetic area and of chloroplasts' photochemical capacity account for reduced CO₂ assimilation rates in zinc-deficient sugar beet leaves. *Journal of Plant Physiology* 158(7): 915–919.
- [22] Hussein M.A. 2002. Effect of boron on the yield, elemental content and quality characteristics of sugar beet grown in calcareous soil amended with sulphur. *Alexandria Journal of Agricultural Research* 47(2): 201–207.
- [23] Kalinowska-Zdun M. 1999. Burak cukrowy. W: Szczegółowa uprawa roślin. Praca zbiorowa pod red. Jasińskiej i Koteckiego. Wyd. AR Wrocław I: 385–434.
- [24] Kevresan S., Petrovic N., Popovic M., Kandrak J. 1998. Effect of heavy metals on nitrate and protein metabolism in sugar beet. *Biologia Plantarum* 41(2): 235–240.
- [25] Kraher R., Sattelmacher B. 1995. Determination of the Mn efficiency of crop plants in pot experiments. Kongressband VDLUFA Kongress in Garmisch-Partenkirchen 09.1994: 117–120.
- [26] Krauze A., Benedycka Z., Bobrzecka D. 1988. Działanie boru w czteroletnim zmianowaniu. *Zesz. Nauk. ART. Olsztyn, R* 45: 53–59.
- [27] Krauze A., Benedycka Z., Bobrzecka D., Domska D. 1983. Wpływ następczy nawożenia molibdenem. *Zesz. Nauk. ART. Olsztyn, R* 36(242): 213–220.
- [28] Lawiński H., Potarzycki J., Baer A. 2002. Wpływ systemu uprawy i nawożenia azotem na pobranie mikroelementów przez buraki cukrowe. *Biuletyn IHAR* 222: 101–109.

- [29] Monged N., El-Manhaly M., Mohamed A., Abo-El-Fath M. 1996. Effect of some trace elements fertilizers on sugar beet. *Egyptian Journal of Agricultural Research* 71(4): 979–986.
- [30] Narayan D., Chandel A., Singh G. 1989. Effect of boron fertilization on yield and quality of sugarbeet (*Beta vulgaris* L.). *Indian Journal of Plant Physiology* 32(2): 164–168.
- [31] Nielsen F.H. 2002. The nutritional importance of boron throughout the life cycle of higher animals and humans. W: Boron in Plant and Animal Nutrition. Goldbach H.E., Rerkasem B., Wimmer M.A., Brown P.H., Thellier M., Bell R.W. red. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York: 37–50.
- [32] Orlovius K., Horst W., Schenk M.K., Burkert A. 2001. Effect of foliar fertilization with magnesium, sulfur, manganese and boron to sugar beet, oilseed rape, and cereals. *Plant Nutrition Kluwer Academic Publishers*: 788–789.
- [33] Prośba-Białczyk U., Spiak Z., Mydlarski M. 2000. Wpływ nawożenia na zawartość mikroelementów w buraku cukrowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 471: 441–462.
- [34] Rynek Cukru – stan i perspektywy. 2002. Wyd. Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi 22: 43 ss.
- [35] Shorrocks V.M. 1992. Boron – a global appraisal of the occurrence, diagnosis and correction of boron deficiency. International symposium on the role of micronutrients in balanced plant nutrition. Washington, USA, Sulphur Institute: 39–54.
- [36] Stockfish N., Koch H.J. 2002. Reaction of sugar beet to boron fertilizer application in experiments. W: Boron in Plant and Animal Nutrition. Goldbach H.E., Rerkasem B., Wimmer M.A., Brown P.H., Thellier M., Bell R.W. red.: Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York: 381–386.
- [37] Stoyanov D., Atanassova I., Stratieva S. 1997. Increase of sugar beet and sunflower yields under Mn and Al foliar spraying. *Pochvoznane, Agrokhimiya y Ekologiya* 32(3): 16–20.
- [38] Stoyanov D., Sedlarska B., Stratieva S. 1998. Effect of zinc and boron dressing of sugar beet grown on leached chernozem-smolnitsa. *Soil Science and Agrochemistry* Sofia. XXV(1): 9–14.
- [39] Sun S.J., Li F.S., Wan Y., Zheng G.C. 1994. Effects of zinc and potassium on dry matter accumulation of sugar beet in mid-late growing season. *China Sugarbeet* 4: 26–29.
- [40] Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan Publishing Company New York. Fourth edition: 754 ss.
- [41] Toma S., Lisnik S., Veliksar S., Kaush M. 1991. Regulation of adaptive reactions and plant productivity by means of trace elements. *Bull. Academ. de Stiinte a Republ. Moldova* 4: 3–11.
- [42] Wallace A., Wallace G. 1993. Limiting factors, high yields and law of the maximum. *Hortic. Rev.* 15: 413–452.
- [43] Wróbel S. 2002. Określenie potrzeb nawożenia buraka cukrowego mikroelementami. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. IUNG Puławy. Monografie i Rozprawy Naukowe. 2: 96 ss.
- [44] Wszyński Z., Kalinowska-Zdun M., Mądry W., Laudański Z., Roszkowska B., Rozbicki J. 1998. Agronomical and Environmental Factors Affecting Sugar Beet Yielding in Central and Eastern Poland. *Scientia Agriculturae Bohemica* 29(3–4): 183–192.
- [45] Zalecenia nawozowe. 1990. Praca zbiorowa. Część I. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro i mikroelementów. Wyd. IUNG Puławy, P (44): 34 ss.
- [46] Zorn W., Prausse A. 1993. Manganese content of cereals, maize and beet as an indicator of soil acidity. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 156(4): 371–376.

Role of the micronutrients in sugar beet growing

Key words: sugar beet, micronutrients, physiological function, deficiency impact, nutritive requirements, yield-forming role

Summary

Concentration of sugar beet growing areas and drastic decrease of the domestic FYM production means deterioration of soil supply with micronutrients and the same needs of their replenishment. In investigations performed over the network of 115 sugar beet control fields located across the country, micronutrient deficiencies – primarily boron, copper and molybdenum were stated. These are the micronutrients of crucial importance for sugar beet. Boron deficiency leads to decrease of sugar beet root yield even by 20%. At commonly occurring available boron deficiencies in domestic soils, boron fertilizer application to sugar beet appears to be necessary. Copper and molybdenum are the components of enzymes responsible for effective N utilization by plants and reducing concentration of detrimental N- α -amin in the beet roots. Fertilization with copper is an advisable procedure on soils rich in organic matter, where Cu availability for plants is limited. Significant impact of molybdenum application on saccharose accumulation level in sugar beet roots stated in experiments should be emphasized. Manganese and zinc deficits occur less frequently and they should be expected primarily under conditions of no-FYM soil management and soil reaction close to neutral.