

Anna Kocoń

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

PERSPEKTYWY STOSOWANIA MIKROELEMENTÓW W UPRAWACH ROLNICZYCH*

Wstęp

Niezbędność mikroelementów jako składników odżywczych dla wzrostu i rozwoju roślin po raz pierwszy potwierdzona została w latach 20. XX wieku. Pierwotna lista niezbędnych mikroelementów w żywieniu roślin była krótka, ale w kolejnych latach została poszerzona. Obecnie do tej grupy składników zalicza się: żelazo (Fe), mangan (Mn), cynk (Zn), miedź (Cu), bor (B), molibden (Mo), chlor (Cl) i nikiel (Ni). Poza wyżej wymienionymi wydziela się też grupę mikroelementów potrzebnych i pożytecznych dla niektórych roślin, jak np. krzem (Si) dla ryżu i traw, kobalt (Co) dla roślin motylkowatych, a dla zwierząt i człowieka za niezbędne uważa się także fluor (F), jod (J) i selen (Se).

Rośliny do prawidłowego wzrostu i rozwoju wymagają określonej ilości wszystkich niezbędnych makro- oraz mikroelementów. O ile makroelementy pełnią w roślinach głównie funkcje budulcowe i pobierane są z gleby w dużych ilościach, o tyle rola mikroelementów w roślinach sprowadza się głównie do regulacji procesów biochemicznych; pobierane są w ilościach znacznie mniejszych, od kilku gramów do około 2 kg z ha. Jednak mimo ich małych zawartości w roślinach są niezbędne, a rola i funkcja każdego z nich jest ogromna (tab. 1) i nie może być zastąpiona innym pierwiastkiem. Jako składniki lub aktywatory enzymów mikroelementy uczestniczą w wielu reakcjach metabolicznych oraz spełniają bardzo ważne funkcje fizjologiczne w roślinach, m.in. decydują o efektywnym wykorzystaniu azotu, potasu, fosforu oraz innych składników pokarmowych (15).

Z żywieniowego punktu widzenia prawidłowa zawartość mikroskładników w roślinach jest gwarantem wysokiego plonu roślin o dobrych parametrach jakościowych surowca oraz pożądanym walorach odżywczych. Niedobór mikroelementów w roślinach prowadzi w pierwszej kolejności do zahamowania podstawowych procesów, w tym fotosyntezy i dystrybucji asymilatów (2, 6, 17, 20) oraz do większej podatności roślin na niekorzystne warunki środowiska, a następnie do obniżenia wielkości plonu i pogorszenia jego jakości (18).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.8 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Tabela 1

Główne funkcje mikroelementów w roślinach

Składnik	Najważniejsze funkcje w roślinie
Fe	Główny składnik wielu enzymów uczestniczących m.in. w fotosyntezie i wiązaniu N ₂ (np. cytochromy, ferredoksyna), reduktazy azotanowej. Ok. 80% Fe w chloroplastach.
Mn	Składnik wielu enzymów uczestniczących w reakcjach dekarboksylacji, hydrolizy i utleniania – redukcji. Bierze udział w fotolizie wody.
B	Uczestniczy w tworzeniu struktur ścian komórkowych i w procesie wzrostu (podziały komórkowe, wzrost łagiewki pyłkowej i in.). Pośrednio uczestniczy w metabolizmie (może i transporcie) cukrowców.
Cu	Składnik oksydaz: cytochromowej, askorbinowej i katecholowej, a także plastocyaniny. W komórce występuje głównie w chloroplastach.
Zn	Składnik: dehydrogenazy alkoholowej, anhydrazy węglanowej, polimerazy RNA i in. Aktywator enzymów metabolizmu cukrowców i białek. Regulacja ekspresji genów.
Mo	Składnik reduktazy azotanowej i nitrogenazy.
Cl	Konieczny w reakcjach uwalniania tlenu podczas rozkładu wody.
Ni	Składnik ureazy i wielu hydrogenaz.

Źródło: Starck, 2007 (20).

Zasobność gleb Polski w mikroelementy przyswajalne dla roślin

O zawartości w glebie dostępnych (przyswajalnych) dla roślin form mikroelementów decyduje przede wszystkim (5, 13, 14):

- skała macierzysta – materiał skalny, z której wytworzona została gleba – posiada niską lub wysoką zasobność w mikroelementy;
- skład granulometryczny – gleby lekkie o małej pojemności sorpcyjnej zawierają niewielkie ilości mikroelementów, natomiast gleby ciężkie zawierają tych składników znacznie więcej;
- odczyn gleby – w glebach o odczynie kwaśnym rozpuszczalność i przyswajalność Fe, B, Zn, Mn i Cu jest maksymalna, a Mo minimalna, natomiast w glebach o odczynie zasadowym odwrotnie; minimalna dostępność wymienionych 5 mikroelementów, a maksymalna molibdenu.

Zawartość 6 mikroelementów przyswajalnych, tj. boru, miedzi, manganu, molibdenu, żelaza i cynku w polskich glebach oceniana jest dla potrzeb praktyki rolniczej w skali 3 stopniowej – w klasach zawartości: niskiej, średniej i wysokiej (24). Pozostałe dwa niezbędne w żywieniu roślin mikroelementy, tj. chlor i nikiel występują w środowisku glebowym w większych ilościach, przekraczających ich potrzeby pokarmowe. Stąd w niniejszym opracowaniu nie zajmowano się nimi. Według przyjętych kryteriów oceny gleby Polski wykazują zróżnicowany poziom zawartości badanych mikroelementów. Niska zawartość mikroelementu w glebie, z żywieniowego punktu widzenia, jest podstawą do nawożenia roślin tym niedoborowym składnikiem (7, 11, 18, 19). Z badań IUNG - PIB oraz Stacji Chemiczno-Rolniczych w Polsce wynika, iż obecnie w skali kraju mamy około 75% gleb z niedoborem boru, a 40% ubogich

w miedź, 20% w molibden i około 10% w cynk i mangan (13, 19). Dla przykładu podano poniżej mapy zasobności gleb Polski w najbardziej deficytowe mikroelementy, jakimi są bor i miedź (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Zasobność gleb Polski w przyswajalny bor
 Źródło: KSChR, Lipiński, 2009, dane niepublikowane.



Rys. 2. Zasobność gleb Polski w przyswajalną miedź
 Źródło: KSChR, Lipiński, 2009, dane niepublikowane.

Potrzeby pokarmowe roślin względem mikroelementów

Potrzeby pokarmowe określonych gatunków roślin uprawnych względem mikroelementów wyznacza się na podstawie średniej zawartości składnika w plonie głównym wraz z odpowiednią ilością plonu ubocznego, z uwzględnieniem wielkości plonu roślin. Gatunki roślin, a często nawet odmiany różnią się zawartością poszczególnych mikroelementów (tab. 2), a także potrzebami pokarmowymi (tab. 3) względem konkretnych mikroelementów (3, 5, 12).

Analiza i ocena zawartości mikroelementów w roślinach uprawnych na polach produkcyjnych Polski wykazała przede wszystkim duże niedobory boru, a mniejsze miedzi i manganu (tab. 4). Zdaniem W r ó b l a (23) średnia zawartość podstawowych mikroelementów w ziarnie pszenicy była na ogół niższa (tab. 5) w stosunku do wyników wcześniejszych badań (3). Obliczenia bilansu mikroelementów wykonane przez C z u b ę (1) dla 3 systemów nawożenia, z uwzględnieniem plonów średnich krajowych, świadczą o najniższym pokryciu potrzeb roślin odnośnie boru i miedzi (tab. 6).

Tabela 2

Średnia zawartość wybranych mikroelementów w plonie niektórych roślin uprawnych

Roślina	Plon	Zawartość mikroelementów ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy)				
		B	Cu	Mn	Zn	Mo
Pszenica ozima	ziarno	1,4	4,4	39	37	0,30
	słoma	3,1	3,5	40	22	0,36
Rzepak	nasiona	9,8	3,2	40	33	0,30
	słoma	17,1	2,8	25	13	0,31
Kukurydza	ziarno	2,6	4,4	20	33	0,24
	słoma	5,4	6,0	55	38	0,44
Burak cukrowy	korzenie	12,0	5,1	40,1	25,5	0,66
	liście	36,0	10,0	114	62,9	0,36
Ziemniak	bulwy	7,9	8,2	18,7	24,9	0,32
	łęty	19,5	9,6	219	63,1	0,42

Źródło: Fotyma i Mercik, 1995 (3).

Tabela 3

Średnie pobranie mikroelementów ze średnim plonem głównym wraz z odpowiednią ilością plonu ubocznego wybranych roślin

Roślina – plon główny	Plon ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Pobranie mikroelementów ($\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$)				
		B	Cu	Mn	Zn	Mo
Pszenica ozima – ziarno	6	29,5	50	492	356	4,2
Kukurydza – ziarno	6	64	83	642	510	5,4
Rzepak ozimy – nasiona	3	153	29	300	193	3,0
Burak cukrowy – korzenie*	60	450	134	1516	846	9,0
Ziemniak – bulwy*	30	60	59	192	170	3,3

* świeża masa

Źródło: opracowanie własne na podstawie Fotymy i Mercika, 1995 (3).

Tabela 4

Udział próbek roślin o niskiej zawartości mikroelementów pochodzących z pól produkcyjnych w Polsce (%)

Pierwiastek	Pszenica ozima	Jęczmień jary	Żyto	Pszenżyto	Rzepak ozimy	Burak cukrowy	Ziemniak
B	69	68	51	74	65	60	50
Cu	53	53	60	52	28	21	15
Mn	18	23	9	8	8	8	4
Mo	1	8	2	0	15	13	4
Zn	12	5	5	0	10	0	6

Źródło: Gembarzewski, 2000 (4).

Tabela 5

Zawartość mikroelementów w ziarnie pszenicy jarej w zależności od wielkości plonu

Poziom plonów		Zawartość (mg · kg ⁻¹ s.m.)					
grupa	t · ha ⁻¹	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
I	3,1	2,0	3,1	62,6	36,7	0,32	34,2
II	4,0	1,0	3,1	61,6	41,4	0,29	33,3
III	5,8	1,1	3,1	64,3	33,2	0,40	27,6
NIR _{0,05}		0,87	r.n*	r.n	r.n	r.n	6,01
Dane porównawcze**		1,52	4,45	100,4	44,2	0,31	40,9

* różnice nieistotne

** według Fotymy i Mercika, 1995 (3).

Źródło: Wróbel, 2000 (23).

Tabela 6

Bilans mikroelementów w zależności od systemu nawożenia dla średnich plonów krajowych

Pierwiastek	Pobranie przez rośliny (g · ha ⁻¹)	Obornik + nawozy mineralne		Obornik + nawozy mineralne + nawozy płynne		Nawozy zawieszinowe + nawozy dolistne	
		przychód (g · ha ⁻¹)	pokrycie potrzeb (%)	przychód (g · ha ⁻¹)	pokrycie potrzeb (%)	przychód (g · ha ⁻¹)	pokrycie potrzeb (%)
B	98	71	72	87	89	46	47
Cu	67	78	116	91	136	38	57
Mn	302	835	276	908	301	173	57
Mo	5,3	6,1	120	6,6	125	2,5	47
Zn	231	356	154	421	182	115	48
Średnio	-	-	148	-	167	-	51

Źródło: Czuba, 2000 (1).

O podobnych wynikach wcześniejszych badań lizymetrycznych donosiła także R u s z k o w s k a i in. (16). Według C z u b y (1) dla plonów wyższych o 50% od średnich krajowych pokrycie potrzeb było znacznie gorsze dla 3 składników: boru, miedzi i molibdenu we wszystkich systemach nawożenia (tab. 7). Najgorzej sytuacja przedstawiała się w zintegrowanym systemie stosowania nawozów zawieszinowych i dolistnych, gdyż pokrycie potrzeb mikroelementowych dla 5 składników, przy średnich plonach, wynosiło średnio 51%, a tylko 35% przy plonach wyższych o 50% (tab. 7).

Tabela 7

Bilans mikroelementów w zależności od systemu nawożenia
dla plonów wyższych o 50% od średnich krajowych

Pierwiastek	Pobranie przez rośliny (g · ha ⁻¹)	Obornik + nawozy mineralne		Obornik + nawozy mineralne + nawozy płynne		Nawozy zawieszinowe + nawozy dolistne	
		przychód (g · ha ⁻¹)	pokrycie potrzeb (%)	przychód (g · ha ⁻¹)	pokrycie potrzeb (%)	przychód (g · ha ⁻¹)	pokrycie potrzeb (%)
B	145	71	50	87	60	46	32
Cu	100	78	78	91	91	38	38
Mn	451	835	185	908	201	173	38
Mo	7,7	6,1	79	6,6	86	2,5	32
Zn	344	356	103	421	122	115	33
Średnio	-	-	99	-	112	-	35

Źródło: Czuba, 2000 (1).

Nawożenie roślin uprawy polowej mikroelementami

Aktualne zalecenia nawozowe dotyczące nawożenia roślin mikroelementami oparte są, podobnie jak w przypadku makroelementów, na znajomości zasobności gleby w te składniki oraz wiedzy o zapotrzebowaniu gatunku uprawianej rośliny na dany składnik. Rośliny różnią się nie tylko pod względem ilościowego zapotrzebowania na składniki odżywcze, w tym mikroelementy, ale ważny jest także ich wzajemny stosunek (9). Wrażliwość gatunków roślin na niedobór danego mikroelementu jest różna; przy większej wrażliwości wymagania pokarmowe z reguły są większe w stosunku do tego składnika (tab. 8).

Tabela 8

Rośliny uprawne najbardziej wrażliwe na niedobór mikroelementów oraz zalecane dawki składników przy niskiej zasobności gleb

Mikroelementy	Rośliny najbardziej wrażliwe na niedobory mikroelementów	Dawka doglebowa (kg · ha ⁻¹)	Dawka dolistna (g · ha ⁻¹)
Bor (B)	burak cukrowy, rzepak, motylkowate, chmiel, kapusta, kalafior, drzewa i krzewy owocowe, truskawka	2-4	200-400
Miedź (Cu)	pszenica, jęczmień, owies, trawy łąkowe i pastwiskowe, burak cukrowy	5-20	300
Cynk (Zn)	kukurydza, len, chmiel, fasola, jabłoń	4-30	600
Mangan (Mn)	motylkowate, zboża, burak cukrowy, ziemniak, kukurydza, rzepak, groch	4-6	1200
Molibden (Mo)	motylkowate, rzepak, burak cukrowy, ziemniak, kalafior	-	40-60

Źródło: opracowanie własne na podstawie (7 i 19).

W ramach oceny zasobności gleby w mikroelementy zaleca się co 3-5 lat ich analizę pod kątem zawartości tych składników. Analizy glebowe wykonuje się w Stacjach Chemiczno-Rolniczych w całej Polsce. W przypadku niedoborów – przy zawartości składnika odpowiadającej niskiej klasie zasobności gleby – zaleca się nawożenie roślin w dawce pokrywającej zapotrzebowanie roślin na ten składnik (tab. 8); (7, 19). Mikroelementy w formie nawozu podaje się wówczas doglebowo lub dolistnie, często w połączeniu z innymi nawozami (najczęściej azotem) lub środkami ochrony roślin. Przy ostrych niedoborach mikroskładnika zalecane jest doglebowe nawożenie roślin raz na kilka lat, ponieważ nawożenie dolistne nie zbilansuje w pełni nawożenia podstawowego. Przy niewielkich niedoborach składnika, zwłaszcza w czasie wegetacji roślin, dolistne dokarmianie roślin mikroelementami jest bardziej preferowane niż doglebowe zarówno z ekonomicznego punktu widzenia, jak i efektywności i szybkości działania składnika (21). Dokarmianie dolistne roślin mikroelementami stosuje się także często w sytuacji utrudnionego pobierania składnika z gleby, nawet przy średniej lub wysokiej zasobności w glebie, m.in. w czasie suszy lub przy wysokim pH gleby.

Perspektywy nawożenia mikroelementami roślin uprawy polowej

Należy się spodziewać, iż w najbliższych latach nawożenie roślin mikroelementami zyska na znaczeniu, szczególnie w warunkach wysokiego poziomu plonowania roślin. Wynika to z kilku przesłanek. Przede wszystkim wzrasta w Polsce areał gleb z ujemnym saldem bilansowym tych składników. Szczególnie jest to niekorzystne dla gleb o niskiej zasobności w mikroelementy i dotyczy przede wszystkim boru i miedzi. Przyczyn tego stanu rzeczy jest kilka, m.in. znaczne ograniczenie ilości stosowanych nawozów naturalnych i organicznych, a przede wszystkim ilości stosowanego obornika, bezcennego źródła nie tylko makro- i mikroelementów, ale także zmniejszenie ilości zużycia nawozów mineralnych.

Potrzeba nawożenia mikroelementami roślin uprawy polowej wynikać będzie również z większych wymagań pokarmowych nowych, wprowadzanych do uprawy wysokoplonujących odmian, ponieważ z dużymi plonami wyprowadza się z gleb znacznie większe ilości składników pokarmowych, w tym również mikroelementów (11, 12). Ponadto na glebach o uregulowanym odczynie i przy optymalnym odżywianiu makroskładnikami niedostępność mikroelementów, nawet przy ich wysokiej wartości w glebie, może stać się czynnikiem ograniczającym wielkość plonu, stąd w takich warunkach występuje konieczność dolistnego dokarmiania roślin. Poza tym potrzeba nawożenia mikroelementami wynikać będzie również z konieczności poprawy jakości produktów rolnych i zapewnienia odpowiedniej zawartości mikroelementów w diecie ludzi i zwierząt (10).

W świetle przytoczonych faktów bezsporna wydaje się zatem potrzeba uzupełnienia glebowych zasobów mikroelementów, a także wyraźnie widać potrzebę nawożenia roślin uprawnych, przede wszystkim borem i miedzią oraz innymi niedoborowymi mikroelementami. Dotyczy to zwłaszcza gatunków roślin wrażliwych na niedobory tych składników.

Przy nawożeniu roślin mikroelementami należy pamiętać, że jest to specyficzna grupa składników odżywczych z wąskim marginesem bezpieczeństwa między niedoborem, zawartością prawidłową a ilością toksyczną. Dlatego przy ich aplikacji, szczególnie doglebowej, powinien być zachowany umiar; stosujemy w myśl zasady „tyle ile potrzeba”, nigdy z nadmiarem. Nadmiar, podobnie jak i niedobór składników mineralnych prowadzi do zaburzenia wielu procesów fizjologicznych, w tym tak ważnego procesu fotosyntezy, transportu i dystrybucji asymilatów, a w konsekwencji do obniżki jakości i plonu roślin (9, 20). Ponadto nadmiar mikroelementów, szczególnie tych z grupy metali ciężkich (Cu, Zn), może prowadzić do skażenia środowiska glebowego (8). Według badań w kraju mamy dużo więcej gleb o niedoborowej zawartości mikroelementów niż z ich nadmiarami. Te ostatnie występują głównie w pobliżu dużych zakładów przemysłowych; w skali kraju stanowią około 0,4% gleb zanieczyszczonych miedzią i blisko 1,5% cynkiem (22).

Podsumowanie

W świetle przytoczonych faktów bezsporna wydaje się zatem potrzeba uzupełniania glebowych zasobów mikroelementów poprzez nawożenie roślin, zwłaszcza gatunków roślin wrażliwych na niedobory tych składników. Nawożenie dolistne roślin mikroelementami można uznać za optymalny sposób uzupełniania ich niedoborów; zwłaszcza dokarmianie roślin stosowane łącznie z innymi agrochemikaliami. Przewiduje się, iż w najbliższych latach ten sposób dokarmiania roślin uprawnych zyska na znaczeniu również ze środowiskowego punktu widzenia.

Literatura

1. Czuba R.: Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 161-169.
2. Dell B., Huang L.: Physiological response of plants to low boron. Plant Soil, 1997, **193**: 103-120.
3. Fotyła M., Mercik S.: Chemia rolna. PWN Warszawa, 1995, ss. 336.
4. Gembarzewski H.: Stan i tendencje zmian zawartości mikroelementów w glebach i roślinach z pól produkcyjnych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 171-179.
5. Gorlach E., Mazur T.: Chemia rolna. PWN Warszawa, 2001, ss. 347.
6. Grundon N. J.: Copper deficiency of wheat: effects of soil water content and fertilizer placement on plant growth. J. Plant Nutr., 1991, **14**: 499-509.
7. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. IUNG-PIB Puławy, Instr. Upowsz., 2008, **151**: ss. 24.
8. Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Witek T.: Ocena jakości i możliwości rolniczego użytkowania gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Ocena zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG Puławy, 1993, 5-14.
9. Kabata-Pendias A., Ponderl H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN Warszawa, 1993, ss. 364.
10. Kinal S.: Zapotrzebowanie zwierząt na mikroelementy i czynniki warunkujące ich biodostępność. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2009, **541**: 225-237.

11. Korzeniovska J.: Potrzeby nawożenia pszenicy cynkiem, miedzią i borem w warunkach glebowo-klimatycznych Polski. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB Puławy, 2008, **20**: 1-106.
12. Korzeniovska J.: Comparison of different winter wheat cultivars in respect to their copper fertilization requirements. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2009, **541**: 255-263.
13. Kucharzewski A., Dębowski M.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 627-635.
14. Mazur T., Mazur Z.: Pobranie przez plon roślin i zawartość w glebach miedzi, manganu i cynku w zależności od systemu nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2004, **502**: 229-234.
15. Mengel K., Kirbky E. A.: Podstawy żywienia roślin. Wyd. PWN 1983, ss. 527.
16. Ruszkowska M., Sykut S., Kusio M.: Stan zaopatrzenia roślin w mikroelementy w warunkach zróżnicowanego nawożenia w wieloletnim doświadczeniu lizymetrycznym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **434**: 43-47.
17. Ruszkowska M., Wojcieszka-Wyskupajtyś U.: Mikroelementy – fizjologiczne i ekologiczne aspekty ich niedoborów i nadmiarów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **434**: 1-11.
18. Spiak Z.: Mikroelementy w rolnictwie. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 29-34.
19. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniovska J.: Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **8**: 99-110.
20. Starck Z.: Rola składników mineralnych w roślinie. W: Fizjologia roślin. Red. J. Kopcewicz i S. Lewak, 2007, 228-245.
21. Szevczuk C., Michałojć Z.: Praktyczne aspekty dolistnego dokarmiania roślin. Acta Agroph., 2003, **85**: 19-29.
22. Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K.: Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1995, **418**: 45-60.
23. Wróbel S.: Wpływ wieloletniego produkcyjnego użytkowania pól uprawnych na zaopatrzenie gleb i pszenicy jarej w mikroelementy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 619-626.
24. Zalecenia nawozowe. Praca zbiorowa. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Wyd. II, IUNG Puławy, 1990, P(44): 1-26.

Adres do korespondencji:

dr Anna Kocoń
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21, w. 253
e-mail: akocon@iung.pulawy.pl

