

Stanisław Wróbel, Jolanta Korzeniowska

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

OCENA POTRZEB NAWOŻENIA KUKURYDZY BOREM*

Wstęp

Bor należy do najbardziej deficytowych składników pokarmowych roślin (5, 10, 28). W opinii niektórych badaczy niedostatki boru w rolnictwie występują w skali globalnej z większą częstotliwością i dotyczą większej liczby gatunków roślin uprawnych niż niedobory innych składników (22). Opinię tę potwierdzają badania gleb krajowych przeprowadzone przez Stację Chemiczno-Rolniczą we Wrocławiu, w których niedobory przyswajalnych form boru określone zostały na poziomie 79% (6). Tak głębokie niedobory nie dotyczyły dotychczas żadnego innego składnika pokarmowego. W obecnej sytuacji gospodarczej rolnictwa polskiego przewidywać należy pogłębienie się niedostatku mikroelementów, w tym boru w glebach pól uprawnych, a zatem i w ziemiopłodach. Decydują o tym takie czynniki, jak: niedostatek obornika, stosowanie nawozów mineralnych wysoko skoncentrowanych, uproszczenia uprawy roli i zmianowania roślin, duże potrzeby pokarmowe odmian roślin uprawnych nowej generacji itp. Kukurydza, tak jak zboża należące do grupy roślin jednoliściennych uważana była dotychczas za roślinę o małych potrzebach pokarmowych w stosunku do tego składnika (13). Jednak badania ostatniego dziesięciolecia w zakresie tej tematyki wskazują jednoznacznie na pogarszające się zaopatrzenie mieszańcowych odmian kukurydzy w mikroelementy, w tym przede wszystkim w bor, a także na dodatnią reakcję na nawożenie tym mikroelementem (14, 16, 26). Różnice międzyodmianowe, podobnie jak w przypadku innych cech, np. odporności na stres niedoboru wody, chorób czy fitotoksyczności herbicydów (11, 23), dotyczą również potrzeb pokarmowych kukurydzy w odniesieniu do mikroelementów, w tym do boru. Wyniki badań prezentowane w ramach niniejszej pracy potwierdzają taką zależność.

Potrzeby nawożenia kukurydzy borem w świetle badań eksperymentalnych

W literaturze tematycznej potrzeby nawożenia kukurydzy mikroelementami rozpatrywane są głównie pod względem cynku, z uwagi na wrażliwość na niedobór tego

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

składnika. (12, 13, 24, 25). Jednak warunki gleb polskich nie stwarzają niebezpieczeństwa niedoborów cynku; występuje przewaga gleb lekkich o odczynie kwaśnym, w których nie zachodzi immobilizacja tego pierwiastka. Odsetek gleb uprawnych wykazujących deficyt tego składnika, w przeciwieństwie do boru, jest niewielki (do 13% gleb użytkowanych rolniczo). Przewaga gleb lekkich i kwaśnych w kraju sprzyja natomiast powstawaniu niedoborów boru, który jako bardzo dobrze rozpuszczalny w wodzie jest łatwo wymywany. Sposób pobierania boru przez rośliny (z prądem transpiracyjnym) i brak reutilizacji sprawia, że rośliny dość często cierpią na ograniczenia jego dostępności wynikającej z niedoborów wody. W świetle powyższych stwierdzeń niedobory boru stają się jedną z ważniejszych przyczyn negatywnych skutków suszy.

W okresie powojennym kolejne cykle badań inwentaryzacyjnych gleb Polski wykonywanych przez stacje chemiczno-rolnicze wykazywały największe zakresy niedostatku boru, niezależnie od stosowanych metod analitycznych. W latach 1965–1983 przeanalizowano 496 450 próbek z terenu kraju metodą Bergera-Truoga. Udział gleb o niskiej zawartości boru wyniósł wtedy 41%. W latach 1987–1993 przebadano 78 278 próbek, stosując tzw. analizę grupową (ekstrakcja 1 mol $\text{HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$) – wykazano udział 75% próbek o niedostatecznej zawartości boru. W najnowszej rotacji badań, w latach 1995–2000, tą samą metodą przeanalizowano 101 521 próbek pobranych z warstwy ornej pól uprawnych i stwierdzono, że 79% tych gleb jest niedostatecznie zaopatrzonych w bor przyswajalny. W tych samych rotacjach badań inwentaryzacyjnych zakresy niedoboru cynku wyniosły odpowiednio: 9, 14 i 13% (6, 21). Biorąc więc pod uwagę duże potrzeby pokarmowe kukurydzy należy spodziewać się, że w rolnictwie polskim bor jest tym mikroelementem, który może ograniczać jakość i wielkość plonów. Potwierdzają to wcześniejsze badania. Już na przełomie lat 1980/1990 C z u b a i in. (4) wykazali, że intensyfikacja nawożenia podstawowego NPK obniżała zawartość boru w kukurydzy uprawianej na kiszonkę, co miało negatywny wpływ na plonowanie tej rośliny. F a b e r (8) w ścisłych doświadczeniach polowych uzyskał 10% przyrost plonu zielonki kukurydzy pod wpływem działania następczego boru zastosowanego pod buraki (przedplon) w dawce $4 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast B e n e d y c k a i in. (1, 2) uzyskali istotny wzrost plonu kukurydzy w drugim roku po zastosowaniu takiej samej dawki boru. Efektywność następczego wpływu tego składnika na plonowanie kukurydzy potwierdzają badania K r a u z e i in. (18), w których średni plon ziarna w 2 i 3 roku po zastosowaniu boru pod buraki wzrósł o 1,4 t z 1 ha.

Obszerne badania dotyczące nawożenia kukurydzy mikroelementami, w tym również borem, przeprowadzili w latach 1986–1994 K o r z e n i o w s k a i G e m b a r z e w s k i. Badania rozpoznawcze pól kukurydzy w kraju (62 stanowiska) oparte na analizie części wskaźnikowych (liści kolbowych kukurydzy) wykazały, że 33% pobranych próbek charakteryzowało się niedostateczną zawartością tego składnika dla roślin (16). Natomiast w doświadczeniach wazonowych, przy niskiej zawartości boru w podłożu, zaobserwowano dodatnią reakcję (wzrost plonu o 27%) kukurydzy na nawożenie tym składnikiem (15). W 45 ścisłych doświadczeniach polowych przepro-

wadzonych w latach 1986–1988 na terenie całego kraju wykazano, że czynnikami mającymi największy wpływ na plon kontrolny kukurydzy były pH gleb i ich zasobność w bor (17). Uzyskane wyniki pozwoliły na sformułowanie twierdzenia, że kukurydza uprawiana w warunkach klimatyczno-glebowych Polski bardziej potrzebuje nawożenia borem niż cynkiem. O znacznym wpływie stosowania boru ($2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) na wielkość uzyskiwanego plonu kukurydzy świadczą również wyniki ścisłych doświadczeń polowych przeprowadzonych w latach 1992–1994 (14). Z sześciu doświadczeń w 4 przypadkach zarówno na glebach o niskiej, jak i dostatecznej zasobności w bor rośliny reagowały istotną wyższą plonów w zakresie od 11 do 30% w stosunku do obiektu kontrolnego. Doświadczenia te, w których oprócz boru stosowano również nawożenie pozostałymi mikroelementami, potwierdziły słuszność hipotezy o większych potrzebach kukurydzy uprawianej w Polsce w stosunku do boru niż do cynku. Wyniki badań eksperymentalnych wykonanych w ostatnich latach potwierdzają wcześniejsze doniesienia.

W latach 2002–2004 przeprowadzono doświadczenie z kukurydzą na dwóch różnych glebach: gleba I – piasek słabogliniasty (6,0% frakcji $<0,02 \text{ mm}$), gleba II – piasek gliniasty mocny (18,0% frakcji $<0,02 \text{ mm}$). Obie gleby cechowała bardzo wysoka zawartość fosforu i magnezu przyswajalnego, wysoka cynku, a średnia potasu, miedzi, manganu i molibdenu oraz niska boru (29). Doświadczenia założono na mikroparcelach. Porównywano obiekty różniące się sposobem uprawy roli: tradycyjny (T) – po zbiorze przedplonu gleba przekopana płytko (10 cm) i zagrabiona, a jesienią przekopana głęboko (25 cm); uproszczony (U) – płytkie (3-5 cm) spulchnienie gleby; siew bezpośredni (Z) – bez uprawy mechanicznej. Nawożenie: przedsiwnie – 60 kg N , $30,6 \text{ P}$, $124,5 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$; pogłównie – w maju i w czerwcu po $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nawozy stosowano rzutowo na powierzchnię gleby. W trzecim roku (2004) monokultury kukurydzy pobrano próbki do analiz chemicznych. Analizowano części wskaźnikowe roślin (3) oraz ziarno i słomę na zawartość głównych składników pokarmowych, w tym boru i cynku (tab. 1).

Wyniki wskazują na słabe zaopatrzenie w bor i cynk roślin kukurydzy uprawianej w odmiennych od tradycyjnych, lecz coraz powszechniej stosowanych warunkach agrotechnicznych (monokultura, uproszczenia uprawy roli). Warunki te nasilały spowodowany niską zawartością boru przyswajalnego w glebie deficyt tego składnika w roślinach, co szczególnie uwidoczniło się w ziarnie. Znaczenie warunków uprawy dla dostępności składników pokarmowych potwierdza niska zawartość cynku w biomasie kukurydzy, mimo wysokiej zawartości tego mikroelementu w glebie poletek doświadczalnych. Uproszczenia uprawy roli, z wyjątkiem Zn w słomie na glebie I, spowodowały wyraźne zmniejszenie zawartości obu mikroelementów w roślinach. Uzyskane wyniki potwierdzają znaczenie obu mikroelementów w uprawie kukurydzy.

W latach 2003–2005 przeprowadzono doświadczenia polowe ścisłe na glebie płożej o zawartości frakcji spławialnej ($<0,02 \text{ mm}$) – 17%, w których badano wpływ sposobu uprawy roli oraz poziomu nawożenia podstawowego NPK na zawartość mi-

Tabela 1

Wpływ sposobu uprawy roli i rodzaju gleby w doświadczeniu mikroplotkowym na zawartość boru i cynku w kukurydzy ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

System uprawy roli	Części wskaźnikowe*		Ziarno		Słoma	
	B	Zn	B	Zn	B	Zn
Gleba I – piasek słabogliniasty						
Tradycyjny	4,30	22,56	1,51	16,5	10,22	22,2
Uproszczony	4,24	19,55	1,42	15,3	9,78	22,8
Zerowy	4,15	19,63	1,44	15,6	9,72	31,7
NIR $\alpha=0,05$	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	5,911
Gleba II – piasek gliniasty mocny						
Tradycyjny	6,05	19,6	1,90	15,8	12,62	23,8
Uproszczony	4,08	19,0	1,73	15,0	10,72	24,0
Zerowy	5,03	18,4	1,64	14,6	9,22	17,6
NIR $\alpha=0,05$	0,603	r.n.	0,211	r.n.	2,773	4,522
	zawartość optymalna**		dane porównawcze (wg 9)			
	6-15	25-70	2,91	35,5	5,40	33,0

* liście spod kolby w stadium formowania kwiatostanów żeńskich – wg Bergmanna (3)

** według Bergmanna (3)

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (26).

kroelementów (w tym boru i cynku) w roślinach kukurydzy uprawianej w monokulturze. W doświadczeniu uwzględniono oba czynniki:

- I – systemy uprawy roli: uprawa tradycyjna (orka zimowa), uprawa uproszczona (płytką uprawą wiosenną), uprawa zerowa (siew bezpośredni przy zastosowaniu siewnika z krojem tarczowym i aplikatorem nawozów);
- II – poziomy nawożenia ($\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O}$) $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$: 0 + 0 + 0; 50 + 30 + 40; 100 + 60 + 80; 200 + 120 + 160.

Analiza chemiczna gleby z warstw 0-10 cm i 10-15 cm po zakończeniu 3 roku doświadczeń wykazała, że w warunkach uproszczeń uprawy roli, w tym zwłaszcza w uprawie zerowej, następował warstwowy układ składników pokarmowych (w tym boru i cynku) w warstwie powierzchniowej (0-10 cm). Towarzyszył temu spadek wartości pH. Te zmiany właściwości fizykochemicznych gleby wywarły negatywny wpływ na zaopatrzenie roślin w większość składników pokarmowych, w tym bor. Wyjątkiem były zawartości miedzi i cynku w kukurydzy wykazujące wzrost w warunkach uproszczeń uprawy roli. Mimo tendencji wzrostowych ich zawartość, podobnie jak boru, była jednak zbyt mała w porównaniu z odpowiednimi danymi z literatury krajowej (tab. 2).

Nie dotyczyło to zawartości boru w słomie kukurydzy, która była wyższa od danych porównawczych. Cechę tę uznać można za właściwość uprawianej odmiany (LG 2244) uwarunkowaną genetycznie. Obserwowane niekorzystne zmiany w glebie i w roślinach nasilały się w warunkach intensyfikacji nawożenia podstawowego NPK.

Inne badania nad określeniem potrzeb nawożenia kukurydzy borem z uwzględnieniem określenia optymalnej dawki nawozowej oraz różnic międzyodmianowych

Tabela 2

Wpływ sposobu uprawy roli i poziomu nawożenia NPK w doświadczeniu polowym na zawartość boru i cynku w kukurydzy ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

System uprawy roli	Części wskaźnikowe*		Ziarno		Słoma	
	B	Zn	B	Zn	B	Zn
$\text{NPK} \cdot \text{ha}^{-1} = 0 \cdot \text{ha}^{-1}$						
Tradycyjny	6,14	17,4	2,83	18,3	10,80	23,5
Uproszczony	5,20	15,5	2,15	18,0	9,14	35,4
Zerowy	4,70	19,4	2,16	20,5	9,54	79,3
$\text{NPK} \cdot \text{ha}^{-1} = (50 + 30 + 40) \cdot \text{ha}^{-1}$						
Tradycyjny	5,57	17,2	2,62	13,9	8,25	20,7
Uproszczony	4,62	19,4	2,22	19,0	7,13	30,6
Zerowy	4,70	25,6	2,16	21,5	6,16	33,2
$\text{NPK} \cdot \text{ha}^{-1} = (100 + 60 + 80) \cdot \text{ha}^{-1}$						
Tradycyjny	5,35	19,2	2,38	20,6	11,40	19,7
Uproszczony	4,65	22,4	2,10	19,4	7,89	38,3
Zerowy	4,60	31,1	2,19	21,9	7,95	42,8
$\text{NPK} \cdot \text{ha}^{-1} = (200 + 120 + 160) \cdot \text{ha}^{-1}$						
Tradycyjny	5,49	26,3	2,31	20,3	11,1	29,5
Uproszczony	5,20	28,5	2,08	21,4	8,51	28,2
Zerowy	4,70	30,6	1,96	21,5	8,60	42,1
	zawartość optymalna**		dane porównawcze (wg 9)			
	6-15**	25-70	2,91	35,5	5,40	33,0

* liście spod kolby w stadium formowania kwiatostanów żeńskich - wg Bergmana (3)

** według Bergmana (3)

Źródło: Badania własne.

kukurydzy przeprowadzili autorzy niniejszego opracowania w latach 2003–2005. Założono w tym celu 3 doświadczenia mikroplotkowe w SD IUNG Baborówko i 3 doświadczenia polowe ściśle w SD IUNG Jelcz-Laskowice z nawożeniem różnych odmian kukurydzy borem. Gleby doświadczalne w obu miejscowościach były podobne, różniły się jedynie odczynem. Doświadczenia w Jelczu-Laskowicach przeprowadzono na glebach kwaśnych lub bardzo kwaśnych (pH 4,5-5,2), a w Baborówku na glebach obojętnych (pH 6,5-7,0). Taki dobór stanowisk miał na celu sprawdzenie wpływu odczynu na dostępność boru dla roślin i efektywność nawożenia tym pierwiastkiem. Gleby w Jelczu-Laskowicach pod względem składu granulometrycznego należały do piasków gliniastych lekkich pylastych (klasy bonitacyjnej IVa i IVb), zasobnych w makroelementy (P, K, Mg). Gleby w SD Baborówko to piaski gliniaste lekkie (klasa bonitacyjna IVa) o słabszym zaopatrzeniu w potas. Ocena zawartości boru przyswajalnego w glebach pół doświadczalnych wykonana na podstawie zmodyfikowanych przez Wróbla (27) liczb granicznych wykazała średnią zawartość tego mikroelementu w obu punktach doświadczalnych.

Doświadczenia prowadzono jako dwuczynnikowe w Baborówku (fot. 1, 2) i w Jelczu-Laskowicach (fot. 3) według schematu:

Tabela 3

Charakterystyka badanych odmian kukurydzy

Odmiana Hodowca	Typ mieszańca	Rok wpisu do rejestru	Grupa wczesności	Kierunek użytkowania*
Anna Südwestdeutsche Saatzucht (DE)	podwójny	1995	wczesna	Z, CCM, K
Cyrkon Kobierzyce (PL)	trójliniowy	1999	średnio późna	K
Kasia Smolice (PL)	trójliniowy	1999	wczesna	Z
Limko Kobierzyce (PL/FR)	trójliniowy	1997	średnio wczesna	Z, CCM, K
Oleńka IHAR Radzików (PL/DE)	zmodyfikowany pojedynczy	1998	wczesna	Z, K
Kanzler R 2n (FR)	dwuliniowy	2000	wczesna	K

* Z – ziarno, K – kiszonka

Źródło: Opracowanie własne.



Fot. 1. Doświadczenie mikropoletkowe w SD IUNG Baborówko w 2003 r.



Fot. 2. Doświadczenie mikropoletkowe w SD IUNG Baborówko w 2004 r.

- czynnik I rzędu – dawki boru: obiekt kontrolny (bez nawożenia borem), $0,25 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ dolistnie (faza 10 liści); $1,50 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ doglebowo; $2,00 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ doglebowo i $2,50 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ doglebowo;
- czynnik II rzędu – odmiany kukurydzy: Anna, Cyrkon, Kasia, Limko, Oleńka i Kanzler (tylko w Baborówku).

Plonowanie odmian kukurydzy. W obu punktach doświadczalnych kukurydza zareagowała statystycznie istotnymi zwyżkami plonów ziarna na nawożenie borem, jednak ich poziom bardzo się różnił. W Jelczu-Laskowicach uzyskano zwyżki w zakresie od 3,8 nawet do 41,6%, podczas gdy w Baborówku wyniosły one zaledwie 1,8-2,6%, a więc choć istotne statystycznie były bez praktycznego znaczenia dla rolnictwa (tab. 4 i 5).

W Jelczu-Laskowicach największe (średnio z 3 lat badań) przyrosty plonów ziarna pod wpływem boru uzyskano dla odmiany Limko (32,0%) i Oleńka (21,9%), a najmniejszy dla odmiany Kasia (9,0%). Dawki doglebowe boru $1,5$; $2,0$ i $2,5 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ spowodowały zbliżony efekt plonotwórczy dla badanych odmian, z tendencją do najlepszego działania dawki $2,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Jednocześnie oprysk dolistny w dawce $0,25 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla odmian Anna i Kasia okazał się niewystarczający, a u pozostałych zaobserwowano podobną tendencję.



Fot. 3. Doświadczenie polowe w SD IUNG Jelez-Laskowice w 2005 r.

Tabela 4

Średnie z 3 lat plony ziarna kukurydzy ($t \cdot ha^{-1}$) oraz przyrosty plonów (w % plonu kontrolnego) w Jelezu-Laskowicach

Odmiana	Dawka boru ($kg B \cdot ha^{-1}$)					Średnio
	0	0,25 _{dolistnie}	1,50	2,00	2,50	
Anna	5,34 a	5,70 ab (6,7) ^{1/}	6,69 d (25,5)	6,41 cd (19,9)	6,21 bc (16,3)	6,07 (17,0)
Cyrkon	6,10 a	6,94 b (13,8)	7,13 b (17,7)	7,25 b (18,9)	6,97 b (14,4)	6,88 (16,0)
Kasia	5,69 a	5,91 ab (3,9)	6,15 ab (8,0)	6,49 b (14,0)	6,28 ab (10,3)	6,10 (9,0)
Limko	5,23 a	6,59 b (26,1)	6,82 b (30,4)	6,79 b (29,9)	7,40 bc (41,6)	6,57 (32,0)
Oleńka	4,89 a	5,80 b (18,6)	5,81 b (18,9)	6,09 b (24,6)	5,94 b (21,6)	5,71 (21,9)
Średnio	5,45	6,19 (13,8)	6,52 (19,9)	6,61 (21,5)	6,56 (20,8)	-

^{1/} w nawiasach podano procentowe przyrosty plonów (w % plonu kontrolnego)

Plony oznaczone tymi samymi literami w ramach jednego wiersza nie różnią się istotnie przy $\alpha < 0,05$

Źródło: Badania własne.

Tabela 5

Średnie z 3 lat plony ziarna kukurydzy ($t \cdot ha^{-1}$) oraz przyrosty plonów (% plonu kontrolnego) w Baborówku

Odmiana	Dawka boru ($kg B \cdot ha^{-1}$)					Średnio
	0	0,25 ^{dolistnie}	1,50	2,00	2,50	
Anna	7,55 a	7,75 c (2,6)	7,60 ab (0,6)	7,64 abc (1,1)	7,73 bc (2,3)	7,65 (1,7)
Cyrkon	6,46 a	6,59 a (2,0)	6,46 a (0,1)	6,56 a (1,5)	6,57 a (1,8)	6,53 (1,3)
Kasia	9,13 a	9,34 b (2,3)	9,22 ab (1,0)	9,30 b (1,9)	9,26 ab (1,4)	9,25 (1,7)
Limko	8,42 a	8,60 b (2,2)	8,49 ab (0,9)	8,57 b (1,8)	8,58 b (1,9)	8,53 (1,7)
Oleńka	6,43 a	6,55 a (1,8)	6,43 a (0,1)	6,45 a (0,4)	6,49 a (0,9)	6,47 (0,8)
Kanzler	7,44 a	7,53 a (1,2)	7,42 a (-0,2)	7,45 a (0,1)	7,47 a (0,4)	7,46 (0,4)
Średnio	7,57	7,73 (2,2)	7,60 (0,5)	7,66 (1,3)	7,68 (1,7)	-

* objaśnienia jak do tabeli 4
Źródło: Badania własne.

W Baborówku, przeciwnie niż w Jelczu-Laskowicach, u wszystkich badanych odmian wystąpiła wyraźna tendencja do lepszego działania plonotwórczego oprysku dolistnego niż boru stosowanego doglebowo. Jednak różnice w reakcji odmian na bor w tym punkcie doświadczalnym były zbyt małe, aby jednoznacznie wskazać, dla których z nich nawożenie tym pierwiastkiem było najkorzystniejsze.

Zawartość boru w roślinach. W tabelach 6 i 7 przedstawiono zmiany zawartości boru w liściach i ziarnie kukurydzy pod wpływem nawożenia tym mikroelementem. W Baborówku pomimo wyższych zawartości wyjściowych boru w liściach i ziarnie kukurydzy zaobserwowano znacznie większy wzrost zawartości boru pod wpływem nawożenia niż w Jelczu-Laskowicach. Pod wpływem wzrastających dawek boru w Jelczu-Laskowicach średnia zawartość B w liściach dla wszystkich badanych odmian wzrosła z 6,1 do 9,4, a w ziarnie z 1,6 do 1,7 $mg B \cdot kg^{-1}$. W Baborówku analogiczny wzrost kształtował się na poziomie 8,8-24,7 i 1,9-2,5 $mg B \cdot kg^{-1}$.

Porównanie zaopatrzenia części wskaźnikowych kukurydzy w bor wykazało znacznie wyższe zawartości tego składnika w roślinach z doświadczenia w Baborówku niż w Jelczu-Laskowicach, nawet na obiektach wyjściowych (bez nawożenia borem); (tab. 6). Może to wyjaśniać słabą reakcję kukurydzy uprawianej na ziarno w Baborówku na nawożenie. Kolejne dawki boru zwiększały proporcjonalnie udział tego mikroelementu w roślinach, osiągając przy dawce najwyższej poziom 3-krotnie wyższy niż na obiekcie kontrolnym (bez B), przekraczając ponad 2-krotnie górną granicę optymalnego zakresu zawartości według B e r g m a n n a (3).

Zaopatrzenie tych samych mieszańców kukurydzy w bor w Jelczu-Laskowicach było wyraźnie gorsze niż w Baborówku. Zawartość boru w liściach wszystkich odmian z Jelcza-Laskowic kształtowała się na granicy niedoboru, podczas gdy w Baborówku w połowie przedziału optymalnego (3). Nawożenie tymi samymi dawkami boru w Jelczu-Laskowicach, pomimo wyraźnego wpływu na plonowanie, nie wywarło znaczącego działania na zawartość tego składnika w częściach wegetatywnych kukurydzy. Pod wpływem najwyższych dawek boru jedynie u odmian Kasia i Anna znacząco

Tabela 6

Zmiany zawartości boru w liściach kolbowych kukurydzy pod wpływem nawożenia tym mikroelementem (średnio z 3 lat, mg B · kg⁻¹ s.m.)

Odmiana	Dawka boru (kg B · ha ⁻¹)					Średnio
	0	0,25 _{dołistnie}	1,50	2,00	2,50	
Jelcz-Laskowice						
Anna	6,0	7,3	9,1	9,3	10,1	8,4
Cyrkon	6,2	7,0	7,6	8,1	8,4	7,5
Kasia	6,3	7,9	9,6	11,0	11,0	9,1
Limko	6,0	7,2	7,7	8,6	8,9	7,7
Oleńka	6,2	7,1	7,7	8,5	8,6	7,6
Średnio	6,1	7,3	8,3	9,1	9,4	-
Baborówko						
Anna	8,9	20,7	16,1	19,8	23,5	17,8
Cyrkon	10,1	16,1	16,6	20,4	23,2	17,3
Kasia	8,3	20,2	19,4	26,7	24,8	19,9
Limko	10,7	14,2	16,3	21,1	25,7	17,6
Oleńka	8,3	14,5	19,1	24,8	29,5	19,2
Kanzler	6,4	15,1	12,4	19,7	21,3	15,0
Średnio	8,8	16,8	16,7	22,1	24,7	-
Zawartość optymalna wg Bergmanna (3): 6-15 mg B · kg ⁻¹ s.m.						

Źródło: Badania własne.

zwiększyła się zawartość B w liściach, jednak i w tym przypadku zawartość ta mieściła się w granicach przedziału optymalnego. Również ziarno kukurydzy z Baborówka miało wyraźnie większą zawartość boru niż z Jelcza-Laskowic. Zmiany zawartości boru w ziarnie nie były jednak tak duże, jak w częściach wskaźnikowych. Ponadprzeciętną zawartość B pod wpływem stosowania najwyższych dawek uzyskano jedynie w ziarnie odmiany Limko (tab. 7).

W doświadczeniach uzyskano dość zróżnicowane efekty plonotwórcze pod wpływem stosowania tych samych dawek boru w uprawie tych samych odmian kukurydzy na podobnych glebach o średniej zawartości boru przyswajalnego. Oznacza to, że w praktyce rolniczej ważnym czynnikiem powinna być możliwość prawidłowego przewidywania pozytywnego efektu aplikacji boru.

Zawartość boru na granicy niedoborów w liściach kukurydzy z obiektu kontrolnego z Jelcza-Laskowic oznaczała zbyt małe zaopatrzenie roślin w ten pierwiastek, a tym samym tłumaczyła znaczny efekt plonotwórczy nawożenia borem. Jednak analiza zawartości boru w warstwie ornej gleb doświadczalnych nie potwierdzała powyższych wniosków, pomimo użycia do oceny zasobności poprawionych liczb granicznych dla zawartości boru przyswajalnego (28). Dopiero bardziej szczegółowa ocena zasobności zarówno warstwy ornej, jak i podornej pozwoliła na wyjaśnienie gorszego zaopatrzenia roślin z Jelcza-Laskowic w bor.

W celu bardziej precyzyjnego określenia zasobności gleb posłużono się tzw. indeksami. Indeks zasobności gleby w dany mikroelement oblicza się przyjmując za 100% granicę zawartości niskiej i średniej i przedstawia w procentach. Indeksy powyżej

Tabela 7

Zmiany zawartości boru ziarnie kukurydzy pod wpływem nawożenia tym mikroelementem
(średnio z 3 lat, mg B · kg⁻¹ s.m.)

Odmiana	Dawka boru (kg B · ha ⁻¹)					Średnio
	0	0,25	1,50	2,00	2,50	
Jelcz-Laskowice						
Anna	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,6
Cyrkon	1,9	2,0	1,8	1,9	1,9	1,9
Kasia	1,3	1,6	1,4	1,4	1,6	1,5
Limko	1,8	1,9	2,1	2,0	2,0	2,0
Oleńka	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4
Średnio	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	-
Baborówko						
Anna	2,1	2,2	2,4	2,4	2,4	2,3
Cyrkon	2,1	2,3	2,4	2,7	2,7	2,4
Kasia	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,6
Limko	2,3	2,6	2,8	3,2	3,1	2,8
Oleńka	1,8	1,8	2,2	2,4	2,4	2,1
Kanzler	2,0	1,8	2,1	2,3	2,3	2,1
Średnio	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5	-
Średnia dla Polski – 2,91 mg B · kg ⁻¹ s.m. (wg 9)						

Źródło: Badania własne.

100% świadczą o dostatecznej zasobności gleby. Im mniejsza jest wartość indeksu (poniżej 100%), tym większe niedobory badanego pierwiastka występują w badanej glebie.

Ponadto postanowiono przeanalizować warstwę podorną gleby. Zasobność w składniki pokarmowe warstwy podornej jest szczególnie ważna dla kukurydzy, która jest rośliną korzeniącą się głębiej niż inne gatunki roślin uprawnych (7). W roku 2005 pobrano więc próbki gleby z warstwy podornej (20-30 cm) z doświadczeń w obu miejscowościach.

Analiza indeksów obliczonych na podstawie wyników analiz chemicznych gleby wyraźnie wskazuje na duże niedobory B w warstwie podornej pól w Jelczu-Laskowicach (tab. 8). Wyjaśnia to znacznie mniejsze zawartości boru w liściach i ziarnie kukurydzy z tej miejscowości oraz dodatnią reakcją roślin (wzrost plonów) na nawożenie tym składnikiem.

Przeprowadzone doświadczenia wskazują również na możliwość występowania niedoborów boru, a tym samym większej efektywności nawożenia tym pierwiastkiem raczej na glebach lekkich i zakwaszonych (Jelcz-Laskowice) niż na glebach o uregulowanym odczynie (Baborówko). W warunkach glebowo-klimatycznych Polski bor jest łatwo wypłukiwany, a rośliny cierpią na jego niedostatek, który ogranicza ich plonowanie. Należy pamiętać, że w Polsce około 60% ogółu gleb stanowią gleby lekkie i kwaśne, potencjalnie narażone na wypłukiwanie z nich boru.

Tabela 8

Zawartość boru w warstwie ornej i podornej gleb doświadczalnych

Miejscowość	Warstwa gleby (cm)	Zawartość boru*	Indeks (%)
Jelcz-Laskowice	0-20	0,56	110
	20-30	0,38	69
Baborówko	0-20	1,00	102
	20-30	0,90	92

* ocena zawartości boru wg zmodyfikowanych liczb granicznych (27)

Źródło: Badania własne.

Efektywność ekonomiczna nawożenia kukurydzy borem. W tabeli 9 przedstawiono obliczenia opłacalności nawożenia kukurydzy borem dla wyników doświadczeń w Jelczu-Laskowicach i Baborówku.

Otrzymane w Jelczu-Laskowicach zwyczki plonów na skutek nawożenia borem pozwoliły na uzyskanie nadwyżki bezpośredniej wynoszącej od 243 do 401 zł · ha⁻¹ w zależności od wielkości dawki nawozowej boru. Najwyższą opłacalność nawożenia stwierdzono przy dawce dogłębowej 2 kg B · ha⁻¹. Oprysk dolistny spowodował najmniejszą zwyczajkę plonu i tym samym jego opłacalność była najmniejsza. Przy małych przyrostach plonów ziarna nawożenie kukurydzy borem w Baborówku było nieopłacalne. Należy dodać, że o opłacalności nawożenia kukurydzy borem w dużym stopniu decydują aktualne ceny skupu ziarna i koszty jego produkcji. Jednak potrzebna do nawożenia niewielka ilość kwasu borowego oraz jego niska cena wskazują na możliwość uzyskania opłacalności tego zabiegu.

Tabela 9

Opłacalność nawożenia kukurydzy borem (według cen z września 2006 r.)

Wyszczególnienie	Dawka boru (kg B · ha ⁻¹)				
	0	0,25 _{dolistnie}	1,5	2,0	2,5
Jelcz-Laskowice					
Plon ziarna (t · ha ⁻¹)	5,45	6,19	6,52	6,61	6,56
Zwyczajka plonu (t · ha ⁻¹)	x	0,74	1,07	1,16	1,11
Wartość zwyczki (zł) ¹⁾	x	296	428	464	444
Koszt nawożenia (zł · ha ⁻¹) ²⁾	x	53	60	63	66
Nadwyżka (zł · ha ⁻¹)	x	243	368	401	378
Baborówko					
Plon ziarna (t · ha ⁻¹)	7,57	7,73	7,60	7,66	7,68
Zwyczajka plonu (t · ha ⁻¹)	x	0,15	0,03	0,09	0,11
Wartość zwyczki (zł) ¹⁾	x	62	13	36	45
Koszt nawożenia (zł · ha ⁻¹) ²⁾	x	53	60	63	66
Nadwyżka lub strata (zł · ha ⁻¹)	x	9	-46	-27	-22

¹⁾ cena skupu 1 t ziarna kukurydzy ok. 400 zł – średnia za 2004–2005 (źródło: <http://www.stat.gov.pl/>)²⁾ cena kwasu borowego – ok. 6,5 zł za 1 kg, koszt wykonania zabiegu nawożenia – oprysk dogłębowy lub dolistny – ok. 50 zł/ha (z danych SD Jelcz-Laskowice, wrzesień 2006 r.)

Źródło: Badania własne.

Podsumowanie

W ciągu ostatnich 10 lat areal kukurydzy uprawianej na ziarno wzrósł w kraju blisko 6-krotnie, a granica jej uprawy przesunęła się na północ, co stało się możliwe dzięki wprowadzeniu nowych, wczesnych mieszańców hodowli krajowej i zagranicznej. Systematycznie wzrastają również plony ziarna kukurydzy. W latach 1995–2004 w porównaniu z okresem poprzednim (1986–1995) plony ziarna wzrosły z 4,7 do 5,8 t · ha⁻¹. Pomimo tego ciągle jeszcze znacznie pozostajemy w tyle za czołówką europejską, która osiąga plony przekraczające 10 t · ha⁻¹.

Jak wynika z przedstawionych wyników badań jedną z ważniejszych przyczyn niższych plonów kukurydzy mogą być niedostatki boru występujące powszechnie w glebach Polski. Pogląd o szczególnej wrażliwości kukurydzy na niedobór cynku jest słuszny jedynie w odniesieniu do gleb o względnie wysokim pH. Natomiast braki boru, mikroelementu najbardziej deficytowego w glebach uprawnych Polski, nasilają się wobec niedostatku obornika, wysokich potrzeb pokarmowych nowych generacji mieszańcowych odmian kukurydzy, a także niesprzyjających warunków pogodowych w krytycznych okresach rozwoju roślin.

O randze potrzeb nawożenia borem decyduje również wymóg uzyskiwania cechującego się dobrą jakością biologiczną plonu kukurydzy, zwłaszcza w aspekcie przydatności konsumpcyjnej ziarna. Odkrycia naukowe stwierdzające niezbędność boru w ważnych funkcjach metabolicznych ssaków potwierdzają konieczność takich działań (20).

Wnioski wynikające z przedstawionych wyników badań wskazują, że niedoborów boru można oczekiwać na większości lekkich gleb Polski, zwłaszcza w warunkach intensyfikacji nawożenia mineralnego NPK, uproszczeń w uprawie roli i zmianowaniu roślin (płodozmiany zbożowe). Sprzyjają temu zarówno dłuższe okresy intensywnych opadów (wyplukiwanie), jak i niski ich poziom w okresach suszy (nieдоступność boru). W przypadku kukurydzy – rośliny o głębokim systemie korzeniowym – zaleca się badanie zasobności gleby w bor przyswajalny również w warstwie podornej (20-30 cm).

Badane odmiany kukurydzy różniły się znacznie reakcją na nawożenie borem, ale większy wpływ na efektywność nawożenia miały warunki glebowe, takie jak zawartość boru dostępnego w glebie i jej odczyn. Do najsilniej reagujących przyrostem plonu ziarna na nawożenie borem w warunkach polowych zaliczyć można odmiany Limko i Oleńka, a do najslabiej reagujących odmianę Kasia. Dawka 2 kg B · ha⁻¹ w postaci technicznego kwasu borowego zastosowana dogłębowo, zapewniająca dostępność składnika już od najwcześniejszych faz rozwojowych, przyniosła największe efekty plonotwórcze i cechowała się największą opłacalnością. W przypadku konieczności wykonania oprysku interwencyjnego w okresie wegetacji kukurydzy należy zastosować dawkę 250-300 g B · ha⁻¹ w postaci H₃BO₃ lub schelatyzowanej formy boru.

Literatura

1. Benedycka Z., Krauze A., Bowszys T.: Następczy wpływ nawożenia borem. Acta Acad. Agricult. Techn. Olst., Agricultura, 1986, **43**: 51-56.
2. Benedycka Z., Krauze A.: Badania efektywności nawożenia mikroelementami w zmianowaniu. Acta Acad. Agricult. Techn. Olst., Agricultura, 1988, **45**: 43-51.
3. Bergmann W.: Bemerkungen und Tabellen zur analytischen Pflanzendiagnose der Pflanzen oder Blattanalyse. VEB Fischer Verlag, Jena, 1986, 1-38.
4. Czuba R., Andruszczak E., Szczegodzińska K.: Ocena kierunków zmian zawartości mikroelementów w roślinach uprawianych na dużych dawkach NPK. Materiały VI Sympozjum „Mikroelementy w rolnictwie”. Wrocław, 1991, 129-135.
5. Czuba R.: Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 161-170.
6. Dębowski M., Kucharzewski A.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471(1)**: 627-636.
7. Dubas A.: Kukurydza. W: Szczegółowa uprawa roślin. Red. Jasińska Z., Kotecki A., AR Wrocław, 1999, 263-289.
8. Faber A.: Bezpośrednie i następce działanie nawożenia borem, miedzią, molibdenem i cynkiem w zmianowaniu czteropolowym. IUNG Puławy, 1992, **H(2)**: 1-81.
9. Fotyma M., Mercik S.: Chemia rolna. PWN Warszawa, 1995, 1-356.
10. Gembarzewski H.: Stan i tendencje zmian zawartości mikroelementów w glebach i roślinach z pól produkcyjnych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471(1)**: 171-177.
11. Gołębiowska H., Rola H.: Skutki fitotoksycznego oddziaływania herbicydów kukurydzą. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2007, **8**: 41-54.
12. Gorlach E., Mazur T.: Chemia rolna. PWN Warszawa, 2002, 1-347.
13. Katyál J. C., Randhawa N. S.: Micronutrients. FAO Fert. & Plant. Nutr. Bull., 1983, **7**: 1-82.
14. Korzeniowska J., Gembarzewski H.: Potrzeby nawożenia mikroelementami kukurydzy uprawianej na kiszonce. Roczn. Glebozn., 1999, **50(1/2)**: 79-84.
15. Korzeniowska J., Gembarzewski H.: Reakcja na nawożenie mikroelementami kukurydzy uprawianej na glebach lekkich w świetle doświadczeń wazonowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **434**: 118-122.
16. Korzeniowska J.: Potrzeby mikroelementowe kukurydzy uprawianej na kiszonce w warunkach glebowo-klimatycznych Polski. Praca doktorska, AR Wrocław, 1995, 1-59.
17. Korzeniowska J.: Potrzeby nawożenia cynkiem kukurydzy uprawianej na kiszonce w świetle wyników doświadczeń polowych. Roczn. Glebozn., 1994, **45(1/2)**: 91-99.
18. Krauze A., Benedycka Z., Bobrzecka D.: Działanie boru w czteroletnim zmianowaniu. Zesz. Nauk. AR-T Olsztyn, 1988, **R. 45**: 53-59.
19. Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych. IUNG Puławy, 1980. I-IV.
20. Nielsen F. H.: The nutritional importance of boron throughout the life cycle of higher animals and humans. In: Boron in plant and animal nutrition, Goldbach H. E., Rerkasem B., Wimmer M. A., Brown P. H., Thellier M., Bell R. W., Ed.: Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002, 37-50.
21. Obojski J., Strączyński S.: Odczyn i zasobność gleb polskich w makro- i mikroelementy. IUNG Puławy, 1995, 1-40.
22. Reisenauer H., Walsh L., Hoefft R.: Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. In: Walsh L. and Beaton J.: Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison/Wisconsin, 1973, 173-200.
23. Rola H.: Oddziaływanie fitotoksyczne niektórych herbicydów na odmiany kukurydzy. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2003, **43(1)**.

24. S z u k a l s k i H.: Mikroelementy w produkcji roślinnej. PWRiL Warszawa, 1979, 1-320.
25. W h i t e P. J., B r o a d l e y M. R.: Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. *Ann. Bot.*, 2001, **88**: 967-988.
26. W r ó b e l S., P a b i n J., M i c k i e w i c z A.: Wpływ uproszczeń uprawy roli na dostępność składników pokarmowych w monokulturze kukurydzy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2007 (w druku).
27. W r ó b e l S.: Określenie potrzeb nawożenia buraka cukrowego mikroelementami. *Monogr. Rozpr. Nauk.*, 2002, **2**: 1-96.
28. W r ó b e l S.: Wpływ wieloletniego produkcyjnego użytkowania pól uprawnych na zaopatrzenie gleb i pszenicy jarej w mikroelementy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471**: 619-626.
29. Zalecenia nawozowe. Praca zbiorowa. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. IUNG Puławy, 1985, **P(28)1**: 1-34.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Stanisław Wróbel
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel./fax: 071 363 87 07 wew. 122
email: s.wrobel@iung.wroclaw.pl

