

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY  
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION  
STATE RESEARCH INSTITUTE

---



Jolanta Korzeniowska

POTRZEBY NAWOŻENIA PSZENICY  
CYNKIEM, MIEDZIĄ I BOREM  
W WARUNKACH  
GLEBOWO-KLIMATYCZNYCH  
POLSKI

MONOGRAFIE  
I ROZPRAWY  
NAUKOWE

20

---

PUŁAWY

2008

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY  
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION  
STATE RESEARCH INSTITUTE

Dyrektor: prof. dr hab. *Seweryn Kukula*

Redaktor: prof. dr hab. *Janusz Podleśny*

Recenzent: prof. dr hab. *Jan Łabętowicz*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: dr *Irena Marcinkowska*

ISBN 978-83-7562-2008-5

Nakład 150 egz., B-5, zam. /F/08  
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG - PIB w Puławach  
tel. (081) 8863421 w. 301 i 307; fax (081) 8864547  
e-mail: [iung@iung.pulawy.pl](mailto:iung@iung.pulawy.pl); <http://www.iung.pulawy.pl>

Jolanta Korzeniowska

POTRZEBY NAWOŻENIA PSZENICY  
CYNKIEM, MIEDZIĄ I BOREM  
W WARUNKACH GLEBOWO-KLIMATYCZNYCH  
POLSKI



## SPIS TREŚCI

1. WSTĘP I CEL PRACY .....	7
2. DOTYCHCZASOWY STAN WIEDZY .....	9
2.1. ZNACZENIE CYNKU W UPRAWIE PSZENICY .....	9
Występowanie niedoborów cynku na świecie i w Polsce .....	9
Rola cynku w roślinie .....	10
Pobieranie, transport i dostępność cynku dla roślin .....	11
Interakcja cynku z innymi składnikami pokarmowymi .....	11
Wrażliwość pszenicy na brak cynku .....	12
Zróżnicowanie odmianowe wrażliwości na niedobór cynku .....	13
Objawy niedoboru cynku u pszenicy .....	13
Diagnoza niedoboru cynku dla pszenicy .....	14
Korekta niedoborów cynku .....	17
Reakcja pszenicy na nawożenie cynkiem .....	18
2.2. ZNACZENIE MIEDZI W UPRAWIE PSZENICY .....	19
Występowanie niedoboru miedzi na świecie i w Polsce .....	20
Rola miedzi w roślinie .....	21
Dostępność miedzi dla roślin .....	21
Wrażliwość pszenicy na brak miedzi .....	21
Objawy niedoboru miedzi u pszenicy .....	22
Zróżnicowanie odmianowe wrażliwości na niedobór Cu .....	23
Diagnoza niedoborów miedzi dla pszenicy .....	24
Korekta niedoborów miedzi .....	27
Reakcja pszenicy na nawożenie miedzią .....	29
Interakcja miedzi z azotem .....	29
2.3. ZNACZENIE BORU W UPRAWIE PSZENICY .....	30
Rola boru w roślinie .....	30
Wrażliwość pszenicy na niedobór boru .....	31
Występowanie niedoborów boru dla pszenicy na świecie .....	32
Objawy niedoboru boru u pszenicy .....	32
Diagnoza niedoborów boru dla pszenicy .....	33
Zróżnicowanie odmianowe wrażliwości na niedobór boru .....	36
Reakcja pszenicy na nawożenie borem .....	37
Potrzeba dalszych badań .....	38
3. METODYKA I WARUNKI BADAŃ .....	38
3.1. DOŚWIADCZENIA POŁOWE Z DOGLEBOWYM NAWOŻENIEM PSZENICY JAREJ CYNKIEM .....	39
3.2. DOŚWIADCZENIA Z NAWOŻENIEM DOLISTNYM PSZENICY OZIMEJ MIEDZIĄ I BOREM .....	43
3.2.1. Doświadczenia polowe z nawożeniem odmian pszenicy ozimej miedzią i borem .....	43
3.2.2. Doświadczenia mikropoletkowe z nawożeniem pszenicy ozimej miedzią w zależności od poziomu agrotechniki i nawożenia azotem .....	45
3.2.3. Charakterystyka warunków pogodowych w latach 2003–2006 w Jeleżu-Laskowicach i Osinach .....	46

3.3. POBIERANIE PRÓB I ANALIZY CHEMICZNE .....	50
3.4. OBLICZENIA STATYSTYCZNE .....	50
4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA .....	52
4.1. POTRZEBY NAWOŻENIA PSZENICY JAREJ CYNKIEM .....	52
Ocena zawartości cynku w glebach Polski .....	52
Wpływ nawożenia cynkiem na plonowanie pszenicy jarej .....	53
Ocena zawartości cynku w ziarnie pszenicy jarej .....	60
Podsumowanie rozdziału .....	62
4.2. POTRZEBY NAWOŻENIA PSZENICY OZIMEJ MIEDZIĄ .....	63
4.2.1. Reakcja odmian pszenicy ozimej na nawożenie dolistne miedzią .....	63
Wpływ nawożenia miedzią na plonowanie pszenicy ozimej .....	63
Wpływ aplikacji miedzi na zawartość makroskładników i Cu w częściach nadziemnych i ziarnie pszenicy ozimej .....	66
Reakcja odmian pszenicy ozimej na nawożenie miedzią .....	68
Podsumowanie rozdziału .....	70
4.2.2. Ocena czynników determinujących reakcję pszenicy ozimej na nawożenie dolistne miedzią .....	71
Wpływ nawożenia miedzią i poziomu agrotechniki na plonowanie pszenicy ozimej .....	71
Wpływ nawożenia miedzią i poziomu agrotechniki na zawartość N i Cu w tkankach roślinnych .....	72
Analiza czynników wpływających na reakcję pszenicy ozimej na aplikację miedzi .....	73
Podsumowanie rozdziału .....	75
4.3. REAKCJA ODMIAN PSZENICY OZIMEJ NA NAWOŻENIE BOREM .....	76
Wpływ nawożenia borem na plonowanie pszenicy ozimej .....	76
Wpływ aplikacji boru na zawartość makroskładników i B w częściach nadziemnych i ziarnie pszenicy ozimej .....	78
Ocena zawartości boru w tkankach roślinnych .....	84
Różnice odmianowe w reakcji na bor .....	84
Podsumowanie rozdziału .....	85
5. PODSUMOWANIE .....	86
Nawożenie pszenicy ozimej miedzią .....	87
Nawożenie pszenicy ozimej borem .....	88
Nawożenie pszenicy jarej cynkiem .....	89
Propozycje kierunków dalszych badań .....	90
6. WNIOSKI .....	91
7. LITERATURA .....	92

## 1. WSTĘP I CEL PRACY

W ostatnich dwóch wiekach liczba ludności na świecie wzrosła czterokrotnie z około 1,6 do 6,6 miliarda. Przewiduje się, że pod koniec XXI wieku na świecie będzie żyło około 11 miliardów ludzi. Aby możliwe było wyżywienie ludności przybywającej w tak szybkim tempie muszą być prowadzone prace badawcze nad zwiększaniem plonowania roślin. Osiąganie maksymalnych plonów związane jest z wprowadzaniem intensywnych technologii w rolnictwie, a jednym z elementów jest nawożenie roślin, w tym również mikroelementami. Należy pamiętać, że deficyt mikrośladników nie tylko ogranicza plonowanie roślin, ale ma również negatywny wpływ na zdrowie ludzi i zwierząt. Niedobór choćby jednego z nich powoduje zaburzenia metaboliczne prowadzące do wielu chorób, osłabienia organizmu i nieprawidłowego rozwoju. Szacuje się, że ponad 2 miliardy ludzi na świecie cierpi z powodu braku mikroelementów (142, 224).

W latach 70. i 80. prowadzono na świecie liczne badania dotyczące uzyskiwania mniejszych plonów roślin uprawnych spowodowane niedoborem mikroelementów. W latach 1986–1989 Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) w Puławach wraz z Wojewódzkimi Ośrodkami Postępu Rolniczego realizował szeroko zakrojone badania nad potrzebami nawożenia cynkiem dwóch głównych roślin zbożowych – kukurydzy i pszenicy. Opracowanie wyników doświadczeń I cyklu badań wzbogaconych o dodatkowe doświadczenia pozwoliło na określenie potrzeb nawożenia cynkiem kukurydzy uprawianej w Polsce (109, 110, 112-114). Wyniki II cyklu badań wykorzystano w niniejszej pracy dla określenia potrzeb nawożenia pszenicy cynkiem. Na podkreślenie zasługuje fakt bardzo dużego zakresu wykonanych prac. Pomimo że badania prowadzone były wiele lat temu, to wyniki uzyskane na podstawie 74 doświadczeń założonych na obszarze całej Polski są cenne i nadal zasługują na uwagę.

W latach 90. ubiegłego stulecia i w ostatnim dziesięcioleciu, w tematyce badań nad mikroelementami na świecie, pojawił się nowy trend – badanie zróżnicowania tolerancji poszczególnych odmian na deficyt tych pierwiastków w glebie. W okresie wcześniejszym skupiano się głównie na porównywaniu tolerancji gatunków roślin na niedobór mikroelementów, nie uwzględniając odmian. Intensywny rozwój nowego kierunku badań miał związek z tzw. zieloną rewolucją. Jej celem było wprowadzenie nowych, intensywnych technologii w rolnictwie, w celu zwiększenia plonów zbóż i wyeliminowania głodu na świecie. Najważniejszym aspektem zielonej rewolucji było wyhodowanie i upowszechnienie w krajach rozwijających się nowych, wysoko wydajnych odmian pszenicy, kukurydzy i ryżu. Światowym ośrodkiem hodowli, skąd pochodziły wszystkie nowe odmiany, było Międzynarodowe Centrum Hodowli Kukurydzy i Pszenicy w Meksyku, znane jako CIMMYT (*International Maize and Wheat Improvement Center* lub *Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*). Okazało się, że nowe półkarłowe, wielokrotnie bardziej plenne odmiany pszenicy często wykazywały bardzo małą tolerancję na deficyt mikroelementów. Odkrycie to zapoczątkowało rozwój badań nad wykorzystaniem mikroelementów przez poszczególne odmiany. Włączając się w ten nurt

badan rozpoczęto w IUNG Puławy na początku bieżącego dziesięciolecia serię badań nad wykorzystaniem mikroelementów przez uprawiane powszechnie w Polsce odmiany pszenicy (111), jęczmienia (206), kukurydzy (235) i rzepaku (195). Badania dotyczące wykorzystania miedzi i boru przez odmiany pszenicy są podstawą niniejszej pracy.

Badania nad potrzebami mikroelementowymi pszenicy są niezwykle istotne z powodu dużego rozpowszechnienia uprawy tej rośliny oraz roli, jaką pełni w żywieniu ludzi i zwierząt. Roślina ta, obok ryżu i kukurydzy jest najczęściej uprawianym zbożem na świecie. O jej znaczeniu przesądza powierzchnia uprawy, która o 40-50% przewyższa powierzchnię zasiewów dwóch pozostałych roślin zbożowych. Największym producentem pszenicy na świecie są Chiny, które produkują około 15%, a wraz z dwoma kolejnymi krajami – Indiami i USA – wytwarzają ponad 35% światowych jej zasobów.

W Polsce pszenica zajmuje największą powierzchnię uprawy ze wszystkich roślin rolniczych (2212 tys. ha w 2007 r.). Areal przez nią zajmowany jest prawie dwa razy większy niż pozostałych zbóż, cztery razy większy niż ziemniaka i rzepaku oraz siedem razy większy niż buraka cukrowego. Uzyskiwane plony wahają się na poziomie  $3,2-4,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  i są większe od średnich plonów światowych, ale znacznie mniejsze od plonów uzyskiwanych we Francji czy w Niemczech. Na terenie naszego kraju uprawiane są jare i ozime formy pszenicy. Prowadzeniem krajowego rejestru odmian zajmuje się Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU). Ośrodek ten od 40 lat prowadzi systematyczne badania rejestrowe w oparciu o stałą sieć stacji doświadczalnych oceny odmian. W ostatnich latach, wzorem krajów Unii Europejskiej, stworzono koordynowane przez COBORU Porejestrowe Doświadczalnicztwo Odmianowe (PDO). W doświadczeniach PDO ocenia się dla potrzeb praktyki rolniczej wartość gospodarczą zarejestrowanych odmian przez 3 lata po rejestracji.

W niniejszej pracy potrzeby mikroelementowe pszenicy rozpatrywano głównie w odniesieniu do cynku, miedzi i boru. Cynk jest najczęściej spotykanym na świecie deficytowym mikroelementem u zbóż, co przekłada się na jego niedobór w produktach dla ludzi i zwierząt. Międzynarodowe badania podążają w kierunku zwiększenia zawartości tego pierwiastka, obok żelaza i witaminy A, w podstawowych roślinach uprawnych, czyli w pszenicy, kukurydzy, ryżu, fasoli i manioku (183). Niedobór miedzi i boru jest natomiast głównym czynnikiem ograniczającym plonowanie roślin w Polsce. Z badań inwentaryzacyjnych wynika, że mamy obecnie w kraju aż 60-75% gleb ubogich w bor i około 40% ubogich w miedź (117, 150). Ponadto z przeprowadzonego przez Czuby (48) oraz Szulca i in. (211) bilansu mikroelementów w różnych systemach nawożenia wynika, że najniższe pokrycie potrzeb roślin na mikroelementy dotyczyło boru i miedzi. Pokrywa się to ze stwierdzoną w skali kraju najniższą zasobnością gleb w B i Cu.

Celem pracy było określenie potrzeb nawożenia pszenicy wybranymi mikroelementami w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem zróżnicowanego ich wykorzystania przez poszczególne odmiany. Na podstawie zebranych i podsumowanych wyni-



ków badań własnych prowadzonych w różnych okresach, przy równoczesnym szerokim uwzględnieniu danych literaturowych, podjęto próbę rozwiązania następujących szczegółowych zagadnień:

- określenia reakcji pszenicy na nawożenie cynkiem, miedzią i borem;
- identyfikacji czynników wpływających na efekty nawożenia badanymi mikroelementami;
- określenia różnic w zapotrzebowaniu na miedź i bor między odmianami pszenicy;
- określenia dawek i sposobu aplikacji cynku, miedzi i boru dla pszenicy;
- oceny wiarygodności testów roślinnych do oceny potrzeb nawożenia pszenicy mikroelementami.

## **2. DOTYCHCZASOWY STAN WIEDZY**

### **2.1. ZNACZENIE CYNKU W UPRAWIE PSZENICY**

Niedobór cynku jest najpoważniejszym czynnikiem ograniczającym światową produkcję żywności, a zwłaszcza ryżu, kukurydzy i pszenicy. Ocenia się, że około 50% gleb objętych uprawą zbóż na świecie charakteryzuje się niewystarczającą zawartością dostępną dla roślin form tego pierwiastka (35). Ziarno pszenicy uprawianej na tych obszarach cechuje się zbyt niską zawartością cynku, niedostateczną z punktu widzenia potrzeb żywieniowych człowieka. Szacuje się, że cynk, obok żelaza i jodu, jest mikroelementem, którego niedobór w organizmie człowieka jest najbardziej rozpowszechniony (188, 228). Przyczyną tego jest jednostronna, zbyt uboga dieta oparta głównie na produktach zbożowych, stosowana szczególnie w krajach rozwijających się. Na niedobór cynku cierpią przede wszystkim dzieci oraz ciężarne i karmiące kobiety w takich krajach, jak: Turcja, Indie i Pakistan. Najbardziej rozpowszechnionym objawem niedoboru cynku u ludzi są biegunki i zahamowanie wzrostu u dzieci (5). Ponieważ deficyt cynku zagraża zdrowiu wielu milionów ludzi, prowadzi się obecnie na świecie szeroko zakrojone badania nad wyszukiwaniem odmian pszenicy, które byłyby tolerancyjne na jego niedobór w glebie i równocześnie zawierały możliwie najwięcej tego pierwiastka w ziarnie (183, 224).

#### **Występowanie niedoborów cynku na świecie i w Polsce**

Cynk jest mikroelementem, którego deficyt w glebach jest szeroko rozpowszechniony na wszystkich kontynentach (2, 228). W odróżnieniu do innych mikroelementów niedobory cynku występują zarówno w klimacie zimnym, jak i ciepłym, na glebach nawadnianych i nienawadnianych, kwaśnych i alkalicznych oraz ciężkich i lekkich (183). Na przykład w Turcji ostre niedobory cynku związane są z glebami węglanowymi, a w Australii z kwaśnymi glebami piaszczystymi. W szeroko zakrojonych badaniach FAO (196) wykazano, że spośród 190 próbek gleb pobranych w 25 krajach, aż 49% wykazywało niską zawartość cynku. Ponadto z 6 badanych mikroelementów

najczęściej stwierdzano niedobór cynku, a w następnej kolejności boru. A l l o w a y (2) omawiając problem deficytu cynku na świecie podaje, że niedobory dotyczą 14 mln ha gleb uprawnych w Turcji (Anatolia), 60% w Iranie, 70% w Pakistanie, 1,75 mln ha w Bangladeszu, 500 tys. ha na Filipinach oraz 8 mln ha w Zachodniej Australii. W Chinach niedoborami cynku zagrożone jest 13 mln ha, na których prowadzi się zmianowanie ryż–pszenica. W Indiach deficyt cynku ogranicza produkcję rolniczą w 11 stanach, głównie w stanie Pendżab, Uttar Pradesh, Haryana oraz w okolicach Dehli. Ponadto niedobory cynku były obserwowane w USA, Afryce, Ameryce Południowej, Europie i na Bliskim Wschodzie. O znacznych ograniczeniach plonowania pszenicy na skutek deficytu Zn w Turcji donoszą C a k m a k (34) oraz C a k - m a k i in. (39, 44), G r a h a m i in. (74) oraz w Australii B r e n n a n (21), w Indiach T a k k a r i W a l k e r (212) i w Pakistanie I m t i a z i in. (88, 90).

W Polsce niedobór cynku nie jest podstawowym problemem dotyczącym mikroelementów. Znacznie bardziej rozpowszechnione są niedobory boru i miedzi. Gleby polskie, w przeważającej części lekkie i kwaśne, charakteryzują się w większości średnią zasobnością w cynk, a poważniejsze niedobory u ludzi i zwierząt są rzadko spotykane. Według badań inwentaryzacyjnych przeprowadzonych w IUNG Puławy we współpracy ze stacjami chemiczno-rolniczymi mamy w kraju około 13-14% gleb o niskiej zawartości przyswajalnych form cynku (117, 150). Jednak rośliny bardziej wrażliwe na niedobory tego pierwiastka mogą reagować dodatnio na nawożenie Zn, nawet na glebach o zasobności średniej, szczególnie w przypadku intensywnego nawożenia fosforem. Znane jest zjawisko antagonizmu P–Zn, polegające na mniejszym pobieraniu cynku przy wysokiej zawartości fosforu w glebie.

### **Rola cynku w roślinie**

Biologiczna rola cynku w procesach życiowych roślin została po raz pierwszy zaobserwowana w 1869 roku przez Raulina w badaniach nad grzybem *Aspergillus niger*, który nie mógł rozwijać się przy braku tego pierwiastka. Jednak niezbędność cynku dla roślin została potwierdzona w roku 1926, a pierwsze niedobory w produkcji roślinnej wykryto dopiero w 1932 r. w sadach jabłoniowych i cytrusowych.

Cynk jest składnikiem wielu enzymów (anhydrazy węglanowej, kilku dehydrogenaz, peptydazy, fosfatazy), a tym samym bierze udział w metabolizmie węglowodanów, białek i związków fosforowych (2, 108). Ponadto wpływa na przepuszczalność błon komórkowych, bierze udział w syntezie auksyn i zwiększa odporność roślin na suszę i choroby (95).

### **Pobranie, transport i dostępność cynku dla roślin**

Cynk może być pobierany przez korzenie w postaci kationu  $Zn^{2+}$  i chelatów organicznych. W warunkach deficytu w glebie żelaza i cynku korzenie pszenicy i innych roślin zbożowych wydzielają substancje zwane fitosyderoforami, które zwiększają mo-

bilność tych pierwiastków i umożliwiają ich sprawne pobieranie (38, 41, 128, 170). Takimi fitosyderoforami są głównie niebiałkotwórcze aminokwasy lub ich pochodne, a wśród nich kwas mugeinowy.

Nie ma zgodności co do sposobu przemieszczenia się cynku w roślinach pszenicy. Niektórzy autorzy wykazali, że pierwiastek ten może być łatwo przemieszczany przez floem (54, 81, 180), inni donoszą o braku takiego sposobu transportu (223). Wydaje się, że przy dostatecznym zaopatrzeniu niektóre gatunki roślin potrafią przemieszczać znaczne ilości Zn ze starszych liści do organów generatywnych, podczas gdy w sytuacji deficytu reutilizowane mogą być jedynie niewielkie ilości tego pierwiastka (96). Należy podkreślić, że zarówno możliwości pobrania przez korzenie, jak i sposób przemieszczania się cynku wewnątrz rośliny mają związek z jej tolerancją na niedobór tego składnika.

Cynk występujący w roztworze glebowym jest bezpośrednio dostępny dla roślin (127). Na dostępność cynku mają wpływ te czynniki glebowe, które kontrolują ilość cynku w roztworze (sorpcja i desorpcja do/z roztworu). Zaliczamy do nich: całkowitą zawartość cynku w glebie, pH, substancję organiczną, zawartość węglanów, aktywność mikrobiologiczną w rizosferze, zawartość innych mikro- i makroelementów oraz wilgotność i temperaturę gleby. W warunkach Polski stężenie cynku w roztworze glebowym wykazuje charakterystyczną zmienność w okresie wegetacji – jest najniższe wczesną wiosną i znacznie wzrasta w okresie późnowiosennym po zastosowaniu nawożenia (128).

### **Interakcja cynku z innymi składnikami pokarmowymi**

Spośród wielu interakcji cynku z innymi składnikami pokarmowymi najbardziej rozpowszechniona i istotna dla produkcji rolniczej jest interakcja Zn–P. Wielu badaczy dokumentuje tę zależność dla pszenicy lub innych zbóż (86, 52, 115, 121, 142, 241), ale tylko niektórzy próbują ją wyjaśniać. L o n e r a g a n i W e b b (126) rozróżniają dwa typy interakcji Zn–P. Najpowszechniej opisywany jest przypadek, gdy przy niewystarczającej ilości Zn i P w glebie nawożenie fosforem prowadzi do zmniejszenia zawartości cynku w tkankach roślinnych. W takiej sytuacji dodatek fosforu powoduje tak znaczny przyrost biomasy, że dochodzi do tzw. rozcieńczenia Zn w tkankach roślinnych, aż do poziomu wywołującego lub zwiększającego deficyt cynku. Są jednak sytuacje, w których deficyt cynku wywołany przez nawożenie fosforem nie jest wynikiem rozcieńczenia. Wydaje się, że wtedy fosfor może wpływać zarówno na zmniejszenie pobrania Zn przez korzenie, jak i hamować jego transport z korzeni do pędów. Ogólnie można stwierdzić, że wzrost zawartości P w tkankach roślinnych zwiększa wewnętrzne zapotrzebowanie rośliny na cynk. C a k m a k i B r a u n (35) donoszą, że duże dawki fosforu mogą wywoływać niedobór cynku u pszenicy. A l l o w a y (2) omawia również inne przykłady interakcji Zn–P. Przy bardzo dobrym zaopatrzeniu w cynk, fosfor może unieruchamiać go w korzeniach poprzez tworzenie fitynianów cynku. Deficyt Zn może pogłębiać toksyczność fosforu dla roślin. Ponadto w niektórych przypadkach nawożenie fosforem może zwiększać zawartość Zn w roślinie.

Zjawisko to tłumaczy się obniżaniem przez nawozy fosforowe odczynu gleby lub zanieczyszczeniem tych nawozów cynkiem.

Azot wpływa na stan odżywienia rośliny cynkiem w dwojaki sposób – powoduje silny wzrost biomasy oraz zmienia odczyn gleby w strefie korzeniowej. Podobnie jak w przypadku fosforu, nawożenie azotem przy deficycie Zn w glebie powoduje zmniejszenie się zawartości Zn w tkankach na skutek efektu rozcieńczenia. Poza tym niektóre nawozy dość silnie zakwaszają glebę i w efekcie doprowadzają do większej dostępności Zn dla roślin.

Antagonistyczna interakcja Zn–Cu opisywana w literaturze (90, 96, 126) zachodzi na skutek zahamowania pobierania jednego z pierwiastków przez drugi oraz zmian w przemieszczaniu się obu składników wewnątrz rośliny. W sytuacji braku w glebie obu pierwiastków aplikacja tylko jednego z nich może powodować pogłębianie się deficytu drugiego (2).

Prócz często opisywanych interakcji P–Zn, Zn–N i Cu–Zn znane jest jeszcze występowanie interakcji Zn–Ca, Zn–Fe i Zn–Cd (2, 90, 96, 126, 225, 241).

### **Wrażliwość pszenicy na brak cynku**

Pomimo że pszenica zaliczana jest na ogół do gatunków o niskiej wrażliwości na brak cynku (2, 55, 106), znacznie mniejszej niż kukurydza, ryż, sorgo czy fasola, to w wielu rejonach świata jej produkcja jest silnie ograniczana przez brak tego pierwiastka w glebie. Niedobór cynku wciąż pozostaje jednym z głównych problemów w uprawie pszenicy. Dla przykładu w niektórych rejonach Turcji plony pszenicy są zmniejszone przez niedobór cynku aż o 50% (2, 34). W badaniach wrażliwości pszenicy na brak cynku wielu autorów porównywało ją z innymi roślinami. Większość badaczy donosi, że pszenica zwyczajna jest bardziej tolerancyjna na niedobór Zn niż pszenica twarda (38, 41, 43, 44). W badaniach B r e n n a n a i in. (29) wykazano, że zapotrzebowanie pszenicy na cynk było większe niż soczewicy i mniejsze niż ciecioriki i fasoli, a w badaniach B r e n n a n a i B o l l a n d a (27), że pszenica charakteryzowała się mniejszą tolerancją na niedobór Zn niż rzepak i łubin. C a k m a k i in. (37, 38, 43) oraz C a k m a k i B r a u n (35) podkreślają, że wśród zbóż najbardziej tolerancyjne jest żyto, następnie pszenżyto, a pszenica (szczególnie twarda) jest najbardziej wrażliwym gatunkiem na brak cynku. Żyto charakteryzuje się szczególnie wysokimi możliwościami wykorzystywania Zn z gleby. Tolerancja na niedobór cynku u żyta kontrolowana jest przez geny ulokowane na chromosomach 1R i 7R (37). Wykazywana przez pszenżyto, mieszańca żyta i pszenicy, wysoka efektywność wykorzystania cynku sugeruje, że ta charakterystyczna dla żyta cecha może być przeniesiona do genomu pszenicy. Umożliwiłoby to stworzenie nowych odmian pszenicy charakteryzujących się wysoką tolerancją na niedobory tego pierwiastka w glebie (37, 38)

### **Zróżnicowanie odmianowe wrażliwości na niedobór cynku**

Badania ostatnich 15 lat dowodzą, że pszenica wykazuje znaczne zróżnicowanie odmianowe w tolerancji na niedobór cynku. Najwięcej prac dokumentujących różną efektywność wykorzystania cynku (tolerancję na niedobór) pochodzi z Turcji (35, 39, 40, 42, 43, 53, 97, 215), Australii (66, 67, 74, 168, 169) i Pakistanu (86, 87). W sytuacji deficytu cynku badane odmiany różniły się występującymi objawami jego niedoboru, zawartością Zn w pędach i w ziarnie, wielkością osiągniętych plonów oraz reakcją na nawożenie cynkiem. Duże zróżnicowanie reakcji odmian pszenicy na brak cynku w glebie nasunęło pomysł uzyskania nowych genotypów charakteryzujących się wysoką efektywnością wykorzystania tego pierwiastka. Prowadzone w ostatnich latach badania światowe skupiają się na pracach hodowlanych mających na celu zwiększenie produktywności pszenicy na glebach deficytowych w cynk oraz zwiększenie zawartości Zn w ziarnie, a w konsekwencji poprawienie stanu odżywienia ludzi (36, 37, 66, 183). Badania tureckie prowadzone były w ramach szerokiego, skupiającego wiele instytucji, projektu badawczego współfinansowanego przez „NATO-Science Stability Programme”(34).

W światowych centrach badawczych poszukuje się nowych odmian pszenicy efektywnie wykorzystujących cynk. Termin „efektywność wykorzystania cynku” został wprowadzony w 1984 r. przez G r a h a m a (69) i oznacza tolerancję danej odmiany na niedobór Zn w glebie, która polega głównie na możliwości większego pobrania tego pierwiastka z gleby w sytuacji, gdy dla innych odmian jest on niedostępny. Uprawa „efektywnych odmian” na glebach z deficytem cynku reprezentuje nową bardzo ciekawą strategię przystosowania roślin do gleb, a nie gleb do potrzeb roślin.

### **Objawy niedoboru cynku u pszenicy**

Podobnie jak w przypadku innych mikroelementów diagnoza niedoboru cynku na podstawie objawów nie jest łatwa, ponieważ nie zawsze niewystarczająca ilość składnika powoduje nieprawidłowy wygląd roślin. Często spotyka się tzw. ukryte niedobory, gdzie jedynym skutkiem deficytu jest zmniejszenie plonu przy normalnym wyglądzie roślin. Ponadto występujące zewnętrzne objawy niedoboru często trudno jest odróżnić od skutków porażenia przez choroby, uszkodzeń wywołanych przez szkodniki lub niekorzystne warunki pogodowe, takie jak mróz lub susza. Dodatkowo objawy mogą być nieco inne u różnych odmian.

Pierwszym objawem niedoboru cynku jest redukcja plonu i zmniejszenie zawartości Zn w tkankach roślinnych. Przy ostrzejszych niedoborach, około 3 tygodnie po skielkowaniu, dochodzi do zahamowania wzrostu roślin. Kolejne symptomy są różnie opisywane przez poszczególnych autorów. B r e n n a n (21) oraz B r e n n a n i B o l l a n d (27, 28) obserwowali na młodszych liściach podłużne jasne pasy po obu stronach nerwu głównego. Rośliny były blade i zamierały przed kwitnieniem. C a k m a k i n. (35, 38) stwierdzają, że na starszych liściach pojawiają się jasnobrązowe plamy, które przekształcają się w nekrotyczne uszkodzenia. W miarę pogłębiania się deficytu

nekrotyczne uszkodzenia zajmują coraz większą powierzchnię, w wyniku czego liście zwisają i wyglądają jak „przypalone”. Najmłodsze liście są blade i drobne, ale bez nekrotycznych uszkodzeń. U pszenicy twardej, wrażliwszej na brak Zn, objawy te występują w ostrzejszej formie niż u pszenicy zwyczajnej. Biorąc pod uwagę wcześniej opisywane zróżnicowanie odmianowe pszenicy w efektywności wykorzystania cynku można przypuszczać, że różne objawy niedoboru mogą być spowodowane właśnie różnicami odmianowymi.

### Diagnoza niedoboru cynku dla pszenicy

Obserwacje polowe symptomów niedoboru cynku nie są skuteczną metodą oceny zaopatrzenia pszenicy w ten pierwiastek i dają pozytywne wyniki jedynie przy znacznym deficycie cynku i dużym doświadczeniu osoby przeprowadzającej ocenę. Przy tej metodzie zawsze zachodzi obawa popełnienia pomyłki, szczególnie, że mniejsze niedobory nie dają wyraźnych i jednoznacznych objawów. Z tego powodu przy podejrzanym deficycie powinno się przeprowadzić test glebowy i/lub roślinny polegający na analizie chemicznej gleby lub rośliny. Podstawą testów jest wyznaczenie wartości krytycznych, do których porównuje się stwierdzone laboratoryjnie zawartości cynku w glebie lub tkankach roślinnych.

#### Testy glebowe

Idealny test glebowy powinien być szybki, tani, powtarzalny i korespondujący z plonami roślin, zawartością cynku w roślinie lub z jego pobraniem. Ideą testu glebowego jest ekstrakcja z gleby tzw. przyswajalnych dla roślin form cynku za pomocą odpowiedniego odczynnika chemicznego. Oznaczoną w ten sposób ilość cynku porównuje się z wartością krytyczną wyznaczoną eksperymentalnie. Zawartość Zn w glebie poniżej wartości krytycznej świadczy o deficycie i o potrzebie uzupełnienia tego składnika.

Do ekstrakcji z gleby przyswajalnych form cynku używa się w laboratoriach na świecie różnych roztworów ekstrakcyjnych. Najczęściej używanym ekstrahentem jest bez wątpienia DTPA, ale EDTA, AB-DTPA, Mehlich 1 i 0,1 M HCl są również często używane (2, 33).

Wartość krytyczna  $Zn_{DTPA}$  dla pszenicy zależy od rodzaju gleby. Według C a k m a k a (34, 35) dla gleb węglanowych w Anatolii (Turcja) wynosi ona  $0,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . A l l o w a y (2) podaje, że krytyczna zawartość  $Zn_{DTPA}$  przyjęta w Indiach dla pszenicy waha się od  $0,45$  do  $0,67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , w zależności od rejonu i typu gleby. Ponadto B a r m a n i i n. (10) wyznaczyli  $1,5 \text{ mg} \text{ Zn}_{DTPA} \cdot \text{kg}^{-1}$  jako wymaganą zawartość cynku w glebach bardzo ciężkich dla zmianowania pszenica–soja.

W Polsce do połowy lat 80. stacje chemiczno-rolnicze stosowały do oznaczania przyswajalnych form cynku w glebie roztwór 0,1 M HCl. Od 1986 r. w stacjach wprowadzono wspólną ekstrakcję mikroelementów, w tym również cynku, opartą o 1 M HCl. Oceny zawartości cynku w glebie dokonuje się przy użyciu wartości



krytycznych (liczb granicznych) opracowanych dla tego ekstrahenta w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach (64, 239). Wartości krytyczne zostały wyznaczone na podstawie wielu zróżnicowanych prób glebowych i roślinnych i wahają się od 0,7 do 11,5 mg Cu · kg<sup>-1</sup>, w zależności od składu granulometrycznego gleby.

Ciekawą metodę oceny zawartości cynku (i innych mikroelementów) bezpośrednio dostępnego dla roślin proponują Ł a b ę t o w i c z i R u t k o w s k a (127). Autorzy ci uważają, że analiza stężenia jonów cynku w roztworze glebowym wraz z tzw. „współczynnikiem odnawiania roztworu” może dostarczyć informacji o potrzebach nawożenia tym składnikiem.

### Testy roślinne

Korzystną cechą testu roślinnego jest fakt, że dostarcza nam informacji o aktualnym stanie zaopatrzenia rośliny w cynk, w momencie pobrania próbki. Zawartość składnika w roślinie jest wypadkową różnych czynników glebowych i właściwości samej rośliny, które mają wpływ na jego przyswajalność, stąd analiza roślinna powinna być bardziej miarodajna niż analiza glebowa. Test roślinny jednak nie zawsze zapewnia wiarygodną ocenę zapotrzebowania pszenicy na ten mikroelement. Zawartość Zn w tkankach roślinnych zależy, poza zasobnością gleby, również od organu rośliny pobranego do analiz, od jej fazy rozwojowej oraz odmiany. Na ogół uważa się, że zawartość cynku w tkankach zmniejsza się wraz z wiekiem rośliny i że starsze liście zawierają go więcej niż młode. Wiadomo również, że cynk jest mniej ruchliwy w roślinach cierpiących na jego deficyt niż w optymalnie zaopatrzonych (2). W tabeli 1 przedstawiono krytyczne zawartości Zn w różnych częściach i fazach rozwojowych roślin.

Zawartości krytyczne wahają się od 13 do 32 mg Zn · kg<sup>-1</sup> dla wszystkich części nadziemnych i od 12 do 20 mg Zn · kg<sup>-1</sup> dla najmłodszych liści, w zależności od fazy rozwojowej pszenicy i laboratorium, w którym zależności te badano. R a f i q u e i n. (164) podkreślają, że zawartość Zn w dojrzałym ziarnie pszenicy jest bardzo dobrym wskaźnikiem stanu jej zaopatrzenia w cynk. Analizując dane z tabeli 1 można zauważyć, że ci sami autorzy w różnych swoich pracach proponują odmienne wartości krytyczne.

O małej przydatności testów roślinnych przekonani są tureccy badacze i z tego powodu w swoich publikacjach nie podają żadnych wartości krytycznych zawartości cynku w roślinach pszenicy. Prowadzone w Turcji badania nad zróżnicowaniem odmianowym pszenic wykazały bardzo duże różnice w ich tolerancji na niedobór cynku. Wiąże się to ze zróżnicowaniem pobierania i transportu Zn wewnątrz rośliny, a tym samym ma znaczący wpływ na gromadzenie cynku w tkankach roślinnych. Według licznych tureckich badań zawartość Zn w pędach i liściach w żaden sposób nie koreluje z efektywnością wykorzystania (tolerancją na niedobór) tego pierwiastka przez pszenicę (34, 35, 38, 40). C a k m a k i B r a u n (35) tłumaczą to występowaniem zjawiska rozcieńczenia. W warunkach deficytu zwiększone pobranie cynku przez ro-

Tabela 1

Wartość krytyczna niedoboru cynku w tkankach pszenicy ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  
 Critical value of zinc deficiency in wheat tissue ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Wartość krytyczna Critical value ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Część rośliny Part of plant	Faza rozwojowa Stage of development	Uwagi Notes	Źródło Source
13	cała część nadziemna whole above-ground part	50 dni po siewie 50 days after sowing	Australia	Brennan i Bolland 2006b (28)
15	cała część nadziemna whole above-ground part	początek kłoszenia early earing	jara; spring USA	Jones i in. 1991 (94)
16-20	cała część nadziemna whole above-ground part	30 cm pędy 30 cm shoots	Pakistan	Rafique i in. 2006 (164)
20	cała część nadziemna whole above-ground part	42-dniowe rośliny 42-day plants	Australia	Brennan i in. 2001 (29)
20	cała część nadziemna whole above-ground part	drugie kolanko/liść flagowy two-node stage/flag leaf (7/8f)	ozima; winter Niemcy; Germany	Bergmann 1992 (14)
19-24*	cała część nadziemna whole above-ground part	strzelanie w źdźbło shooting stage (6f)	ozima; winter Polska; Poland	Faber 1992 (55)
25	cała część nadziemna whole above-ground part	początek strzelania w źdźbło/pierwsze kolanko beginning of shooting/one node stage (5/6f)	ozima; winter Niemcy; Germany	Bergmann 1992 (14)
25	cała część nadziemna whole above-ground part	42-dniowe rośliny 42-day plants	twarda; durum Australia	Brennan i Bolland 2002 (27)
32	cała część nadziemna whole above-ground part	42-dniowe rośliny 42-day plants	jara; sprig Australia	Brennan i Bolland 2002 (27)
12	najmłodsze liście youngest leaves	42-dniowe rośliny 42-day plants	Australia	Brennan i in. 2001 (29)
12-14	najmłodsze liście youngest leaves	młode pędy young shoots	Australia	Brennan 2001 (21)
14	najmłodsze liście youngest leaves	42-dniowe rośliny 42-day plants	jara; sprig Australia	Brennan i Bolland 2002 (27)
12-16	liść flagowy flag leaf	faza liścia flagowego flag leaf stage	Pakistan	Rafique i in. 2006 (164)
11-20	dwa górne liście two tops leaves	tuż przed kłoszeniem just before earing	ozima; winter	Jones i in. 1991 (94)
20	najmłodsze liście youngest leaves	42-dniowe rośliny 42-day plants	twarda; durum Australia	Brennan i Bolland 2002 (27)
20-24	ziarno grain	pełna dojrzałość maturity	Pakistan	Rafique i in. 2006 (164)

\* zakres występowania istotnych zwyżek plonów; range of significant yield increase



śliny odmian tolerancyjnych, w porównaniu z odmianami o małej tolerancji, powoduje znaczny wzrost ich biomasy i korespondujący z tym spadek zawartości tego pierwiastka w tkankach. W wyniku tego rosnące na glebach niedoborowych w cynk odmiany wysoko tolerancyjne – o mniejszym zapotrzebowaniu na Zn – mogą charakteryzować się niższą zawartością tego pierwiastka w tkankach niż odmiany mało tolerancyjne na jego niedobór, czyli o większym zapotrzebowaniu.

### Korekta niedoborów cynku

Najczęściej stosowanym nawozem uzupełniającym niedobory cynku u pszenicy zarówno w praktyce rolniczej (2, 34, 205), jak i w badaniach naukowych (27, 37, 38, 54, 55, 97, 107, 115, 241) jest siarczan cynku. Nawóz ten jest powszechnie stosowany ze względu na jego niski koszt, dobrą rozpuszczalność i łatwą dostępność na rynku. Oprócz siarczanu dość często stosuje się tlenek cynku i bardzo dobrze przyswajalne przez rośliny, ale kosztowne chelaty cynku. Z badań S p i a k (202, 203) wynika, że forma siarczanowa cynku jest łatwo pobierana przez rośliny. Spośród sześciu badanych form najlepiej pobierany był cynk zastosowany w formie Zn-EDTA i  $ZnSO_4$ , a najslabiej w formie ZnO.

B r e n n a n (21) podaje, że rolnicy w zachodniej Australii do uzupełniania deficytu cynku u pszenicy powszechnie stosują tlenek cynku. W najnowszych badaniach B r e n n a n i B o l l a n d (28) wykazali, że na glebach kwaśnych ZnO jest równie dobrym źródłem cynku jak  $ZnSO_4$ , ale nawóz ten nie nadaje się na gleby alkaliczne. Na glebach alkalicznych siarczanowa forma cynku była dwa razy bardziej skuteczna niż tlenkowa.

Pewnym źródłem cynku dla roślin są nawozy fosforowe, a zwłaszcza superfosfat pojedynczy, który może zawierać relatywnie duże ilości Zn, nawet do  $600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (2, 21, 126). Systematyczne stosowanie superfosfatu może dostarczać roślinom niewielkich ilości cynku, co może mieć znaczenie na glebach niedoborowych.

Cynk najczęściej stosuje się przedsięwzię, rozsypując nawóz na powierzchni pola, a następnie mieszając go z glebą. Doglebowe dawki cynku dla pszenicy oscylują od 2 do  $23 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$  dla nieorganicznych form cynku ( $ZnSO_4$ , ZnO) i od 0,3 do  $6,0 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$  dla form chelatowych. Wyższe dawki dotyczą gleb alkalicznych, niższe kwaśnych. W Turcji, gdzie niedobory Zn występują na glebach węglanowych, stosuje się zazwyczaj dawkę  $23 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$  w formie  $ZnSO_4$  (34, 38, 44, 52, 97, 237). Badania australijskie donoszą o dawkach 0,5-2,5  $\text{kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$ , zalecanych na lekkie gleby kwaśne (18, 21). Badacze pakistańscy zalecają dawki w zakresie 2,0-7,5  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (157, 164), a indyjscy w zakresie 2,3-5,5  $\text{kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$  (162, 192, 193). W Polsce przy stwierdzeniu niedoborów cynku S t a n i s ł a w s k a - G l u b i a k i K o r z e n i o w s k a (205) zalecają od 8 do  $12 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$  w zależności od rodzaju gleby.

Przy deficycie cynku w glebie nawożenie doglebowe trwale wzbogaca glebę w ten składnik. Wielu autorów podkreśla efekt następczy doglebowego stosowania cynku, który może się utrzymywać przez kilka, a nawet kilkanaście lat. G r e w a l i G r a - h a m (76) oraz S h a r m a i B h a r d w a j (192) stwierdzili dodatni wpływ

doglebowej aplikacji cynku w drugim roku po nawożeniu. F a b e r (55) zaobserwował wzrost plonu pszenicy pod wpływem nawożenia cynkiem, który zastosowano 3 lata wcześniej. B r e n n a n (21) wykazał utrzymywanie się efektu następczego nawożenia Zn przez 13 lat. W tym czasie działanie cynku na plonowanie pszenicy zmniejszyło się prawie o połowę. Ten sam autor udowodnił działanie następcze na pszenicę, nawet tak niewielkich ilości cynku jakie wprowadza się do gleby wraz z superfosfatem pojedynczym (18).

Poza najczęściej stosowanym nawożeniem doglebowym pszenicę można również nawozić cynkiem dolistnie w dawkach  $0,5-1,0 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$  (34, 115, 205). Y i l m a z i n. (238) porównywali różne metody aplikacji Zn: doglebową, dolistną i donasienną. W badaniach tych znaczne lepsze efekty, wyrażone przyrostem plonu pszenicy, uzyskano dla metody doglebowej niż dolistnej czy donasiennej.

### **Reakcja pszenicy na nawożenie cynkiem**

Reakcja pszenicy na nawożenie cynkiem, podobnie jak w przypadku innych mikroelementów, zależy nie tylko od zawartości jego dostępnych dla roślin form w glebie, ale również od przebiegu pogody, interakcji z innymi składnikami pokarmowymi, uprawianej odmiany, zastosowanej dawki i formy nawozu oraz sposobu jego aplikacji. Na ilość przyswajalnego dla roślin cynku w glebie główny wpływ ma całkowita jego zawartość oraz cały szereg takich cech gleby, jak: odczyn, zawartość węglanów, skład granulometryczny, zawartość substancji organicznej i inne. Według literatury uzyskiwane pod wpływem nawożenia cynkiem zwyczajki plonów mogą wahać się od kilku do kilkuset procent (tab. 2).

Największy przyrost plonu pszenicy na skutek aplikacji tego składnika występował w Turcji, gdzie deficyt Zn jest szczególnie duży. Według badań tureckich plony pszenicy nawożonej cynkiem mogą wzrastać nawet o 500-780% w stosunku do upraw bez nawożenia. Kilkudziesięcioprocentowe zwyczajki plonu uzyskiwano w Iranie i Indiach, a w pozostałych krajach wahały się one od kilku do kilkunastu procent. Badania z ostatnich lat podkreślają duże zróżnicowanie odmian pszenicy w tolerancji na niedobór cynku. Wynikająca stąd różna reakcja poszczególnych odmian na nawożenie tym składnikiem jest duża i wzrost plonów może oscylować od 30 do ponad 500%, w zależności od odmiany.

Tabela 2

Zwyżki plonu ziarna pszenicy uzyskiwane pod wpływem doglebowego nawożenia cynkiem  
Increase of wheat grain yield after soil Zn application

Wzrost plonów Yield increase (%)	Zn w glebie Soil Zn (mg · kg <sup>-1</sup> )	Dawka Zn Zn rate (kg · ha <sup>-1</sup> )	Uwagi Notes	Źródło Source
31-554	Zn <sub>DTPA</sub> < 0,15	23	Turcja – różne gleby Turkey – different soils	Cakmak, Yilmaz i in. 1996 (44)
192-779	Zn <sub>DTPA</sub> < 0,09	23	Turcja – różne odmiany Turkey – different cultivars	Cakmak, Ekiz i in. 1997 (38)
260	Zn <sub>DTPA</sub> 0,12	23	Turcja Turkey	Yilmaz i in. 1997 (238)
do 446	ostry deficyt severity deficit	23	Turcja Turkey	Yilmaz i in. 1998 (237)
8-76	Zn <sub>DTPA</sub> 0,1	23	Turcja – różne odmiany Turkey – different cultivars	Kalayci i in. 1999 (97)
9-42	Zn <sub>EDTA</sub> 0,3	40	Iran – różne odmiany Iran – different cultivars	Khoshgoftarmanesh i in. 2004 (107)
9-19	-	2,5-10,0	Pakistan – różne dawki Zn Pakistan – different Zn rates	Pervaiz i in. 2003 (157)
12	Zn <sub>AB-DTPA</sub> 0,5	2	Pakistan	Rafique i in. 2006 (164)
14	-	5	Indie India	Sharma i in. 2000 (193)
38	-	4,6	Indie; India	Prasad i in. 2002 (162)
19	Zn <sub>DTPA</sub> 0,5	6	Indie India	Jain i Dahama 2006 (91)
1,8-8,4	Zn <sub>1 M HCl</sub> < 12-16	5-20	Polska – działanie następce Poland – residual effect	Faber 1992 (55)
3-17	Zn <sub>1 M HCl</sub> 5,0-18,8	1 – dolistnie 1 – foliar	Polska – różne dawki P Poland – different P rates	Krauze 1996 (115)

## 2.2. ZNACZENIE MIEDZI W UPRAWIE PSZENICY

Większość prac, głównie australijskich i kanadyjskich, na temat niedoborów miedzi została opublikowana w latach 70. i 80. ubiegłego stulecia. Lata 90. i ostatnie dziesięciolecie to okres zainteresowania przede wszystkim nadmiarem miedzi w glebie oraz jej toksycznym działaniem na organizmy roślinne i zwierzęce. W różnych ośrodkach naukowych na świecie badania nad deficytem składników pokarmowych zeszły na dalszy plan, a zajęto się głównie ochroną środowiska. Wydaje się jednak, że oba problemy, zarówno niedoboru, jak i nadmiaru miedzi, istnieją obok siebie równolegle i powinno się im poświęcać tyle samo uwagi. Na świecie występują bowiem zarówno tereny charakteryzujące się znacznym deficytem miedzi, jak i poważnie zanieczyszczone tym pierwiastkiem.

### Występowanie niedoboru miedzi w glebie na świecie i w Polsce

Najwięcej publikacji dotyczących niedoborów miedzi pochodzi z Australii i Kanady. Ocenia się, że w południowo-zachodniej Australii około 9 mln ha gleb, szczególnie piaskowych i glinasto-piaskowych, charakteryzuje się niedoborami miedzi (22, 26). K a r a m a n o s i G o h (101, 102) podają, że aktualnie w Kanadzie około 1,5 mln ha gleb uprawnych wymaga nawożenia tym pierwiastkiem.

Również w Polsce mamy do czynienia z występowaniem deficytu miedzi w glebach. Dwa cykle badań inwentaryzacyjnych gleb naszego kraju przeprowadzone w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach we współpracy ze stacjami chemiczno-rolniczymi, na łącznej liczbie ok. 200 tysięcy prób, dowiodły, że aż 37% gleb wykazuje niedobory miedzi (117, 150). Efektem występującego deficytu miedzi w glebach są niedobory tego pierwiastka w roślinach. Z badań G e m b a r z e w s k i e g o (65), w których oceniano 200 pól pszenicy na terenie całego kraju wynika, że rośliny z ponad połowy z nich charakteryzowały się zbyt niską zawartością Cu. Równocześnie autor udowodnił niepokojące zmniejszanie się zawartości miedzi w ziarnie pszenic uprawianych w ostatnich latach w stosunku do okresu 1966–1970. Ponadto z przeprowadzonego przez C z u b ę (48) bilansu mikroelementów we współczesnych systemach nawożenia wynika, że najniższe pokrycie potrzeb roślin na mikroelementy, obok boru, dotyczy właśnie miedzi.

Z powodu niedoborów miedzi w glebie cierpią nie tylko rośliny, ale również zwierzęta, które są ich konsumentami. Badania Państwowego Zakładu Higieny (229) prowadzone w całym kraju wykazały, że ziarno polskich pszenic zawiera 2,6-3,6 mg Cu · kg<sup>-1</sup>, a badania G e m b a r z e w s k i e g o i n. (65) oraz W r ó b l a (233), że zawiera 3,1-3,2 mg Cu · kg<sup>-1</sup>. Są to wartości niewystarczające w żywieniu zwierząt, gdyż według American National Research Council (217-220) wymagane minimum zawartości miedzi w paszy wynosi dla drobiu 8, dla bydła i koni 10, a dla świń 12 mg · kg<sup>-1</sup>. Podobnie według K r u c z y ń s k i e j (116) optymalna zawartość miedzi dla zwierząt mieści się w zakresie 8-12, a minimalna wynosi 5 mg Cu · kg<sup>-1</sup> paszy. Niska zawartość miedzi w ziarnie polskich pszenic jest tym bardziej niepokojąca, że w innych częściach świata jest ona znacznie wyższa. I tak w Norwegii wynosi 4,0; w USA 4,5; Rosji 5,1; Finlandii 5,5 i Egipcie 6,7 mg Cu · kg<sup>-1</sup>. Nawet w Australii (95) i Kanadzie (62), gdzie występują jedne z największych obszarów niedoboru Cu na świecie zawartości te są wyższe niż u nas i wynoszą odpowiednio: 3,5 i 4,1 mg Cu · kg<sup>-1</sup> (62).

Niedobory miedzi w Polsce nie dotyczą jedynie pszenicy. Według badań G e m b a r z e w s k i e g o (63) odnoszą się one również do 53% upraw jęczmienia, 60% żyta, 52% pszenżyta, 28% rzepaku i 36% upraw okopowych.

Niewystarczająca zawartość miedzi w roślinach ma bezpośredni wpływ na zdrowie człowieka. Prace Katedry Żywienia Człowieka SGGW (159) i Instytutu Żywienia i Żywności (189) ujawniły, że Polacy spożywają w diecie o 30-40% mniej miedzi niż wymagana dzienna dawka. Jest to wysoce niepokojące, ponieważ deficyt Cu w organizmie człowieka wiąże się ze wzrostem śmiertelności wywołanej niewydolnością sercowo-naczyniową (139).

### **Rola miedzi w roślinie**

Obecność miedzi w tkankach roślinnych została po raz pierwszy stwierdzona w 1816 r. przez Meissnera, a dopiero ponad 100 lat później w roku 1931 L i p m a n i M c K i n n e y (123) z Uniwersytetu w Kalifornii udowodnili jej niezbędność dla roślin. Obecnie wiadomo, że pierwiastek ten wchodzi w skład wielu enzymów będących miedzioproteinami, które biorą udział w różnych procesach metabolicznych, takich jak: oddychanie, przemiany związków azotowych i cukrowców oraz w lignifikacji ścian komórkowych. Najważniejsze z tych enzymów to oksydaza cytochromowa występująca w mitochondriach, oksydazy fenolowe uczestniczące w biosyntezie lignin oraz oksydaza askorbinowa i dysmutaza nadtlenkowa. Miedź jest również składnikiem miedzioproteiny – plastocjaniny występującej w chloroplastach, która pełni funkcję przenośnika elektronów w I fazie fotosyntezy. Ponadto pierwiastek ten najprawdopodobniej bierze udział w mechanizmach odpornościowych roślin. Wykazano, że rośliny pszenicy rosnące na glebach z deficytem Cu są mniej odporne na choroby niż rośliny prawidłowo zaopatrzone w ten składnik (72, 130, 158).

Miedź opisywana była w literaturze jako pierwiastek mało ruchliwy w roślinie z powodu występowania symptomów niedoboru głównie na młodych liściach. L o n e r a g e n i n (125) stwierdzili jednak, że w roślinach pszenicy pierwiastek ten może przemieszczać się ze starszych organów do młodszych. Miedź magazynowana i unieruchomiana w młodych liściach stawała się ruchliwa, gdy liście zaczynały się starzeć, wraz ze związkami azotowymi przemieszczała się przez floem do wypełniających się ziarniaków. Badania z ostatnich lat potwierdzają przemieszczanie się miedzi w roślinie nie tylko przez ksylem, ale również poprzez floem (60, 122).

### **Dostępność miedzi dla roślin**

Rośliny pobierają miedź z gleby głównie w formie  $\text{Cu}^{2+}$  zarówno w sposób aktywny, jak i bierny, na zasadzie transpiracyjnego przepływu wody. Ilość pobieranej miedzi zależy nie tylko od jej całkowitej zawartości w podłożu (96), ale również od form w jakich występuje w glebie. Na przyswajalność miedzi dla roślin wpływa szereg czynników, takich jak: odczyn gleby (80, 96, 136), zawartość substancji organicznej (96, 146), zawartość wodorotlenków Fe, Mn, Al, zawartość minerałów ilastych (95), interakcja z innymi pierwiastkami (94, 95, 96, 99, 103) oraz temperatura i uwilgotnienie wierzchniej warstwy gleby (77, 119, 149). Główną rolę w wiązaniu miedzi w glebie odgrywa substancja organiczna, która w większości gleb decyduje o ruchliwości i przyswajalności tego metalu dla roślin (95).

### **Wrażliwość pszenicy na brak miedzi**

Do roślin uprawnych najbardziej wrażliwych na niedobór miedzi zalicza się zboża (198, 144). Spośród zbóż pszenica cechuje się znacznie większą wrażliwością niż pozostałe rośliny zbożowe, a zwłaszcza żyto i pszenżyto. Zdolność żyta do wzrostu

i rozwoju na glebach, które dla innych roślin są niedostatecznie zaopatrzone w miedź obserwowana jest od dawna (75, 198). Wniosek, że efektywność wykorzystania miedzi przez żyto jest kontrolowana genetycznie został postawiony na podstawie porównania mieszańców żyta i pszenicy z ich materiałem rodzicielskim. W badaniach nad dziedziczeniem genów kontrolujących gospodarowanie i wykorzystanie Cu uwzględniono pszenżyto. Okazało się, że każda linia pszenżyta posiadająca chromosom żyta 5R jest odporna na deficyt miedzi. Gen odpowiedzialny za tolerancję na niedobór Cu zlokalizowany jest u żyta na długim ramieniu chromosomu 5R (9, 73, 190). Od dłuższego czasu prowadzone są prace hodowlane mające na celu dołączenie części chromosomu żyta (5RL) do chromosomu pszenicy i tym samym uzyskanie odmian pszenicy odpornych na niedobór miedzi (3, 73, 119, 152).

W literaturze spotyka się publikacje, w których porównywano tolerancję pszenicy na deficyt miedzi z tolerancją innych roślin. S o l b e r g i in. (199) opisują pszenicę, obok lnu, jako roślinę o bardzo dużej wrażliwości na niedobór miedzi. Do roślin średnio wrażliwych zaliczyli oni: jęczmień, owies, lucernę i kukurydzę, a do mało wrażliwych: żyto, groch, koniczynę i rzepak. Podobnie F a g e r i a (57) wykazał, że pszenica miała wyższe wymagania w stosunku do miedzi niż ryż, kukurydza, fasola i soja. Również W e r y s z k o - C h m i e l e w s k a (227) na podstawie badań morfologicznych i anatomicznych stwierdziła, że pszenica jest bardziej wrażliwa na deficyt Cu niż kolejno: owies, jęczmień, łubin, peluszką i soja.

### **Objawy niedoboru miedzi u pszenicy**

Symptomy deficytu miedzi u pszenicy zależą od stopnia jej niedoboru. Niewystarczające zaopatrzenie w Cu wpływa bardziej na rozwój części generatywnych niż wegetatywnych. Objawy niedoboru we wzroście i rozwoju roślin ujawniają się dopiero przy dużych niedoborach tego pierwiastka. Jednym z charakterystycznych objawów jest więdnienie roślin w okresie strzelania w źdźbło. Przy silniejszym deficycie może ujawnić się ono już w fazie krzewienia (75, 199). Więdnięcie związane jest z niedostatecznym procesem lignifikacji łodyg, a nie z zaopatrzeniem roślin w wodę (68). Nieprawidłowości w lignifikacji ścian komórkowych są również powodem wytwarzania słabych, wiotkich źdźbeł podatnych na wyleganie i małych, zdeformowanych kłosów (188). Innym charakterystycznym symptomem jest kruchość i łamliwość łodyg występująca na wysokości 15-30 cm poniżej kłosa (199). Przy większych niedoborach miedzi dochodzi do chlorozy lub nawet bielenia, a następnie obumierania najmłodszych liści (227). Od dawna znana jest objawiająca się w ten sposób „choroba nowin”, występująca na glebach torfowych. Częstym, choć mało specyficznym, objawem deficytu miedzi jest opóźnienie dojrzewania nawet o kilka tygodni oraz znaczne porażenie roślin przez choroby (72, 199, 130, 158).

Opisanym powyżej objawom morfologicznym towarzyszą odpowiednie objawy anatomiczne. Przy deficycie miedzi W e r y s z k o - C h m i e l e w s k a (226, 227) stwierdziła zmniejszenie średnicy i grubości ścian źdźbeł pszenicy. Grubość ściany źdźbła jest jedną z ważniejszych cech, od których uzależniona jest wytrzymałość me-



chaniczna pędów. Ponadto zaobserwowała ona brak lignifikacji ścian komórkowych tkanek obwodowych, takich jak: epiderma, sklerenchyma i miękisz.

Jak już wspomniano, u pszenicy niedobór miedzi oddziałuje silniej na fazę generatywną niż wegetatywną. Plon ziarna może być znacznie obniżony bez zauważalnego wpływu na wzrost i rozwój części wegetatywnych. Nawet przy słabym niedoborze plon może zmniejszać się o 20% (75). Powodem tego zjawiska jest zaburzenie procesu zapylania i zawiązywania ziarniaków opisane już w 1975 r. przez G r a h a m a (70). Zaobserwował on, że rośliny pszenicy cierpiącej na niedobór Cu wytwarzały mniejszą liczbę pylników, które były znacznie drobniejsze niż u roślin prawidłowo zaopatrzonych w miedź. Dalsze badania doprowadziły do stwierdzenia, że brak miedzi ma wpływ na mikrosporogenezę w okresie mejozy i prowadzi do wytwarzania niepłodnego pyłku (71). Sterylność ziaren pyłku jest najczęściej opisywanym powodem spadku poziomu plonów pszenicy przy deficycie miedzi. D e l l (49) i W e r y s z k o - C h m i e l e w s k a (227) podają, że powodem niepłodności pyłku mogą być zmiany w budowie anatomicznej pylników, a U n n o i n. (216), że brak akumulacji skrobi w ziarnach pyłku. Sterylności ziaren pyłku towarzyszy na ogół ich deformacja, zmniejszenie wielkości i zmiany wybarwienia opisywane przez licznych badaczy (49, 70, 154, 227).

### **Zróżnicowanie odmianowe wrażliwości na niedobór Cu**

Pomimo że już w 1967 roku S m i l d e i H e n k e n s (198) udowodnili, że odmiany pszenicy różnią się tolerancją na niedobór miedzi, publikacji dotyczących tego zagadnienia jest niewiele. W badaniach różnic odmianowych napotyka się na problem nakładania się na siebie dwóch zjawisk: różnej wrażliwości odmian na miedź oraz różnej reakcji odmian na cały kompleks pozostałych warunków glebowo-środowiskowych (75). Utrudnia to wnioskowanie w doświadczeniach prowadzonych w kilku punktach przez parę lat oraz zazwyczaj uniemożliwia uogólnienie wyciąganych wniosków.

Różnice pomiędzy odmianami uwidaczniają się głównie w plonie ziarna, a znacznie mniej w plonie słomy lub we wczesnych stadiach rozwojowych roślin (144, 158). Z tego powodu krótkoterminowe badania bez zbioru ziarna są nieprzydatne do wykazania różnic odmianowych (57). Badania wazonowe obejmujące cały okres wegetacji pszenicy prowadzili O w o c h e i in. (152). Porównywali oni reakcję na nawożenie miedzią 12 odmian w warunkach niedoboru tego pierwiastka w glebie. W badaniach stwierdzono, że objawy niedoboru różniły się zależnie od odmiany. Niektóre odmiany reagujące dużą zwyczajną plonem na nawożenie nie wykazywały żadnych symptomów braku miedzi. Uzyskany wzrost plonów testowanych odmian wahał się w bardzo szerokim zakresie – od braku istotnej reakcji na nawożenie do prawie 10-krotnego wzrostu plonów ziarna. W opisywanych badaniach dwanaście testowanych odmian podzielono na 3 grupy: nieefektywnie wykorzystujące miedź i wykazujące objawy niedoboru Cu, nieefektywnie wykorzystujące miedź bez symptomów niedoboru oraz efektywnie wykorzystujące Cu. Ci sami autorzy (153, 154) potwierdzili różne zapotrzebowanie odmian pszenicy na miedź w doświadczeniach polowych. Badając reakcję

8 odmian pszenicy na nawożenie miedzią wykazali, podobnie jak w doświadczeniach wazonowych, różnice odmianowe w objawach niedoboru i różnice w plonowaniu. Ponadto autorzy zaobserwowali różnice odmianowe w ilości i jakości wytwarzanego pyłku. W warunkach niedoboru miedzi odmiany charakteryzujące się nieefektywnym wykorzystaniem Cu wytwarzały więcej nieplodnego pyłku niż odmiany o wysokiej efektywności. Autorzy ci wykazali również różnice pomiędzy odmianami w zawartości miedzi w tkankach roślinnych i stwierdzili, że wartość krytyczna miedzi w młodych liściach powinna być ustalana indywidualnie dla każdej odmiany. Różnice odmianowe w zawartości miedzi w tkankach roślinnych potwierdzają również inni autorzy (47, 92, 118, 140).

### Diagnoza niedoborów miedzi dla pszenicy

Do oceny niedoborów miedzi najczęściej wykorzystuje się testy roślinne lub testy glebowe oparte na analizie chemicznej tkanek roślinnych lub gleby. Określenie niedoboru tylko za pomocą objawów występujących na pszenicy jest trudne i często zawodne. Nie zawsze bowiem brak miedzi powoduje nieprawidłowy wygląd roślin. Często spotykamy się z tzw. ukrytymi niedoborami, gdy jedynym skutkiem deficytu jest zmniejszenie plonu przy normalnym wyglądzie roślin. Ponadto objawy niedoboru często trudno jest odróżnić od skutków porażenia przez choroby czy uszkodzeń wywołanych przez szkodniki lub niekorzystne warunki pogodowe, takie jak mróz lub susza.

Podstawą testów jest wyznaczenie wartości krytycznych, do których porównuje się stwierdzone laboratoryjnie zawartości miedzi w glebie lub roślinie. Przydatność testów roślinnych i glebowych do określania niedoborów miedzi jest różnie oceniana przez badaczy. Niektórzy są przekonani o większej użyteczności testów roślinnych (26), inni glebowych (104, 153). Wydaje się, że użycie obu jednocześnie zapewniłoby wiarygodny wynik oceny zaopatrzenia pszenicy w miedź.

#### Testy glebowe

Zawartość tzw. przyswajalnej dla roślin miedzi w glebie można oznaczać przy użyciu różnych roztworów ekstrakcyjnych (135). Do najczęściej używanych w laboratoriach światowych należą ekstrahenty kompleksujące DTPA i EDTA (75, 95, 33). Ponadto, prócz wielu innych, często używane są również 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ ; 0,1 M  $\text{NaNO}_3$ ; 1 M  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 0,1 M HCl oraz Mehlich-1 i Mehlich-3 (33, 163).

Bardzo szerokie badania w celu wyznaczenia krytycznej zawartości  $\text{Cu}_{\text{DTPA}}$  w glebie dla pszenicy przeprowadzono w Kanadzie. Początkowo w oparciu o 16 doświadczeń polowych K a r r a m a n o s i G o h (100) wyznaczyli jako wartość krytyczną 0,2 mg  $\text{Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ . W toku dalszych badań na podstawie 115 doświadczeń polowych wykazali, że 0,4 mg  $\text{Cu}_{\text{DTPA}} \cdot \text{kg}^{-1}$  jest zawartością, poniżej której można się spodziewać istotnych statystycznie wyżek plonu pszenicy na skutek nawożenia miedzią (102). M a l h i i n. (129) potwierdzili, że 0,4 mg  $\text{Cu}_{\text{DTPA}} \cdot \text{kg}^{-1}$  jest odpowiednią wartością krytyczną dla uprawy pszenicy na kanadyjskich glebach periwowych. Również S o l b e r g i n. (199) z Alerty w Kanadzie przyjęli, że dla pszenicy zawartość



krytyczna  $Cu_{DTPA}$  w glebie waha się w granicach 0,4-0,6, a przy bardzo intensywnym poziomie agrotechniki może wynosić nawet  $1,0 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Podobnie według zaleceń nawozowych dla Północnej Dakoty w USA niedoborów Cu należy spodziewać się na glebach lekkich, o zawartości poniżej 2% materii organicznej i zawartości  $Cu_{DTPA}$  poniżej  $0,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (59).

W najnowszych badaniach australijskich opartych na doświadczeniach wazonowych Brennan i Bolland (26) próbowali wyznaczyć zawartość krytyczną Cu w glebie dla pszenicy rosnącej na 6 różnych glebach. Autorzy testowali 4 metody ekstrakcji: EDTA, DTPA, 0,1 M HCl i szczawian amonu. W efekcie uzyskali odmienne wartości krytyczne dla każdej z 6 badanych gleb i dla 4 badanych ekstrahentów. Jednocześnie wyznaczone przez autorów wartości krytyczne Cu w tkankach młodych roślin pszenicy były zbliżone do siebie na wszystkich badanych glebach. W konsekwencji autorzy zalecili przeprowadzanie diagnostyki niedoborów miedzi raczej w oparciu o testy roślinne niż glebowe. Te ostatnie wymagałyby bowiem uwzględnienia szerokiego spektrum gleb ze względu na ich odmienne możliwości sorbowania miedzi. Wydaje się, że odmienne stanowisko co do użyteczności testów glebowych i roślinnych badaczy z kontynentu północnoamerykańskiego i australijskiego może wynikać z większej zmienności gleb z deficytem miedzi w Australii niż w Ameryce.

W Polsce do 1986 roku zawartość miedzi w glebie oceniano używając do ekstrakcji 0,43 N  $\text{HNO}_3$ . Od tego czasu oceny dokonuje się w oparciu o ekstrakcję przeprowadzaną przy użyciu 1 M HCl oraz za pomocą wartości krytycznych (liczb granicznych) opracowanych w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach dla tego ekstrahenta (64, 239). Wartości krytyczne zostały opracowane dla pszenicy ozimej jako rośliny szczególnie wrażliwej na niedobory miedzi. Wahają się one w zakresie od 0,9 do  $5,0 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$  w zależności od składu granulometrycznego gleby, uwzględniając tym samym odmienne zdolności sorpcyjne różnych gleb.

#### Testy roślinne

Problem oceny zaopatrzenia pszenicy w miedź na podstawie jej zawartości w tkankach roślinnych poruszany jest w wielu pracach, jednak nie ma zgodności co do przydatności testów roślinnych. Zawartość miedzi w roślinie zależy bowiem nie tylko od zasobności gleby, ale również wieku rośliny, części pobranej do analiz, warunków uprawy, takich jak: uwilgotnienie i temperatura gleby czy poziom nawożenia azotem oraz od uprawianej odmiany. Z powodu tych trudności Kramer i in. (104) oraz Owoch i in. (153) zalecają stosowanie raczej testów glebowych. O dużym stopniu skomplikowania stosowania testów roślinnych najlepiej świadczy fakt odmiennej oceny ich przydatności przez tych samych autorów w różnych publikacjach (184, 185).

Najwięcej kontrowersji odnośnie testów roślinnych dotyczy części rośliny, która powinna być pobrana do analiz. Wielu autorów podaje krytyczne zawartości miedzi dla pszenicy w całej części nadziemnej w początkowych fazach jej wzrostu (tab. 3). Ocena poprzez analizę całej części nadziemnej wydaje się być przydatna i wygodna, jeśli prócz miedzi bada się równocześnie zaopatrzenie rośliny w inne składniki pokarmowe. Często jednak można spotkać się z opinią, że ocena starszych tkanek nie jest

Tabela 3

Wartość krytyczna niedoboru miedzi w tkankach pszenicy ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  
Critical value of copper deficiency in wheat tissue ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Wartość krytyczna Critical value ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Część rośliny Part of plant	Faza rozwojowa Stage of development	Uwagi Notes	Źródło Source
3,0	cała część nadziemna whole above-ground part	pierwsze kolanko one-node stage	ozima; winter	Schnug 2007 (191)
3,4-5,0*	cała część nadziemna whole above-ground part	strzelanie w źdźbło shooting (6F)	ozima; winter polowe; field	Faber 1992 (55)
5,0	cała część nadziemna whole above-ground part	drugie kolanko/liść flagowy two-node stage/flag leaf (7/8F)	ozima; winter	Bergmann 1992 (14)
7,0	cała część nadziemna whole above-ground part	początek strzelania w źdźbło /pierwsze kolanko beginning of shooting/one node stage (5/6F)	ozima; winter	Bergmann 1992 (14)
2,5	cała część nadziemna whole above-ground part	początek kłoszenia early earing (10F)	jara; spring polowe; field	Karamanos i in. 2004 (105)
3,0	cała część nadziemna whole above-ground part	pierwsze kolanko one-node stage (6F)	jara; spring polowe; field	Karamanos i in. 2004 (105)
4,0	cała część nadziemna whole above-ground part	pierwsze kolanko one-node stage (6F)	jara; spring polowe; field	Karamanos i Goh 2004 (101)
5,0	cała część nadziemna whole above-ground part	początek kłoszenia early earing	jara; spring polowe; field	Jones i in. 1991 (95)
14,0	cała część nadziemna whole above-ground part	4-tygodniowe rośliny 4-week plants	wazonowe glasshouse	Fageria 2001 (57)
1,0	najmłodsze liście youngest leaves	pełnia krzewienia tillering	-	Nambiar 1976b (145)
1,3	najmłodsze liście youngest leaves	bez znaczenia unimportant	wazonowe glasshouse	Robson i in. 1984 (181)
1,4	najmłodsze liście youngest leaves	faza liścia flagowego flag leaf stage	jara; spring polowe; field	Brennan 2006 (20)
1,3-1,5	najmłodsze liście youngest leaves	43–62-dniowe rośliny 43–62-day plants	jara; spring wazon.; glassh.	Brennan i Bolland, (23, 24, 25, 26)
1,7	najmłodsze liście youngest leaves	45 dzień 45th day	twarda; durum wazon.; glassh.	Brennan i Bolland 2004b (28)
2,0	górny liść pędu top leaf	początek strzelania w źdźbło beginning of shooting	pszenica i owies wheat and oat	Ruszkowska i in. 1989 (186)
3,2	górny liść pędu głównego top leaf of main shoot	strzelanie w źdźbło shooting	ozima; winter polowe; field	Ruszkowska i in. 1990 (185)
3,4	liść flagowy pędu głównego flag leaf of main shoot	początek kłoszenia early earing	ozima; winter polowe; field	Ruszkowska i in. 1990 (185)
3,0-5,0	dwa górne liście two tops leaves	tuż przed kłoszeniem just before earing	ozima; winter	Jones i in. 1991 (94)
2,5	ziarno grain	pełna dojrzałość maturity	rośliny zbożowe cereals	Ruszkowska i in. 1991 (187)

\* zakres występowania istotnych zwyczajek plonów; range of significant yield increase

w pełni wiarygodna, a stan zaopatrzenia rośliny w miedź powinno się badać jedynie przy użyciu najmłodszych tkanek roślinnych (125, 181). Ma to związek z przemieszczaniem się miedzi w roślinie. G r a h a m i N a m b i a r (75) opisując szczegółowo mobilność miedzi w roślinie podają, że przy deficycie jest ona wiązana i unieruchomiana w starszych liściach, podczas gdy młode liście wykazują wtedy jej niedobór. R o b s o n i in. (181) podkreślają przydatność młodych tkanek do oceny twierdząc, że zawartość miedzi w najmłodszych liściach nie zmienia się wraz z wiekiem rośliny.

W tabeli 3 zaprezentowano proponowane przez różnych autorów wartości krytyczne niedoboru miedzi w tkankach roślinnych z wyszczególnieniem części rośliny pobieranej do analiz i fazy rozwojowej. Zwraca uwagę fakt znacznej rozpiętości podawanych wartości. I tak np. zawartość Cu w całych częściach nadziemnych w fazie pierwszego kolanka waha się od 3 do 7 mg · kg<sup>-1</sup>. Być może jest to spowodowane różnicami odmianowymi, które nie są na ogół uwzględniane w cytowanych badaniach. Generalnie można zauważyć, że zawartości dla całej części nadziemnej są wyższe niż dla najmłodszych liści i wahają się odpowiednio w zakresie: 2,5-14,0 i 1,0-5,0.

Ciekawy problem oceny zaopatrzenia roślin w Cu poruszają R u s z k o w s k a i in. (186), którzy uważają, że rośliny wyżej plonujące mają większe zapotrzebowanie na ten pierwiastek, stąd wartości krytyczne powinny być uzależnione od przewidywanego poziomu plonowania.

### Korekta niedoborów miedzi

Do uzupełniania niedoborów Cu w uprawie pszenicy najczęściej stosuje się siarczan miedzi. Ze względu na jego dobrą rozpuszczalność, mały koszt i łatwą dostępność jest on powszechnie używany zarówno do aplikacji doglebowej, jak i dolistnej. Siarczan miedzi jest również najczęściej stosownym w badaniach źródłem Cu (16, 19, 20, 22, 24, 26, 51, 55, 57, 60, 199, 78, 79, 100, 101, 102, 105, 122, 129, 130, 152, 153, 154, 160, 161, 185, 187, 226).

Prócz siarczanu do nawożenia miedzią stosowany jest także chelat oraz tlenochlorek i wodorotlenek miedzi. W badaniach P o t a r z y c k i e g o (160) wodorotlenek miedzi aplikowany dolistnie wykazał większe działanie plonotwórcze niż siarczan miedzi. B r e n n a n (22) oraz M a l h i i in. (129) udowodnili, że chelat miedzi stosowany dolistnie cechuje się większą efektywnością i może być stosowany w mniejszych dawkach niż inne nawozy, jednak i tak pozostaje najdroższym źródłem miedzi.

W celu skorygowania deficytu miedzi w glebie pszenicę można nawozić doglebowo lub dolistnie. Na ogół uważa się, że najlepsze efekty daje przedsiewne nawożenie doglebowe (2, 100, 101, 105, 199). Oprysk dolistny może być jednak bardziej efektywny w warunkach suszy, kiedy miedź glebowa jest bardzo słabo dostępna dla roślin (78). Ponadto oprysk jest najlepszym sposobem uzupełnienia miedzi, jeśli deficyt tego pierwiastka zostanie stwierdzony w czasie wegetacji roślin. Należy jednak pamiętać, że aplikacja dolistna działa tylko jednorazowo, podczas gdy nawożenie doglebowe wzbogaca glebę w miedź na kilka lat (199). O następczym działaniu miedzi dla psze-

nicy donoszą *Franzen* (59), *Gartrell* (61), *Malhi* i in. (130) oraz *Solberg* i in. (199). *Brennan* (20) wykazał, że efekt doglebowego nawożenia miedzią utrzymywał się przez okres 16-32 lat. Jeszcze po 32 latach od zastosowania miedzi w dawce 2,75 i 4,75 kg · ha<sup>-1</sup> w formie CuSO<sub>4</sub> plony pszenicy na obiektach nawożonych były większe niż na obiekcie kontrolnym.

Doglebowe dawki miedzi pod pszenicę wahają się w zakresie od 2,5 do 10,0 kg · ha<sup>-1</sup>. Na ogół na gleby organiczne powinno się stosować większe dawki niż na lekkie gleby mineralne (75). Według zaleceń nawozowych dla Północnej Dakoty w USA dawka 2,8 kg Cu · ha<sup>-1</sup> powinna być wystarczająca przy stwierdzeniu niedoborów tego pierwiastka (59). *Karamanos* i in. (102) na podstawie 115 doświadczeń polowych ustalili, że 3,5 kg Cu · ha<sup>-1</sup> jest dawką skuteczną i ekonomicznie opłacalną dla pszenicy rosnącej na deficytowych w miedź preriowych glebach kanadyjskich. Dawki wyższe uznali oni za ekonomicznie nieuzasadnione, pomimo uzyskiwania zwyżek plonów (101, 102). Ponadto wykazali, że dawki wyższe niż 6-7 kg Cu · ha<sup>-1</sup> mogą niekiedy powodować zmniejszenie plonów (100, 101). Z badań *Fabera* (55) wynika, że pod pszenicę należałoby zalecać dawkę 10 kg Cu · ha<sup>-1</sup>. Dawka 5 kg Cu · ha<sup>-1</sup> była w niektórych przypadkach za niska, a 20 kg · ha<sup>-1</sup> ekonomicznie nieuzasadniona. *Staniś* i *Wskalgłubiak* i *Korzeniowska* (204, 205) przy stwierdzeniu deficytu miedzi w glebie zalecają stosowanie pod pszenicę jako roślinę wrażliwą na jej niedobór dawek w zakresie 6-10 kg Cu · ha<sup>-1</sup>, w zależności od pojemności sorpcyjnej gleby.

Przy nawożeniu dolistnym najczęściej stosuje się dawki od 0,1 do 0,3 kg Cu · ha<sup>-1</sup> (199). *Karamanos* i in. (102, 105) zalecają wykonywanie oprysku miedzią w dawce 0,2, a *Malhi* i in. (129) w dawce 0,25 kg Cu · ha<sup>-1</sup>. *Brennan* (22) wykazał, że dawka 0,2 kg Cu w formie chelatu dawała podobny efekt jak dawka 0,4 kg · ha<sup>-1</sup> w formie siarczanowej. *Potarzycki* (160) w badaniach nad nawożeniem pszenicy miedzią stosował 0,125 kg Cu · ha<sup>-1</sup>. Według *Staniś* i *Wskalgłubiak* i *Korzeniowskiej* (204, 205) przy wykryciu niedoborów miedzi w czasie wegetacji roślin powinno się wykonać interwencyjny oprysk dolistny stosując 0,3 kg Cu · ha<sup>-1</sup>.

Zalecany termin wykonywania zabiegu nawożenia dolistnego waha się od fazy krzewienia do fazy początku kwitnienia. Na ogół uważa się, że aplikacja dolistna będzie skuteczna o ile zostanie wykonana przed kwitnieniem pszenicy (19, 22, 199). *Solberg* i in. (199) sugerują nawet, że późniejszy oprysk miedzią może powodować obniżkę plonu ze względu na przyspieszenie dojrzewania roślin. *Graham* (71) i *Brennan* (22) przyjmują, że najkorzystniejszym terminem aplikacji Cu jest faza krzewienia. *Brennan* (22) podkreśla wagę wczesnego wykonania oprysku ze względu na temperaturę w czasie zabiegu – wyższe temperatury mogą sprzyjać występowaniu oparzeń. Jednak *Karamanos* i in. (105) przypominają, że zbyt wczesna aplikacja (początek krzewienia) może być nieskuteczna ze względu na zbyt małą powierzchnię liści. Ci sami autorzy uważają, że jeśli wykonuje się tylko jednorazowy oprysk to najkorzystniejszym terminem wykonania zabiegu jest faza początku strzelania w źdźbło. Podobnie *Malhi* i in. (129) stwierdzili nieskuteczność zabiegu wykonanego w fazie 4. liścia, a zalecanym przez nich terminem jest faza

liścia flagowego. Według P o t a r z y c k i e g o (160) zarówno faza krzewienia, jak i faza pierwszego kolanka są odpowiednimi terminami aplikacji miedzi i przynoszą takie same efekty. W przypadku stwierdzenia głębokich niedoborów miedzi zalecane jest wykonanie dwóch oprysków. Według K a r a m a n o s a i in. (105) zabiegi te powinny być wykonane w fazie początku strzelania w źdźbło i początku kłoszenia, a według S o l b e r g a i in. (199) w fazie początku i pełni kłoszenia.

### Reakcja pszenicy na nawożenie miedzią

Nie ma wątpliwości, że przy deficycie miedzi pszenica wymaga nawożenia tym pierwiastkiem i reaguje zwiększoną plonem ziarna. Jednak wielkość przyrostu, a tym samym jej ekonomiczna opłacalność, uzależniona jest od głębokości deficytu, dawki miedzi, rodzaju nawozu i sposobu jego aplikacji oraz wielu innych czynników, takich jak: warunki wodne, temperatura, dostępność innych składników pokarmowych. Rozpiętość przyrostów plonów prezentowana w badaniach nad nawożeniem pszenicy miedzią w warunkach doświadczeń polowych jest bardzo duża i waha się od kilkuprocentowego do nawet dwudziestokrotnego wzrostu plonów. Z badań K a r a m a n o s a i in. (102) przeprowadzonych w oparciu o 115 doświadczeń polowych wynika, że uzyskana średnia przyrost plonów na glebach o dużych niedoborach miedzi ( $<0,4 \text{ mg Cu}_{\text{DTPA}} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) wynosiła 46,7%, a na glebach o mniejszych niedoborach 9,9%. Doświadczenia P i e n i n g i in. (158) prowadzone przy bardzo dużym deficycie  $\text{Cu}_{\text{DTPA}}$  w glebie ( $0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) wykazały nawet 20-krotny wzrost plonu ziarna pszenicy. W badaniach przeprowadzonych na podstawie 22 doświadczeń polowych K a r a m a n o s i in. (105) uzyskali 63-116% przyrost plonu przy stosowaniu nawożenia doglebowego, 28-78% przy jednorazowym oprysku dolistnym w fazie pierwszego kolanka oraz 41-105% przyrost przy dwukrotnym oprysku w fazie pierwszego kolanka i początku kłoszenia. M a l h i i in. (129) wykazali, że plony ziarna pszenicy uprawianej na glebie charakteryzującej się niedoborem Cu wzrastały o 59-109% w zależności od zastosowanego rodzaju nawozu i roku uprawy. F a b e r (55) stwierdził, że reakcja pszenicy na nawożenie miedzią, mierzona wielkością plonu, wahała się od 6,7-11,6% i była rezultatem współdziałania dawki z warunkami pogodowymi. Wpływ rodzaju nawozu na reakcję pszenicy na nawożenie opisał również P o t a r z y c k i (160). Zastosowany siarczan miedzi powodował mniejsze przyrosty plonów (5,3%) niż wodorotlenek miedzi (14,6%).

### Interakcja miedzi z azotem

Interakcja pomiędzy miedzią i azotem jest jednym z bardziej spektakularnych wzajemnych oddziaływań pierwiastków w żywieniu roślin. Zjawisko to opisane zostało już w latach 1950–1970 przez wielu badaczy (75). Wzajemny wpływ miedzi i azotu można najczęściej zaobserwować, gdy niedobór miedzi jest tzw. niedoborem ukrytym i nie występuje w formie objawów na roślinach lub w formie znaczących obniżek plonów. W takiej sytuacji zastosowanie wysokiego poziomu nawożenia azotem może spowodować wystąpienie symptomów deficytu miedzi bądź może dojść do znaczącego spadku

plonów w porównaniu z uprawami nienawożonymi tym składnikiem. Z drugiej strony zastosowanie łącznego nawożenia miedzią i azotem może powodować znaczny wzrost plonów ziarna pszenicy (82, 197). Wymagania pszenicy w stosunku do miedzi wzrastają bowiem przy wysokim poziomie nawożenia azotem (22).

Wzajemne oddziaływanie azotu i miedzi przejawia się w zmianach poziomu zawartości tych składników w tkankach roślinnych. Na ogół przyjmuje się, że oddziaływanie to ma charakter antagonistyczny, choć w niektórych publikacjach mówi się o zaobserwowanym synergizmie (96). J o n e s i in. (94) podają, że dodatek azotu do gleby, szczególnie przy niskiej zawartości Cu w glebie, zwiększa deficyt miedzi w tkankach roślinnych. Również R u s z k o w s k a i Ł y s z c z (184) opisują sytuację, w której wzrastające nawożenie miedzią powodowało systematyczny spadek zawartości N w liściach siewek pszenicy rosnącej na glebie piaskowej. Synergistycznie wzajemny wpływ azotu i miedzi zaobserwowała W a r e c h o w s k a (221). W prowadzonych przez nią badaniach większa dawka azotu istotnie zwiększała zawartość Cu w ziarnie pszenicy. Podobnie J o n e s i in. (94) podają, że dolistne zastosowanie Cu może zwiększać zawartość N w roślinie. Ciekawy problem wpływu miedzi na kształtowanie gospodarki azotem u pszenicy poruszył P o t a r z y c k i (161). Na podstawie przeprowadzonych badań sugeruje on, że w okresie nalewania ziarna rośliny dokarmiane miedzią intensywniej przemieszczały azot z części wegetatywnych do generatywnych, co dodatnio wpływało na wzrost kłosa i plonowanie pszenicy (161).

### 2.3. ZNACZENIE BORU W UPRAWIE PSZENICY

Pomimo że niezbędność boru w żywieniu roślin została stwierdzona przez W a r i n g t o n a (222) już w 1923 r., to do dziś funkcje fizjologiczne tego pierwiastka u roślin są słabiej poznane niż innych składników pokarmowych. Na temat roli boru istnieje wiele teorii, często już nieprawdziwych. Dotyczą one głównie zapotrzebowania ludzi i zwierząt na ten pierwiastek, jego mobilności w roślinach oraz wrażliwości pszenicy na niedobór tego składnika pokarmowego.

Do lat 80. panowało przekonanie, że bor będąc absolutnie koniecznym składnikiem pokarmowym dla roślin jest zbędny dla ludzi i zwierząt. Najnowsze badania prowadzone w USA obaliły ten pogląd i wykazały, że jest on potrzebny i wspomaga wiele procesów, takich jak: rozwój zarodkowy, wzrost i dobry stan kości, funkcje odpornościowe i poznawcze oraz zdolności psychomotoryczne (4, 85, 147, 148).

#### **Rola boru w roślinie**

W procesach życiowych roślin bor jest nieodzowny przede wszystkim w transporcie i metabolizmie cukrowców, w procesach wzrostu (podziały komórek, wzrost łagiewki pyłkowej) oraz w tworzeniu struktur ścian komórkowych (207). Obecnie udowodnio-



no, że kwas borowy jest niezbędny w połączeniach komponentów ściany komórkowej. Badania ostatnich lat prowadzone w Japonii przez M a t o h a i K o b a y a s h i (133, 134) dowiodły, że istnieje ścisły związek pomiędzy borem i polisacharydami ściany komórkowej. Wyizolowali oni jako pierwsi specyficzny kompleks B-pektyna-polisacharyd ze ściany komórkowej nazwany B-RG-II, który powszechnie występuje w roślinach. Analiza struktury kompleksu B-RG-II wykazała, że zbudowany jest on z kwasu borowego i dwóch łańcuchów monomerycznego polisacharydu RG-II. Kompleks B-RG-II został zidentyfikowany również w ścianach łagiewki pyłkowej, co potwierdza zapotrzebowanie na bor w procesie wytwarzania nasion.

Jeszcze do niedawna uważano, że bor jest jednym ze składników pokarmowych o znacznie ograniczonej mobilności w roślinach. Wskazywała na to analiza rozmieszczenia tego pierwiastka w organach roślin oraz objawy jego niedoboru i nadmiaru. W rzeczywistości u niektórych gatunków bor może być łatwo przemieszczany przez floem z jednych organów do drugich, co udowodniły badania B r o w n a i H u (30) oraz B r o w n a i S h e l p a (31). U gatunków, które wytwarzają odpowiednie ilości specjalnych wielocukrów – polioli – bor jest łatwo transportowany i przemieszczany w wyniku tworzenia się kompleksu „B-poliol”. W związku z tym pierwiastek ten może być bardzo łatwo przemieszczany u pewnych gatunków roślin, podczas gdy u innych jego mobilność jest silnie ograniczona. Bor jest pod tym względem wyjątkiem, żaden inny składnik pokarmowy nie wykazuje różnej mobilności w zależności od gatunku rośliny. Według B r o w n a i H u (30) do gatunków charakteryzujących się dużą mobilnością boru zalicza się jabłoni, gruszę, morelę, brzoskwinię, winorośl, oliwkę i seler. Pszenica jest gatunkiem o ograniczonej mobilności boru. Na uwagę zasługuje fakt podkreślany przez B r o w n a i H u (30), że nie tylko gatunki, ale również odmiany w pewnym stopniu mogą się różnić mobilnością boru. Konsekwencją tego może być różna wrażliwość odmian na niedobory tego składnika.

### **Wrażliwość pszenicy na niedobór boru**

Do niedawna panował pogląd, że wymagania pszenicy w stosunku do boru są tak niewielkie, że nawożenie jej tym pierwiastkiem jest zbędne, a nawet szkodliwe (32, 106, 124). Pogląd ten wynikał najprawdopodobniej z faktu, że rośliny jednoliścienne, a szczególnie zboża, charakteryzują się kilkakrotnie niższą zawartością boru w tkankach niż rośliny dwuliścienne (6, 7, 11, 50, 96). Ponadto takiemu przekonaniu sprzyjało istnienie stosunkowo wąskiego przedziału pomiędzy niezbędną a toksyczną zawartością boru dla roślin (12, 45, 56, 166). Nie bez znaczenia był również fakt, że brak boru u roślin jednoliściennych objawia się głównie trudno zauważalną nieplodnością kwiatów, nie powodując widocznych objawów niedoboru występujących na częściach wegetatywnych, jak to ma miejsce w przypadku roślin dwuliściennych. Obecnie wiadomo, że mniejsze pobranie boru przez pszenicę niż przez inne gatunki nie jest równoważne z zupełnym brakiem zapotrzebowania na ten pierwiastek i nie świadczy o braku wrażliwości na jego niedobór. Badania ostatnich lat wykazały dużo większą wrażliwość pszenicy na niedobory boru niż powszechnie uważano. W rzeczywistości

z powodu występowania męskiej niepłodności kwiatów przy braku boru pszenicę można zaliczyć do grupy roślin szczególnie wrażliwych na niedobory tego pierwiastka. Przy niedostatecznym zaopatrzeniu w bor rośliną ta reaguje znacznie większym spadkiem poziomu plonów ziarna niż ryż, kukurydza czy soja (172).

### **Występowanie niedoborów boru w uprawie pszenicy na świecie**

Doniesienia o niedoborach boru u pszenicy dotyczą przede wszystkim Azji, w tym takich krajów jak: Chiny, Indie, Pakistan, Nepal, Bangladesz i Tajlandia. W krajach tych uprawia się głównie wysokopienne odmiany pszenicy wyhodowane w CIMMYT (Międzynarodowe Centrum Doskonalenia Kukurydzy i Pszenicy w Meksyku). Wydaje się, że wiele odmian z CIMMYT charakteryzuje się słabym wykorzystywaniem boru i w sytuacji niedoboru tego składnika w glebie reaguje dużym zmniejszeniem plonów. R e r k a s e m i J a m j o d (172) donoszą, że tysiące wysoko wydajnych linii pszenicy uzyskanych przez naukowców z CIMMYT testuje się każdego roku w rozwijających się krajach Azji. Zaobserwowano złe wykorzystanie B z gleby przez te linie pszenicy (w porównaniu z odmianami Fang 60 lub Sonora 64) powiązane z męską sterylnością. Około 30-40% tych linii zawiązuje w warunkach niedoboru boru jedynie 1-2 ziaren w kłosie lub żadnego, podczas gdy odmiana Fang 60 plonuje normalnie. Nawożenie borem mogłoby pozwolić odmianom źle wykorzystującym B z gleby na ujawnienie całego swojego potencjału produkcyjnego.

Relacje o niedoborach boru dla pszenicy pojawiające się w literaturze światowej skłoniły polskich badaczy do zajęcia się tym problemem. Również w naszym kraju ukazały się publikacje wskazujące na niedostateczne zaopatrzenie pszenicy w bor. Według G e m b a r z e w s k i e g o i n. (65) pszenica ozima pobrana ze 138 pól (na 200 badanych) w fazie strzelania w źdźbło charakteryzowała się niewystarczającą zawartością boru. Podobnie W r ó b e l (233) przeanalizował wyniki badań nad pszenicą jarą z 61 pól i stwierdził, że rośliny aż z 78% pól wykazywały zbyt niską zawartość boru w porównaniu z zakresem optymalnym podawanym przez B e r g m a n n a (14).

### **Objawy niedoboru boru u pszenicy**

Niedobory boru ujawniają się u pszenicy dopiero przy formowaniu organów generatywnych i wtedy wzrasta jej zapotrzebowanie na bor. We wczesnych fazach rozwojowych rośliną ta ma znacznie niższe potrzeby niż rośliny dwuliścienne i właściwie nie wykazuje symptomów niedoboru tego pierwiastka (6, 7, 45). A s a d (6) wykazał, że krytyczna zawartość B w liściach 10-dniowych siewek pszenicy wynosiła 1,2, podczas gdy słonecznika 19,7 mg · kg<sup>-1</sup>. Również B e l l (11) stwierdza, że krytyczna zawartość boru jest dla pszenicy 10-krotnie niższa niż dla roślin dwuliściennych. Mniejsze wymagania roślin jednoliściennych niż dwuliściennych w stosunku do boru w procesie wytwarzania części wegetatywnych są najprawdopodobniej związane z różnicami w budowie ściany komórkowej (131).



Objawy niedoboru boru u pszenicy są mało przydatne do diagnostyki, są bowiem trudne do zauważenia w warunkach polowych. Rośliny pszenicy aż do okresu kwitnienia rosną i rozwijają się normalnie, nie wykazując żadnych objawów (84, 172, 177). Pierwszym typowym symptomem niedoboru B jest męska niepłodność kwiatów. Kwiaty w kłoskach pozostają otwarte przez wiele dni (dłużej niż normalnie), a następnie nie zawiązują ziarna. Chen g i R e r k a s e m (46) stwierdzili, że przy braku boru dochodzi do zaburzeń w kiełkowaniu pyłku i wzroście łagiewki pyłkowej. H u a n g i in. (84) wykazali nieprawidłowości w budowie pylników i wytwarzaniu pyłku. Stwierdzili ponadto, że okres krytyczny, w którym niedobór boru powoduje największe i nieodwracalne szkody trwa około 7 dni od momentu pojawienia się liścia flagowego. W badaniach R e r k a s e m a i J a m j o d a (171) aplikacja boru bezpośrednio do kwiatów na znamiona roślin cierpiących na jego niedobór powodowała wzrost liczby zawiązywanych ziaren w kłosie, potwierdzając zwiększone zapotrzebowanie pszenicy na bor w czasie zapylenia i zapłodnienia. R e r k a s e m i in. (177) stwierdzili, że zmiany w pylnikach pszenicy spowodowane niedoborami boru różnią się od zmian spowodowanych niedoborem miedzi, który również prowadzi do męskiej sterylności kwiatów. Przy niedoborze boru nie stwierdzili oni występowania ameboidalnych komórek tapetum oraz braku zdrewniałych komórek wyścielających pylniki, które zaobserwowali J e w e l l i in. (93) oraz D e l l (49) badając niedobory miedzi.

Efekt męskiej niepłodności kwiatów spowodowanej brakiem boru jest zmniejszona liczba ziaren w kłosie i co za tym idzie spadek poziomu plonów ziarna pszenicy. Nie towarzyszy temu jednak spadek liczby kłosów lub mniejszy plon słomy (174). Potwierdza to większe zapotrzebowanie pszenicy na B przy wzroście części generatywnych niż wegetatywnych. Inne rośliny, takie jak słonecznik czy rzepak również mają większe zapotrzebowanie na B w czasie wytwarzania organów generatywnych, ale różnią się od pszenicy tym, że przy braku boru spada również plon części wegetatywnych (8). Pszenica jest pod tym względem inna – przy niedoborze boru obserwuje się jedynie męską sterylność kwiatów, a co za tym idzie występują problemy z zawiązywaniem ziarna. Innym ciekawym zjawiskiem zaobserwowanym u pszenicy niewystarczająco zaopatrzonej w bor jest wzrost masy pojedynczych ziaren towarzyszący spadkowi liczby ziaren w kłosie (156, 208).

### **Diagnoza niedoborów boru dla pszenicy**

W celu oceny niedoborów boru można posłużyć się obserwacją roślin, analizą gleby, analizą roślin oraz reakcją roślin na nawożenie tym składnikiem (11). W przypadku deficytu boru obserwujemy u pszenicy męską niepłodność kwiatów, lecz zjawisko to jest na tyle trudno zauważalne, że uważa się je za nieprzydatne do diagnozowania w warunkach polowych (175).

Zawartość tzw. przyswajalnego dla roślin boru w glebie oznacza się stosując ekstrakcję gorącą wodą według B e r g e r a i T r u o g a (13). Jest to aktualnie najpopularniejsza metoda używana w większości laboratoriów na świecie (11, 194). Prócz gorącej wody do ekstrakcji boru używa się jeszcze 0,01 M CaCl<sub>2</sub>, rzadziej

roztworu 0,05 M HCl, Mehlich-3 oraz octanu amonu (11). Niewielu autorów podaje krytyczny poziom boru w glebie dla pszenicy. Znacznie większa liczba badaczy zajmuje się krytycznym poziomem tego pierwiastka w tkankach roślinnych. Zawartość  $B_{H_2O}$  w glebie, przy której pszenica jest niewystarczająco zaopatrzona w ten pierwiastek wynosi według badań R e r k a s e m a i L o n e r a g e n a (175) 0,1 oraz L i i i n. (120) 0,3-0,4, a według A s c h e r i n. (9)  $0,5 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

W Polsce od 1986 r. do oznaczania boru w glebie stosuje się 1 M HCl, który jest wspólnym ekstrahentem dla wszystkich 5 mikroelementów pokarmowych. Oceny zasobności gleby w bor dokonuje się na podstawie liczb granicznych opracowanych dla tego ekstrahenta w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach (64, 239). Wspomniane liczby graniczne zostały opracowane dla buraka cukrowego, którego cechuje znacznie większe pobranie boru niż pszenicę. Można się spodziewać, że z tego powodu ocena zasobności gleby przy ich użyciu będzie dla pszenicy zbyt rygorystyczna. To znaczy, że zawartość określona jako niska może okazać się wystarczająca dla pszenicy. Pewnej korekty tych liczb dokonał W r ó b e l (231, 232), wyznaczając odrębne grupy liczb nie tylko dla poszczególnych klas odczynu, ale także dla kategorii agronomicznych gleb. Nowe liczby graniczne są znacznie bardziej precyzyjne, jednak poprawione zostały w oparciu o badania nad burakiem cukrowym i stąd mogą być także nie w pełni przydatne dla pszenicy. W nielicznych pracach krajowych poruszających problem boru w uprawach pszenicy zarówno F a b e r (55), jak i W r ó b e l i S i e n k i e w i c z (236) donoszą o dodatniej reakcji na nawożenie przy zawartości  $B_{HCl}$  w glebie wynoszącej około  $0,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Oceniając zaopatrzenie pszenicy w bor na podstawie jego zawartości w roślinie należy uwzględnić wiek oraz organ rośliny pobierany do analiz (11). Wartości krytyczne podawane przez różnych autorów różnią się od siebie. W tabeli 4 przedstawiono próg niedoboru boru dla pszenicy podawany w różnych publikacjach.

A s a d i i n. (7) dowiedli, że krytyczna zawartość boru w liściach siewek pszenicy wynosiła  $1,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. Według B e r g m a n n a (14) oraz J o n e s a i i n. (94) granica niedoboru B w pędach pszenicy wynosi 5-6  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  w fazie strzelania w źdźbło lub w fazie kłoszenia. R a s h i d i i n. (166) wykazali, że krytyczna zawartość waha się w zakresie 4-6 mg w pędach pszenicy w czasie krzewienia, 5-7 mg w liściu flagowym na początku kłoszenia, a w ziarnie wynosi  $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . F a b e r (55) stwierdził, że przy zawartości 2,5-4,5  $\text{mg B} \cdot \text{kg}^{-1}$  w całych pędach w fazie strzelania w źdźbło nawożenie borem powodowało istotny wzrost plonu ziarna. R e r k a s e m i L o n e r a g e n (175) wykazali, że zawartość 3-7  $\text{mg B} \cdot \text{kg}^{-1}$  w liściu flagowym pszenicy w czasie kłoszenia była niewystarczająca. Według najnowszych, jeszcze niepublikowanych, badań S h n u g a (191) przeprowadzonych na 6000 prób pszenicy krytyczna zawartość boru we wszystkich częściach nadziemnych w fazie pierwszego kolanka wynosi  $2,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Na ogół przyjmuje się, że pszenica wykazuje znacznie większe zapotrzebowanie na bor w trakcie rozwoju części generatywnych niż wegetatywnych. Pylniki pręcików powinny zawierać nie mniej niż 8-10  $\text{mg B} \cdot \text{kg}^{-1}$ , aby proces zawiązywania ziarna mógł przebiegać prawidłowo (176, 177). R e r k a s e m i J a m j o d (172)

Tabela 4

Wartość krytyczna niedoboru boru w tkankach pszenicy ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  
Critical value of boron deficiency in wheat tissue ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Wartość krytyczna Critical value ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Część rośliny Part of plant	Faza rozwojowa Stage of development	Uwagi Notes	Źródło Source
1,2	liście leaves	10-dniowe siewki 10-day seedlings	jara spring	Asad i in. 2001 (7)
6,0	cała część nadziemna whole above-ground part	początek kłoszenia early earing	jara spring	Jones i in. 1991 (94)
6,0	cała część nadziemna whole above-ground part	początek strzelania w źdźbło /pierwsze kolanko beginning of shooting/one node stage (5/6F)	ozima i jara winter and spring	Bergmann 1992 (14)
5,0	cała część nadziemna whole above-ground part	drugie kolanko/liść flagowy two-node stage/flag leaf (7/8F)	ozima i jara winter and spring	Bergmann 1992 (14)
2,5-4,5*	cała część nadziemna whole above-ground part	strzelanie w źdźbło shooting (6F)	ozima winter	Faber 1992 (55)
4,0-6,0	cała część nadziemna whole above-ground part	krzewienie tillering	jara spring	Rashid i in. 2002 (166)
2,5	cała część nadziemna whole above-ground part	pierwsze kolanko one-node stage	ozima winter	Schnug 2007 (191)
5,0-7,0	liść flagowy flag leaf	początek kłoszenia early earing (10F)	jara spring	Rashid i in. 2002 (166)
8,0-10,0	pylniki anthers	kwitnienie flowering	jara spring	Rerkasem i Lordkaew 1996 (176), Rerkasem i in. 1997 (177)
2,0	ziarno grain	pełna dojrzałość maturity	jara spring	Rashid i in. 2002 (166)

\* zakres występowania istotnych zwyczajek plonów; range of significant yield increase

podkreślają, że zawartość w liściu flagowym i w kłosach nie jest w pełni wiarygodnym wskaźnikiem zaopatrzenia roślin. Najbardziej precyzyjnym wskaźnikiem jest zawartość tego pierwiastka w pylnikach, która ze względów praktycznych jest niemożliwa do zbadania w warunkach produkcji polowej.

Należy pamiętać, że zarówno analiza glebowa, jak i roślinna są trudne do interpretacji i nie zawsze miarodajne. Dostępność boru glebowego zależy od takich czynników, jak: skład granulometryczny, odczyn, zawartość substancji organicznej, temperatura i opady (194), a zawartość B w roślinie jest różna dla poszczególnych organów, faz rozwojowych i odmian. Ostateczną weryfikacją niedoborów boru dla roślin jest ich dodatnia reakcja na aplikację tego składnika.

### Zróżnicowanie wrażliwości odmian pszenicy na niedobór boru

W 1984 roku G r a h a m (69) zdefiniował efektywność wykorzystania danego składnika pokarmowego jako zdolność genotypu (odmiany) do dobrego wzrostu i plonowania na glebie, w której składnik ten jest w niedoborze dla genotypu wzorcowego. Ta prosta definicja pozwoliła na eksperymentalne porównywanie odmian, pomimo że mechanizm ich zróżnicowania nie był i nadal nie jest w pełni wyjaśniony. Rozszerzając tę definicję R e r k a s e m i J a m j o d (173) zdefiniowali efektywność wykorzystania boru jako zdolność genotypu/odmiany do prawidłowego funkcjonowania na glebie o zawartości boru zbyt niskiej dla innych odmian.

Doniesienia o niedoborach B w uprawie pszenicy napływające z Chin (120), Nepalu (208, 209), Bangladeszu (1), Turcji (200) i Tajlandii (173, 174, 175, 230) podkreślają odmienną reakcję odmian na deficyt boru. Zróżnicowanie genotypowe wykorzystania B przez pszenicę jest większe niż u innych gatunków roślin i większe niż w przypadku innych pierwiastków. Różne odmiany pszenicy rosnące na tej samej glebie o niskiej zawartości boru mogą oscylować od najgorzej wykorzystujących bor, czyli w ogóle niewytwarzających ziarna z powodu męskiej sterylności kwiatów, do najlepiej wykorzystujących, charakteryzujących się normalną liczbą ziaren w kłosie (171). Odmiany tolerancyjne na niedobór boru nazywane są często „B-efektywnymi”, a nietolerancyjne „B-nieefektywnymi”. Odmiana Fang 60, niezmiennie wykazująca w badaniach bardzo dobre wykorzystanie boru, traktowana jest jako standard wysokiej efektywności (172). R e r k a s e m i J a m j o d (171) wydzielili 5 klas wrażliwości odmian pszenicy na niedobór B i na tej podstawie scharakteryzowali 252 odmiany pochodzące z Azji, Australii i Ameryki Południowej. Według tych badań zaliczono do bardzo wrażliwych 153, do wrażliwych 59, do średnio wrażliwych 17, do średnio tolerancyjnych 14 i tolerancyjnych 9 odmian pszenicy. Skrajne grupy odmian, najlepiej i najslabiej wykorzystujące B z gleby, można dużo łatwiej rozpoznać po zawartości B w liściach niż grupy odmian bardziej do siebie zbliżone (175, 209). Męska niepłodność kwiatów skorelowana jest raczej z zawartością boru w pylnikach niż w liściach (177). Odmiany o dużej efektywności wykorzystania boru nie wykazują objawów sterylności, ponieważ tak gospodarują borem, że pylniki zawierają potrzebną jego ilość.

Bor jest jedynym pierwiastkiem spośród składników pokarmowych, który u jednych gatunków jest łatwo przemieszczany w roślinie przez floem, podczas gdy u innych jego przemieszczanie jest silnie ograniczone (31). Niektórzy autorzy sugerują, że zjawisko to może tłumaczyć różną wrażliwość odmian pszenicy na niedobór boru. Pewne odmiany mogą być bardziej tolerancyjne od innych, ponieważ potrafią przemieszczać bor ze starszych tkanek do rosnących kłosów (83, 209). Sugestie te nie znalazły potwierdzenia w badaniach N a c h i a n g m a i i n. (143), którzy nie znaleźli dowodów na remobilizację boru przez wysoce tolerancyjną na jego brak odmianę Fang 60. Przy użyciu znakowanego boru autorzy śledzili drogę przedostawania się boru do kłosów u 2 odmian: wrażliwej na niedobór B SW41 i tolerancyjnej Fang 60. Wykazali, że lepsze wykorzystanie boru przez Fang 60 było prawdopodobnie związa-

ne ze sprawniejszym transportem boru z pożywki do kłosów przez ksylem niż z jego retranslokacją z części wegetatywnych.

### Reakcja pszenicy na nawożenie borem

Literatura światowa podaje, że reakcja pszenicy na aplikację boru w warunkach deficytu tego pierwiastka jest silnie uzależniona od badanej odmiany. Rozpiętość reakcji wyrażonej zwyżką plonu ziarna waha się dla różnych odmian od zera do kilkuset procent w zależności od ich wrażliwości. W tych samych warunkach glebowych niektóre odmiany w ogóle nie reagują na nawożenie borem, podczas gdy inne praktycznie wcale nie zawiązują ziarna bez nawożenia, a po aplikacji boru wydają normalny plon.

S u b e d i i in. (208) donoszą, że w badaniach prowadzonych w Nepalu z 6 odmianami pszenicy uzyskano ich skrajnie zróżnicowaną reakcję na nawożenie borem. Trzy z badanych odmian w ogóle nie wytworzyły ziarna w warunkach braku nawożenia borem, a po zastosowanym nawożeniu plonowały na poziomie  $1,6-2,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Kolejne dwie odmiany reagowały 33 i 73% wzrostem plonu, a ostatnia z odmian zareagowała 5% spadkiem plonu. R e r k a s e m i L o n e r a g e n (175) badając dwie odmiany o różnej wrażliwości na deficyt boru uzyskali 25-65% zwyżkę plonu ziarna. Również w badaniach P a n t a i in. (156) jedna odmiana zareagowała 73%, a druga jedynie 3% zwyżką plonu na aplikację boru. S o y l u i in. (200) badali reakcję 6 odmian pszenicy na nawożenie borem w dawce  $1, 3 \text{ i } 9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Aplikacja boru w ilości  $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  powodowała wzrost plonów wszystkich badanych odmian w zakresie 4-26%, zależnie od odmiany. Nawożenie większymi dawkami u jednych odmian powodowało 8-38% zwyżki, podczas gdy u innych 4-11% obniżki plonów ziarna.

Na świecie prowadzone są również badania w celu określenia optymalnej dawki boru dla pszenicy. Na ogół w badaniach stosuje się  $1 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$  doglebowo (156, 200, 209). Jednak z badań prowadzonych w Turcji przez T o p a l a i in. (214) wynika, że lepsze działanie ma dawka 2 niż  $1 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Jednocześnie dawka  $3 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$  okazała się za wysoka. R a s h i d i in. (166) w badaniach przeprowadzonych w Pakistanie wykazali 11% wzrost plonu pszenicy nawożonej  $1,2 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Dawki powyżej  $4 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$  obniżały plon ziarna, przy czym nie powodowały zmniejszenia plonu słomy. Plon słomy zmniejszał się dopiero przy dawkach powyżej  $8 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

W Polsce brak jest badań dotyczących porównania reakcji różnych odmian pszenicy na bor. Badano natomiast wpływ sposobu stosowania, wielkości dawek i działania następczego boru dla pszenicy. Z badań W r ó b l a i H r y Ń c z u k a (234) oraz W r ó b l a i S i e n k i e w i c z (236) wynika, że znaczne lepsze efekty daje doglebowe nawożenie pogłównie niż przedsiewne. Autorzy tłumaczą to szkodliwym działaniem boru na kielki pszenicy. W r ó b e l i S i e n k i e w i c z (236) proponują pogłównie doglebowe nawożenie w dawkach  $1,2-1,8 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$  lub  $0,17 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$  w oprysku dolistnym. Uzyskiwane przy tych dawkach zwyżki plonu ziarna pszenicy wynosiły około 6-10%. Dawki wyższe wynoszące  $2,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  stosowane doglebowo oraz  $0,34 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$  stosowane dolistnie powodowały niekiedy zmniejszenie plonu.

F a b e r (55) stwierdził dodatnie działanie następcze boru dla pszenicy. Dawka  $2 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$  w trzecim roku po nawożeniu spowodowała wzrost plonu ziarna o 5,8% w stosunku do kontroli.

### Potrzeba dalszych badań

Zagadnienie deficytu boru w uprawie pszenicy zasługuje na uwagę ze względu na stwierdzone w naszym kraju niedobory tego pierwiastka w glebie. Badania inwentaryzacyjne gleb Polski przeprowadzone przez IUNG w Puławach we współpracy ze stacjami chemiczno-rolniczymi (117, 150) i potwierdzone analizami roślin (63) wykazały, że mamy w kraju aż 60-75% gleb ubogich w bor. Z przeprowadzonego przez Czubę (48) bilansu mikroelementów we współczesnych systemach nawożenia wynika, że najniższe pokrycie potrzeb roślin na mikroelementy dotyczy właśnie boru, a w następnej kolejności miedzi. Wydaje się, że w świetle przedstawionych wyników, jak również istniejących w Polsce niedoborów boru w glebach należałoby podjąć badania w celu sprawdzenia czy uprawiane u nas odmiany pszenicy różnią się wykorzystaniem tego pierwiastka tak znacząco, jak odmiany uprawiane w innych rejonach świata. Być może na glebach deficytowych w bor niektóre odmiany, charakteryzujące się małą efektywnością wykorzystania tego pierwiastka, mogą wymagać jego uzupełnienia poprzez nawożenie.

### 3. METODYKA I WARUNKI BADAŃ

Badania nad określeniem zapotrzebowania pszenicy na wybrane mikroelementy realizowano w trzech etapach:

- doświadczenia polowe z doglebowym nawożeniem pszenicy jarej cynkiem,
- doświadczenia polowe z dolistnym nawożeniem różnych odmian pszenicy ozimej miedzią i borem,
- doświadczenia mikropoletkowe z dolistnym nawożeniem pszenicy ozimej miedzią na tle różnego poziomu agrotechniki i nawożenia azotem.

W przeprowadzonych doświadczeniach zastosowano różne metody eksperymentalne wynikające zarówno z celów badawczych, jak i ówczesnych możliwości Instytutu. W pierwszym etapie, prowadzonym na bardzo szeroką skalę, badaniami objęto obszar prawie całego kraju, co umożliwiło wnioskowanie o potrzebach nawożenia cynkiem pszenicy w Polsce. Zastosowana w doświadczeniach doglebowa aplikacja cynku miała na celu zbadanie efektu następczego oraz wskazanie najefektywniejszej dawki nawozowej dla pszenicy.

W przeciwieństwie do doświadczeń z cynkiem, w kolejnym etapie badań zrealizowanym w oparciu o dwa punkty eksperymentalne, o zróżnicowanych warunkach klimatyczno-glebowych, wykorzystano metodę dolistnego nawożenia mikroelementami. Celem tych doświadczeń było prześledzenie różnic odmianowych w reakcji pszenicy na nawożenie borem i miedzią, a nie badanie efektu następczego bądź precyzowanie



zaleceń nawozowych. Badania nad różną wrażliwością roślin na mikroelementy prowadzone są na świecie głównie w oparciu o tańszą i nieoddziałującą na roślinę następczą aplikację dolistną.

W ostatnim etapie badań wykonano eksperymenty mikropoletkowe, wykorzystując specjalnie wydzielone do tego celu fragmenty doświadczeń realizowanych w ramach Porejstrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO). Metody badawcze zastosowane w tych eksperymentach wynikały z metodyki opracowanej i wykorzystywanej w Centralnym Ośrodku Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU).

### 3.1. DOŚWIADCZENIA POŁOWE Z DOGLEBOWYM NAWOŻENIEM PSZENICY JAREJ CYNKIEM

We współpracy z Działami Doświadczalnictwa Terenowego Wojewódzkich Ośrodków Postępu Rolniczego (WOPR) przeprowadzono 74 ściśle, jednoroczne doświadczenia polowe na terenie 13 obecnie istniejących województw (rys. 1). W doświadczeniach badano wpływ nawożenia cynkiem w drugim roku po jego aplikacji na plonowanie pszenicy jarej. Cynk stosowano rok wcześniej pod kukurydzę, która była przedplonem dla pszenicy. Zastosowanie cynku pod roślinę poprzedzającą pozwoliło na zbadanie efektu następczego doglebowego nawożenia cynkiem dla pszenicy w wa-



Rys. 1. Lokalizacja doświadczeń z pszenicą jarą nawożoną cynkiem  
Locality of field trials with spring wheat

runkach klimatyczno-glebowych Polski. Badania z innych rejonów świata wskazują na wieloletnie następcze działanie doglebowej aplikacji cynku.

Doświadczenia prowadzono w okresie 3 lat (1987–1989), odpowiednio w 31, 22 i 21 różnych punktach doświadczalnych. Ze względu na to, że metody oceny zasobności gleb w mikroelementy budziły szereg wątpliwości przy wyborze pól nie kierowano się zasobnością gleby w Zn, a punkty doświadczalne zostały wybrane losowo. Dodatkowym celem takiego postępowania było uzyskanie różnorodnego materiału badawczego, który reprezentowałby przeciętne warunki glebowe w Polsce. Umożliwiło to wnioskowanie o potrzebach nawożenia pszenicy cynkiem w skali całego kraju.

Charakterystykę gleb doświadczalnych podano w tabeli 5. Ponad połowę doświadczeń założono na glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych (48 z 74), bardzo lekkich i lekkich (42 z 74), o zawartości materii organicznej nieprzekraczającej 2% (51 z 74) oraz o średniej zawartości cynku ( $52_{1M HCl}/48_{0,1M HCl}$  z 74). Wyjściowa, w wielu przypadkach niska, zasobność gleb w P, K i Mg była optymalizowana odpowiednim nawożeniem.

Każde pojedyncze doświadczenie zakładano metodą bloków losowanych w 4 powtórzeniach. Pod przedplon pszenicy (kukurydzę) zastosowano przedsiewne doglebowe nawożenie cynkiem: 0, 5, 10, 15 i 20  $kg \cdot ha^{-1}$  w formie  $ZnSO_4$ . Poziom nawożenia NPKMg ustalono dla każdego punktu doświadczalnego indywidualnie zgodnie z zaleceniami IUNG (132), uwzględniając potrzeby nawożenia azotem oraz wyjściową zasobność gleby w fosfor, potas i magnez. Dawki N wahały się w granicach 60-120,  $P_2O_5$  – 10-90,  $K_2O$  – 60-150 oraz Mg – 20-40  $kg \cdot ha^{-1}$ . Wielkość poletka wynosiła 40  $m^2$ , do zbioru 25  $m^2$ . W doświadczeniach wysiano różne odmiany pszenicy jarej w zależności od lokalizacji punktów doświadczalnych (Kadett, Jara, Henika, Eta, Alfa, Gama). Umożliwiło to potraktowanie średnich ze wszystkich doświadczeń jako danych reprezentatywnych dla pszenicy jarej jako gatunku.

Do analiz pobrano próby ziarna i gleby z obiektów kontrolnych poszczególnych 74 doświadczeń. Z każdego poletka obiektu kontrolnego pobierano reprezentatywną próbę, a następnie 4 próby łączono w średnią próbę obiektową (razem 296 pojedynczych prób ziarna i 296 prób gleb). Wszystkie próby pobierane były przez pracowników Działów Doświadczalnictwa Terenowego WOPR, a następnie przesyłane do oddziału IUNG we Wrocławiu, gdzie były łączone i analizowane. Próby glebowe pobierano łaską glebową z warstwy 0-20 cm. W próbach ziarna oznaczano zawartość cynku, a w próbach glebowych zawartość przyswajalnych form makro- i mikroelementów, odczyn gleby, zawartość węgla organicznego i skład granulometryczny (patrz rozdz. 3.3. – Pobieranie prób i analizy chemiczne).

Warunki pogodowe w 3-letnim okresie badań scharakteryzowano za pomocą współczynnika hydrotermicznego Seljaninowa dla czterech miesięcy najintensywniejszego wzrostu i rozwoju pszenicy jarej (rys. 2). Ze względu na dużą liczbę punktów doświadczalnych zlokalizowanych na terenie całego kraju zdecydowano się na obliczenie współczynnika hydrotermicznego średniego dla Polski. Do obliczeń posłużono się danymi z 12 stacji meteorologicznych zlokalizowanych na obszarach o największym



Tabela 5

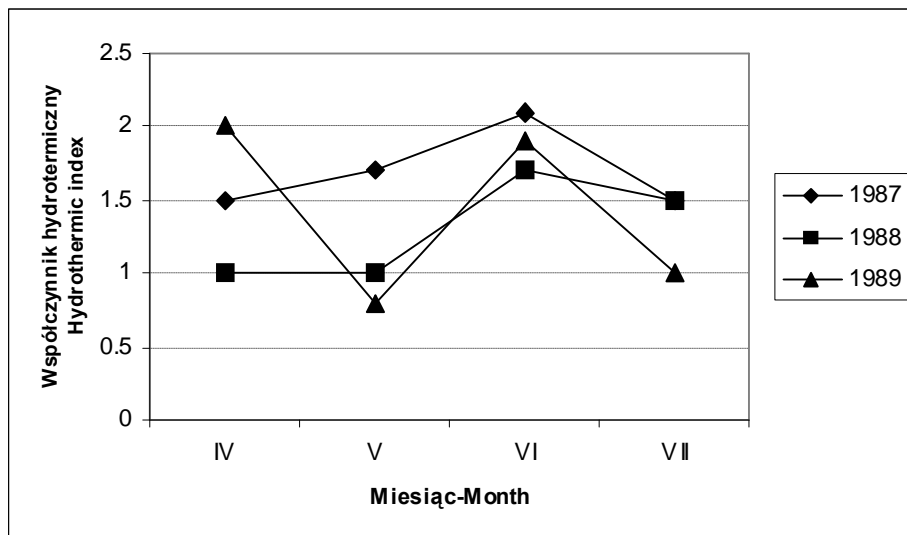
Charakterystyka gleb z obiektów kontrolnych oraz liczba doświadczeń w zależności od wielkości plonu kontrolnego i cech gleby  
Soil characteristic of control treatments and number of trials depending on the level of control yield and soil features

Wyszczególnienie Specification	Średnia i zakres Mean and range	Grupa doświadczeń Group of trials	Liczba doświadczeń No. of trials
Plon kontrolny; Control yield (t · ha <sup>-1</sup> )	4,1 (1,5-6,2)	<3,5	21
		3,5-4,5	28
		>4,5	25
Odczyn gleby; Soil pH (w/in KCl)	5,3 (4,1-7,3)	bardzo kwaśny; strongly acid	22
		kwaśny; acid	26
		lekko kwaśny; light acid	16
		obojętny; neutral	10
Fracja <0,02 mm (%) – Kategoria agronomiczna Particles <0,02 mm (%) – Soil category	22 (10-45)	bardzo lekka; very light	5
		lekka; light	37
		średnia; medium	24
		ciężka; heavy	8
Zawartość materii organicznej Content of organic matter (%)	1,8 (0,7-3,8)	<1,0	5
		1,0-2,0	46
		2,1-3,0	18
		>3,0	5
Zawartość P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg · kg <sup>-1</sup> ) Content P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg · kg <sup>-1</sup> )	112 (34,0-240,0)	bardzo niska; very low	6
		niska; low	28
		średnia; medium	29
		wysoka; high	6
		bardzo wysoka; very high	5
Zawartość K <sub>2</sub> O (mg · kg <sup>-1</sup> ) Content K <sub>2</sub> O (mg · kg <sup>-1</sup> )	173 (71,0-481,0)	bardzo niska; very low	8
		niska; low	21
		średnia; medium	32
		wysoka; high	9
		bardzo wysoka; very high	4
Zawartość Mg (mg · kg <sup>-1</sup> ) Content Mg (mg · kg <sup>-1</sup> )	42 (5,0-185,0)	bardzo niska; very low	26
		niska; low	18
		średnia; medium	16
		wysoka; high	9
		bardzo wysoka; very high	5
Zawartość Zn (1 M HCl)* Content Zn (1 M HCl)*	8,6 (3,0-105,0)	niska; low	6
		średnia; medium	52
		wysoka; high	16
Zawartość Zn (0,1 M HCl)** Content Zn (0,1 M HCl)**	5,7 (1,2-91,0)	niska; low	3
		średnia; medium	48
		wysoka; high	23

\* wg nowych liczb granicznych; acc. new threshold values

\*\* wg starych liczb granicznych; acc. old threshold values

zagęszczeniu punktów doświadczalnych: Koszalin, Gdańsk, Suwałki, Olsztyn, Białystok, Toruń, Poznań, Warszawa, Kielce, Katowice, Kraków i Wrocław.



Rys. 2. Porównanie współczynnika hydrotermicznego w trzech latach badań  
Comparison of hydrothermic index for 3 years investigation

Współczynnik hydrotermiczny obliczano według wzoru:

$$W_{HT} = \Sigma O_{opad_n} / 0,1n \cdot T_n$$

gdzie:

- $W_{HT}$  – współczynnik hydrotermiczny,  
 $n$  – liczba dni w danym okresie (miesiąc),  
 $\Sigma O_{opad_n}$  – suma opadów w danym okresie w mm,  
 $T_n$  – średnia temperatura powietrza w danym okresie w °C

Wartości współczynnika pomiędzy 1,0 a 2,0 świadczą o korzystnych warunkach hydrotermicznych, powyżej 2,0 wskazują na nadmiar wody, a poniżej 1,0 – informują o suszy. Jeżeli współczynnik jest mniejszy od 0,3 to możemy mówić o katastrofalnej suszy.

We wszystkich trzech latach badań w okresie od maja do lipca panowały zbliżone, korzystne dla roślin warunki hydrotermiczne (rys. 2). Jedynie w maju 1989 r. średni współczynnik hydrotermiczny wynosił 0,7, co wskazuje na okresowe niedobory wody dla roślin.

### 3.2. DOŚWIADCZENIA Z NAWOŻENIEM DOLISTNYM PSZENICY OZIMEJ MIEDZIĄ I BOREM

#### 3.2.1 Doświadczenia polowe z nawożeniem odmian pszenicy ozimej miedzią i borem

W latach 2003–2006 przeprowadzono 3 ścisłe jednoroczne doświadczenia polowe z dolistnym nawożeniem różnych odmian pszenicy ozimej miedzią oraz 6 jednorocznych doświadczeń z nawożeniem pszenicy borem. Doświadczenia z miedzią były zlokalizowane w jednej Stacji Doświadczalnej IUNG-PIB w Jelczu-Laskowicach, a z borem w dwóch stacjach – Jelcz-Laskowice i Osiny, po 3 doświadczenia w każdej. W Jelczu-Laskowicach doświadczenia prowadzono w latach 2003, 2004 i 2006, a w Osinach w latach 2004–2006. Stacja Jelcz-Laskowice położona jest w południowo-zachodnim rejonie Polski, w pobliżu Wrocławia, a Stacja Osiny w rejonie środkowo-wschodnim koło Puław. Ze względu na to, że znaczenie miedzi dla pszenicy jest zagadnieniem znanym od dawna, a rola boru jest problemem względnie nowym, zdecydowano się na przeprowadzenie dwa razy większej liczby doświadczeń z borem niż z miedzią.

W Jelczu-Laskowicach w każdym roku badań doświadczenia z borem i miedzią sąsiadowały ze sobą, czyli były prowadzone w podobnych warunkach glebowych. Charakterystykę gleb w Jelczu-Laskowicach i w Osinach przedstawiono w tabeli 6. W obu miejscowościach gleby należały do gleb lekkich, kwaśnych lub lekko kwaśnych i charakteryzowały się zawartością substancji organicznej na poziomie 0,9-1,4%, dobrym zaopatrzeniem w przyswajalny fosfor, potas, magnez i miedź. Gleby w Jelczu-Laskowicach wykazywały mniejszą zawartość boru niż gleby w Osinach. Zawartość

Tabela 6

Charakterystyka gleb w doświadczeniach  
Characteristic of experimental soils

Rok Year	pH KCl	S <sub>o</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	B*	Cu
		%			mg · kg <sup>-1</sup>				
Jelcz-Laskowice									
2003	5,9	1,2	15	21	139 ś	135 ś	37 ś	0,6 n	2,6 ś
2004	6,0	1,0	18	19	101 ś	175 w	67 w	0,5 n	1,8 ś
2006	5,3	1,4	19	24	91 n	150 ś	53 w	0,6 ś	2,9 ś
Osiny									
2004	5,2	1,2	18	19	94 n	143 ś	64 w	0,8 ś	4,7 ś
2005	5,2	1,2	15	24	127 ś	153 w	40 ś	0,6 ś	2,6 ś
2006	6,3	0,9	17	23	128 ś	140 ś	81 bw	1,1 ś	2,4 ś

S<sub>o</sub> – substancja org.; organic matter

F<sub>1</sub> – frakcja; fraction <0,02 mm

F<sub>2</sub> – frakcja; fraction 0,1-0,02 mm

Zawartość; Content: n – niska; low, ś – średnia; medium, w – wysoka; high, bw – bardzo wysoka; very high (239)

\* ocena zawartości boru wg modyfikowanych liczb granicznych; assessment of B concentration acc. to modified threshold values (232)

boru w glebie oceniano za pomocą zmodyfikowanych przez W r ó b l a (232) liczb granicznych, gdzie ocena zasobności uzależniona jest nie tylko od kategorii agronomicznej gleby, jak w liczbach obowiązujących w stacjach-chemiczno rolniczych, ale również od jej odczynu. Pozwoliło to na bardziej precyzyjną ocenę zasobności gleb doświadczalnych w bor. Do doświadczeń celowo wybrano gleby nisko i średnio zasobne w miedź i bor, spodziewając się, że spowoduje to zarówno dodatnią, jak i ewentualnie ujemną reakcję niektórych odmian na nawożenie tymi pierwiastkami, umożliwiając zbadanie szerszego spektrum różnic odmianowych. Ruszkowska (185) podaje, że przy większych plonach pszenicy można oczekiwać korzystnego efektu nawożenia miedzią na glebach o średniej zasobności.

Doświadczenia prowadzono jako dwuczynnikowe w 4 powtórzeniach, w układzie split-plot. W doświadczeniach testowano 10 odmian pszenicy ozimej.

Wszystkie 9 doświadczeń założono według identycznego schematu:

Czynnik I – nawożenie:

$a_1$  – obiekt kontrolny (bez Cu lub B)

$a_2$  – 305 g Cu · ha<sup>-1</sup> lub 175 g B · ha<sup>-1</sup>.

Czynnik II – odmiana pszenicy:

$b_1$  – Zyta,  $b_2$  – Korweta,  $b_3$  – Pegassos,  $b_4$  – Mewa,  $b_5$  – Soraja,  $b_6$  – Sakwa,  $b_7$  – Kobra,  $b_8$  – Kris,  $b_9$  – Symfonia,  $b_{10}$  – Jawa.

Badane odmiany należały do 3 grup technologicznych: A – jakościowej (Korweta, Zyta, Pegassos), B – chlebowej (Kobra, Sakwa, Mewa, Kris, Soraja) i C – pastewnej (Jawa, Symfonia). Bardziej szczegółową charakterystykę odmian przedstawiono w tabeli 8.

Miedź stosowano w postaci siarczanu miedzi, a bor w postaci kwasu ortoborowego. Opryski wykonywano wiosną w fazie pełni krzewienia opryskiwaczem plecakowym. Na wszystkie obiekty doświadczalne stosowano identyczne nawożenie NPK w ilości: N – 130 (30 + 60 + 40), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 80, K<sub>2</sub>O – 120 kg · ha<sup>-1</sup> w Jelczu-Laskowicach i N – 130 (30 + 60 + 40), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 60, K<sub>2</sub>O – 70 kg · ha<sup>-1</sup> w Osinach. We wszystkich latach badań stosowano chemiczną ochronę przeciwko chwastom (Maraton 375 SC) oraz chorobom grzybowym (Jelcz-Laskowice – Falcon 460 EC i Bavistin 500 WG +Corbel 750 EC, Osiny – Amistar 250 SC+Bavistin 500 WG i Artea 330 EC). Powierzchnia poletka do zbioru wynosiła 24 m<sup>2</sup> w Jelczu-Laskowicach i 30 m<sup>2</sup> w Osinach.

Do analiz chemicznych pobrano próby glebowe przed założeniem doświadczenia z warstwy 0-20 cm. Ponadto pobrano próby części nadziemnych pszenicy w fazie początku strzelania w źdźbło oraz próby ziarna i słomy. W glebie wykonano oznaczenia składu granulometrycznego, pH, zawartości substancji organicznej oraz dostępnej dla roślin miedzi i boru. W próbach roślinnych oznaczano makroelementy oraz miedź, bor i cynk (patrz rozdz. 3.3).

### 3.2.2. Doświadczenia mikropoletkowe z nawożeniem pszenicy ozimej miedzią w zależności od poziomu agrotechniki i nawożenia azotem

W roku 2003, 2004 i 2006 przeprowadzono 3 doświadczenia, w których badano reakcję kilkunastu odmian pszenicy ozimej na dolistną aplikację miedzi w zależności od poziomu agrotechniki. Badano dwa poziomy agrotechniki: podstawowy (A1) i intensywny (A2). Do przeprowadzenia doświadczeń wykorzystano specjalnie wydzieloną część eksperymentów realizowanych w ramach Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO) w Stacji Doświadczalnej IUNG w Jelczu-Laskowicach, które w tym celu zostały założone na zwiększonej powierzchni. Zgodnie z metodyką PDO opracowaną przez COBORU intensywny poziom agrotechniki od podstawowego różnił się większym o  $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  nawożeniem azotem, ochroną przed chorobami grzybowymi oraz stosowaniem antywylegacza i mikroelementów. Na wydzielonej części omawianych doświadczeń zrezygnowano z oprysku mikroelementami poletek z intensywną agrotechniką, które przewidywała metodyka PDO i zastąpiono go opryskiem miedzią wykonanym przy obu badanych poziomach agrotechniki. W ten sposób uzyskano trzyczynnikowe doświadczenia bez powtórzeń, w których uwzględniano 2 poziomy agrotechniki, nawożenie miedzią i kilkanaście odmian pszenicy. Wielkość poletek wynosiła  $3 \text{ m}^2$ .

Ze względu na to, że doświadczenia przeprowadzono w jednym powtórzeniu, w celu zbadania wpływu poziomu agrotechniki na działanie miedzi posłużono się programem AWBP, umożliwiającym analizę statystyczną doświadczeń prowadzonych w jednej replikacji (patrz rozdz. 3.4).

Doświadczenia założono na glebach płowych należących do kompleksu żyniego bardzo dobrego, kwaśnych lub lekko kwaśnych, charakteryzujących się zawartością substancji organicznej na poziomie 1,2-1,4%, dobrym zaopatrzeniem w fosfor, potas i magnez oraz ze średnią zawartością miedzi (tab. 7).

Wszystkie doświadczenia były założone metodą split-block według podobnego schematu:

#### Czynnik I – poziom agrotechniki

$a_1$  – podstawowy A1 ( $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ , bez ochrony przeciwgrzybowej i antywylegacza),

$a_2$  – intensywny A2 ( $130 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  + fungicydy + antywylegacz).

Tabela 7

Charakterystyka gleb w doświadczeniach  
Characteristic of experimental soils

Rok Year	pH KCl	S <sub>o</sub>	F <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	Cu
		%		mg · kg <sup>-1</sup>			
2003	6,0	1,2	19	169 w	168 w	54 w	2,5 ś
2004	6,0	1,2	19	83 n	184 w	68 w	2,0 ś
2006	5,1	1,4	20	80 n	141 ś	54 w	2,8 ś

Objaśnienia jak do tab. 6; Explanations see table 6

Dawkę 90 kg N dzielono na przedsięwną 30 i pogłówną 60 kg N · ha<sup>-1</sup>, a dawkę 130 kg N · ha<sup>-1</sup> na przedsięwną 30 oraz dwie pogłównie 60 i 40 kg N · ha<sup>-1</sup>.

#### Czynnik II – nawożenie miedzią

b<sub>1</sub> – bez Cu

b<sub>2</sub> – 305 g Cu · ha<sup>-1</sup>

Czynnik III – odmiany pszenicy ozimej (w kolejnych latach badań testowano różną liczbę odmian, co wynikało z metodyki PDO)

2003: c<sub>1</sub> – Kobra Plus, c<sub>2</sub> – Korweta, c<sub>3</sub> – Tonacja, c<sub>4</sub> – Clever, c<sub>5</sub> – Jawa, c<sub>6</sub> – Sakwa, c<sub>7</sub> – Soraja, c<sub>8</sub> – Kris, c<sub>9</sub> – Nutka, c<sub>10</sub> – Sukces, c<sub>11</sub> – Pegassos, c<sub>12</sub> – Finezja, c<sub>13</sub> – Flair;

2004: c<sub>1</sub> – Kobra Plus, c<sub>2</sub> – Korweta, c<sub>3</sub> – Tonacja, c<sub>4</sub> – Clever, c<sub>5</sub> – Mewa, c<sub>6</sub> – Zyta, c<sub>7</sub> – Soraja, c<sub>8</sub> – Sukces, c<sub>9</sub> – Pegassos, c<sub>10</sub> – Finezja, c<sub>11</sub> – Kobiera, c<sub>12</sub> – Nadobna, c<sub>13</sub> – Rapsodia, c<sub>14</sub> – Rubens, c<sub>15</sub> – Trend;

2006: c<sub>1</sub> – Kobra Plus, c<sub>2</sub> – Tonacja, c<sub>3</sub> – Finezja, c<sub>4</sub> – Bogatka, c<sub>5</sub> – Mewa, c<sub>6</sub> – Zyta, c<sub>7</sub> – Soraja, c<sub>8</sub> – Kris, c<sub>9</sub> – Sukces, c<sub>10</sub> – Kobiera, c<sub>11</sub> – Nadobna, c<sub>12</sub> – Rapsodia, c<sub>13</sub> – Rubens, c<sub>14</sub> – Trend, c<sub>15</sub> – Muza, c<sub>16</sub> – Legenda.

Charakterystykę badanych odmian przedstawiono w tabeli 8.

We wszystkich latach badań przy intensywnym poziomie agrotechniki (A2) stosowano ten sam regulator wzrostu – Cycecol 750 SL oraz różne środki grzybobójcze: 2003 – Juwel TT 483, 2004 – Falcon 460 EC i Folicur Plus 375 EC, 2006 – Corbel 750 EC + Bavistan 500 WG i Artea 330 EC. Miedź każdego roku stosowano w postaci siarczanu miedzi w dawce 305 g · ha<sup>-1</sup>. Oprysk wykonywano wiosną w fazie pełni krzewienia. Nawożenie fosforem i potasem w roku 2003 wynosiło odpowiednio: 80 i 120 kg · ha<sup>-1</sup>, w latach 2004 i 2006 było takie samo i wynosiło: 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 150 kg K<sub>2</sub>O · ha<sup>-1</sup>.

Do analiz chemicznych pobrano średnie próby glebowe przed założeniem doświadczenia. Ponadto pobrano próby części nadziemnych pszenicy w fazie początku strzelania w źdźbło oraz próby ziarna. W glebie wykonano oznaczenia składu granulometrycznego, pH, substancji organicznej, makroelementów oraz dostępnej dla roślin miedzi. W próbach roślinnych oznaczano azot i miedź (patrz rozdz. 3.3).

### **3.2.3. Charakterystyka warunków pogodowych w latach 2003–2006 w Jelczu-Laskowicach i Osinach**

Wszystkie lata badań zarówno w Jelczu-Laskowicach, jak i w Osinach charakteryzowały się mniejszą średnią ilością opadów w porównaniu ze średnią wieloletnią (tab. 9). Szczególnie suchy okazał się sezon 2002/2003 w Jelczu-Laskowicach i 2005/2006 w Osinach. W Jelczu-Laskowicach w 2003 roku w okresie od lutego do kwietnia suma opadów była prawie o 60% mniejsza od średniej wieloletniej. W Osinach w roku 2006 po suchej jesieni i zimie wystąpił znaczny brak opadów w kwietniu oraz bardzo duży niedobór w czerwcu i lipcu.

Średnie roczne temperatury w poszczególnych latach badań w obu punktach doświadczalnych były zbliżone do średnich wieloletnich (różnice nie przekraczały 3%);



Tabela 8

Charakterystyka badanych odmian pszenicy ozimej  
Characteristic of winter wheat cultivars

Lp.	Odmiana Cultivar	Rok wpisu Entry year	Grupa Group	Hodowca/Kraj Breeder/Country
1.	Jawa	1985	C	Hodowla Roślin Strzelce/PL
2.	Kobra Plus	1992	B	Nasiona Kobierzyc/PL
3.	Sakwa	1996	B	Hodowla Roślin Strzelce/PL
4.	Korweta	1997	A	Danko Hodowla Roślin/PL
5.	Mewa (ostka)	1998	B	Danko Hodowla Roślin/PL
6.	Zyta	1999	A	Hodowla Roślin Strzelce/PL
7.	Symfonia	1999	C	Hodowla Roślin Strzelce/PL
8.	Kris	2000	B	Plant Breeding Internat. Cambridge/UK
9.	Soraja	2000	B	Hodowla Roślin Strzelce/PL
10.	Pegassos	2001	A	Fr. Strube Saatzzucht KG/D
11.	Tonacja	2001	A	Hodowla Roślin Strzelce/PL
12.	Clever	2001	B	Monsanto Agrar Deutschland GmbH
13.	Nutka	2001	B	Hodowla Roślin Strzelce/PL
14.	Sukces	2001	A	Hodowla Roślin Strzelce/PL
15.	Finezja	2002	A	Danko Hodowla Roślin/PL
16.	Flair	2002	B	Saatzzucht Hans Schweiger and Co.oHG/DE
18.	Kobiera	2003	B	Nasiona Kobierzyc/PL
19.	Nadobna	2003	B	Poznańska Hodowla Roślin/PL
20.	Rapsodia	2003	C	Plant Breeding International Cambridge Ltd./UK
21.	Rubens	2003	A	Limagrain Verneuil Holding/FR
22.	Trend	2003	A	Lochow-Petkus GmbH/DE
23.	Bogatka	2004	B	Danko Hodowla Roślin/PL
24.	Muza	2004	A	Małopolska Hodowla Roślin HBP/PL
25.	Legenda	2005	A	Poznańska Hodowla Roślin/PL

A – pszenica jakościowa; quality wheat

B – pszenica chlebowa; bread wheat

C – pozostałe; other wheat

(tab. 10). Jedynie sezon 2004/2005 w Osinach był wyraźnie cieplejszy zarówno od średniej z wielolecia, jak i od pozostałych lat badań w tej miejscowości.

Z powodu dużego wpływu pogody na pobieranie i transport boru niezbędnego w okresie formowania pyłku dodatkowo prześledzono średnie dekadowe temperatury i dekadowe sumy opadów dla maja i czerwca, czyli dla okresu tworzenia się organów generatywnych pszenicy (tab. 11 i 12). W badaniach przyjęto, że formowanie pyłku pokrywa się z fazą liścia flagowego (początkiem kłoszenia). Analiza warunków pogodowych w tym okresie wykazała, że w roku 2003 w Jelczu-Laskowicach w czasie formowania pyłku wystąpiły, wyjątkowo jak na koniec maja, równocześnie mała ilość opadów i wysoka temperatura, co mogło mieć wpływ na gospodarkę borem w roślinach (tab. 11). Potwierdza to współczynnik hydrotermiczny obliczony dla okresu formowania się pyłku według wzoru przedstawionego w rozdziale 3.1 (tab. 13). Biorąc pod uwagę, że wartości współczynnika pomiędzy 1,0-2,0 wskazują na optymalne wa-

Tabela 9

Miesięczne sumy opadów w Jelczu-Laskowicach i Osinach (mm)  
Monthly sums of precipitation in Jelcz-Laskowice and Osiny (mm)

Rok Year	Miesiąc; Month										Suma Total
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	
Jelcz-Laskowice											
2002/2003	63,3	47,5	19,7	37,9	4,9	16,2	19,6	57,7	27,6	77,7	372,1
2003/2004	50,6	27,3	41,2	39,5	45,2	63,6	24,3	27,3	43,7	55,3	418,0
2005/2006	4,3	31,2	99,3	27,2	41,6	28,9	50,2	29,9	95,6	2,3	410,5
1956–2000	38,4	38,3	34,3	27,2	25,5	31,3	37,6	61,3	71,4	80,0	445,3
Osiny											
2003/2004	49,3	20,1	30,1	20,7	43,6	34,1	38,9	19,0	52,1	93,0	400,9
2004/2005	30,8	54,5	12,7	37,8	17,7	27,8	16,3	66,9	31,6	106,5	402,6
2005/2006	3,6	27,4	64,7	12,1	19,3	40,3	27,1	58,0	19,2	20,7	292,4
1956–2000	42,0	39,0	36,0	25,0	25,0	27,0	41,0	54,0	75,0	82,0	446,0

Tabela 10

Miesięczne średnie temperatury powietrza w Jelczu-Laskowicach i Osinach (°C)  
Mean monthly air temperatures in Jelcz-Laskowice and Osiny (°C)

Rok Year	Miesiąc; Month										Średnia Mean
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	
Jelcz-Laskowice											
2002/2003	7,7	4,8	-4,2	-2,3	-4,0	3,0	7,5	15,7	19,7	19,7	6,8
2003/2004	5,5	5,1	1,4	-3,7	1,1	3,9	9,4	12,9	17,1	18,6	7,1
2005/2006	9,7	2,7	0,2	-6,4	-2,5	0,0	9,4	14,1	18,3	23,2	6,9
1956–2000	8,8	3,7	0,1	-1,5	-0,3	3,2	8,0	13,3	16,6	18,2	7,0
Osiny											
2003/2004	5,4	5,0	0,7	-5,0	-0,3	3,3	8,6	12,5	16,5	18,5	6,5
2004/2005	10,1	3,6	1,9	0,5	-3,7	0,2	9,0	13,9	16,4	20,2	7,2
2005/2006	8,6	3,1	0,6	-8,0	-3,8	-0,7	9,2	13,9	17,7	22,5	6,3
1956–2000	8,4	3,1	-0,8	-3,0	-2,2	1,7	7,8	13,4	16,7	18,2	6,3

runki hydrotermiczne dla roślin należy stwierdzić, że w roku 2003 w Jelczu-Laskowicach panowały wyjątkowo niekorzystne warunki pogodowe. Na ogół w Osinach w fazie formowania pyłku panowały korzystniejsze dla roślin warunki hydrotermiczne niż w Jelczu-Laskowicach.

Tabela 11

Sumy opadów (mm) i średnie temperatury (°C) w poszczególnych dekadach maja i czerwca  
Jelcz-Laskowice  
Sums of precipitation (mm) and average air temperatures (°C) in every 10 days in May and June  
Jelcz-Laskowice

Rok; Year	Wyszczególnienie Specification	1/V	2/V	3/V	1/VI	2/VI	3/VI
2003	opady; precipitation	14,0	42,9	0,8	4,2	14,1	9,0
	temperatura; temperature	16,7	13,3	17,1	21,3	19,2	18,6
2004	opady; precipitation	14,4	10,9	12,0	11,4	26,9	5,4
	temperatura; temperature	14,9	12,3	11,7	17,3	16,4	17,4
2006	opady; precipitation	11,1	9,9	8,9	17,4	28,4	49,8
	temperatura; temperature	13,6	15,4	13,4	22,1	22,3	27,4

Szarym kolorem zaznaczono fazę formowania pyłku (liść flagowy/początek kłoszenia)  
Formation pollen stage (flag leaf/beginning of earing) is marked with gray color

Tabela 12

Sumy opadów (mm) i średnie temperatury (°C) w poszczególnych dekadach maja i czerwca – Osiny  
Sums of precipitation (mm) and average air temperatures (°C) in every 10 days in May and June –  
Osiny

Rok; Year	Wyszczególnienie; Specification	1/V	2/V	3/V	1/VI	2/VI	3/VI
2004	opady; precipitation	9,2	8,4	1,4	13,0	31,8	7,3
	temperatura; temperature	14,2	11,2	13,3	16,5	16,3	16,6
2005	opady; precipitation	46,5	20,4	0,0	18,6	12,9	0,1
	temperatura; temperature	11,2	11,2	18,8	13,7	17,3	18,2
2006	opady; precipitation	4,4	28,9	24,7	18,7	0,0	0,5
	temperatura; temperature	13,6	14,5	13,6	12,3	18,5	22,2

Szarym kolorem zaznaczono fazę formowania pyłku (liść flagowy/początek kłoszenia)  
Formation pollen stage (flag leaf/beginning of earing) is marked with gray color

Tabela 13

Współczynnik hydrotermiczny w okresie formowania pyłku  
Hydrothermic index for pollen formation stage

Rok; Year	Miejscowość; Locality	
	Jelcz-Laskowice	Osiny
2003	0,04	-
2004	1,0	0,8
2005	-	1,4
2006	0,8	1,5

### 3.3. POBIERANIE PRÓB I ANALIZY CHEMICZNE

Z każdego doświadczenia za pomocą próbnika glebowego firmy Eijkelkamp z warstwy 0-20 cm pobierano reprezentatywne próby glebowe w celu ich charakterystyki. W doświadczeniach z cynkiem próby pobierano wiosną, a w pozostałych doświadczeniach jesienią przed wysiewem nawozów. Próby roślinne pobierano podczas wegetacji roślin lub w czasie zbioru. W doświadczeniach z cynkiem pobierano jedynie próby ziarna z obiektów kontrolnych. W pozostałych doświadczeniach pobierano próby ze wszystkich obiektów doświadczalnych w dwóch fazach – początku strzelania w źdźbło (całe części nadziemne) i dojrzałości pełnej (ziarno i słoma). Z każdego poletka (powtórzenia) pobierano reprezentatywną próbę, a następnie 4 próby łączono w jedną średnią próbę obiektową przeznaczoną do analiz chemicznych.

We wszystkich 4 etapach badań stosowano jednolitą metodykę analiz chemicznych materiału glebowego i roślinnego, stosowaną w stacjach chemiczno-rolniczych (137). Zawartość mikroelementów w glebach i tkankach roślinnych podawana jest w pracy zawsze w  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  suchej masy, przy czym dla uproszczenia pomijana jest fraza „sucha masa”.

W glebach oznaczano skład granulometryczny według Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, zawartość węgla organicznego metodą Tiurina, pH w 1 mol  $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$  oraz przyswajalne formy fosforu i potasu metodą Egnera-Riehma, natomiast magnezu metodą Schachtschabela. Mikroelementy ekstrahowano we wspólnym wyciągu 1 mol  $\text{HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$  na podstawie instrukcji opracowanej w IUNG Puławy (138), a następnie oznaczano miedź i cynk metodą ASA, zaś bor kolorymetrycznie metodą z kurkumina. Dodatkowo w I etapie badań cynk oznaczano w wyciągu 0,1 mol  $\text{HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

W próbach roślinnych po mineralizacji na mokro oznaczano zawartość azotu i fosforu metodą spektrofotometrii przepływowej, potasu i wapnia metodą emisyjnej spektrofotometrii płomieniowej oraz magnezu metodą ASA. Ponadto, po przeprowadzeniu mineralizacji na sucho oznaczono zawartość miedzi i cynku metodą ASA, a boru metodą ICP.

### 3.4. OBLICZENIA STATYSTYCZNE

Wyniki dotyczące plonów uzyskane w przeprowadzonych doświadczeniach oceniano metodą analizy wariancji. Dla doświadczeń wykonanych w 4 powtórzeniach analizę wariancji obliczano za pomocą programu komputerowego NOWY, wchodzącego w skład systemu AWAR opracowanego w IUNG Puławy, obejmującego programy liczące analizę wariancji dla różnych układów eksperymentalnych (58). W przypadku doświadczeń polowych z cynkiem obliczono analizę wariancji dla doświadczeń jednoczynnikowych w układzie bloków losowanych, a doświadczeń z miedzią i borem analizę wariancji dla doświadczeń dwuczynnikowych w układzie split-plot. Szczegółowe dane dotyczące analizy wariancji pojedynczych doświadczeń nie zostały w pracy przedstawione ze względu na znaczną ich objętość. W dalszej kolejności wykonano syntezę statystyczną doświadczeń, uwzględniając średnie kwadraty dla błędów z do-

świadczeń pojedynczych. Przy obliczeniach posługiwano się programem AWAR SYNT (58), który oblicza analizę wariancji dla serii doświadczeń, o ile każde z doświadczeń składowych zostało wykonane według tego samego układu eksperymentalnego i z taką samą liczbą poziomów każdego czynnika. Program SYNT pozwala na wybór modelu analizy wariancji, tzw. stałego lub mieszanego, wynikającego ze stałego lub losowego charakteru poziomów badanych czynników. Model stały wybiera się przy syntezie mniejszej liczby doświadczeń, taki też wybrano dla doświadczeń polowych z miedzią i borem. W przypadku doświadczeń z cynkiem wybrano model mieszany, w którym poziomy badanego czynnika potraktowano jako wielkości stałe, a lata i miejscowości jako wielkości losowe. Przy równoczesnej dużej liczbie doświadczeń pozwoliło to na uogólnienie wyników badań dla obszaru całego kraju. Dla doświadczeń z borem nie zdecydowano się na wnioskowanie na podstawie wykonanej syntezy. Wykazała ona istotną interakcję badanych czynników z latami i miejscowościami, która wynikała z odmiennej reakcji pszenicy na nawożenie borem, co nie pozwoliło na uogólnienie wniosków, lecz wymagało oddzielnej interpretacji każdego przypadku.

Do szczegółowych porównań różnic między średnimi obiektowymi zarówno dla doświadczeń pojedynczych, jak i dla ich syntezy wykorzystano wielokrotny test Tukeya. W tabelach z plonami obiekty nieróżniące się istotnie oznaczono tymi samymi małymi literami. Dodatkowo istotne zwwyżki plonów oznaczano gwiazdką. W pracy nie przedstawiono całości wnioskowania wynikającego z analizy wariancji i testowania średnich na temat zróżnicowania odmian, ograniczając się tylko do podania istotności różnic pomiędzy obiektami nawożonymi i nienawożonymi w obrębie każdej odmiany. Przedstawienie całości możliwych wniosków, nie będących głównym celem badań, niepotrzebnie komplikowałoby badane zagadnienie.

Dla trzyczynnikowych doświadczeń mikroplotkowych wykonanych w jednym powtórzeniu analizę wariancji plonów wyliczono w oparciu o program AWBP, który oblicza analizę wariancji doświadczeń wieloczynnikowych założonych w jednej replikacji (58). W programie tym interakcje wyższych rzędów pełnią rolę błędu eksperymentalnego. I tak, w wykonanych obliczeniach czynniki i interakcje podwójne były testowane do interakcji potrójnej 'poziom agrotechniki x nawożenie Cu x odmiana'. Przeprowadzenie doświadczeń w jednym powtórzeniu wykluczyło możliwość zbadania interakcji potrójnej, ale umożliwiło zbadanie podwójnej 'poziom agrotechniki x nawożenie Cu' dla pszenicy jako gatunku, niezależnie od odmiany. Podobnie jak w poprzednich doświadczeniach do porównań różnic między średnimi wykorzystano test Tukeya. Inna liczba poziomów III czynnika (odmian) w każdym doświadczeniu uniemożliwiła wykonanie syntezy statystycznej dla trzech doświadczeń łącznie.

W pracy oceniano nie tylko istotność różnic pomiędzy badanymi obiektami dla plonów, ale również dla zawartości boru i miedzi w tkankach roślinnych. Ze względu na to, że oznaczenia chemiczne zawartości mikroelementów były robione tylko w jednym powtórzeniu do obliczeń analizy wariancji wykorzystano w/w program AWBP. Testowanie średnich oraz oznaczenia w tabelach były takie same, jak w przypadku wyżej opisanego opracowania statystycznego plonów.

Łączne opracowanie 3 polowych doświadczeń z miedzią umożliwiło określenie istotności różnic w zawartości miedzi między obiektami nawożonymi i nienawożonymi tym pierwiastkiem dla każdej odmiany oddzielnie. Omawianie każdego z 6 doświadczeń z borem oddzielnie pozwoliło na określenie istotności różnic w zawartości boru przed i po nawożeniu jedynie średnio dla odmian. Wyjątkiem było wnioskowanie o zawartości boru w pędach z obiektów kontrolnych, które przeprowadzono na podstawie średnich obliczonych z sześciu doświadczeń łącznie.

W interpretacji wyników oprócz analizy wariancji wykorzystano również analizę korelacji. Za pomocą programu komputerowego Statgraphics Plus 5.1 obliczono współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartością Cu i N w pędach pszenicy dla doświadczeń mikropoletkowych oraz korelacji pomiędzy uzyskaną zwyżką plonu i zawartością B w roślinach dla doświadczeń z borem.

## 4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

### 4.1. POTRZEBY NAWOŻENIA PSZENICY JAREJ CYNKIEM

W celu określenia potrzeb nawożenia cynkiem pszenicy uprawianej w Polsce przeprowadzono w latach 1987–1989 na terenie całego kraju 74 doświadczenia polowe, w których badano reakcję pszenicy jarej na ten pierwiastek w drugim roku po nawożeniu. W doświadczeniach wysiewano różne odmiany, co pozwoliło na wyciągnięcie wniosków dla pszenicy jako gatunku. Zastosowanie zróżnicowanego poziomu nawożenia od 0 do 20 kg Zn · ha<sup>-1</sup> stwarzało dodatkową możliwość określenia odpowiedniej dawki cynku dla pszenicy. Próby ziarna pszenicy pobrane z obiektów kontrolnych doświadczeń wraz z danymi literaturowymi wykorzystano do przeprowadzenia oceny zawartości cynku w ziarnie pszenicy uprawianej w Polsce. Umożliwiło to skonfrontowanie oceny zawartości cynku w glebach z zawartością cynku w roślinach.

#### Ocena zawartości cynku w glebach Polski

Przeprowadzona w latach 1994–1999 przez IUNG i stacje chemiczno-rolnicze na podstawie 93-tysięcznej kolekcji prób ocena zawartości tzw. przyswajalnych form Zn ekstrahowanego 1 mol HCl · dm<sup>-3</sup> wykazała, że mamy w Polsce 13% gleb o niskiej, 56% o średniej i 31% o wysokiej zawartości przyswajalnych form cynku (tab. 14). Należy zauważyć, że w stosunku do badań przeprowadzonych 6-7 lat wcześniej zmniejszyła się zarówno ilość gleb niedoborowych (1 pkt procentowy), jak i gleb o wysokiej zawartości Zn (5 pkt. procentowych).

Jednocześnie przeprowadzona ocena zanieczyszczenia gleb Polski cynkiem według 6-stopniowej skali opracowanej w IUNG wskazuje na wzrost udziału gleb o podwyższonej całkowitej zawartości Zn o 0,4 pkt. procentowego w ciągu ostatnich 10 lat (tab. 15).



Tabela 14

Zawartość przyswajalnych form Zn w glebach Polski (ekstrakcja 1 mol HCl · dm<sup>-3</sup>)  
Available Zn content in Polish soils (1 mol · HCl·dm<sup>-3</sup> extraction)

Lata Years	% gleb wg klas zawartości % of soils acc. content level			Liczba próbek No of samples	Źródło Source
	niska low	średnia average	wysoka high		
1987–1993	14	50	36	44216	Obojski i Strączyński 1995 (150)
1994–1999	13	56	31	93489	Kucharzewski i Dębowski 2000 (117)

Tabela 15

Całkowita zawartość Zn w glebach Polski  
Total Zn content in Polish soils

Lata Years	% gleb wg stopnia zanieczyszczenia % of soils acc. pollution level		Liczba próbek No. of samples	Źródło Source
	0-I	II-V		
1991–1994	98,9	1,1	2000	Terelak i in. 1995 (213)
1995–2000	98,5	1,5	216	Oleszek i in. 2003 (151)

Również K a b a t a - P e n d i a s i P e n d i a s (95) na podstawie dodatniego bilansu Zn z lat 1980–1985 wskazują na możliwość stopniowego wzrostu zawartości tego pierwiastka w glebach w tempie 1,5 ppm w ciągu 10 lat. Wydaje się jednak, że bilans ten może ulec zmianom ze względu na duże ograniczenia emisji pyłów przez zakłady przemysłowe w późniejszych latach (201).

Analiza zawartości cynku w polskich glebach wskazuje na niewielkie, raczej lokalne w skali kraju potrzeby nawożenia Zn. Jednak aby dokonać w pełni wiarygodnej oceny tych potrzeb, prócz analizy zawartości Zn w glebach, należy również uwzględnić zawartość Zn w materiale roślinnym. W tym celu, obok danych literaturowych, wykorzystano wyniki 74 doświadczeń polowych z nawożeniem pszenicy jarej cynkiem.

### Wpływ nawożenia cynkiem na plonowanie pszenicy jarej

W opisywanych 74 doświadczeniach plony ziarna pszenicy uzyskane na obiektach kontrolnych bez nawożenia cynkiem kształtowały się w zakresie od 1,4 do 6,2 t · ha<sup>-1</sup>, a średnio dla wszystkich punktów doświadczalnych wynosiły 4,2 t · ha<sup>-1</sup>. Średnia ta pokrywa się ze średnim plonem pszenicy jarej uzyskanym w kraju w latach 1987–1989, obliczonym na podstawie danych GUS. Na tej podstawie można przyjąć, że przeprowadzone doświadczenia w pewnym stopniu odzwierciedlały stan uprawy pszenicy jarej w kraju. Szczegółowe plony ze wszystkich doświadczeń wraz z ich oceną statystyczną przedstawiono w tabeli 16.

Tabela 16

Plony ziarna pszenicy jarej uzyskane w 74 doświadczeniach polowych ( $t \cdot ha^{-1}$ )  
 Grain yields of spring wheat from 74 field trials ( $t \cdot ha^{-1}$ )

Lp. No.	Miejscowość Place	Dawka Zn; Zn rate ( $kg \cdot ha^{-1}$ )				Półprzedział ufności Tukey HSD	
		0	5	10	15		20
1987 r.							
1.	Białokury I	3,855	4,431	4,275	4,486	4,392	0,239***
2.	Bielice I	4,407	4,454	4,466	4,395	4,407	ni.
3.	Bobrowniki I	2,891	3,227	3,033	3,234	3,082	ni.
4.	Brzustowiec I	3,384	3,661	4,096	4,106	4,225	0,787*
5.	Chodorówka I	4,611	4,831	5,434	5,147	5,106	0,624*
6.	Choroszcz I	4,917	5,042	5,111	5,207	5,343	0,296**
7.	Chrząstowo I	4,677	4,879	5,030	5,136	5,161	0,282**
8.	Cieplewo I	4,259	4,102	4,946	4,705	3,824	0,573***
9.	Dankowo I	4,243	4,179	4,257	4,299	4,253	ni.
10.	Dębogóry I	4,202	4,182	4,263	4,297	4,330	0,137*
11.	Grabnik I	2,249	2,518	3,016	3,261	3,716	0,583***
12.	Grabowo I	4,762	4,950	4,955	4,871	4,843	ni.
13.	Jeziorze I	2,875	2,935	3,033	3,108	3,070	ni.
14.	Krasowice I	5,125	5,192	5,460	5,212	5,221	0,320*
15.	Kropiwnica I	6,094	6,207	6,341	6,403	6,599	0,124***
16.	Ligota48 I	3,866	3,887	4,000	3,931	3,975	ni.
17.	Ligota50 I	3,397	3,188	3,332	3,280	3,076	ni.
18.	Łoniowa I	4,215	4,326	4,488	4,484	4,578	0,275**
19.	Mokra I	4,321	4,447	4,606	4,705	4,652	0,175***
20.	Ordzin I	5,103	4,946	5,071	4,974	5,046	ni.
21.	Osiek I	4,126	4,130	4,087	4,012	3,954	ni.
22.	Piasutno I	2,216	2,339	2,620	2,322	2,375	0,297*
23.	Radlimiec I	5,099	5,102	4,972	5,071	4,924	ni.
24.	Robity I	2,620	2,766	2,842	2,877	3,034	0,201***
25.	Siniec I	3,178	3,105	3,196	3,497	3,213	ni.
26.	Sukowska W. I	5,354	5,595	5,637	5,815	5,983	0,165***
27.	Śnieciska I	4,883	0,822	5,251	5,034	4,723	ni.
28.	Wielisławice I	4,803	5,053	4,806	4,795	5,180	ni.
29.	Włoczewo I	4,090	3,905	3,796	4,034	3,750	ni.
30.	Wojanowo I	5,063	4,609	4,669	4,730	4,558	ni.
31.	Zielonka Nowa I	3,940	3,991	4,093	4,195	4,328	0,230**
1988 r.							
32.	Barkowo II	4,848	4,961	5,083	5,211	5,072	ni.
33.	Bedlno II	3,360	3,744	4,096	3,994	3,565	0,490**
34.	Białokury II	5,129	5,058	5,076	5,161	5,113	ni.
35.	Borowo II	5,758	5,681	5,861	5,932	5,823	ni.
36.	Cieplewo II	5,217	5,516	5,205	5,118	4,919	0,234***
37.	Czacz II	4,626	4,714	4,716	4,716	4,780	ni.
38.	Dalechory II	6,213	6,378	6,652	6,790	6,890	0,085***
39.	Dąbrówka II	3,775	3,795	3,874	3,874	3,884	0,078**
40.	Drwały II	3,683	3,742	3,865	3,884	3,899	ni.
41.	Grabnik II	1,435	1,545	1,586	1,707	1,787	0,248**

cd. tab. 16

Lp. No.	Miejscowość Place	Dawka Zn; Zn rate (kg · ha <sup>-1</sup> )					Półprzedział ufności Tukey HSD
		0	5	10	15	20	
1987 r.							
42.	Gronówko II	4,334	4,268	4,446	4,554	4,478	ni.
43.	Jeziorko II	3,790	3,712	3,906	3,844	3,860	ni.
44.	Jeżewo II	4,364	4,231	4,180	4,262	4,262	ni.
45.	Kisielany II	2,450	2,289	2,373	2,166	2,330	ni.
46.	Niedźwiady II	3,438	3,530	3,338	3,478	3,329	ni.
47.	Osiek II	3,764	3,730	3,917	3,840	3,878	ni.
48.	Siniec II	2,801	3,316	3,393	3,370	3,350	0,401**
49.	Starzyno II	2,769	2,750	2,826	2,838	2,851	ni.
50.	Stoszków II	2,874	2,445	2,764	2,598	3,066	ni.
51.	Tworków II	4,835	4,897	5,049	4,991	4,890	0,193*
52.	Wojewodzin II	3,986	4,506	4,089	3,819	3,698	0,458**
53.	Zielenin II	3,265	3,411	3,568	3,788	3,882	0,186***
1989 r.							
54.	Byszyno III	3,948	3,947	4,229	4,891	5,233	0,389***
55.	Ciółkowo III	5,117	5,486	4,750	4,991	5,104	ni.
56.	Dębogóry III	2,966	3,129	3,178	3,464	3,603	0,138***
57.	Dziuplina III	3,261	3,228	3,187	3,279	3,201	ni.
58.	Grabnik III	3,036	3,046	3,243	3,106	3,093	0,134**
59.	Grabowo III	5,700	5,650	5,410	5,690	5,630	ni.
60.	Grasino III	4,109	4,166	4,182	4,370	4,577	0,124***
61.	Jarząbki III	4,461	4,743	4,836	4,767	4,396	ni.
62.	Jeżewo III	4,557	4,580	4,516	4,479	4,570	ni.
63.	Kędzierzyn III	3,623	4,366	4,027	4,252	4,467	0,359***
64.	Kłanino III	3,826	3,998	3,955	3,938	3,912	ni.
65.	Kropiwnica III	3,397	3,669	3,772	3,868	3,970	0,099***
66.	Lęgowo III	5,345	5,478	5,245	5,211	5,144	0,300*
67.	Olszewo III	4,473	4,598	7,764	4,624	4,804	0,269*
68.	Olszyny III	5,616	5,764	5,805	5,633	5,764	ni.
69.	Ordzin III	3,978	3,845	3,962	3,978	3,700	ni.
70.	Parzymiechy III	3,388	3,670	3,933	3,922	3,986	0,430**
71.	Snochowice III	3,590	3,629	3,573	3,590	3,625	ni.
72.	Stoszków 73 III	3,254	3,508	3,325	3,452	3,286	ni.
73.	Stoszków 74 III	4,278	4,190	4,476	4,357	4,405	ni.
74.	Średnica III	4,136	4,155	4,078	4,097	4,039	ni.

\*, \*\*, \*\*\* istotne statystycznie odpowiednio przy  $\alpha < 0,05$ ,  $\alpha < 0,01$  i  $\alpha < 0,001$ ; Statistically significant at  $\alpha < 0,05$ ,  $\alpha < 0,01$  and  $\alpha < 0,001$  respectively; ni. – nieistotne; non significant

Średnie plony kontrolne pszenicy w kolejnych latach badań nie różniły się istotnie (tab. 17), co związane było z podobnymi warunkami hydrotermicznymi w okresie najintensywniejszego wzrostu i rozwoju pszenicy jarej (patrz rys. 2, rozdz. 3.1). Nie odnotowano również znaczących różnic w częstości występowania dodatniej reakcji pszenicy na aplikację cynku w poszczególnych latach badań. W kolejnych latach liczba doświadczeń z istotną wyższą plonów stanowiła 41-52% wszystkich przeprowadzonych eksperymentów.

Tabela 17

Porównanie reakcji pszenicy jarej na nawożenie cynkiem w trzech latach badań  
Spring wheat response comparison to zinc application in three consecutive years

Rok Year	Plon kontrolny Control yield (t · ha <sup>-1</sup> )	Liczba doświadczeń; Number of trials	
		reakcja dodatnia positive response	brak reakcji no response
1987	4,166 a	16	15
1988	3,942 a	9	13
1989	4,098 a	9	12

plony oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $\alpha < 0,05$ ; yields marked with the same letter are not significantly different at  $\alpha < 0,05$

Analizując wszystkie doświadczenia łącznie stwierdzono, że na 74 przeprowadzone eksperymenty, w których badano następczy efekt nawożenia cynkiem, w 34 przypadkach uzyskano istotną statystycznie wyższą plonów, a wzrost plonów powyżej 10% wystąpił aż w 21 doświadczeniach (tab. 18). Wskazuje to na występowanie korzystnego dla pszenicy efektu następczego doglebowego nawożenia cynkiem w warunkach naszego kraju. Podobny efekt następczy obserwowano również w innych rejonach świata. Badacze australijscy donoszą o trwałym wzbogacaniu gleby w cynk w wyniku jego doglebowej aplikacji. B r e n n a n (21) udowodnił utrzymywanie się efektu następczego nawożenia Zn przez kilkanaście lat na australijskich kwaśnych, piaszczystych glebach. W innych badaniach ten sam autor stwierdził następcze działanie cynku zawartego w superfosfacie i wprowadzanego razem z tym nawozem do gleby (18). Badania wazonowe G r e w a l a i G r a h a m a (76) wykazały dodatni wpływ na pszenicę doglebowej aplikacji cynku w drugim roku po nawożeniu. Podobne wyniki otrzymali S h a r m a i B h a r d w a j w Indiach (192). W przeprowadzonych przez nich badaniach soja reagowała na nawożenie cynkiem zastosowanym pod przedplon, którym była pszenica. Występowanie pozytywnego efektu następczego doglebowego nawożenia cynkiem dla pszenicy uprawianej w Polsce potwierdził również w badaniach mikroplotkowych F a b e r (55).

Tabela 18

Liczba doświadczeń o różnym poziomie wzrostu plonów  
Number of trials with different level of yield increase

Zwyżka plonów; Yield increase	Liczba doświadczeń; Number of trials
Bez zwyżki; Without increase	40
< 10%	13
10-20%	14
20-30%	5
> 30%	2
Razem; Total	74

w każdym doświadczeniu wybrano obiekt z największą zwyżką plonów i podano w % w stosunku do obiektu kontrolnego; the object with highest yield increase was chosen in every trial and showed as a percentage of control object

Średnie zwyżki plonów przy nawożeniu dawkami 0, 5, 10, 15 i 20 kg Zn · ha<sup>-1</sup> obliczono dla wszystkich 74 doświadczeń i oddzielnie dla 34 wybranych, w których wystąpiła dodatnia, statystycznie udowodniona reakcja na cynk (tab. 19). Do obliczeń syntezy doświadczeń wykorzystano tzw. mieszany model analizy wariancji, gdzie lata i miejscowości potraktowano jako wielkości losowe, co pozwoliło na uogólnienie wyników 3-letnich badań dla całego kraju (patrz rozdz. 3.4).

Tabela 19

Średnie plony pszenicy jarej (t · ha<sup>-1</sup>) i zwyżki plonów (%) na skutek nawożenia Zn  
Average spring wheat yields (t · ha<sup>-1</sup>) and yield increases (%) after Zn fertilization

Dawka; Rate Zn (kg · ha <sup>-1</sup> )	Całość – 74 doświadczenia All – 74 trials		Ze zwyżką – 34 doświadczenia With increase – 34 trials	
	plon; yield	zwyżka; increase	plon; yield	zwyżka; increase
0	4,08 a	-	3,98 a	-
5	4,11 a	0,8	4,17 a	4,8
10	4,28 b	4,9	4,39 b	10,3
15	4,27 b	4,7	4,34 b	9,1
20	4,26 b	4,4	4,37 b	9,9

plony oznaczone tymi samymi literami nie różnią się w świetle testu Tukeya ( $\alpha < 0,05$ )  
yields marked with the same letter are not different acc. Tukey test ( $\alpha < 0,05$ )

Dawka 5 kg Zn · ha<sup>-1</sup> spowodowała jedynie niewielki wzrost plonów ziarna (0,8%) we wszystkich oraz 4,8% w 34 doświadczeniach. Dawki wyższe, tj. 10, 15 i 20 kg Zn · ha<sup>-1</sup> powodowały zbliżony wzrost plonów, z tendencją do zwiększonych przy dawce 10 kg · ha<sup>-1</sup> Zn. Po zastosowaniu tej dawki wzrost wynosił 4,9% we wszystkich doświadczeniach i 10,3% w 34 doświadczeniach z istotnymi statystycznie zwyżkami. Dawka 10 kg Zn · ha<sup>-1</sup> charakteryzowała się również największą efektywnością nawożenia wyrażoną przyrostem plonu ziarna pszenicy przypadającym na 1 kg zastosowanego cynku (tab. 20). Pozytywną reakcję pszenicy na nawożenie cynkiem obszernie dokumentuje literatura światowa (patrz tab. 2).

Tabela 20

Efektywność nawożenia wyrażona przyrostem plonu (kg · ha<sup>-1</sup>) przypadającym na 1 kg Zn  
Fertilization effectivity as yield increase (kg · ha<sup>-1</sup>) per 1 kg of Zn

Dawka; Rate Zn (kg · ha <sup>-1</sup> )	Całość – 74 doświadczenia All – 74 trials	Ze zwyżką – 34 doświadczenia With increase – 34 trials
5	6	38
10	20	41
15	13	24
20	9	20

Pszenica niemal w połowie przeprowadzonych doświadczeń dodatnio zareagowała na nawożenie cynkiem pomimo średniej lub wysokiej zasobności gleb w cynk. Ocena zasobności wykonywana była z wykorzystaniem 1 mol HCl · dm<sup>-3</sup> i 0,1 mol HCl · dm<sup>-3</sup>, czyli według dawniej obowiązujących i aktualnych liczb granicznych. Obie metody wykazały podobny, zaledwie kilkuprocentowy udział gleb o zasobności niskiej (tab. 5). Reakcja pszenicy na Zn przy średniej zasobności gleby świadczy o niedoskonałości obu użytych metod. Zarówno używane w Polsce do 1985 roku, jak i aktualnie obowiązujące liczby graniczne nie uwzględniają wszystkich gatunków roślin uprawnych. W obu przypadkach ocena zasobności gleby przeprowadzana jest niezależnie od zróżnicowanego zapotrzebowania poszczególnych gatunków na cynk. Wydaje się, że problem oceny zasobności gleb w mikroelementy wymaga dalszych badań nie tylko pod względem wyboru odpowiedniego wyciągu ekstrakcyjnego, co jest powszechnie dyskutowane, ale również odmiennych potrzeb różnych gatunków roślin.

Uzyskane wyniki świadczą również o dość dużym zapotrzebowaniu pszenicy jarej w stosunku do cynku, pomimo że przez wielu autorów zaliczana jest ona do gatunków mało wrażliwych na niedobory tego pierwiastka (15, 55, 106). Jednak pośród czterech zbóż jej zapotrzebowanie na Zn jest zdecydowanie największe (43).

W celu uzyskania informacji na temat czynników glebowych decydujących o wystąpieniu przyrostu plonów na skutek nawożenia Zn porównano właściwości gleb z obiektów kontrolnych dwóch grup doświadczeń: bez zwyczajki i ze zwyczajką plonów (tab. 21). Do zbadania istotności różnic pomiędzy średnimi w obu grupach zastosowano test t-Studenta z uwzględnieniem jednorodności wariancji badanych dwóch grup doświadczeń. Stwierdzono, że średnie dla grup wartości pH, zawartość części spławialnych i materii organicznej oraz przyswajalnych form P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O i Mg nie różniły się między grupami, a więc nie decydowały o dodatniej reakcji na cynk. Wystąpiły natomiast istotne różnice w średniej zawartości cynku. Gleby, na których uzyskiwano istotną zwyczajkę plonów zawierały zdecydowanie mniej cynku. Można przypuszczać, że rośliny rosnące na tych glebach miały do dyspozycji niewystarczającą ilość przyswajalnego Zn, pomimo że zasobność tych gleb w cynk została oceniona jako średnia. Świadczy o tym również tendencja do występowania niższej zawartości cynku w ziarnie w doświadczeniach, w których uzyskiwano wysokie plony. Uzyskane wyniki potwierdzają omawianą powyżej małą miarodajność oceny zasobności gleby w Zn i wskazują na potrzebę jej udoskonalania.

Analiza wzajemnych relacji pomiędzy Zn i P oraz Zn i Cu w glebie (tab. 21) pozwala przypuszczać, że przyczyną niewystarczającego zaopatrzenia roślin w cynk był antagonizm pomiędzy wymienionymi pierwiastkami. Znacznie niższy stosunek Zn : P i Zn : Cu w glebie, w doświadczeniach ze zwyczajką w porównaniu do doświadczeń bez zwyczajki plonów wskazuje na niewystarczającą ilość cynku w stosunku do fosforu i miedzi.

Interakcja Zn : P jest często opisywana w literaturze. Stosunek cynku i fosforu w glebie istotnie wpływa na ich proporcje w roślinie. Wielu autorów podkreśla, że duża zawartość fosforu w glebie powoduje obniżenie przyswajalności cynku i może wywołać lub pogłębić jego deficyt u roślin (2, 35, 94, 95, 115, 121, 124, 126, 141).



Tabela 21

Charakterystyka obiektów kontrolnych dla grupy doświadczeń bez zwyżek i ze zwyżkami plonów  
Characteristic of control treatments for groups of trials without and with the yield increases

Wyszczególnienie Specification	Bez zwyżki Without increase	Ze zwyżką With increase	NIR LSD
Liczba doświadczeń; Number of trials	40	34	-
pH w; in KCl	5,3	5,2	ni.
Frakcja; Particles <0,02 mm (%)	22	22	ni.
Materia organiczna; Organic matter (%)	1,8	1,7	ni.
Zawartość w glebie; Soil concentration (mg · kg <sup>-1</sup> ):			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	114	109	ni.
K <sub>2</sub> O	169	175	ni.
Mg	41	42	ni.
Zn <sub>1MHC1</sub>	10,0	6,9	3,0120*
Zn <sub>0,1MHC1</sub>	7,1	4,1	2,1991**
Stosunek w glebie; Ratio in soil:			
Zn <sub>1MHC1</sub> /Cu	5,051	3,838	1,2125*
Zn <sub>1MHC1</sub> /P	0,231	0,158	0,0707*
Zn <sub>0,1MHC1</sub> /Cu	3,620	2,299	1,0422*
Zn <sub>0,1MHC1</sub> /P	0,164	0,094	0,0495**
Zawartość w ziarnie; Grain concentration (mg · kg <sup>-1</sup> )	40	35	ni.

\*, \*\* istotne statystycznie odpowiednio przy  $\alpha < 0,05$  i  $\alpha < 0,01$   
statistically significant at  $\alpha < 0,05$  and  $\alpha < 0,01$  respectively  
ni. – nieistotne; non significant

Według K a b a t y - P e n d i a s (96) odpowiedzialne za to są zarówno procesy strącania i sorpcji w glebie, jak i interakcja pomiędzy obydwoma pierwiastkami. L o n e r a g e n i W e b b (126) wyróżniają dwa typy wzajemnego oddziaływania na siebie fosforu i cynku. Jeden z nich, zwany rozcieńczeniem, polega na zmniejszeniu zawartości Zn w tkankach roślinnych w wyniku znacznego przyrostu biomasy na skutek nawożenia fosforem. Drugi typ oddziaływania, nie związany z rozcieńczeniem, jest wynikiem wpływu fosforu na zmniejszenie pobrania Zn przez korzenie i hamowania jego transportu z korzeni do pędów. Generalnie można stwierdzić, że duża zawartość fosforu w glebie, związana np. z wysokim poziomem nawożenia fosforem, znacznie zwiększa zapotrzebowanie roślin na cynk, co znalazło potwierdzenie w przeprowadzonych doświadczeniach z pszenicą.

Antagonistyczna interakcja Zn–Cu zachodzi na skutek zahamowania pobierania jednego z pierwiastków przez drugi oraz zmian w przemieszczaniu się obu składników wewnątrz rośliny. K a b a t a - P e n d i a s (96) podaje, że niekiedy pobranie jednego z tych pierwiastków jest całkowicie zahamowane przez pobranie drugiego, co może świadczyć o identycznych, konkurencyjnych mechanizmach absorpcji. I m t i a z i n. (90) wykazali, że aplikacja cynku miała znaczący, antagonistyczny wpływ na zawartość Cu w młodych pędach pszenicy. Według A l l o w a y (2) poziom odżywienia miedzią ma wpływ na transport cynku w roślinie. Uzyskane wyniki własne potwierdzają występowanie interakcji Zn–Cu, wykazując pozytywną reakcję pszenicy na

nawożenie cynkiem w sytuacji zbyt małej jego ilości w stosunku do zawartości miedzi glebie.

### Ocena zawartości cynku w ziarnie pszenicy jarej

Zawartość cynku w 74 próbach ziarna z obiektów kontrolnych wahała się od 17 do 67 i wynosiła średnio  $37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Prawie 1/2 przebadanych próbek zawierała poniżej  $30 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 22), co z punktu widzenia potrzeb zwierząt hodowlanych jest ilością niewystarczającą. Wymagania większości grup zwierząt kształtują się bowiem na poziomie  $30 \text{ mg}$  lub wyższym, a w przypadku trzody wynoszą  $50\text{-}100 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 23).

Zawartość cynku w ziarnie z obiektów kontrolnych przeprowadzonych doświadczeń pogrupowano w zależności od uzyskanego poziomu plonów. Utworzono 3 grupy – dla plonów niskich, średnich i wysokich – i policzono średnie dla każdej grupy (tab. 24). Wykazano, że zawartość Zn w ziarnie zmniejszała się wraz ze wzrostem plonów. W grupie plonów najniższych wynosiła aż 41, a najwyższych zaledwie  $32 \text{ mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Efekt rozcieńczenia cynku w ziarnie pszenicy został udowodniony również przez innych autorów (65, 233). Uzyskane wyniki wskazują na możliwość zmniejszania się zawartości Zn w ziarnie wraz ze wzrostem poziomu plonowania pszenicy w Polsce.

Tabela 22

Zawartość Zn w ziarnie pszenicy jarej z obiektów kontrolnych  
Zn content in spring wheat grain from control treatments

Zawartość Zn ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Zn content ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	% próbek % of samples
<20	7
21-30	28
31-40	18
41-50	32
>50	15

Tabela 23

Normy zawartości Zn w paszy i żywności ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  
Zn standards in fodder and food ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Konsument Consumer	Zawartość Zn; Zn level		Źródło Source
	wymagana required	tolerowana tolerated	
Krowy mleczne; Cows	50	500	Kruczyńska 1985 (116)
Bydło; Cattle	30	500	USA National Research Council 2000 (217)
Drób; Poultry	40-70	-	USA National Research Council 1994 (219)
Trzoda; Swine	50-100	1000	USA National Research Council 1998 (220)
Konie; Horses	40	500	USA National Research Council 1989 (218)
Człowiek; Man	-	50	Rozporządzenie Ministra Zdrowia 2000 (182)

Tabela 24

Zawartość Zn w ziarnie pszenicy jarej z obiektów kontrolnych w zależności o poziomu plonów  
Zn content in spring wheat grain from control treatments depending on yield levels

Poziom plonów (t · ha <sup>-1</sup> ) Yield levels (t · ha <sup>-1</sup> )	Liczba doświadczeń Number of trials (%)	Zawartość Zn (mg · kg <sup>-1</sup> ) Zn content (mg · kg <sup>-1</sup> )
2,9 (1,4-4,0)	35	41 (19-67)
4,5 (4,2-4,9)	35	37 (20-56)
5,4 (5,1-6,1)	30	32 (17-46)

W celu prześledzenia zmian zawartości cynku w ziarnie pszenicy wyniki własne uzyskane w 74 doświadczeniach polowych przedstawiono na tle badań innych autorów (tab. 25). Porównanie wskazuje na wyraźny spadek zawartości cynku w ziarnie z 37 do 31, a nawet do 26 mg · kg<sup>-1</sup> w ciągu ostatnich 30 lat. Pewne obawy może budzić związane z tym pogorszenie wartości paszowej ziarna pszenicy dla zwierząt (porównaj tab. 23). O zmniejszaniu się zawartości większości mikroelementów w materiale roślinnym w Polsce w ostatnich latach donoszą również inni autorzy (63, 233).

Wyraźny spadek zawartości Zn w ziarnie pszenicy jest dość nieoczekiwany w świetle przedstawionych w przeglądzie literatury tendencji wzrostu zawartości cynku ogólnego w glebach Polski (95) i istnienia w kraju jedynie 13% gleb niedoborowych w ten pierwiastek (117, 150). Być może cynk dostaje się do roślin przez liście z opadu atmosferycznego, a zmniejszenie emisji tego pierwiastka w ramach ochrony środowiska wpływa na zmniejszenie ilości pobieranej przez rośliny. Pewne znaczenie może mieć również efekt rozcieńczenia związany ze wzrostem poziomu plonowania pszenicy w stosunku do lat 70.

Tabela 25

Zawartość Zn w ziarnie pszenicy z terenu Polski  
Zn content in wheat grain from Poland

Lata Years	Zawartość Zn (mg · kg <sup>-1</sup> ) Zn content (mg · kg <sup>-1</sup> )	Liczba próbek No. of samples	Źródło Source
Pszenica; Wheat			
1966–1970	37	501	Kamińska i in. 1976 (98)
1987–1989	37	74	Badania własne
1987–1992	34	200	Gembarzewski i in. 1995 (65)
1988–1994	32	61	Wróbel 2000 (233)
1991–1994	26	105	Wojciechowska i in. 1995 (229)
2001	31	371	Raport MRiRW 2002 (165)

### Podsumowanie rozdziału

- Przy założeniu, że lokalizacja 74 przeprowadzonych doświadczeń oddaje stan uprawy pszenicy jarej w kraju stwierdzono, że ponad połowa areału uprawy pszenicy przypada na gleby bardzo lekkie i lekkie oraz bardzo kwaśne i kwaśne. Jest to prawdopodobnie główny czynnik ograniczający plonowanie tej rośliny.
- Na 74 przeprowadzone doświadczenia w 34 przypadkach uzyskano istotnąwyżkę plonu ziarna pszenicy jarej na skutek zastosowanego rok wcześniej doglebowego nawożenia cynkiem. Świadczy to o korzystnym efekcie następczym tego nawożenia w warunkach klimatyczno-glebowych naszego kraju.
- Najkorzystniejsza pod pszenicę jarą okazała się dawka  $10 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$  zarówno pod względem przyrostu plonu, jak i efektywności nawożenia, powodując średnio dla wszystkich doświadczeń 5%, a w grupie doświadczeń z pozytywną reakcją na Zn 10% wyższą plonu ziarna. Wystąpienie reakcji pszenicy na nawożenie Zn było związane nie tylko z mniejszą zawartością tego pierwiastka, ale również ze stosunkiem Zn : P i Zn : Cu w glebie. Pszenica zareagowała wyższą plonu na nawożenie cynkiem na polach, gdzie cynku było relatywnie mniej w stosunku do fosforu i miedzi.
- Korzystne efekty nawożenia pszenicy jarej cynkiem w Polsce mogą wystąpić na glebach lekkich, przy niskiej lub średniej ich zasobności w ten składnik i równoczesnej wysokiej zawartości fosforu i miedzi w glebie.
- Analiza danych literaturowych wykazała, że w ostatnich 30 latach zawartość cynku w ziarnie polskich pszenic zmniejszyła się o około 15%. Uzyskane w pracy wyniki wskazują na możliwość dalszego zmniejszenia się zawartości Zn w ziarnie wraz ze wzrostem poziomu plonowania pszenicy.
- Ocena potrzeb nawożenia cynkiem przeprowadzona w oparciu o analizę zawartości tego pierwiastka w ziarnie pszenicy wskazuje na większe potrzeby nawożenia tym składnikiem niż analogiczna ocena dokonana na podstawie analizy zawartości Zn w glebie. W świetle przeprowadzonych badań nie można wykluczyć potrzeb nawożenia pszenicy jarej cynkiem na niektórych terenach naszego kraju, ze szczególnym uwzględnieniem pszenicy uprawianej na paszę dla zwierząt.
- Uzyskane wyniki wskazują na potrzebę udoskonalenia metody oceny zasobności gleby w cynk dla uprawy pszenicy jarej.

## 4.2. OCENA POTRZEB NAWOŻENIA PSZENICY OZIMEJ MIEDZIĄ

Potrzeby nawożenia pszenicy ozimej miedzią badano w oparciu o 3 doświadczenia polowe i 3 mikroplotkowe przeprowadzone w latach 2003, 2004 i 2006 w Jelczu-Laskowicach koło Wrocławia. W doświadczeniach polowych testowano reakcję 10 odmian pszenicy ozimej na nawożenie miedzią, ze szczególnym uwzględnieniem różnic odmianowych w zapotrzebowaniu pszenicy na ten składnik pokarmowy.

W eksperymentach mikroplotkowych badano wpływ poziomu agrotechniki i nawożenia azotem na efekty aplikacji Cu. Do tego celu wykorzystano wydzieloną część doświadczeń prowadzonych w ramach Porejstrowego Doświadczalnictwa Odmianowego, dostosowując je do metodyki opracowanej przez COBORU. W poszczególnych latach badań testowano od 13 do 16 odmian pszenicy ozimej, które zostały potraktowane jako powtórzenia. Pozwoliło to na wyciągnięcie bardziej miarodajnych wniosków dla pszenicy jako gatunku. Szczegółową metodykę prowadzenia doświadczeń opisano w rozdziale 3.2.

### 4.2.1. Reakcja odmian pszenicy ozimej na nawożenie dolistne miedzią

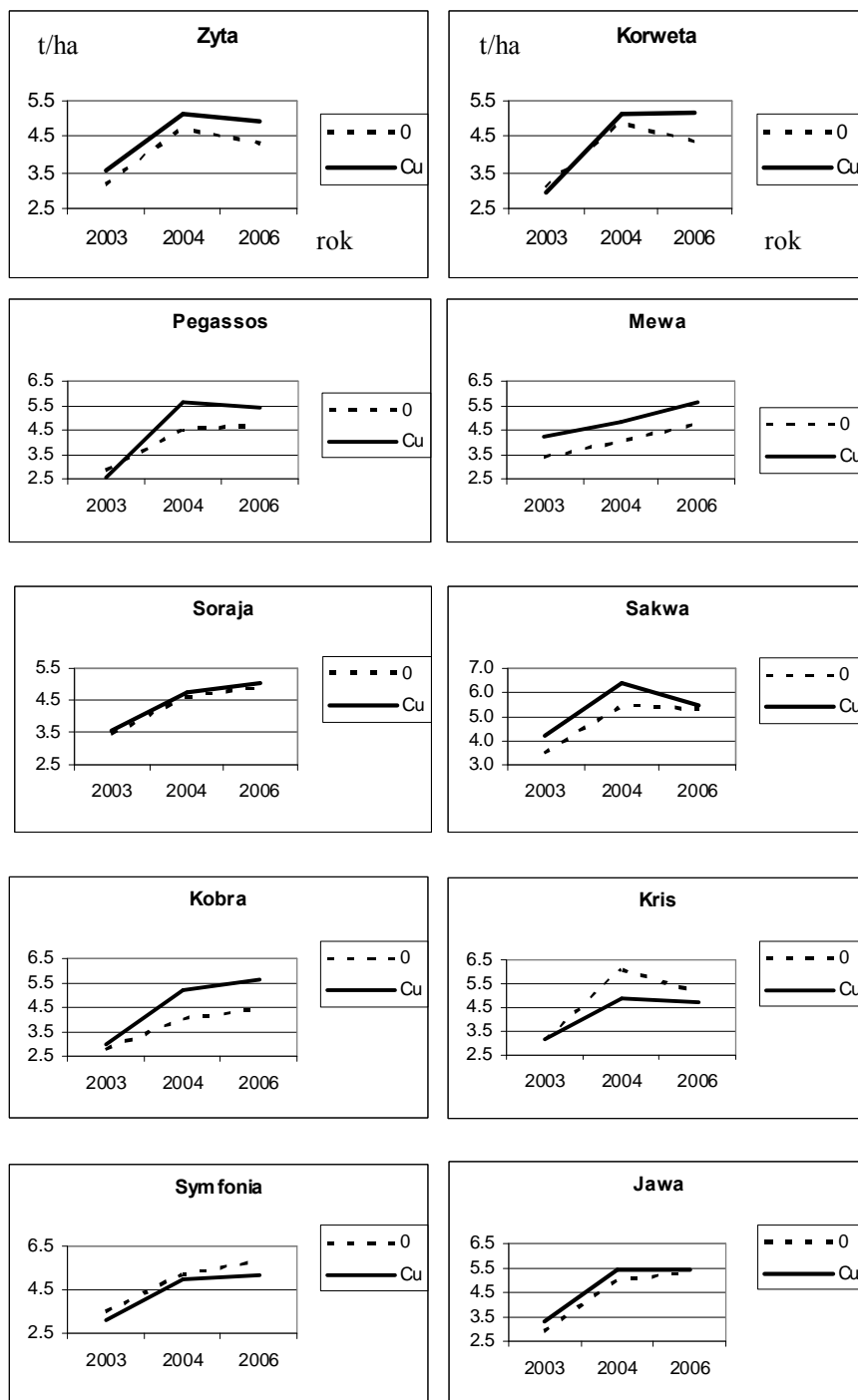
#### Wpływ nawożenia miedzią na plonowanie pszenicy ozimej

Uzyskane w doświadczeniach plony ziarna badanych odmian pszenicy przedstawiono na rysunku 3. W latach 2004 i 2006 pszenica plonowała na podobnym poziomie. Powodem niższych plonów uzyskanych w 2003 r. była mała ilość opadów w miesiącach wiosennych (tab. 9). Warunki pogodowe w poszczególnych latach badań wpływały istotnie na ogólny poziom plonowania odmian pszenicy ozimej, nie zmieniając równocześnie znacząco kierunku ich reakcji na aplikację miedzi. Umożliwiło to wykonanie syntezy statystycznej dla 3 lat badań (tab. 26).

Średnie plony ziarna z obiektów kontrolnych trzech przeprowadzonych doświadczeń wahały się od 3,73 do 4,83 t · ha<sup>-1</sup>, przy czym najniżej plonowała odmiana Kobra, a najwyższej Symfonia. Na obiektach nawożonych Cu uzyskano plony w zakresie od 4,24 do 5,33 t · ha<sup>-1</sup>.

Nawożenie miedzią powodowało istotny wzrost plonów ziarna 5 z 10 badanych odmian pszenicy ozimej. Można wyodrębnić 3 grupy odmian ze względu na ich reakcję na aplikację Cu: I grupa – istotna wyżka plonu (Kobra, Mewa, Pegassos, Sakwa i Zyta), II grupa – brak istotnej reakcji (Korweta, Jawa, Soraja), III grupa – istotna obniżka plonu (Symfonia i Kris). Uzyskane istotne wyżki plonów wahały się od 11,3% do 22,8% (tab. 26). Zwraca uwagę fakt, że na nawożenie Cu zareagowały odmiany najniżej plonujące na obiekcie kontrolnym. Wyjątek stanowiła odmiana Sakwa, która pomimo osiągnięcia dużego plonu bez nawożenia miedzią, zareagowała prawie 12% wzrostem plonu na jej aplikację. Dwie spośród 10 badanych odmian – Symfonia i Kris – zareagowały na oprysk dolistny Cu istotną obniżką plonu, wynoszącą 8,8-11,1%.

Jedynie dwie z badanych odmian zareagowały istotną zmianą plonu słomy na aplikację miedzi (tab. 27). Plon słomy odmiany Pegassos wzrósł o 21,9, a odmiany Kris



Rys. 3. Plony odmian pszenicy ozimej w kolejnych latach badań ( $t \cdot ha^{-1}$ )  
Yield of tested winter wheat cultivars in consecutive years ( $t \cdot ha^{-1}$ )



Tabela 26

Plony ziarna pszenicy ozimej – średnia z 3 lat badań ( $t \cdot ha^{-1}$ )  
 Grain yield of winter wheat – average over 3 years ( $t \cdot ha^{-1}$ )

Odmiana Cultivar	0	+Cu	Zwyżka/Obniżka (%) Increase/Decrease (%)	Grupa odmian Group of cultivars
Kobra	3,73 a	4,58 b	22,8*	I grupa – istotna zwyżka plonów group I – sufficient increase
Mewa	4,08 a	4,88 b	19,6*	
Pegassos	4,03 a	4,52 b	12,2*	
Sakwa	4,77 a	5,33 b	11,7*	
Zyta	4,08 a	4,54 b	11,3*	
Korweta	4,10 a	4,42 a	7,8	II grupa – brak istotnej reakcji group II – no sufficient response
Jawa	4,40 a	4,72 a	7,3	
Soraja	4,31 a	4,45 a	3,2	
Symfonia	4,83 b	4,41 a	-8,8*	III grupa – istotna obniżka plonów group III – sufficient decrease
Kris	4,77 b	4,24 a	-11,1*	

Plony oznaczone tymi samymi literami w ramach jednego wiersza nie różnią się w świetle testu Tukeya ( $\alpha < 0,05$ )  
 Yields marked with same letters within the same line did not differ according to Tukey's test ( $\alpha < 0,05$ )

\* istotna zwyżka/obniżka; significant increase/decrease

Tabela 27

Plon słomy pszenicy ozimej – średnia z 3 lat badań ( $t \cdot ha^{-1}$ )  
 Straw yield of winter wheat – average over 3 years ( $t \cdot ha^{-1}$ )

Odmiana Cultivar	0	+Cu	Zwyżka/Obniżka (%) Increase/Decrease (%)	Grupa odmian Group of cultivars
Kobra	3,30 a	3,73 a	13,0	I grupa group I
Mewa	3,35 a	3,71 a	10,7	
Pegassos	3,17 a	3,86 b	21,8*	
Sakwa	4,63 a	4,31 a	-6,9	
Zyta	3,79 a	3,81 a	0,5	
Korweta	3,65 a	3,72 a	1,9	II grupa group II
Jawa	3,88 a	3,74 a	-3,5	
Soraja	4,07 a	3,87 a	-4,8	
Symfonia	3,84 a	3,83 a	-0,3	III grupa group III
Kris	4,11 b	3,63 a	-11,7*	

Objaśnienia jak do tab. 26; Explanations see table 26

zmniejszył się o 11,7%. Zwraca uwagę fakt, że podobnie jak w przypadku ziarna w grupie I można zauważyć pewną tendencję do wzrostu, a w grupie III do spadku plonów słomy na skutek aplikacji Cu. Wyjątkiem jest odmiana Sakwa zaliczona do I grupy, której plon słomy zmniejszył się o prawie 7%.

Nawożenie miedzią miało znacznie większy wpływ na plony ziarna badanych odmian niż na plon słomy. Niedobór miedzi u pszenicy oddziałuje bowiem znacznie silniej na fazę generatywną niż wegetatywną, co ma związek z zaburzeniami procesu zapyłania kwiatów i zawiązywania ziarniaków (75, 158).

Nawożenie miedzią nie wpłynęło na wielkość ziaren pszenicy ozimej żadnej z testowanych odmian. Masa tysiąca ziaren z obiektów kontrolnych i nawożonych miedzią kształtowała się na tym samym poziomie, nawet u odmian z grupy I, gdzie wystąpiły znaczne zwyczajki plonu ziarna (tab. 28). Oznacza to, że nawożenie miedzią powodowało raczej wzrost liczby ziaren w kłosie, a nie ich wielkości. Jest to potwierdzeniem dodatniego wpływu miedzi na proces zawiązywania ziaren u pszenicy (49, 70, 71, 154, 227).

Tabela 28

Masa tysiąca ziaren (MTZ) – średnia z 3 doświadczeń (g)  
Weight of 1000 seeds – average over 3 years (g)

Odmiana Cultivar	0	+Cu	Zwyzka/Obnizka (%) Increase/Decrease (%)	Grupa odmian Group of cultivars
Kobra	45,51 a	45,38 a	-0,3	I grupa group I
Mewa	46,99 a	46,36 a	-1,3	
Pegassos	46,19 a	45,93 a	-0,6	
Sakwa	45,84 a	45,99 a	0,3	
Zyta	46,43 a	46,26 a	-0,4	
Korweta	45,96 a	45,86 a	-0,2	II grupa group II
Jawa	45,58 a	47,05 a	3,2	
Soraja	46,33 a	45,14 a	-2,6	
Symfonia	46,05 a	45,91 a	-0,3	III grupa group III
Kris	44,59 a	45,11 a	1,2	

Objaśnienia jak do tab. 26; Explanations see table 26

### Wpływ aplikacji miedzi na zawartość makroskładników i Cu w częściach nadziemnych i ziarnie pszenicy ozimej

Analiza zawartości makroskładników w częściach nadziemnych roślin z obiektów kontrolnych wykazała, że wszystkie badane odmiany pszenicy były dobrze zaopatrzone w azot, potas, fosfor i magnez w fazie początku strzelania w źdźbło (tab. 29). Jednocześnie dla większości odmian zawartość wapnia kształtowała się poniżej dolnego zakresu optimum.

Zawartość miedzi w częściach nadziemnych pszenicy ozimej nawożonej tym składnikiem w porównaniu z nienawożoną przedstawiono w tabeli 30. We wszystkich badanych odmianach zawartość Cu w częściach nadziemnych wzrosła na skutek dolistnej jej aplikacji od 4,7 do 25,0% zależnie od odmiany, jednak dla odmiany Mewa oraz odmian III grupy był to wzrost nieistotny.

Nawożenie miedzią nie spowodowało istotnego wzrostu zawartości tego pierwiastka w ziarnie badanych odmian pszenicy (tab. 31). Zastanawia fakt, że wystąpiła tendencja, a w przypadku odmiany Kobra i Mewa nawet istotna obniżka zawartości Cu na obiektach nawożonych tym pierwiastkiem w stosunku do obiektów nienawożonych. Miało to prawdopodobnie związek z tzw. efektem rozcieńczenia. Podobne rezultaty

Tabela 29

Zawartość makroelementów w częściach nadziemnych pszenicy ozimej z obiektów kontrolnych –  
średnie z 3 doświadczeń  
Macronutrients concentration in winter wheat shoots from control treatments – average over 3 years

Odmiana Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	Grupa Group
	%					
Kobra	3,26	0,41	3,46	0,29	0,12	I grupa group I
Mewa	3,46	0,43	3,64	0,31	0,12	
Pegassos	3,61	0,45	3,68	0,33	0,12	
Sakwa	3,52	0,46	3,66	0,33	0,11	
Zyta	3,32	0,46	3,49	0,32	0,12	
Korweta	3,51	0,45	3,64	0,36	0,13	II grupa group II
Jawa	3,52	0,47	3,78	0,32	0,12	
Soraja	3,39	0,44	3,67	0,31	0,12	
Symfonia	3,47	0,45	3,60	0,32	0,12	III grupa group III
Kris	3,62	0,48	3,67	0,33	0,12	
Optimum*	3,00-5,00	0,30-0,60	3,50-5,50	0,40-1,00	0,12-0,25	

\* zawartość optymalna (14); optimum concentration (14)

Tabela 30

Zmiany zawartości miedzi w częściach nadziemnych pszenicy ozimej pod wpływem nawożenia tym  
pierwiastkiem – średnie z 3 doświadczeń ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  
A change of copper concentration in winter wheat shoots after Cu fertilization – average over 3 years  
( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Odmiana Cultivar	Zawartość Cu; Cu concentration		Zwyżka/Onizka (%)	Grupa Group
	0	+Cu	Increase/Decrease (%)	
Kobra	4,0 a	5,0 b	25,0*	I grupa group I
Mewa	4,3 a	4,5 a	4,7	
Pegassos	4,2 a	4,9 b	16,7*	
Sakwa	4,4 a	4,9 b	11,4*	
Zyta	4,4 a	4,9 b	11,4*	
Korweta	4,8 a	5,4 b	12,5*	II grupa group II
Jawa	4,6 a	5,2 b	13,0*	
Soraja	4,3 a	4,9 b	14,0*	
Symfonia	4,6 a	5,1 a	10,9	III grupa group III
Kris	4,8 a	5,1 a	6,2	

Objaśnienia jak do tab. 26; Explanations see table 26

otrzymali O w u o c h e i n. (153) w badaniach dotyczących wpływu nawożenia Cu na jej zawartość w ziarnie kanadyjskich odmian pszenicy.

Bardzo trudno jest dokonać oceny zawartości Cu w tkankach roślinnych pszenicy ozimej w przeprowadzonych doświadczeniach, ponieważ w literaturze podawane są wartości krytyczne dla różnych faz rozwojowych i różnych organów roślin pobieranych do analiz. Ponadto, nawet dla tych samych faz rozwojowych i organów roślin

Tabela 31

Zmiany zawartości miedzi w ziarnie pod wpływem nawożenia tym pierwiastkiem –  
średnie z 3 doświadczeń ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

A change of copper concentration in grain after Cu fertilization – average over 3 years ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Odmiana Cultivar	Zawartość Cu; Cu concentration		Zwyżka/Obniżka (%) Increase/Decrease (%)	Grupa Group
	0	+Cu		
Kobra	2,7 b	2,4 a	-11,1*	I grupa group I
Mewa	2,5 b	2,2 a	-12,0*	
Pegassos	2,4 a	2,3 a	-4,2	
Sakwa	2,9 a	2,7 a	-6,9	
Zyta	2,6 a	2,5 a	-3,8	
Korweta	2,6 a	2,4 a	-7,7	II grupa group II
Jawa	2,6 a	2,5 a	-3,8	
Soraja	2,5 a	2,7 a	8,0	
Symfonia	2,6 a	2,7 a	3,8	III grupa group III
Kris	2,6 a	2,5 a	-3,8	

Objaśnienia jak do tab. 26; Explanations see table 26

wartości te znacznie się różnią (tab. 3). Dodatkowym problemem jest fakt, że wartości krytyczne podawane są jedynie dla pszenicy jako gatunku, bez uwzględniania różnic odmianowych. W przeprowadzonych badaniach miedź oznaczano w całych częściach nadziemnych pszenicy pobranych w fazie początku strzelania w źdźbło/pierwszego kolanka. Analogiczne wartości krytyczne dla pszenicy ozimej podawane przez poszczególnych autorów oscylują od 3,0 do 7,0  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 3). W niniejszych badaniach zawartość Cu w pędach wahała się od 4,0 do 4,8 na obiektach kontrolnych i od 4,5 do 5,4  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  na obiektach nawożonych (tab. 30). Istotne zwyżki plonów wystąpiły przy zawartości początkowej w zakresie 4,0-4,4, a obniżki w zakresie 4,6-4,8  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , w zależności od odmiany. Jednocześnie należy zauważyć, że u niektórych odmian nie stwierdzono istotnej reakcji na aplikację Cu w zakresie zawartości 4,3-4,8  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Zwraca uwagę fakt stosunkowo niedużej różnicy w zawartości Cu w pędach pomiędzy odmianami reagującymi dodatnio i ujemnie na nawożenie miedzią. Oznacza to, że zawartość w pędach nie jest najlepszym wskaźnikiem określania potrzeb pokarmowych pszenicy.

### Różna reakcja odmian pszenicy ozimej na nawożenie miedzią

Pięć z dziesięciu badanych odmian pszenicy można zaliczyć do grupy o dużym (grupa I), dwie o małym (grupa III) i trzy o średnim (grupa II) zapotrzebowaniu na Cu. Różnice pomiędzy badanymi odmianami pszenicy w zapotrzebowaniu na miedź, wynikające na ogół z efektywności jej wykorzystania, wykazali również O w u o c h e i in. (152, 153) oraz P i e n i n g i in. (158).

Odmiany I grupy (Kobra, Mewa, Pegassos, Sakwa i Zyta) charakteryzowały się słabym wykorzystaniem Cu z podłoża. Naturalna, średnia zawartość Cu w glebach

doświadczalnych była dla nich niewystarczająca. Odmiany te na obiektach kontrolnych charakteryzowały się niską zawartością Cu w częściach nadziemnych i plonowały niżej niż odmiany grupy II i III. Aplikacja miedzi powodowała u tych odmian istotny wzrost zawartości Cu w pędach i istotny wzrost plonu ziarna oraz tendencję do wzrostu plonu słomy (tab. 26, 27 i 30). Wykazano, że Kobra cechowała się najwyższym zapotrzebowaniem na nawożenie Cu ze wszystkich badanych odmian. Odmiana ta na obiektach kontrolnych zarówno akumulowała najmniej Cu, jak i plonowała najmniej. Równocześnie nawożenie miedzią powodowało zarówno największy wzrost zawartości Cu w pędach (25%), jak i największą zwyżkę plonu ziarna (prawie 23%). Pewnym wyjątkiem w tej grupie była odmiana Sakwa, która pomimo wysokich plonów na obiekcie kontrolnym reagowała na aplikację Cu prawie 12% wzrostem plonu ziarna. Charakterystyczna jest reakcja odmiany Mewa, u której nie stwierdzono istotnego wzrostu zawartości Cu w pędach na skutek jej aplikacji (tab. 30), pomimo prawie 20% wzrostu plonu.

Dla odmian II grupy (Korweta, Jawa i Soraja) wyjściowa zawartość miedzi w glebie była wystarczająca. Odmiany te akumulowały w pędach na ogół większą ilość Cu niż odmiany I grupy. Pomimo że nawożenie miedzią powodowało istotny wzrost zawartości tego pierwiastka w częściach nadziemnych, to nie stwierdzono istotnego wzrostu plonu ziarna.

Dla odmian grupy III (Symfonii i Krisa), podobnie jak dla II grupy, wyjściowa zawartość miedzi w glebie była wystarczająca. Odmiany te na obiektach bez Cu plonowały najwyżej i akumulowały w pędach większe ilości Cu niż odmiany I grupy. Jednak nawożenie obu tych odmian miedzią spowodowało istotną obniżkę plonu. Zwraca uwagę fakt, że na skutek aplikacji miedzi nie stwierdzono u tych odmian nadmiernej akumulacji Cu w tkankach. Zawartość miedzi w pędach i ziarnie odmian Kris i Symfonia nie była znacząco wyższa niż u odmian grupy I i nie przekraczała odpowiednio: 5,1 i 2,7 mg Cu · kg<sup>-1</sup>. Koncentracja 5,1 mg Cu · kg<sup>-1</sup> w pędach uważana jest za wartość poniżej dolnego zakresu zawartości optymalnej dla pszenicy ozimej (14), a zawartość w ziarnie wynosząca 2,7 mg · kg<sup>-1</sup> za wartość w dolnych granicach zawartości średniej (96, 98). Uzyskanych obniżek plonu nie można więc tłumaczyć nadmierną zawartością Cu w tkankach roślinnych po zastosowaniu nawożenia tym składnikiem.

Aplikacja miedzi nie spowodowała również u odmian III grupy zmian zawartości N i Zn (tab. 32), które byłyby powodem uzyskanych obniżek plonów, pomimo że w literaturze omawiana jest interakcja Cu–N (82) i Cu–Zn (90). Wyjaśnienie mechanizmu spadku plonu odmian Symfonia i Krisa (III grupa) na skutek aplikacji Cu wymaga dalszych badań.

Tabela 32

Porównanie trzech grup odmian pszenicy ozimej – średnie z 3 doświadczeń  
Comparison of 3 groups of winter wheat cultivars – average over 3 trials

Grupa Group	Plon Yield (t · ha <sup>-1</sup> )	Cu (mg · kg <sup>-1</sup> )		N (%)		Zn (mg · kg <sup>-1</sup> )	
		pędy shoots	ziarno grain	pędy shoots	ziarno grain	pędy shoots	ziarno grain
0 g Cu · ha <sup>-1</sup>							
I	4,14	4,3	2,6	3,4	2,2	27	31
II	4,27	4,6	2,6	3,5	2,1	27	29
III	4,80	4,7	2,6	3,6	2,0	27	30
305 g Cu · ha <sup>-1</sup>							
I	4,77	4,8	2,4	3,4	2,2	28	28
II	4,53	5,2	2,5	3,5	2,2	28	28
III	4,33	5,1	2,6	3,4	2,2	27	29
Optimum* lub średnia**		7-15*	2-12**	3,0-5,0*	1,4-2,7**	25-70*	17-71**
Optimum* or average**							

\* optimum wg Bergmanna; optimum acc. to Bergmann (14)

\*\* średnia dla Polski wg Kamińskiej i in.; average in Poland acc. to Kamińska et al. (98)

### Podsumowanie rozdziału

- Badane odmiany pszenicy ozimej różniły się istotnie reakcją na nawożenie miedzią. Przy tej samej, średniej zawartości Cu w glebie 5 z 10 badanych odmian reagowało 11-23% zwyżką plonu, dwie 9-11% obniżką, a trzy nie reagowały istotnie na nawożenie dolistne Cu.

- Kierując się reakcją odmian na nawożenie Cu oraz zawartością tego pierwiastka w pędach podzielono badane odmiany pszenicy ozimej na 3 grupy różniące się zapotrzebowaniem na miedź:

I grupa – odmiany o dużym zapotrzebowaniu: Kobra, Mewa, Pegassos, Sakwa, Zyta;

II grupa – odmiany o średnim zapotrzebowaniu: Korweta, Jawa, Soraja;

III grupa – odmiany o małym zapotrzebowaniu: Symfonia, Kris.

- Dolistna aplikacja miedzi miała znacznie większy wpływ na plony ziarna niż słomy badanych odmian pszenicy. Potwierdza to tezę, że miedź jest niezbędna w procesie zapylenia i zawiązywania ziarniaków i w związku z tym znacznie silniej oddziałuje na rozwój generatywny niż na wzrost wegetatywny pszenicy.

- Nawożenie miedzią nie wpłynęło na wielkość ziaren pszenicy żadnej z testowanych odmian. Najprawdopodobniej aplikacja Cu powodowała raczej wzrost liczby, a nie wielkości ziaren w kłosie.

- Zawartość miedzi w częściach nadziemnych w fazie początku strzelania w źdźbło nie jest w pełni wiarygodnym wskaźnikiem potrzeb pokarmowych pszenicy ozimej i może mieć jedynie ograniczone zastosowanie.

- Ze względu na istniejące różnice w zapotrzebowaniu poszczególnych odmian pszenicy ozimej na Cu decyzję o nawożeniu tym składnikiem należy podejmować nie tylko w zależności od zasobności gleby w ten pierwiastek, ale również w zależności od uprawianej odmiany.
- U odmian z depresją plonów po dolistnej aplikacji miedzi zawartość Cu w pędach i ziarnie nie wzrastała nadmiernie. Również zawartość N i Zn w pędach tych odmian nie ulegała istotnej zmianie. Określenie przyczyn powodujących obniżkę plonów tych odmian po dolistnym nawożeniu Cu wymaga dalszych badań.

#### 4.2.2. Ocena czynników determinujących reakcję pszenicy ozimej na dolistne nawożenie miedzią

##### Wpływ nawożenia miedzią i poziomu agrotechniki na plonowanie pszenicy ozimej

Plony pszenicy w roku 2003 wahały się od 3,57 do 4,41, w 2004 roku od 5,27 do 6,59, a w roku 2006 od 4,99 do 5,82 t · ha<sup>-1</sup> (tab. 33). Powodem uzyskania niższych plonów w 2003 roku była mała ilość opadów w miesiącach wiosennych (tab. 9). Dość korzystny układ czynników pogodowych w 2004 roku pozwolił na uzyskanie stosunkowo dużego plonu.

Analizując wyniki badań rozpatrywano głównie wpływ poziomu agrotechniki na reakcję pszenicy na aplikację Cu, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu azotu. Wykonanie doświadczeń w jednym powtórzeniu nie pozwoliło na zbadanie interakcji „agrotechnika x Cu x odmiany” (czyli różnic pomiędzy odmianami w reakcji na nawożenie Cu, na każdym poziomie agrotechniki), ale umożliwiło ocenę działania Cu na danym poziomie agrotechniki dla wszystkich odmian łącznie. W ten sposób można było wyciągnąć wnioski o skuteczności działania oprysku miedzią na pszenicę przy zastosowaniu podstawowej i intensywnej agrotechniki, niezależnie od uprawianej odmiany. Duża liczba badanych odmian gwarantowała wiarygodność obserwacji dla pszenicy jako gatunku.

Tabela 33

Plon ziarna pszenicy ozimej – średnie dla odmian  
Grain yield of winter wheat – averages for cultivars

Rok Year	Podstawowy poziom agrotechniki A1 Basic level of agronomic practice A1			Intensywny poziom agrotechniki A2 Intensive level of agronomic practice A2		
	0	+Cu	reakcja; response (%)	0	+Cu	reakcja; response (%)
2003	3,82 b	3,57 a	-6,5*	4,41 a	4,34 a	-1,6
2004	5,27 a	5,50 a	4,4	6,05 a	6,59 b	8,9*
2006	5,10 a	4,99 a	-2,2	5,74 a	5,82 a	1,4

Plony oznaczone tymi samymi literami w ramach jednego poziomu agrotechniki nie różnią się w świetle testu Tukay'a ( $\alpha < 0,05$ ); Yields marked with the same letters within the same cultivation technology level did not differ according to Tukey's test ( $\alpha < 0,05$ )

\* istotnawyżka/obniżka; significant increase/decrease



Przeprowadzona analiza wariancji plonów pszenicy wykazała istotną interakcję pomiędzy poziomem agrotechniki a nawożeniem miedzią we wszystkich 3 latach badań.

W roku 2003 dolistna aplikacja miedzi na podstawowym poziomie agrotechniki A1 powodowała istotny spadek plonów o 6,5%, a na intensywnym poziomie A2 nie powodowała istotnej statystycznie reakcji w plonach. W roku 2004 pszenica zareagowała 4,4% wzrostem plonu na podstawowym poziomie agrotechniki A1 i prawie 9% na poziomie A2, przy czym wyższa na poziomie A1 nie była istotna w świetle testu Tukeya. W roku 2006 aplikacja miedzi nie wpłynęła istotnie na plonowanie pszenicy na obu poziomach agrotechniki, choć zaobserwowano nieudowodnioną statystycznie tendencję do niewielkiego spadku na poziomie podstawowym i wzrostu plonów przy intensywnym poziomie agrotechniki.

#### Wpływ nawożenia miedzią i poziomu agrotechniki na zawartości N i Cu w tkankach roślinnych

Zawartość Cu w pędach pszenicy była zróżnicowana w poszczególnych latach badań. Najwyższe zawartości 5,3-6,5 mg · kg<sup>-1</sup> zaobserwowano w roku 2003, a najniższe 3,1-3,6 mg · kg<sup>-1</sup> w 2004 roku (tab. 34). Oprysk miedzią zwiększał jej zawartość w tkankach zielonych na obu poziomach agrotechniki. Wyjątkiem był poziom A1 w 2004 roku, gdzie zaobserwowano niewielką obniżkę zawartości Cu. Na uwagę zasługuje zjawisko wyższej, we wszystkich 3 latach badań, zawartości miedzi na obiekcie z intensywnym poziomem agrotechniki (A2Cu+) niż na obiekcie z poziomem podstawowym (A1Cu+).

Poziom zawartości Cu w ziarnie pszenicy ozimej we wszystkich 3 latach badań był zbliżony i wahał się od 2,3 do 2,6 mg · kg<sup>-1</sup>. Oprysk miedzią nie powodował większych zmian w zawartości tego pierwiastka w ziarnie.

Zawartość N w pędach pszenicy (tab. 35), podobnie jak Cu, była najwyższa w 2003 r. (4,2-4,5%), a najniższa w 2004 roku (2,6-3,6%). We wszystkich latach badań na poziomie A2, gdzie stosowano o 40 kg wyższą dawkę azotu, na ogół obser-

Tabela 34

Zawartość miedzi w pędach i ziarnie pszenicy ozimej (mg · kg<sup>-1</sup>) – średnie z odmian  
Content of copper in winter wheat shoots and grain (mg · kg<sup>-1</sup>) – averages for cultivars

Rok Year	Pędy; Shoots				Ziarno; Grain			
	poziom podstawowy basic level – A1		poziom intensywny intensive level – A2		poziom podstawowy basic level – A1		poziom intensywny intensive level – A2	
	0	+Cu	0	+Cu	0	+Cu	0	+Cu
2003	5,3	6,0	5,8	6,5	2,5	2,5	2,6	2,4
2004	3,3	3,1	3,1	3,6	2,6	2,6	2,5	2,6
2006	4,3	4,9	4,1	5,9	2,3	2,5	2,4	2,4
Średnia Average	4,3	4,7	4,3	5,3	2,5	2,5	2,5	2,5

Tabela 35

Zawartość azotu w pędach i ziarnie pszenicy ozimej w % – średnie z odmian  
 Concentration of nitrogen in winter wheat shoots and grain in % – averages for cultivars

Rok Year	Pędy; Shoots				Ziarno; Grain			
	poziom podstawowy basic level – A1		poziom intensywny intensive level – A2		poziom podstawowy basic level – A1		poziom intensywny intensive level – A2	
	0	+Cu	0	+Cu	0	+Cu	0	+Cu
2003	4,2	4,3	4,5	4,5	2,6	2,6	2,6	2,7
2004	2,6	2,8	3,1	3,6	1,5	1,5	1,5	1,6
2006	3,3	3,2	3,4	3,2	1,9	2,0	2,0	2,0
Średnia Average	3,4	3,4	3,6	3,8	2,0	2,0	2,0	2,1

wowano większą zawartość tego pierwiastka w pędach niż u roślin rosnących na poziomie A1. Zwraca uwagę fakt, że w roślinach nawożonych miedzią na ogół stwierdzano wyższą zawartość azotu niż w roślinach nienawożonych tym składnikiem.

Zróznicowanie zawartości N w poszczególnych latach badań dotyczyło również ziarna. Podobnie jak w pędach, najwyższą zawartość N stwierdzono w 2003 r. a najniższą w 2004 roku. Nie wykazano jednak ani wpływu poziomu agrotechniki, ani dodatku Cu na zawartość azotu w ziarnie.

#### **Analiza czynników wpływających na reakcję pszenicy ozimej na aplikację miedzi**

Reakcja pszenicy na nawożenie miedzią zależała głównie od zasobności gleb w ten pierwiastek. Gleba z doświadczenia przeprowadzonego w 2004 roku zawierała najmniej miedzi ( $2,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) i tu wystąpiły 4-9% wyżki plonu ziarna (tab. 7 i 33). W pozostałych dwóch latach badań przy zawartości  $2,5\text{-}2,8 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$  w glebie rośliny nie reagowały istotnym wzrostem plonu, a w 2003 r. wystąpiła nawet istotna obniżka na skutek dolistnej aplikacji miedzi.

Niewystarczającą dla pszenicy zawartość Cu w glebie w roku 2004 potwierdza koncentracja tego pierwiastka w tkankach roślinnych. W roku tym pędy pszenicy w fazie początku strzelania w źdźbło na poletkach bez nawożenia Cu zawierały jedynie  $3,1\text{-}3,3$ , podczas gdy w pozostałych latach  $4,1\text{-}5,8 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 34). Problem krytycznej zawartości Cu w roślinach pszenicy nie jest jednoznacznie określony w literaturze (tab. 3). Według B e r g m a n n a (14) krytyczny poziom Cu w całych pędach pszenicy ozimej w fazie początku strzelania w źdźbło wynosi  $7,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , S c h n u g (191) mówi o  $3,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  w fazie pierwszego kolanka, J o n e s i n. (94) przyjmują  $3,0\text{-}5,0 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$  w dwóch górnych liściach bezpośrednio przed kłoszeniem, a R u s z k o w s k a i n. (185)  $3,2 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$  w górnym liściu pędu głównego w początkowej fazie strzelania w źdźbło. Dodatnia reakcja pszenicy na nawożenie miedzią w roku 2004 wykazuje, że zawartość  $3,1\text{-}3,3 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$  w pędach była niewystarczająca.

Nie tylko zawartość Cu w glebie i w roślinie, ale również poziom agrotechniki miał wpływ na reakcję pszenicy na aplikację Cu. Intensywny poziom agrotechniki (A2) eliminował niekorzystny lub potęgował korzystny wpływ działania miedzi w porównaniu z poziomem podstawowym (A1); (tab. 33). Pamiętając, że poziom A2 różnił się od A1 zwiększonym nawożeniem azotem, stosowaniem fungicydów i antywylegacza można przypuszczać, że na działanie miedzi największy wpływ miał poziom nawożenia azotem. Interakcja miedzi i azotu jest zjawiskiem znanym i od dawna opisywanym w literaturze (patrz rozdz. 2.2). Zastosowanie większej dawki azotu najprawdopodobniej zwiększało zapotrzebowanie pszenicy na miedź. Jones i in. (94) podają, że dodatek azotu do gleby, szczególnie przy niskiej zasobności w miedź, zwiększa deficyt Cu w tkankach roślinnych, zaś Brennan (20) stwierdza, że wymagania pszenicy w stosunku do miedzi wzrastają przy wysokim nawożeniu azotem. Ponadto stosowanie fungicydów najprawdopodobniej nie miało znaczącego wpływu na plonowanie pszenicy, a tym samym na działanie miedzi. We wszystkich 3 latach badań nie stwierdzono bowiem porażenia pszenicy mączniakiem i rdzą brunatną, a porażenie septoriozami było zbliżone na obu poziomach agrotechniki A1 i A2, pomimo że stosowano fungicydy na intensywnym poziomie uprawy A2. Ocenę porażenia grzybami z rodzaju *Septoria* przeprowadzano w skali 9-stopniowej (tab. 36). Stopień 9 oznacza, że rośliny nie posiadały jakichkolwiek objawów porażenia septoriozami. Niewielki stopień porażenia pszenicy chorobami grzybowymi wynikał najprawdopodobniej z warunków pogodowych. Wszystkie trzy lata badań cechowały się mniejszą od średniej z wieloletnia ilością opadów (tab. 9).

Analiza poziomu zawartości azotu i miedzi w tkankach roślin pszenicy potwierdza występowanie interakcji N–Cu. Rośliny uprawiane na obiektach nawożonych większą dawką azotu (A2) charakteryzowały się wyższą zawartością Cu w pędach w porównaniu z roślinami nawożonymi dawką mniejszą (A1), przy czym więcej miedzi zawierały jedynie rośliny na obiektach nawożonych Cu; nie dotyczyło to jednak roślin nienawożonych tym mikroelementem (tab. 34). Oznacza to, że miedź nie dostała się do tkanek roślinnych wraz z fungicydami lub antywylegaczem. Ponadto w roślinach nawożonych miedzią stwierdzono wyższą zawartość azotu w porównaniu z roślinami nienawożonymi tym składnikiem (tab. 35).

Tabela 36

Ocena porażenia pszenicy ozimej przez grzyby z rodzaju *Septoria*  
Evaluation of winter wheat infection by *Septoria* fungi

Rok Year	Liście; Leaves		Plewy; Glume	
	poziom podstawowy basic level – A1	poziom intensywny intensive level – A2	poziom podstawowy basic level – A1	poziom intensywny intensive level – A2
2003	7,5	7,0	nie wystąpiło no occurrence	nie wystąpiło no occurrence
2004	nie wystąpiło no occurrence	nie wystąpiło no occurrence	6,5	6,5
2006	6,0	7,0	6,0	7,0

Współdziałanie N i Cu w roślinach potwierdzają obliczenia korelacji pomiędzy zawartością tych pierwiastków w pędach pszenicy ozimej wszystkich badanych odmian. Wykazano, że na obiektach nawożonych miedzią zawartość Cu i N była istotnie skorelowana (tab. 37). K a b a t a - P e n d i a s i P e n d i a s (96) podają, że korelacja taka występuje u wielu gatunków roślin i ma związek z tworzeniem się silnych kompleksów białkowo-miedziowych w roślinach.

Tabela 37

Współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartością N i Cu w częściach nadziemnych pszenicy ozimej  
Coefficients of correlation between N and Cu concentration in top plant tissue of winter wheat

Rok; Year	0	+Cu
2003 (n 26)	0,729***	0,781***
2004 (n 30)	n.i.	0,672***
2006 (n 32)	n.i.	0,429***

\*\*\* istotne statystycznie przy  $\alpha < 0,001$ ; statistically significant at  $\alpha < 0,001$  respectively  
n.i. – nieistotne; non significant

### Podsumowanie rozdziału

- Na efekty nawożenia miedzią istotny wpływ miał poziom agrotechniki, a szczególnie poziom nawożenia azotem. Intensywny poziom agrotechniki z większą dawką N ( $130 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) powodował zwiększenie efektu plonotwórczego nawożenia miedzią lub eliminował negatywny wpływ Cu, który wystąpił przy podstawowym poziomie agrotechniki z niższą dawką azotu ( $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Zastosowanie wyższej dawki azotu najprawdopodobniej powodowało zwiększenie zapotrzebowania pszenicy na miedź.
- Reakcja pszenicy ozimej na nawożenie Cu zależała głównie od zasobności gleby w ten składnik. Pszenica uprawiana na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego reagowała wyższą plonem na dolistny oprysk miedzią w przypadku zawartości miedzi w glebie nie większej niż  $2 \text{ mg Cu}_{\text{HCl}} \cdot \text{kg}^{-1}$ , przy jednoczesnym intensywnym nawożeniu azotem.
- Oprysk dolistny miedzią zwiększał zawartość tego pierwiastka w pędach pszenicy i nie miał wpływu na jego zawartość w ziarnie.

#### 4.3. REAKCJA ODMIAN PSZENICY OZIMEJ NA NAWOŻENIE DOLISTNE BOREM

Reakcję 10 odmian pszenicy ozimej na nawożenie borem badano w 6 doświadczeniach polowych przeprowadzonych w latach 2003–2006 w Jelczu-Laskowicach koło Wrocławia i Osinach koło Puław, po 3 doświadczenia w każdej miejscowości. Bor stosowano dolistnie wiosną w dawce  $175 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Szczegółową metodykę prowadzenia doświadczeń opisano w rozdziale 3.2.1.

##### 4.3.1. Wpływ nawożenia borem na plonowanie pszenicy ozimej

Zupełnie różna reakcja odmian pszenicy na nawożenie borem zarówno w obu miejscowościach, jak i poszczególnych latach badań nie pozwoliła na obliczenie syntezy statystycznej (wnioskowanie na średnich) i spowodowała konieczność omawiania wszystkich 6 doświadczeń oddzielnie.

Na ogół można stwierdzić, że w Jelczu-Laskowicach wystąpiła większa reakcja odmian pszenicy na nawożenie borem niż w Osinach (tab. 38 i 39). Było to najprawdopodobniej związane z mniejszą zasobnością gleb w bor w stacji Jelcz-Laskowice (porównaj tab. 6).

W Jelczu-Laskowicach w 2003 roku, przy małej zawartości B w glebie, aż 6 z 10 badanych odmian zareagowało istotnym przyrostem plonu ziarna, w granicach 18,9-34,6% (tab. 38). W kolejnych latach badań już tylko po dwie odmiany w każdym roku wykazały istotny wzrost plonu, przy czym był on niższy niż w pierwszym roku badań i kształtował się na poziomie 12,0-23,1%. Jednocześnie w trzecim roku badań 3 odmiany zareagowały istotną obniżką plonu ziarna, w granicach 12,5-23,2%. Można przypuszczać, że powodem mniejszego przyrostu plonu oraz wystąpienia obniżek w roku 2006 była większa zasobność gleby w bor w porównaniu z zasobnością w dwóch pierwszych latach badań (tab. 6).

W Osinach, gdzie wszystkie gleby charakteryzowały się średnią zawartością boru jedynie w pierwszym roku badań stwierdzono istotny wzrost plonów na skutek jego aplikacji (tab. 39). Cztery spośród 10 badanych odmian zareagowały 5,8-7,0% zwyżką plonu ziarna. W kolejnych dwóch latach badań nie wykazano istotnej zmiany w plonowaniu po aplikacji boru. Zwraca uwagę fakt, że pomimo średniej zawartości boru w glebie nie wystąpiły tu istotne obniżki plonu, co miało miejsce w Jelczu-Laskowicach przy takiej samej zasobności gleby.

Nie udało się, tak jak w doświadczeniach z miedzią, wydzielić grup odmian pszenicy ozimej podobnie reagujących na nawożenie borem. Te same odmiany reagowały na aplikację B zupełnie odmiennie w różnych latach badań – od zwyżek, poprzez brak reakcji, aż do obniżek plonu. Na przykład odmiana Symfonia w pierwszym roku badań w Jelczu-Laskowicach zareagowała na nawożenie borem 18,9% wzrostem plonu, w drugim roku nie wykazała istotnej reakcji, a w trzecim zareagowała 23,2% zmniejszeniem plonu ziarna. Odmiana Kris w pierwszym roku zareagowała na nawożenie borem najwyższą 34,6% zwyżką plonu, a w pozostałych dwóch latach nie wykazała

Tabela 38

Plony ziarna pszenicy ozimej w Jelczu-Laskowicach  
Yield of grain winter wheat in Jelcz-Laskowice

2003 r.			2004 r.			2006 r.		
Odmiana Cultivar	Kontrola Control (t · ha <sup>-1</sup> )	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)	Odmiana Cultivar	Kontrola Control (t · ha <sup>-1</sup> )	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)	Odmiana Cultivar	Kontrola Control (t · ha <sup>-1</sup> )	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)
Kris	3,09	34,6*	Mewa	4,05	23,1*	Zyta	4,33	12,3*
Zyta	3,19	31,2*	Kobra	3,99	16,6*	Mewa	4,78	12,0*
Pegassos	2,87	23,0*	Korweta	4,87	10,1	Kobra	4,41	5,9
Jawa	2,90	21,7*	Soraja	4,59	7,6	Korweta	4,38	5,7
Soraja	3,43	19,2*	Symfonia	5,17	7,2	Kris	5,17	2,4
Symfonia	3,49	18,9*	Jawa	4,98	7,1	Pegassos	4,68	1,3
Kobra	2,79	15,7	Pegassos	4,53	6,8	Soraja	4,93	-7,0
Sakwa	3,52	13,9	Zyta	4,71	3,6	Jawa	5,32	-12,5*
Mewa	3,40	10,3	Sakwa	5,49	-0,7	Sakwa	5,31	-18,2*
Korweta	3,06	4,6	Kris	6,06	-6,1	Symfonia	5,84	-23,2*
Średnia Average	3,18	19,3	Średnia Average	4,84	7,5	Średnia Average	4,91	-2,1

\* statystycznie istotne wg testu Tukeya ( $\alpha < 0,05$ ); significant according to Tukey's test ( $\alpha < 0,05$ )

Tabela 39

Plony ziarna pszenicy ozimej w Osinach  
Yield of grain winter wheat in Osiny

2004 r.			2005 r.			2006 r.		
Odmiana Cultivar	Kontrola Control (t · ha <sup>-1</sup> )	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)	Odmiana Cultivar	Kontrola Control (t · ha <sup>-1</sup> )	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)	Odmiana Cultivar	Kontrola Control (t · ha <sup>-1</sup> )	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)
Kobra	9,70	7,0*	Zyta	8,73	6,3	Symfonia	4,38	5,4
Pegassos	10,35	6,7*	Kris	9,49	6,2	Korweta	4,28	1,8
Mewa	9,51	6,3*	Kobra	8,24	6,1	Mewa	5,03	1,6
Soraja	10,16	5,8*	Soraja	8,65	2,5	Sakwa	5,32	-2,4
Zyta	9,89	3,8	Sakwa	9,87	0,8	Pegassos	4,88	-3,1
Symfonia	10,43	3,7	Symfonia	8,91	-0,8	Zyta	4,32	-4,3
Jawa	10,27	2,1	Pegassos	9,40	-1,6	Soraja	5,01	-4,4
Sakwa	10,78	2,0	Jawa	9,53	-5,4	Kobra	4,93	-6,7
Kris	11,02	1,1	Korweta	8,68	-5,9	Jawa	4,21	-9,6
Korweta	9,91	0,8	Mewa	8,96	-7,0	Kris	5,96	-9,6
Średnia Average	10,20	3,9	Średnia Average	9,05	0,1	Średnia Average	4,83	-3,1

\* statystycznie istotne wg testu Tukeya ( $\alpha < 0,05$ ); significant according to Tukey's test ( $\alpha < 0,05$ )

istotnej statystycznie reakcji. Podobna sytuacja dotyczyła większości odmian w obu punktach doświadczalnych.

Największa dodatnia reakcja pszenicy ozimej na nawożenie borem została odnotowana w 2003 roku w Jelczu-Laskowicach. Było to prawdopodobnie spowodowane zarówno niską zasobnością gleby w bor, jak i warunkami pogodowymi w okresie formowania się pyłku. Literatura podaje, że niedobór boru w czasie kwitnienia pszenicy może być potęgowany przez suszę i wysoką temperaturę (17, 167). Dochodzi wtedy do zaburzeń kwitnienia i zawiązywania ziaren. R a w s o n (167) sugeruje, że przyczyną tego jest nieodpowiednia zawartość B w kwiatach pszenicy w krytycznych 6-10 dniach formowania się pyłku. Być może w okresie suszy i wysokich temperatur, kiedy obniżona jest transpiracja i turgor roślin, bor nie dociera do kwiatów, gdzie jest potrzebny. Analiza przebiegu pogody w przeprowadzonych 6 doświadczeniach dla okresu tworzenia się organów generatywnych pszenicy wydaje się potwierdzać sugestię R a w s o n a (patrz tab. 11-13). W 2003 roku w Jelczu-Laskowicach w czasie formowania się pyłku wystąpiły, wyjątkowo jak na koniec maja, mała ilość opadów i wysoka temperatura, które najprawdopodobniej utrudniały przemieszczanie się boru do kwiatów. W takich warunkach hydrotermicznych i przy niewystarczającej zasobności gleby w bor rośliny szczególnie wyraźnie zareagowały na nawożenie tym pierwiastkiem.

W tabelach 40 i 41 przedstawiono wpływ aplikacji boru na masę tysiąca ziaren (MTZ) badanych odmian pszenicy ozimej. Wyniki w tabelach ułożono według takiej samej kolejności, jak dla plonów ziarna, czyli według wielkości uzyskanych przyrostów plonów, co ułatwia analizowanie relacji pomiędzy masą tysiąca ziaren a plonem ziarna.

Nawożenie borem w Jelczu-Laskowicach powodowało istotny wzrost masy tysiąca ziaren jedynie u 4 odmian w 2003 roku i u jednej odmiany w 2006 roku (tab. 40). W Osinach nie stwierdzono w żadnym z doświadczeń istotnych zmian MTZ pod wpływem aplikacji boru (tab. 41). Odnotowana zwiększona MTZ nie miała związku ze zwyczajami bądź obniżkami plonu ziarna. Największy przyrost MTZ stwierdzono u odmiany Kobra uprawianej w Jelczu-Laskowicach w 2003 roku (14,1%), lecz nie wpłynęło to na istotny wzrost plonu ziarna. Ten brak wpływu aplikacji B na MTZ pszenicy w większości przypadków jest zgodny z danymi literaturowymi, które mówią o wpływie boru głównie na liczbę zawiązywanych ziaren, a nie na ich wielkość (171, 174).

#### **4.3.2. Wpływ aplikacji boru na zawartość makroskładników i boru w częściach nadziemnych i ziarnie pszenicy ozimej**

Skład makroelementowy roślin w fazie początku strzelania w źdźbło ze wszystkich doświadczeń przedstawiono w tabeli 42. Analiza zawartości azotu została wykorzystana do ustalenia pogłównej dawki tego składnika. Nawożenie azotem zostało uzupełnione w Jelczu-Laskowicach w 2004 roku i w Osinach we wszystkich latach badań. Zwraca uwagę fakt, że rośliny uprawiane w Osinach w 2006 roku wykazały



Tabela 40

Wpływ nawożenia borem na masę tysiąca ziaren – Jelcz-Laskowice  
Impact of boron fertilisation on the weight of 1000 seeds – Jelcz-Laskowice

2003 r.			2004 r.			2006 r.		
Odmiana Cultivar	Kontrola Control (g)	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)	Odmiana Cultivar	Kontrola Control (g)	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)	Odmiana Cultivar	Kontrola Control (g)	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)
Kris	40,33	6,8*	Mewa	51,75	-0,3	Zyta	45,38	-2,5
Zyta	42,15	5,8*	Kobra	51,58	0,3	Mewa	44,35	-0,5
Pegassos	43,18	0,3	Korweta	51,58	-0,4	Kobra	43,58	0,4
Jawa	43,25	2,8	Soraja	51,78	-0,8	Korweta	42,58	2,3
Soraja	43,30	-4,6	Symfonia	52,05	-0,2	Kris	42,88	2,4
Symfonia	41,28	2,6	Jawa	51,13	0,9	Pegassos	43,90	-2,2
Kobra	41,38	14,1*	Pegassos	51,50	0,6	Soraja	43,90	0,9
Sakwa	43,75	-1,1	Zyta	51,78	-0,4	Jawa	42,35	4,6*
Mewa	44,88	7,4*	Sakwa	50,63	1,7	Sakwa	43,15	1,9
Korweta	43,73	-2,3	Kris	50,58	2,6	Symfonia	44,83	-1,8
Średnia Average	42,72	3,2	Średnia Average	51,44	0,4	Średnia Average	43,69	0,6

\* statystycznie istotne wg testu Tukeya ( $\alpha < 0,05$ ); significant according to Tukey's test ( $\alpha < 0,05$ )

Tabela 41

Wpływ nawożenia borem na masę tysiąca ziaren – Osiny  
Impact of boron fertilisation on the weight of 1000 seeds – Osiny

2004 r.			2005 r.			2006 r.		
Odmiana Cultivar	Kontrola Control (g)	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)	Odmiana Cultivar	Kontrola Control (g)	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)	Odmiana Cultivar	Kontrola Control (g)	Zwyżka/ Obniżka Increase/ Decrease (%)
Kobra	51,18	2,8	Zyta	46,77	1,8	Symfonia	36,53	0,9
Pegassos	56,99	1,7	Kris	44,78	0,2	Korweta	33,02	6,1
Mewa	54,22	2,3	Kobra	43,94	2,0	Mewa	37,14	1,4
Soraja	52,67	-1,4	Soraja	48,13	-3,9	Sakwa	39,78	-1,7
Zyta	48,63	-1,0	Sakwa	46,96	1,4	Pegassos	38,04	-0,6
Symfonia	51,95	-0,8	Symfonia	45,48	4,4	Zyta	34,95	-2,9
Jawa	44,10	-1,9	Pegassos	48,27	1,0	Soraja	40,77	-1,5
Sakwa	52,82	-1,3	Jawa	41,93	-1,2	Kobra	36,83	-2,6
Kris	47,97	-1,1	Korweta	46,88	-0,6	Kris	36,03	1,9
Korweta	49,16	-0,1	Mewa	50,34	-2,5	Jawa	31,09	-0,9
Średnia Average	50,97	-0,1	Średnia Average	46,35	0,3	Średnia Average	36,42	0,0

\* statystycznie istotne wg testu Tukeya ( $\alpha < 0,05$ ); significant according to Tukey's test ( $\alpha < 0,05$ )

Tabela 42

Zawartość makroelementów (%) w częściach nadziemnych pszenicy ozimej z obiektów kontrolnych (w nawiasach podano zakresy dla odmian)  
 Macronutrients concentration (%) in winter wheat shoots from control treatments (ranges for cultivars are shown in the brackets)

Lata Years	N	P	K	Ca	Mg
Jelcz-Laskowice					
2003	4,07 (3,61-4,46)	0,46 (0,42-0,49)	3,85 (3,54-4,09)	0,39 (0,34-0,45)	0,15 (0,14-0,17)
2004	2,87 (2,67-3,10)	0,40 (0,35-0,45)	3,32 (3,16-3,64)	0,27 (0,24-0,29)	0,11 (0,09-0,12)
2006	3,46 (3,35-3,58)	0,48 (0,46-0,52)	3,71 (3,60-3,85)	0,32 (0,30-0,34)	0,11 (0,10-0,11)
Osiny					
2004	2,82 (2,52-3,14)	0,36 (0,33-0,43)	3,96 (3,60-4,22)	0,48 (0,44-0,56)	0,13 (0,12-0,15)
2005	2,69 (2,56-2,92)	0,48 (0,44-0,54)	3,95 (3,76-4,30)	0,39 (0,36-0,44)	0,13 (0,12-0,15)
2006	2,70 (2,35-3,02)	0,29 (0,25-0,34)	2,81 (2,61-3,03)	0,35 (0,31-0,40)	0,14 (0,12-0,16)
Opti- mum*	3,00-5,00	0,30-0,60	3,50-5,50	0,40-1,00	0,12-0,25

\* zawartość optymalna (14); optimum concentration (14)

wyraźnie gorsze zaopatrzone w fosfor, potas i wapń niż rośliny w pozostałych doświadczeniach. Miało to zapewne związek ze zbyt małą ilością opadów w sezonie wegetacyjnym 2005/2006 (tab. 9). W warunkach suszy rośliny nie były w stanie pobrać z gleby wystarczającej ilości składników pokarmowych, co znacznie wpływało na zmniejszenie plonu ziarna w tym doświadczeniu (tab. 39). Należy również zauważyć niewystarczające zaopatrzenie roślin w wapń w Jelczu-Laskowicach w 2004 i 2006 roku.

W tabelach 43 i 44 przedstawiono zmiany zawartości boru w częściach nadziemnych (pędach) oraz ziarnie pszenicy pod wpływem nawożenia tym pierwiastkiem. Podobnie jak w przypadku danych dotyczących MTZ kolejność odmian w tabelach jest taka sama jak dla plonów, czyli uszeregowano je według wielkości zwyżki plonu ziarna. Ułatwia to analizowanie zależności pomiędzy zawartością boru w roślinach a plonem ziarna pszenicy.

Zawartość boru w pędach pszenicy ozimej w Jelczu-Laskowicach oscylowała na obiektach kontrolnych w granicach 1,7-3,4, natomiast na obiektach nawożonych w granicach 2,0-4,1 oraz odpowiednio 2,1-3,1 i 2,0-3,4 mg B · kg<sup>-1</sup> w Osinach. Równocześnie zawartość boru w ziarnie kształtowała się na poziomie 1,6-3,6 i 1,6-3,4 w Jelczu-Laskowicach oraz odpowiednio: 1,0-2,8 i 1,3-2,5 mg B · kg<sup>-1</sup> w Osinach.

Aplikacja boru spowodowała wzrost zawartości tego pierwiastka w pędach prawie u wszystkich badanych odmian pszenicy, we wszystkich 6 przeprowadzonych doświadczeniach. Analizując średnie obliczone dla 10 odmian w poszczególnych doświadczeniach można zauważyć, że jedynie w Osinach w 2004 roku nie odnotowano statystycznie istotnego wzrostu zawartości B w pędach, podczas gdy wzrost taki wystąpił w pozostałych 5 doświadczeniach. Natomiast nawożenie borem nie zawsze powodowało wzrost zawartości tego pierwiastka w ziarnie, często obserwowano na-

Tabela 43

Zawartość boru w częściach nadziemnych oraz ziarnie pszenicy ozimej – Jelcz-Laskowice ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  
Boron concentration in winter wheat shoots and grain – Jelcz-Laskowice ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Odmiana Cultivar	2003 r.				Odmiana Cultivar	2004 r.				Odmiana Cultivar	2006 r.			
	Pędy Shoots		Ziarno Grain			Pędy Shoots		Ziarno Grain			Pędy Shoots		Ziarno Grain	
	0	+B	0	+B		0	+B	0	+B		0	+B	0	+B
Kris	2,7	3,3	2,8	3,4	Mewa	1,9	2,1	1,6	1,9	Zyta	2,5	2,7	1,8	2,7
Zyta	2,5	3,3	3,3	2,8	Kobra	1,7	2,0	1,8	1,7	Mewa	2,7	2,9	1,5	2,3
Pegassos	2,6	2,6	3,0	3,3	Korweta	2,1	2,4	2,3	2,1	Kobra	2,0	2,9	2,2	1,9
Jawa	2,9	3,4	2,9	3,1	Soraja	2,1	2,1	1,5	1,7	Korweta	2,9	2,8	2,3	1,6
Soraja	2,5	2,6	3,0	3,0	Symfonia	2,3	2,6	1,9	1,6	Kris	2,5	2,8	1,8	2,6
Symfonia	2,5	3,7	3,2	3,4	Jawa	2,2	2,2	1,9	1,8	Pegassos	2,7	2,7	1,9	2,7
Kobra	2,1	3,3	3,0	3,3	Pegassos	1,9	2,0	1,7	1,9	Soraja	2,6	2,8	2,7	3,0
Sakwa	3,4	4,1	2,7	3,3	Zyta	2,0	2,3	2,3	2,0	Jawa	2,8	3,3	2,4	3,0
Mewa	2,1	2,1	2,9	2,8	Sakwa	1,8	2,3	1,8	1,7	Sakwa	2,2	2,6	2,6	2,6
Korweta	2,6	2,8	3,6	2,7	Kris	2,2	2,3	1,9	1,9	Symfonia	2,3	3,0	2,1	2,1
Średnia Average	2,6a	3,1b	3,0a	3,1a	Średnia Average	2,0a	2,2b	1,9a	1,8a	Średnia Average	2,5a	2,9b	2,1a	2,5a

Średnie zawartości oznaczone tymi samymi literami w ramach tego samego organu rośliny nie różnią się istotnie wg testu Tukeya ( $\alpha < 0,05$ )

Average concentrations marked with the same letters within the part of plants did not differ according to Tukey's test ( $\alpha < 0,05$ )

Tabela 44

Zawartość boru w częściach nadziemnych oraz ziarnie pszenicy ozimej – Osiny ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )  
Boron concentration in winter wheat shoots and grain – Osiny ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Odmiana Cultivar	2004 r.				Odmiana Cultivar	2005 r.				Odmiana Cultivar	2006 r.			
	Pędy Shoots		Ziarno Grain			Pędy Shoots		Ziarno Grain			Pędy Shoots		Ziarno Grain	
	0	+B	0	+B		0	+B	0	+B		0	+B	0	+B
Kobra	2,5	2,0	2,3	1,5	Zyta	3,1	3,4	2,0	2,2	Symfonia	2,8	2,8	2,2	1,8
Pegassos	2,2	2,6	2,0	1,3	Kris	2,9	3,2	1,6	1,3	Korweta	2,7	2,8	1,0	1,6
Mewa	2,4	2,8	2,0	1,4	Kobra	2,7	2,8	2,3	1,9	Mewa	2,3	3,4	2,0	2,5
Soraja	2,1	2,8	2,2	1,5	Soraja	2,9	3,1	1,9	1,4	Sakwa	2,2	3,0	2,1	1,3
Zyta	2,8	2,8	2,7	2,0	Sakwa	3,0	3,0	2,3	1,9	Pegassos	2,1	2,7	2,8	2,0
Symfonia	2,2	2,8	1,9	1,8	Symfonia	2,8	3,1	1,7	1,5	Zyta	2,6	3,0	1,0	2,2
Jawa	2,3	3,0	1,9	2,0	Pegassos	2,6	3,0	1,4	2,0	Soraja	2,5	2,8	1,9	1,5
Sakwa	2,9	2,4	2,3	1,8	Jawa	2,8	3,1	2,0	1,7	Kobra	2,3	3,1	1,0	2,0
Kris	2,3	2,5	2,0	2,1	Korweta	2,9	3,2	1,4	1,6	Kris	2,3	3,3	1,7	2,2
Korweta	2,5	2,8	2,5	2,1	Mewa	2,7	3,1	2,1	1,5	Jawa	2,6	3,1	1,0	2,0
Średnia Average	2,4a	2,6a	2,2a	1,8b	Średnia Average	2,8a	3,1b	1,9a	1,7a	Średnia Average	2,4a	3,0b	1,7a	1,9a

Średnie zawartości oznaczone tymi samymi literami w ramach tego samego organu rośliny nie różnią się istotnie wg testu Tukeya ( $\alpha < 0,05$ )

Average concentrations marked with the same letters within the part of plants did not differ according to Tukey's test ( $\alpha < 0,05$ )

wet obniżenie jego zawartości. Zwraca uwagę fakt, że średnie dla odmian dotyczące zawartości B w ziarnie uzyskane z obiektów kontrolnych i nawożonych nie różniły się istotnie. Wyjątkiem było doświadczenie w Osinach w 2004 roku, gdzie odnotowano istotną obniżkę zawartości boru w ziarnie po aplikacji tego pierwiastka. Brak wzrostu zawartości B w pędach i obniżka w ziarnie w Osinach w 2004 roku były najprawdopodobniej spowodowane zjawiskiem tzw. rozcieńczenia. W doświadczeniu tym uzyskano bowiem wysokie plony ziarna, w granicach 10,2-10,6 t · ha<sup>-1</sup>.

Zdecydowano się na obliczenie średnich zawartości boru w pędach roślin z obiektów kontrolnych z 3 lat badań, pomimo że plony przedstawiano oddzielnie dla każdego roku. Jednak pszenica zawsze reagowała na aplikację boru wzrostem jego zawartości w pędach, podczas gdy reakcja w plonowaniu była zróżnicowana, w zależności od roku badań i miejscowości. Średnie obliczono i testowano statystycznie za pomocą programu AWBP (patrz rozdz. 3.4) i przedstawiono je w tabeli 45. Kolejność odmian w tej tabeli jest inna niż w tabelach poprzednio prezentowanych i zależy od średniej zawartości boru w pędach pszenicy.

Wykazano, że badane odmiany pszenicy różniły się istotnie początkową zawartością boru w pędach niezależnie od lat i miejscowości, natomiast nie różniły się pod względem zawartości B w ziarnie. Analizując średnie z obu miejscowości można stwierdzić, że odmiana Kobra charakteryzowała się istotnie mniejszą zawartością boru w częściach nadziemnych niż odmiany: Zyta, Jawa i Korweta. Można wyróżnić 3 grupy odmian: o niskiej zawartości B w pędach – Kobra, o średniej zawartości – Pegassos, Mewa, Soraja, Kris, Symfonia i Sakwa oraz o wysokiej zawartości – Zyta,

Tabela 45

Zawartość boru w pędach i ziarnie pszenicy ozimej z obiektów kontrolnych w mg · kg<sup>-1</sup>  
– średnie z 3 lat badań  
Boron concentration in winter wheat shoots and grain from control treatment in mg · kg<sup>-1</sup>  
– average over 3 years

Odmiana Cultivar	Pędy; Shoots			Ziarno; Grain		
	Laskowice	Osiny	średnia	Laskowice	Osiny	średnia
Kobra	1,91 a	2,49 a	2,20 a	2,35 a	1,85 a	2,10 a
Pegassos	2,40 ab	2,30 a	2,35 ab	2,21 a	2,05 a	2,13 a
Mewa	2,25 ab	2,48 a	2,37 ab	2,01 a	2,07 a	2,04 a
Soraja	2,39 ab	2,51 a	2,45 ab	2,41 a	2,00 a	2,20 a
Kris	2,45 b	2,50 a	2,48 ab	2,15 a	1,79 a	1,97 a
Symfonia	2,36 ab	2,62 a	2,49 ab	2,41 a	1,95 a	2,18 a
Sakwa	2,46 b	2,70 a	2,58 ab	2,37 a	2,23 a	2,30 a
Zyta	2,35 ab	2,84 a	2,59 b	2,38 a	1,64 a	2,01 a
Jawa	2,62 b	2,57 a	2,59 b	2,44 a	1,91 a	2,18 a
Korweta	2,52 b	2,71 a	2,62 b	2,72 a	1,65 a	2,18 a
Średnia; Average	2,37 A	2,57 B		2,34 B	1,92 A	

Plony oznaczone małymi literami w ramach kolumn, a dużymi w wierszu nie różnią się istotnie wg testu Tukeya ( $\alpha < 0,05$ )

Yields marked with the small letters within columns, and with capital letters within a line do not differ acc. to Tukey's test ( $\alpha < 0,05$ )

Jawa i Korweta. Ponadto wykazano, że pędy pszenicy ozimej były istotnie lepiej zaopatrzone w bor w Osinach, a ziarno w Jelczu-Laskowicach. Wyższa zawartość boru w częściach nadziemnych roślin w Osinach ma swoje wytłumaczenie w większej zasobności gleby w B w tej miejscowości niż w Jelczu-Laskowicach. Zastanawia natomiast fakt mniejszej zawartości boru w ziarnie. Być może jest to wynikiem znacznie wyższego poziomu plonów w Osinach. O zmniejszeniu zawartości boru w ziarnie pszenicy przy dużych plonach donoszą również G e m b a r z e w s k i i in. (65) oraz W r ó b e l (233).

Analiza danych zawartych w tabelach 43 i 44 wskazuje na brak zależności pomiędzy zawartością B w roślinach na obiektach kontrolnych a wystąpieniem zwyczaj plonu pod wpływem nawożenia borem w kolejnych latach badań. W celu potwierdzenia tych obserwacji obliczono korelację pomiędzy w/w cechami dla 3 lat badań łącznie (tab. 46). Ponadto postanowiono przeanalizować korelację pomiędzy uzyskaną zwyczają plonów a plonem kontrolnym. Ze względu na to, że rośliny z obiektów kontrolnych w 3 doświadczeniach wykazywały pewne niedobory wapnia obliczono również korelację pomiędzy stosunkiem Ca : B w tkankach roślinnych a zwyczają plonów.

Wykonane obliczenia potwierdziły brak zależności pomiędzy początkową zawartością boru w pędach i ziarnie pszenicy a reakcją pszenicy na aplikację tego składnika.

Stwierdzono natomiast istnienie korelacji pomiędzy wielkością plonu na obiektach kontrolnych a zwyczają plonu uzyskaną na skutek nawożenia. W Jelczu-Laskowicach, podobnie jak w doświadczeniach z miedzią, największy przyrost plonu na skutek aplikacji boru uzyskano dla roślin najniżej plonujących na obiekcie kontrolnym. W Osinach sytuacja wyglądała odwrotnie – większy przyrost plonu wystąpił u odmian plonujących wyżej.

Ponadto nie stwierdzono wpływu stosunku zawartości Ca : B w pędach roślin i ziarnie z obiektów kontrolnych na reakcję pszenicy na nawożenie borem. Badano taką zależność, ponieważ niektórzy autorzy donoszą, że stosunek Ca : B w młodych roślinach jest dobrym wskaźnikiem zaopatrzenia roślin w bor (232, 236). Nie wykaza-

Tabela 46

Współczynniki korelacji pomiędzy zwyczają plonu a innymi cechami (n = 30)  
Coefficients of correlation between yield increase and other features (n = 30)

Wyszczególnienie Specification	Zwyzka plonu; Yield increase	
	Jelcz-Laskowice	Osiny
Plon ziarna na obiekcie kontrolnym Grain yield on control treatment	-0,792***	0,455**
Zawartość B w częściach nadziemnych na obiekcie kontrolnym B concentration in shoots on control treatment	ni.	ni.
Zawartość B w ziarnie na obiekcie kontrolnym B concentration in grain on control treatment	ni.	0,425**
Stosunek Ca : B w częściach nadziemnych na obiekcie kontrolnym Ca : B relation in shoots on control treatment	ni.	ni.

\*\* , \*\*\*) istotne statystycznie odpowiednio przy  $\alpha < 0,01$  i  $\alpha < 0,001$ ; statistically significant at  $\alpha < 0,01$  and  $\alpha < 0,001$  respectively, ni. – nieistotne; non significant

no również interakcji pomiędzy zawartością wapnia i boru w tkankach roślinnych, pomimo że w literaturze opisywany jest antagonizm pomiędzy tymi pierwiastkami (94, 95, 96).

#### 4.3.3. Ocena zawartości boru w tkankach roślinnych

Podobnie jak w przypadku miedzi w literaturze podawane są wartości krytyczne zawartości B dla pszenicy w różnych fazach rozwojowych i różnych organach rośliny. Ponadto, nawet dla tych samych faz i organów wartości podawane przez różnych autorów znacznie się od siebie różnią (tab. 4). W przeprowadzonych badaniach zawartość boru oznaczano w całej części nadziemnej pszenicy w fazie początku strzelania w źdźbło/pierwszego kolanka. Dla tej fazy *Bergmann* (14) i *Jones* i in. (94) proponują jako wartość krytyczną 6,0, a *Shnug* (191) 2,5 mg · kg<sup>-1</sup>. Ponadto *Faber* (55), dla tej samej fazy, uzyskiwał istotne wyżki plonu w zakresie zawartości od 2,5-4,5 mg B · kg<sup>-1</sup>. Analizując zawartość boru w pędach pszenicy we wszystkich latach badań wydaje się, że wartość krytyczna 2,5 mg B · kg<sup>-1</sup> jest wartością najbardziej wiarygodną. Jednak w świetle udowodnionych różnic odmianowych dotyczących zawartości boru w pędach (tab. 45) powinno się mówić raczej o zakresie wartości krytycznych dla pszenicy jako gatunku niż o pojedynczej wartości krytycznej. Ponadto bardzo istotny jest fakt udowodnienia w badaniach braku korelacji pomiędzy zawartością B w pędach pobranych w fazie początku strzelania w źdźbło a reakcją odmian na jego aplikację wyrażoną w plonach. Po pierwsze uniemożliwiło to wyznaczenie wartości krytycznych dla badanych odmian, a po drugie sugeruje, że zawartość B w częściach nadziemnych w początkowych fazach rozwojowych nie jest miarodajnym wskaźnikiem zaopatrzenia roślin pszenicy w ten składnik. Bor jest bowiem potrzebny pszenicy głównie do wytworzenia części generatywnych, a jego transport w roślinie jest ograniczony (30, 31). *Rerkasem* i *Jamjod* (172) podkreślają, że najbardziej wiarygodnym wskaźnikiem jest określanie zawartości boru w pylnikach, jednak metoda taka jest zupełnie nieprzydatna w warunkach produkcji polowej. Wydaje się, że lepszym wskaźnikiem zaopatrzenia pszenicy byłaby jego zawartość w kłosach w fazie początku kłoszenia niż w całych pędach w okresie strzelania w źdźbło. Zagadnienie to wymaga jednak dalszych badań.

#### 4.4.4. Różnice odmianowe w reakcji pszenicy na bor

W przedstawionych badaniach nie udało się, tak jak w doświadczeniach z miedzią, wyodrębnić odmian o małym, średnim bądź dużym zapotrzebowaniu na bor. Badane odmiany reagowały odmiennie na nawożenie borem w poszczególnych latach badań i obu miejscowościach (tab. 38 i 39). Pomimo że udowodniono różnice w zawartości boru w częściach nadziemnych pszenicy (tab. 45), to nie można było powiązać tego z plonowaniem roślin. Stwierdzono bowiem brak korelacji pomiędzy zawartością boru w pędach a wyżką plonu (tab. 46). Również korelacja pomiędzy plonem kontrolnym a wyżką plonu uzyskaną na skutek nawożenia, widoczna wyraźnie w doświadcze-

niach z miedzią, była różna w obu punktach doświadczalnych. W Jelczu-Laskowicach na nawożenie borem reagowały odmiany najniżej plonujące na kontroli, natomiast w Osinach odmiany osiągające na kontroli plony najwyższe.

Przypuszczalnie czynnikiem, który różnicował reakcję poszczególnych odmian na nawożenie borem były warunki pogodowe, a w szczególności wilgotność i temperatura w czasie wytwarzania organów generatywnych. Zapotrzebowanie roślin na dany składnik pokarmowy wynika w dużej mierze z efektywności jego wykorzystania. Im dana odmiana efektywniej wykorzystuje jakiś pierwiastek, tym mniejsze jest jej zapotrzebowanie na ten składnik. Na efektywność wykorzystania składa się zarówno zdolność do pobierania tego pierwiastka z gleby, jak i mechanizm jego przemieszczania w roślinie. Wydaje się, że temperatura i wilgotność mają znacznie większy wpływ na efektywność wykorzystania boru niż na wykorzystanie innych składników. R a w s o n (167) udowodnił, że ograniczenie transpiracji prowadzi do męskiej sterylności kwiatów pszenicy wynikającej z deficytu boru. Przy znacznym zmniejszeniu transpiracji dochodzi do upośledzenia transportu boru w tkankach roślinnych. Ponieważ proces transpiracji jest ściśle powiązany z temperaturą i wilgotnością, to nawet krótki okres suszy, potęgowany przez wysoką temperaturę, w okresie wytwarzania organów generatywnych może mieć wpływ na gospodarowanie borem przez roślinę, a tym samym na zaopatrzenie kwiatów w ten pierwiastek (31). Zagadnienie to jest bardzo skomplikowane, bowiem nadmiar wilgoci w powietrzu prowadzi również do zmniejszenia transpiracji, a tym samym upośledzenia transportu boru w roślinie (17, 156, 167).

Przeprowadzone badania potwierdziły wpływ wilgotności i temperatury w okresie formowania się pyłku na reakcję pszenicy na nawożenie borem. Jednak badania prowadzone były zbyt krótko i dostarczyły niewystarczającej ilości danych, aby można było ustalić wpływ tych czynników na poszczególne odmiany. Zupełnie inną reakcję odmian pszenicy na aplikację boru przy różnym stopniu uwilgotnienia powietrza podkreślają w swoich badaniach P a n t i in. (156). Duży wpływ czynników pogodowych na mechanizm efektywności wykorzystania boru przez różne odmiany bardzo utrudnia analizowanie tego zagadnienia. Badania takie wymagałyby pozyskania danych z wielu lat lub prowadzenia doświadczeń w kontrolowanych warunkach wilgotności i temperatury.

#### 4.4.5. Podsumowanie rozdziału

- W czterech doświadczeniach, na sześć przeprowadzonych, wykazano zróżnicowaną reakcję odmian na aplikację boru. Przy tej samej zasobności gleby w bor odmiany reagowały zwyżką plonu, jego obniżką lub nie wykazywały istotnej reakcji.
- W czterech przeprowadzonych doświadczeniach pszenica ozima zareagowała istotnym wzrostem plonu ziarna na aplikację boru. Zwyżki plonu wahały się od 6 do 35% w zależności od roku i lokalizacji badań. W jednym doświadczeniu 3 odmiany zareagowały istotną, stosunkowo wysoką 12-23% obniżką plonu.



- Największą dodatnią reakcję na aplikację boru zaobserwowano w warunkach suszy i wysokiej temperatury w czasie formowania się pyłku. Takie warunki pogodowe utrudniają przemieszczanie się boru do kwiatów, a tym samym powodują wzrost zapotrzebowania pszenicy ozimej na ten pierwiastek.
- Aplikacja boru powodowała wzrost zawartości tego pierwiastka w częściach nadziemnych pszenicy u wszystkich badanych odmian, a w ziarnie tylko u niektórych odmian pszenicy.
- Wykazano, że badane odmiany różniły się istotnie zawartością boru w częściach nadziemnych i nie różniły się zawartością boru w ziarnie, niezależnie od roku badań i lokalizacji doświadczenia.
- Stwierdzono brak zależności pomiędzy zawartością boru w pędach i ziarnie a reakcją pszenicy ozimej na aplikację tego składnika. Sugeruje to, że zawartość boru w częściach nadziemnych w fazie strzelania w źdźbło nie jest wiarygodnym wskaźnikiem określania potrzeb pokarmowych pszenicy ozimej.
- Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń nie udało się wydzielić grup odmian o podobnej efektywności wykorzystania boru. Badane odmiany reagowały odmiennie na aplikację boru w poszczególnych doświadczeniach. Najprawdopodobniej warunki pogodowe, a w szczególności dostępność wody i temperatura, mają duży wpływ na efektywność wykorzystania boru przez badane odmiany.

## 5. PODSUMOWANIE

Potrzeby nawożenia mikroelementami pszenicy uprawianej w Polsce są wypadkową wrażliwości tej rośliny na niedobór poszczególnych mikroskładników i warunków środowiskowych w jakich jest uprawiana. Z warunków środowiskowych mających bezpośredni wpływ na dostateczne zaopatrzenie roślin w mikroelementy najważniejszym czynnikiem jest dostępna ich ilość w glebie.

Wyniki innych autorów potwierdzają, że pszenica jest bardzo wrażliwa na niedobór miedzi i manganu oraz mało wrażliwa na niedobór molibdenu (55, 106, 155, 179). Co do jej wrażliwości na niedobór boru i cynku zdania są podzielone. Wcześniejsze dane literaturowe informowały o małej wrażliwości pszenicy na deficyt cynku i bardzo małej na niedobór boru (106, 124, 210). Z nowszych badań wynika, że w wielu przypadkach depresja plonów spowodowana jest niewystarczającą ilością B lub Zn w glebie oraz, że odmiany bardzo różnią się pod względem wykorzystania tych pierwiastków (rozdz. 2.1 i 2.3). W warunkach takiego samego deficytu niektóre odmiany mogą wydawać zadowalający plon, podczas gdy inne plonują na drastycznie niskim poziomie. W tej sytuacji wydaje się, że pszenicę powinno się zaliczać do gatunków o średniej wrażliwości na niedobór boru i cynku.

Badania inwentaryzacyjne zasobności gleb Polski przeprowadzone w IUNG, we współpracy ze stacjami chemiczno-rolniczymi wykazały, że mamy w Polsce 75-79% gleb deficytowych w bor, 36-37% w miedź, 23% w molibden, 13-14% w cynk i jedy-

nie 7-11% w mangan. Badania przeprowadzone w dwóch cyklach w latach 1987–1993 i 1994–1999 obejmowały olbrzymi materiał ok. 200 tys. prób glebowych pobranych z terenu wszystkich województw (117, 150).

Łączna analiza niedoboru mikroelementów w glebach naszego kraju oraz wrażliwości pszenicy na ich deficyt pozwala stwierdzić, że konieczność nawożenia pszenicy molibdenem i manganem należy w Polsce do rzadkości. Na pierwsze miejsce wysuwa się potrzeba nawożenia pszenicy miedzią, na brak której pszenica jest szczególnie wrażliwa.

### 5.1. Nawożenie pszenicy miedzią

W przeprowadzonych badaniach własnych pszenica reagowała, w większości przypadków, na nawożenie miedzią 11-23% zwyżką plonu, a z doniesień innych autorów wynika, że przy jej deficycie w glebie wzrost plonu może wynosić nawet 40-100% (102, 105).

Decyzja o nawożeniu miedzią powinna zależeć nie tylko od zasobności gleby, ale również od uprawianej odmiany. W przeprowadzonych badaniach wykazano, że odmiany pszenicy ozimej powszechnie uprawiane w Polsce różnią się istotnie efektywnością wykorzystania tego pierwiastka. Wyodrębniono odmiany o dużym, średnim i małym zapotrzebowaniu na Cu. Odmiany o dużym zapotrzebowaniu (Kobra, Mewa, Peggassos, Sakwa, Zyta) mogą reagować znaczną zwyżką plonu na aplikację Cu nie tylko przy niskiej, ale nawet przy średniej zasobności gleby w miedź. Odmian o małym (Kris i Symfonia) i średnim (Korweta, Jawa, Soraja) zapotrzebowaniu nie należy nawozić przy średniej zasobności gleby. W takiej sytuacji nawożenie odmian o średnim zapotrzebowaniu nie przyniesie żadnych efektów, a odmiany o małym zapotrzebowaniu mogą zareagować nawet obniżką plonów. Przy istniejącym deficycie miedzi w polskich glebach można również zastosować strategię, propagowaną aktualnie w badaniach światowych, zalecającą wysiewanie odmian dostosowanych do istniejących warunków siedliskowych bez polepszania tych warunków poprzez nawożenie. Strategia ta polega na wybraniu odmiany o dużej efektywności wykorzystania miedzi (małym zapotrzebowaniu) i rezygnacji z nawożenia tym składnikiem.

Uzyskanie informacji na temat potrzeb nawożenia miedzią wszystkich odmian wymienionych w krajowym rejestrze jest bardzo trudne, szczególnie, że lista odmian nie jest stała i ciągle ulega zmianom. Każdego roku z rejestru usuwa się kilka odmian, a na ich miejsce wprowadza nowe. Wydaje się jednak, że problem niedoboru miedzi w Polsce jest na tyle ważnym zagadaniem, że celowe byłoby włączenie testowania efektywności wykorzystania miedzi do Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO) dla pszenicy.

Z danych literaturowych i wcześniejszych badań własnych wynika, że przy niskiej zasobności gleby w miedź najkorzystniejsze jest przedsiewne nawożenie doglebowe, które wykazuje kilku, a niekiedy nawet kilkunastoletni efekt następczy (20, 59, 61, 130, 199). Zalecana dawka to raz na kilka lat 6-10 kg Cu · ha<sup>-1</sup> w formie siarczanu

miedzi w zależności od rodzaju gleby. Na gleby cięższe i o większej ilości substancji organicznej należy stosować większe dawki Cu. Jeśli deficyt miedzi zostanie stwierdzony w czasie wegetacji roślin, wówczas powinno się wykonać oprysk dolistny. Najlepsze efekty przynosi zabieg wykonany w fazie początku strzelania w źdźbło z zastosowaniem dawki  $300 \text{ g Cu} \cdot \text{ha}^{-1}$  w formie siarczanu miedzi. Skuteczne, choć droższe, są również nawozy zawierające miedź w formie chelatów.

Intensywny poziom agrotechniki, a szczególnie wysoki poziom nawożenia azotem zwiększa zapotrzebowanie pszenicy na miedź. W takim przypadku, nawet przy średniej zasobności gleby może wystąpić potrzeba aplikacji Cu. Dotyczy to szczególnie uprawy odmian o małej efektywności wykorzystania miedzi.

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że zawartość Cu w częściach nadziemnych w fazie początku strzelania w źdźbło może być wskaźnikiem potrzeb nawozowych pszenicy ozimej w stosunku do miedzi. W doświadczeniach z miedzią zaobserwowano wzrost plonu ziarna na skutek aplikacji Cu przy zawartościach  $4,0\text{--}4,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , brak reakcji przy  $4,3\text{--}4,8$  oraz zmniejszenie plonu przy  $4,6\text{--}4,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  w pędach. Zwraca jednak uwagę zachodzenie na siebie zakresów oraz bardzo niewielka różnica pomiędzy zakresem wyżek i obniżek plonu. Świadczy to o nieco ograniczonej przydatności tego wskaźnika do oceny potrzeb nawożenia pszenicy miedzią. Najprawdopodobniej, zgodnie z danymi literaturowymi (125, 181, 185), do wyznaczenia potrzeb nawożenia bardziej miarodajne od całych pędów byłyby najmłodsze liście roślin pszenicy.

## 5.2. Nawożenie pszenicy borem

Pomimo bardzo dużych niedoborów boru w glebach Polski potrzeba nawożenia pszenicy tym mikroelementem nie jest tak oczywista, jak potrzeba nawożenia miedzią.

Z badań własnych i innych autorów wynika, że efektywność wykorzystania boru przez pszenicę jest dużo bardziej zależna od ilości opadów i temperatury niż efektywność wykorzystania miedzi. Znaczna zależność mechanizmu wykorzystania boru od warunków pogodowych, zwłaszcza w okresie formowania pyłku, bardzo utrudnia wnioskowanie. Było to najprawdopodobniej przyczyną, z powodu której w przeprowadzonych badaniach nie udało się wyodrębnić grup odmian o podobnych potrzebach pokarmowych w stosunku do boru.

Pomimo niepowodzenia w wydzieleniu grup o podobnym zapotrzebowaniu w czterech z sześciu przeprowadzonych doświadczeń wykazano zróżnicowaną reakcję odmian, mierzoną wielkością plonu ziarna, na aplikacje boru. Przy tej samej zasobności gleby w bor odmiany reagowały zwykłą, obniżką lub wykazywały brak istotnej reakcji w plonowaniu. Należy jednak podkreślić, że w różnych doświadczeniach te same odmiany reagowały odmiennie.

O zróżnicowaniu odmianowym świadczy również udowodniony zmienny poziom zawartości boru w częściach nadziemnych testowanych odmian. Najniższą zawartością B charakteryzowała się odmiana Kobra, a najwyższą Zyta, Jawa i Korweta.

Duże uzależnienie reakcji pszenicy ozimej na aplikację boru od przebiegu pogody sprawia, że efekt nawożenia tym pierwiastkiem jest mało przewidywalny. Pomimo to, przy stwierdzeniu niskiej zawartości boru w glebie wystąpienie wzrostu plonów na skutek jego aplikacji jest bardzo prawdopodobne. W badaniach własnych pszenica zareagowała istotnym 6-35% przyrostem plonu na dolistną aplikację boru w czterech z sześciu przeprowadzonych doświadczeń. Należy jednak podkreślić, że w jednym doświadczeniu 3 odmiany zareagowały istotną, niespodziewaną 12-23% obniżką plonu. Z badań innych autorów przeprowadzonych w naszym kraju wynika, że pszenica może reagować 6-10% wzrostem plonów na nawożenie borem (55, 236). Według literatury najlepsze efekty daje nawożenie doglebowe w dawce 1-2 kg B · ha<sup>-1</sup> (55, 156, 200, 208, 214). W r ó b e l i S i e n k i e w i c z (236) zalecają dla pszenicy ozimej nawożenie doglebowe pogłównie w dawce 1,2-1,8 kg B · ha<sup>-1</sup> w formie 0,2% roztworu H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, który jest rozlewany na powierzchnię gleby w fazie krzewienia się roślin.

W doświadczeniach z borem udowodniono brak zależności pomiędzy zawartością B w pędach a reakcją pszenicy na aplikację tego składnika. Sugeruje to, że zawartość boru w częściach nadziemnych w fazie strzelania w źdźbło nie jest miarodajnym wskaźnikiem stanu zaopatrzenia roślin i potrzeb nawozowych pszenicy. Według literatury najlepsza, lecz zupełnie niepraktyczna, jest analiza zawartości B w pylnikach (172). Być może lepsze efekty dawałoby oznaczanie zawartości boru w całych kłosach w fazie początku kłoszenia. Zagadnienie to wymaga jednak dalszych badań.

### 5.3. Nawożenie pszenicy cynkiem

Pomimo że według badań inwentaryzacyjnych mamy w Polsce tylko 13-14% gleb ubogich w cynk, to w 34 na 74 przeprowadzone doświadczenia zlokalizowane na terenie całego kraju uzyskano istotny wzrost plonu pszenicy jarej pod wpływem zastosowanego nawożenia Zn. Świadczy to o większych potrzebach nawożenia pszenicy cynkiem w skali kraju niż wynikałoby to z łącznej analizy wrażliwości tej rośliny i zasobności polskich gleb. Znalazło to potwierdzenie w ocenie potrzeb nawożenia dokonanej w oparciu o analizę zawartości tego pierwiastka w ziarnie. W oparciu o dane literaturowe wykazano około 15% zmniejszenie zawartości cynku w ziarnie polskich odmian pszenic w okresie ostatnich 30 lat. Wraz ze wzrostem poziomu plonowania pszenicy możliwe jest dalsze zmniejszanie się zawartości Zn w ziarnie (63, 65, 233).

W przeprowadzonych doświadczeniach reakcja pszenicy jarej na nawożenie Zn związana była nie tylko z mniejszą zawartością tego pierwiastka, ale również ze stosunkiem Zn : P i Zn : Cu w glebie. Pszenica zareagowała zwykłą plonu na nawożenie Zn na polach, gdzie cynku było za mało w stosunku do P i Cu. Należy się spodziewać, że na glebach lekkich o niskiej i średniej zasobności w Zn i równoczesnej wysokiej zawartości fosforu i miedzi mogą wystąpić korzystne efekty nawożenia pszenicy cynkiem. Potrzeby nawożenia cynkiem mogą również wystąpić przy stosowaniu dużych dawek nawozów fosforowych (niezawierających domieszek cynku). Wynika to z antagonizmu cynku i fosforu oraz cynku i miedzi szeroko udokumentowanego w literatu-

rze (2, 35, 52, 86, 89, 96, 115, 121, 142, 240, 126). W opisanej sytuacji można spodziewać się około 10% wzrostu plonu ziarna na skutek aplikacji 10 kg cynku na 1 ha. Dawka ta okazała się najkorzystniejsza zarówno pod względem przyrostu plonu, jak i efektywności nawożenia.

Z doniesień literaturowych wynika, że cynk powinien być stosowany przedsięwzięcie dogłębowo raz na kilka lat (2, 18, 21, 34, 162, 164). Wielu autorów podkreśla wieloletnie działanie następcze nawożenia tym pierwiastkiem (18, 21, 55, 76, 192). Najczęściej stosowanym źródłem cynku jest  $ZnSO_4$  ze względu na dobrą rozpuszczalność, łatwą dostępność i niski koszt.

Badania dotyczące nawożenia pszenicy cynkiem wykonywane były w latach, gdy nie dostrzegano jeszcze problemu zróżnicowania odmianowego odnośnie nawożenia mikroelementami. W pracy nie badano efektywności wykorzystania cynku przez różne odmiany pszenicy. Każde pojedyncze doświadczenie przeprowadzono z jedną, zalecaną dla danego rejonu, odmianą pszenicy jarej. W efekcie średnie ze wszystkich doświadczeń uznano jako reprezentatywne dla pszenicy jako gatunku, pomimo że wyniki te dotyczyły jedynie formy jarej, bez uwzględniania formy ozimej. O braku zróżnicowania pomiędzy formą jarą i ozimą w pobieraniu cynku świadczą identyczne optymalne zakresy zawartości cynku wyznaczone przez B e r g m a n n a dla obu form pszenicy (14). Ponadto w świetle danych literaturowych mówiących o dużym zróżnicowaniu odmian w wykorzystywaniu cynku, wydaje się, że różnice odmianowe znacznie przewyższają różnice pomiędzy formą jarą a ozimą. Problem ten wymaga jednak dokładniejszego rozpoznania w przyszłych badaniach, ze szczególnym uwzględnieniem różnic odmianowych pszenicy uprawianej w Polsce w zapotrzebowaniu na cynk.

#### 5.4. Propozycje kierunków dalszych badań

- Kontynuacja badań nad zróżnicowaniem odmianowym wykorzystania mikroelementów przez pszenicę powinna dotyczyć:
  - Rozpoznania czy odmiany pszenicy uprawiane w Polsce różnią się efektywnością wykorzystania cynku, podobnie jak inne odmiany uprawiane na świecie.
  - Rozpoznania czy te same odmiany charakteryzują się podobną efektywnością wykorzystania równocześnie kilku mikroelementów. Jeżeli mechanizm wykorzystania związany jest w dużej mierze z wydzielaniem przez korzenie syderoforów, to należy przypuszczać, że te same odmiany mogą wykazywać dużą efektywność zarówno w stosunku do miedzi, jak i do cynku.
  - Włączenia testowania wrażliwości pszenicy na niedobór miedzi do Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO). Byłoby to szczególnie przydatne, jeśli przyszłe badania wykazałyby, że te same odmiany charakteryzują się podobnym wykorzystaniem nie tylko miedzi, ale również innych mikroelementów.
- Opracowania wiarygodnego testu roślinnego do oceny potrzeb nawożenia pszenicy borem:

- ocena przydatności zawartości boru w kłosach w fazie początku kłoszenia jako wskaźnika potrzeb nawożenia.
- Monitoringu zawartości mikroelementów w ziarnie pszenicy uprawianej w Polsce pod kątem potrzeb żywieniowych ludzi i zwierząt.

## 6. WNIOSKI

1. Zarówno badania własne, jak i innych autorów wskazują na konieczność nawożenia pszenicy miedzią przy niedostatecznej zawartości tego składnika w glebie. Intensywny poziom agrotechniki, a zwłaszcza wysoki poziom nawożenia azotem, zwiększa dodatkowo zapotrzebowanie pszenicy na miedź.

2. W przeprowadzonych badaniach wykazano znaczne różnice w wykorzystaniu miedzi przez poszczególne odmiany pszenicy ozimej, wyodrębniając spośród badanych odmian 3 grupy o dużym, średnim i małym zapotrzebowaniu na ten mikroelement. Świadczy to o potrzebie uwzględniania przy podejmowaniu decyzji o nawożeniu pszenicy miedzią nie tylko zasobności gleby w Cu i intensywności zabiegów agrotechnicznych, ale również uprawianej odmiany.

3. Ze względu na duże niedobory miedzi w Polsce, szczególną wrażliwość pszenicy na deficyt tego mikroelementu oraz wykazane różnice odmianowe w wykorzystaniu Cu, celowe byłoby włączenie testowania zapotrzebowania pszenicy na miedź do Porejestrówego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO).

4. Przeprowadzone badania wraz z danymi literaturowymi wskazują na dużo większe uzależnienie efektywności wykorzystania boru przez pszenicę od warunków hydrotermicznych niż wykorzystania innych mikroelementów. Duży wpływ warunków pogodowych na reakcję pszenicy na nawożenie borem sprawia, że jest ona zróżnicowana i trudna do przewidzenia w kolejnych latach. W przeprowadzonych badaniach wykazano różną reakcję odmian pszenicy ozimej na dolistne nawożenie borem, jednak niejednolita reakcja poszczególnych odmian, wynikająca z dużego powiązania z warunkami pogodowymi, uniemożliwiła wyodrębnienie grup odmian o podobnych potrzebach pokarmowych w stosunku do tego pierwiastka.

5. Największa dodatnia reakcja pszenicy ozimej na dolistną aplikację boru występuje w przypadku suszy i wysokiej temperatury w okresie formowania pyłku. W takich warunkach hydrotermicznych przemieszczanie się boru do organów generatywnych jest utrudnione i powoduje zwiększone zapotrzebowanie pszenicy na ten pierwiastek.

6. Zawartość miedzi i boru w całej części nadziemnej roślin w fazie początku strzelania w źdźbło nie jest dobrym wskaźnikiem oceny potrzeb pokarmowych pszenicy w stosunku do tych mikroelementów. Wskaźnik ten charakteryzuje się ograniczoną przydatnością dla miedzi i nie nadaje się do oceny zaopatrzenia pszenicy w bor.

7. W świetle przeprowadzonych badań, pomimo niedużych niedoborów Zn w polskich glebach, nie można wykluczyć potrzeb nawożenia pszenicy jarej cynkiem



na niektórych terenach naszego kraju, ze szczególnym uwzględnieniem pszenicy uprawianej na paszę dla zwierząt.

8. Korzystnych efektów nawożenia pszenicy jarej cynkiem w Polsce można spodziewać się na glebach lekkich przy niskiej lub średniej zasobności gleby w cynk i równoczesnej wysokiej zawartości fosforu i miedzi w glebie. Potrzeby nawożenia cynkiem mogą również wystąpić przy stosowaniu dużych dawek nawozów fosforowych, niezawierających domieszek cynku.

9. W warunkach niewystarczającej ilości dostępnych form miedzi, boru i cynku w glebie pszenica reaguje zwyżką plonu na nawożenie tymi składnikami. Stosowanie tego nawożenia w praktyce rolniczej napotyka jednak na trudności związane z prawidłową oceną niedoboru mikroelementów, wynikającą z niedoskonałości istniejących testów glebowych i roślinnych. Wydaje się, że dalsze badania powinny dotyczyć udoskonalenia instrumentów służących do oceny potrzeb nawożenia roślin mikroelementami.

## 7. LITERATURA

1. Ahmed M., Jaihiruddin M., Jamjod S., Rerkasem B.: Boron efficiency in a wheat germplasm from Bangladesh. In: Boron in plant and animal nutrition. Ed. by Goldbach et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002, 299-303.
2. Allaway B. J.: Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association, Brussels, Belgium, 2004, 1-129.
3. Aniol A., Gustafson G. P.: The genetics of tolerance in agronomic plants. In: Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects. Ed. A. J. Shaw, Boca Raton, Florida, CRC Press, 1990, 255-268.
4. Armstrong T. A., Spears J. W., Crenshaw T. D., Nielsen F. H.: Boron supplementation of a semipurified diet for weanling pigs improves feed efficiency and bone strength characteristics and alters plasma lipid metabolites. J. Nutr., 2000, **139**: 2575-2581.
5. Arthur J. R.: Micronutrients in the diet for human health and welfare. Proceedings 548, International Fertilisers Society, York, UK, 2004, 1-19.
6. Asad A.: Boron requirements for sunflower and wheat. J. Plant Nutr., 2002, **25(4)**: 885-899.
7. Asad A., Bell R. W., Dell B.: A critical comparison of the external and internal boron requirements for contrasting species in boron-buffered solution culture. Plant Soil, 2001, **233(1)**: 31-45.
8. Asad A., Blamey F. P. C., Edwards D. G.: Dry matter production and boron concentrations of vegetative and reproductive tissues of canola and sunflower plants grown in nutrient solution. Plant Soil, 2002, **243(2)**: 243-252.
9. Ascher-Ellis J. S., Graham R. D., Hollamby G. J., Paul J., Davies P., Huang C., Pallotta M. A., Howes N., Khabaz-Saberi H., Jefferies S. P., Mousavi-Nik M.: Micronutrients. In: Application of physiology in wheat breeding. Eds: Reynolds M. P., Ortiz-Monasterio J. I., McNab A., DF: CIMMYT, Mexico, 2001, 219-240.
10. Barman K. K., Ganeshamurthy A. N., Takkar P. N.: Zinc requirement of soybean (*Glycine max*) – wheat (*Triticum aestivum*) cropping sequence in some swell-shrink soils. Ind. J. Agri. Sci., 1998, **68(12)**: 759-761.
11. Bell R. W.: Diagnosis and prediction of boron deficiency for plant production. Plant Soil, 1997, **193**: 149-168.
12. Bendycka Z.: Reakcja zbóż jarych na różną koncentrację boru w glebie. Mat. VII Symp. „Mikroelementy w rolnictwie”, 1992, 265-268.



13. Berger K. C., Truog E.: Boron determination in soils and plants using quinalizarin reaction. *Ind. Eng. Chem. Anal.*, 1939, **11**: 540–545.
14. Bergmann W.: Nutritional disorders of plants – development, visual and analytical diagnosis. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, New York, 1992, 343-361.
15. Bergmann W., Neubert P.: Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fisher Verlag, Jena 1976, 1-711.
16. Bobrzeka D., Domská D., Krauze A.: Plony ziarna oraz jakość białka pszenicy w warunkach dolistnego dokarmiania miedzią i azotem. Materiały VII Symposium „Mikroelementy w rolnictwie”, Wrocław, 1992, 202-205.
17. Bodruzzaman M., Meisner C. A., Sufian M. A., Samad M. A., Saifuzzaman M., Sadat M. A.: Addressing wheat sterility through nutrient management. Internal Wheat Research Center and CIMMYT publication, 2005, 1-19.
18. Brennan R. F.: Availability of previous and current applications of zinc fertilizer using single superphosphate for the grain production of wheat on soils of South Western Australia. *J. Plant Nutr.*, 1996, **19(7)**: 1099-1115.
19. Brennan R. F.: Effectiveness of some copper compounds applied as foliar sprays in alleviating copper deficiency of wheat grown on copper-deficient soils of Western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.*, 1990, **30**: 687-691.
20. Brennan R. F.: Long-term residual values of copper fertiliser for production of wheat grain. *Aust. J. Exp. Agric.*, 2006, **46**: 77-83.
21. Brennan R. F.: Residual value of zinc fertiliser for production of wheat. *Aust. J. Exp. Agric.*, 2001, **41(4)**: 541-547.
22. Brennan R. F.: Overcoming copper deficiency in wheat with foliar sprays. Department of Agriculture and Food, Western Australia. Farmnote 22/91 (Reviewed, July 2005), 2005, [http://www.agric.wa.gov.au/content/fcp/ce/wh/nut/fn1991\\_022.htm](http://www.agric.wa.gov.au/content/fcp/ce/wh/nut/fn1991_022.htm).
23. Brennan R. F., Bolland M. D. A.: Comparing copper requirements of canola, albus lupin, durum wheat and spring wheat grown on alkaline soils. *Aust. J. Exp. Agric.*, 2004b, **44**: 921-929.
24. Brennan R. F., Bolland M. D. A.: Comparing copper requirements of faba bean, chickpea, and lentil with spring wheat. *J. Plant Nutr.*, 2003, **26(4)**: 883-899.
25. Brennan R. F., Bolland M. D. A.: Comparing copper requirements of field pea and wheat grown on alkaline soils. *Aust. J. Exp. Agric.*, 2004a, **44**: 913-920.
26. Brennan R. F., Bolland M. D. A.: Comparing soil and tissue testing of copper for early growth of wheat. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 2006a, **37**: 1451-1470.
27. Brennan R. F., Bolland M. D. A.: Relative effectiveness of soil – applied zinc for four crop species. *Aust. J. Exp. Agric.*, 2002, **42**: 985-993.
28. Brennan R. F., Bolland M. D. A.: Zinc sulfate is more effective at producing wheat shoots than zinc oxide in an alkaline soil but both sources are equally effective in an acid soil. *Aust. J. Exp. Agric.*, 2006b, **46**: 1615-1620.
29. Brennan R. F., Bolland M. D. A., Siddique K. H. M.: Responses of cool-season grain legumes and wheat to soil-applied zinc. *J. Plant Nutr.*, 2001, **24(4/5)**: 727-741.
30. Brown P. H., Hu H.: Boron mobility and consequent management in different crops. *Better Crops*, 1998, **82(2)**: 28-31.
31. Brown P. H., Shelp B. J.: Boron mobility in plants. *Plant Soil*, 1997, **193**: 85-101.
32. Budzyński W., Szempliński W.: Pszenica. W: Szczegółowa uprawa roślin. Praca zbiorowa pod red. Z. Jasińskiej i A. Koteckiego. AR Wrocław, 2003, 71-132.
33. Bussink W., Temminghoff E.: Soil and tissue testing for micronutrient status. Proceedings 548, International Fertilisers Society, York, UK, 2004, 1-42.
34. Cakmak I.: Identification and correction of widespread zinc deficiency in Turkey – a success story. Proceedings 552, International Fertilisers Society, York, UK, 2004, 1-26.
35. Cakmak I., Braun H. J.: Genotypic variation for zinc efficiency. In: Application of physiology in wheat breeding. Eds. Reynolds M. P., Ortiz-Monasterio J. I., McNab A., CIMMYT, Mexico, 2001, 183-199.

36. Cakmak I., Cakmak O., Eker S., Ozdemir A., Watanabe N., Braun H. J.: Expression of high zinc efficiency of *Aegilops tauschii* and *Triticum monococcum* in synthetic hexaploid wheats. *Plant Soil*, 1999, **215**: 203–209.
37. Cakmak I., Dericci R., Torun B., Tolay I., Braun H. J., Schlegel R.: Role of rye chromosomes in improvement of zinc efficiency in wheat and triticale. *Plant Soil*, 1997, **196(2)**: 249-253.
38. Cakmak I., Ekiz H., Yilmaz A., Torun B., Koleli N., Gultekin I., Alkan A., Eker S.: Differential response of rye, triticale, bread and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. *Plant Soil*, 1997, **188**: 1-10.
39. Cakmak I., Kalayci M., Ekiz H. J., Braun Y., Kilinc Y., Yilmaz A.: Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO science for stability project. *Field Crop Res.*, 1999, **60(1-2)**: 175-188.
40. Cakmak O., Ozturk L., Karanlik S., Ozkan H., Kaya Z., Cakmak I.: Tolerance of 65 durum wheat genotypes to zinc deficiency in a calcareous soil. *J. Plant Nut.*, 2001, **24(11)**: 1831-1847.
41. Cakmak I., Sari N., Marschner H., Ekiz H., Kalayci M., Yilmaz A., Braun H. J.: Phytosiderophore release in bread and durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Plant Soil*, 1996, **180**: 183-189.
42. Cakmak I., Tolay I., Ozdemir A., Ozkan H., Ozturk L., Kling C. I.: Differences in zinc efficiency among and within diploid, tetraploid and hexaploid wheats. *Ann. Bot.*, 1999, **84(2)**: 163-171.
43. Cakmak I., Torun B., Erenoglu B., Ozturk L., Marschner H., Kalayci M., Ekiz H., Yilmaz A.: Morphological and physiological differences in the response of cereals to zinc deficiency. *Euphytica*, 1998, **100(1-3)**: 349-357.
44. Cakmak I., Yilmaz A., Kalayci M., Ekiz H., Torun B., Erenoglu B., Braun H. J.: Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia. *Plant Soil*, 1996, **180**: 165-172.
45. Chapman V. J., Edwards D. G., Blamey F. P. C., Asher C. J.: Challenging the dogma of a narrow supply range between deficiency and toxicity of boron. In: Bell R. W., Rerkasem B. (Eds.) *Boron in soils and plants*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 1997, 151-155.
46. Cheng C., Rerkasem B.: Effects of boron on pollen viability in wheat. *Plant Soil*, 1993, **155/156**: 313-315.
47. Czuba R.: Badania nad pobieraniem składników pokarmowych przez pszenicę ozimą. *Rocz. Nauk Rol.*, 1969, **96(1)**: 5-28.
48. Czuba R.: Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471**: 161-169.
49. Dell B.: Male sterility and anther wall structure in copper-deficient plants. *Ann. Bot.*, 1981, **48**: 599-608.
50. Dell B., Huang L.: Physiological response of plants to low boron. *Plant Soil*, 1997, **193**: 103-120.
51. Domska D., Anchim W., Bobrzecka D., Procyk Z.: Wpływ nawożenia azotem i miedzią na plon, zawartość i skład aminokwasowy białka ziarna pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.*, 1994, **3(43)**: 46-53.
52. Erdal I., Yilmaz A., Taban S., Eker S., Torun B., Cakmak I.: Phytic acid and phosphorus concentrations in seeds of wheat cultivars grown with and without zinc fertilization. *J. Plant Nutr.*, 2002, **25(1)**: 113-127.
53. Erenoglu B., Cakmak I., Romheld V., Dericci R., Rengel Z.: Uptake of zinc by rye, bread wheat and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. *Plant Soil*, 1999, **209(2)**: 245-252.
54. Erenoglu B., Nikolic M., Romheld V., Cakmak I.: Uptake and transport of foliar applied zinc (<sup>65</sup>Zn) in bread and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. *Plant Soil*, 2002, **241**: 251-257.

55. Faber A.: Bezpośrednie i następcze działanie nawożenia borem, miedzią, molibdenem i cynkiem w zmianowaniu czteropolowym. IUNG Puławy, 1992, **H(2)**: 1-81.
56. Faber A.: Bor. W: Chemiczne podstawy żyzności gleb i nawożenia. Fotyma M., Mercik S., Faber A. PWRiL Warszawa, 1987, 187-198.
57. Fageria N. K.: Adequate and toxic levels of copper and manganese in upland rice, common bean, corn, soybean, and wheat grown on an oxisol. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 2001, **32(9)**: 1659-1676.
58. Filipiak K., Wilkos S.: Obliczenia statystyczne. Opis systemu AWAR. IUNG Puławy, 1995, **R(324)**: 35-36.
59. Franzen D.: Wheat responses to copper and other micronutrients. Proceedings of the 24th Workshop, Manitoba - North Dakota, Zero Tillage Farmers Association, 2002, dostępne jako: <http://www.mandakzerotill.org/Archives.htm>.
60. Garnett T. P., Graham R. D.: Distribution and remobilization of iron and copper in wheat. *Ann. Bot.*, 2005, **95(5)**: 817-826.
61. Gartrell J. W.: The residual effectiveness of copper fertilisers for wheat in Western Australia. *Aust. J. Exp. Agri. Anim. Husb.*, 1980, **20**: 370-376.
62. Gawalko E. J., Garrett R. G., Nowicki T. W.: Cadmium, copper, iron, manganese, selenium, and zinc in Canadian spring wheat. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 2002, **33(15)**: 3121-3133.
63. Gembarzewski H.: Stan i tendencje zmian mikroelementów w glebach i roślinach z pól produkcyjnych w Polsce. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471**: 171-179.
64. Gembarzewski H., Korzeniowska J.: Wybór metody ekstrakcji mikroelementów z gleby i opracowanie liczb granicznych przy użyciu regresji wielokrotnej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **434**: 353-364.
65. Gembarzewski H., Obojski J., Strączyński S., Sienkiewicz U.: Zawartość makro- i mikroelementów w glebach oraz roślinach ziemniaka i pszenicy ozimej z pól o wysokiej produktywności. IUNG Puławy, 1995, **S (80)**: 1-38.
66. Genc Y., McDonald G. K.: The potential of synthetic hexaploid wheats to improve zinc efficiency in modern bread wheat. *Plant Soil*, 2004, **262**: 23-32.
67. Genc Y., McDonald G. K., Graham R. D.: Contribution of different mechanisms to zinc efficiency in bread wheat during early vegetative stage. *Plant Soil*, 2006, **281**: 353-367.
68. Graham R. D.: Anomalous water relations in copper-deficient wheat plants. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1976, **3(2)**: 229-236.
69. Graham R. D.: Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Adv. Plant Nutr.*, 1984, **1**: 57-102.
70. Graham R. D.: Male sterility in wheat plants deficient in copper. *Nature*, 1975, **254**: 514-515.
71. Graham R. D.: Physiological aspects of time of application of copper to wheat plants. *J. Exp. Bot.*, 1976b, **27**: 717-724.
72. Graham R. D.: Susceptibility to powdery mildew of wheat plants deficient in copper. *Plant Soil*, 1980, **56(1)**: 181-185.
73. Graham R. D., Ascher J. S., Ellis P. A., Eshepherd K. W.: Transfer to wheat of the copper efficiency factor carried on rye chromosome arm 5RL. *Plant Soil*, 1987, **99(1)**: 107-114.
74. Graham R. D., Ascher J. S., Hynes S. C.: Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant Soil*, 1992, **146(1-2)**: 241-250.
75. Graham R. D., Nambiar E. K. S.: Advances in research on copper deficiency in cereals. *Aust. J. Agric. Res.*, 1981, **32**: 1009-1037.
76. Grewal H. S., Graham R. D.: Residual effects of subsoil zinc and oilseed rape genotype on the grain yield and distribution of zinc in wheat. *Plant Soil*, 1999, **207**: 29-36.
77. 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.

78. Grundon N. J.: Effectiveness of soil dressings and foliar sprays of copper sulphate in correcting copper deficiency of wheat (*Triticum aestivum*) in Queensland. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb., 1980, **20(107)**: 717-723.
79. Gupta U. C., Kalra Y. P.: Residual effect of copper and zinc from fertilizers on plant concentration, phytotoxicity, and crop yield response. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 2006, **37**: 2505-2511.
80. Harry S. P., Graham R. D.: Tolerance of triticale, wheat and rye to copper deficiency and low and high soil pH. J. Plant. Nutr., 1981, **3**: 721-730.
81. Haslett B. S., Reid R. J., Rengel Z.: Zinc mobility in wheat: Uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. Ann. Bot., 2001, **87(3)**: 379-386.
82. Hill J., Robson A. D., Loneragan J. F.: The effects of copper and nitrogen supply on the retranslocation of copper in four cultivars of wheat. Aust. J. Agric., 1978, **29**: 925-939.
83. Huang L. B., Bell R. W., Dell B.: Boron supply into wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Wilgoyne) ears whilst still enclosed within leaf sheath. J. Exp. Bot., 2001, **52**: 1731-1738.
84. Huang L., Pant J., Dell B., Bell R. W.: Effects of boron deficiency on anther development and floret fertility in wheat (*Triticum aestivum* L. Wilgoyne). Ann. Bot., 2000, **85**: 493-500.
85. Hunt C. D., Idso J. P.: Dietary boron as a physiological regulator of the normal inflammatory response: a review and current research progress. J. Trace Elem. Exp. Med., 1999, **12**: 221-233.
86. Imtiaz M., Alloway B. J., Khan P., Memon M. Y., Siddiqui S., Aslam M., Shah S. K. H.: Zinc deficiency in selected cultivars of wheat and barley as tested in solution culture. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 2006, **37(11-12)**: 1703-1721.
87. Imtiaz M., Alloway B. J., Memon M. Y., Khan P., Siddiqui S. H., Aslam M., Shah S. K. H.: Zinc tolerance in wheat cultivars as affected by varying levels of phosphorus. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 2006, **37(11-12)**: 1689-1702.
88. Imtiaz M., Alloway B. J., Shah K. H., Siddiqui S. H., Memon M. Y., Aslam M., Khan P.: Zinc contents in the seed of some domestic and exotic wheat genotypes. Asian J. Plant Sci., 2003, **2(15)**: 1118-1120.
89. Imtiaz M., Alloway B. J., Shah K. H., Siddiqui S. H., Memon M. Y., Aslam M., Khan P.: Zinc nutrition of wheat: I: Growth and zinc uptake. Asian J. Plant Sci., 2003, **2(2)**: 152-155.
90. Imtiaz M., Alloway B. J., Shah K. H., Siddiqui S. H., Memon M. Y., Aslam M., Khan P.: Zinc nutrition of wheat: II: Interaction of zinc with other trace elements. Asian J. Plant Sci., 2003, **2(2)**: 156-160.
91. Jain N. K., Dahama A. K.: Phosphorus and zinc requirements of wheat under wheat (*Triticum aestivum*) – earl millet (*Pennisetum glaucum*) cropping system. Arch. Agr. Soil Sci., 2006, **52(6)**: 645-653.
92. Jasiewicz C.: Zawartość miedzi w różnych odmianach pszenicy. Zesz. Nauk. AR Kraków, Rolnictwo, 1992, **30**: 145-149.
93. Jewell A. W., Murray B. G., Alloway B. J.: Light and electron microscope studies on pollen development in barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under copper-sufficient and deficient conditions. Plant Cell Environ., 1988, **11(4)**: 273-281.
94. Jones J. B., Wolf B., Mills H. A.: Plant analysis handbook – micro-macro. Publishing Inc., Georgia, USA, 1991, 1-213.
95. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN Warszawa, 1999, 1-398.
96. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2001, 1-413.
97. Kalayci M., Torun B., Eker S., Aydin M., Ozturk L., Cakmak I.: Grain yield, zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivars grown in a zinc-deficient calcareous soil in field and greenhouse. Field Crops Res., 1999, **63(1)**: 87-98.
98. Kamińska W., Kardasz T., Strahl A., Szymborska H.: Skład chemiczny roślin uprawnych i niektórych pasz pochodzenia roślinnego. IUNG Puławy, 1976, 1-76.

99. Karamanos R. E., Fradette J. G., Gerwing P. D.: Evaluation of copper and manganese nutrition of spring wheat on organic soil. *Can. J. Soil Sci.*, 1985, **65**: 133-148.
100. Karamanos R. E., Goh T. B.: Are present soil test Cu, B and Zn criteria for wheat, canola and beans, respectively, accurate? *Proc. Mb Agronomist Conf.*, 2001, 111-123.
101. Karamanos R. E., Goh T. B.: Effect of rate of copper application on yield of hard red spring wheat. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 2004, **35(13-14)**: 2037-2047.
102. Karamanos R. E., Goh T. B., Harapiak J. T.: Determining wheat response to copper in prairie soils. *Can. J. Soil Sci.*, 2003, **83(2)**: 213-221.
103. Karamanos R. E., Kruger G. A., Singh J. P.: Manganese and copper interaction in barley grown on organic soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 1991, **22**: 1397-1408.
104. Karamanos R. E., Kruger G. A., Stewart J. W. B.: Copper deficiency in cereal and oilseed crops in northern Canadian prairie soils. *Agron. J.*, 1986, **78**: 317-323.
105. Karamanos R. E., Pomarenski Q., Goh T. B., Flore N. A.: The effect of foliar copper application on grain yield and quality of wheat. *Can. J. Plant Sci.*, 2004, **84(1)**: 47-56.
106. Katyál J. C., Rándhawa N. S.: Micronutrient. *FAO Fertilizer Plant Nutrition Bull.*, 1983, 1-82.
107. Khoshgoftarmansh A. H., Shariatmadari H., Karimian N., Kalbasi M., Khajepour M. R.: Zinc efficiency of wheat cultivars grown on a saline calcareous soil. *J. Plant Nutr.*, 2005, **27(11)**: 1953-1962.
108. Kirkby A. E., Romheld V.: Micronutrients in plants physiology: functions, uptake and mobility. *Proceedings 543, International Fertilisers Society, York, UK*, 2004, 1-52.
109. Korzeniowska J.: Potrzeby mikroelementowe kukurydzy uprawianej na kiszonce w warunkach glebowo-klimatycznych Polski. Praca doktorska, AR Wrocław, 1996, 1-59.
110. Korzeniowska J.: Potrzeby nawożenia cynkiem kukurydzy uprawianej na kiszonce w świetle wyników doświadczeń polowych. *Rocz. Glebozn.*, 1994, **45(1/3)**: 91-99.
111. Korzeniowska J.: Response of ten winter wheat cultivars to copper application. In: *Biogeochemistry of trace elements: environmental protection, remediation and human health*. Eds. Zhu Y., Lepp N., Naidu R., Tsinghua University Press, Beijing, 2007, 619-620.
112. Korzeniowska J., Gembarzewski H.: Potrzeby nawożenia mikroelementami kukurydzy uprawianej na kiszonce. *Rocz. Glebozn.*, 1999, **50(1/2)**: 79-84.
113. 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.
114. Korzeniowska J., Gembarzewski H.: Wpływ następczy nawożenia miedzią, cynkiem i molibdenem kukurydzy na tle zróżnicowanego odczynu gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **434**: 118-138.
115. Krauze A.: Wpływ nawożenia cynkiem na plony i jakość ziarna pszenicy ozimej w zależności od dawki i sposobu nawożenia fosforem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **434**: 185-191.
116. Kruczyńska H.: Liczby graniczne zawartości mikroelementów w roślinach dla oceny ich wartości paszowej. *Nowe Rol.*, 1985, **9**: 45-47.
117. Kucharzewski A., Dębowski M.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471**: 627-635.
118. Kulczycki G., Grocholski J.: Zawartość mikroelementów w ziarnie i słomie wybranych odmian pszenicy ozimej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **502**: 215-221.
119. Leach R. C.: Characterisation of a 4BS.4BL-5RL wheat rye translocation to bread wheat. PhD, University of Adelaide, Faculty of Sciences, Dept. Plant Pest Sciences. 2004, 1-161.
120. Li B. H., Li W. H., Kui M. C., Chao W. S., Jern H. P., Li C. R., Chu W. J., Wang C. L.: Studies on cause of sterility of wheat. *J. Northwestern Coll.*, 1978, **3**: 1-19 (in Chinese with English abstract).
121. Li H. Y., Zhu Y. G., Smith S. E., Smith F. A.: Phosphorus-zinc interactions in two barley cultivars differing in phosphorus and zinc efficiencies. *J. Plant Nutr.*, 2003, **26(5)**: 1085-1099.

122. Liao M. T., Hedley M. J., Woolley D. J., Brooks R. R., Nichols M. A.: Copper uptake and translocation in chicory (*Cichorium intybus* L. cv. Grasslands Puna) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Rondy) plants grown in NFT system. I. Copper uptake and distribution in plants. *Plant and Soil*, 2000, **221**: 135-142.
123. Lipman C. B., Mackinney G.: Proof of the essential nature of copper for higher green plants. *Plant Physiol.*, 1931, **6(3)**: 593-599.
124. Lityński T., Jurkowska H.: Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN Warszawa, 1982, 365-373.
125. Loneragan J. F., Snowball K., Robson A. D.: Copper supply in relation to content and redistribution of copper among organs of the wheat plant. *Ann. Bot.*, 1980, **45**: 621-632.
126. Loneragan J. F., Webb M. J.: Interactions between Zn and other nutrients affecting the growth of plants. In: Zinc in soils and plants. Ed. A. D. Robson, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 1993, 119-151.
127. Łabętowicz J., Rutkowska B.: Próba wykorzystania składu chemicznego roztworu glebowego w diagnostyce nawożenia mikroelementami. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471**: 45-51.
128. Łabętowicz J., Rutkowska B.: Zmienność stężenia mikroelementów w roztworze glebowym w warunkach trwałego doświadczenia nawozowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471**: 113-119.
129. Malhi S. S., Cowell L., Kutcher H. R.: Relative effectiveness of various sources, methods, times and rates of copper fertilizers in improving grain yield of wheat on a Cu-deficient soil., *Can. J. Plant Sci.*, 2005, **85**: 59-65.
130. Malhi S. S., Piening L. J., Macpherson D. J.: Effect of copper on stem melanosis and yield of wheat: sources, rates and methods of application. *Plant Soil*, 1989, **119**: 199-204.
131. Marschner H.: Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, 1995, 1-889.
132. Materiały do opracowywania zaleceń nawozowych na gruntach ornych. IUNG Puławy, PWRiL Warszawa, 1989, 1-48.
133. Matoh T.: Boron in plant cell walls. *Plant Soil*, 1997, **193(2)**: 115-121.
134. Matoh T., Kobayashi M.: Boron function in plant cell walls. In: Boron in plant and animal nutrition, Ed. by Goldbach et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002, 143-155.
135. McLaughlin M. J., Zarcinas B. A., Stevens D. P., Cook N.: Soil testing for heavy metals. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2000, **31(11-14)**: 1661-1700.
136. Mercik S., Stępień W., Matysiak B.: Mobilność i pobieranie miedzi oraz cynku przez rośliny w zależności od właściwości gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **502**: 235-245
137. Metody badań w stacjach chemiczno-rolniczych. Cz. I-IV. IUNG Puławy, 1980.
138. Metody oznaczania ruchomych form mikroelementów w glebie do rutynowych oznaczeń w stacjach chemiczno-rolniczych (wspólna ekstrakcja 1 M HCl). IUNG Wrocław, 1986, (materiały niepublikowane).
139. Mielcarz G., Howard A., Patelski J.: Stężenie miedzi, cynku i cholesterolu w plazmie u czterech populacji o różnej śmiertelności z powodu niewydolności sercowo-naczyniowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **436**: 629-634.
140. Mikos M., Stryk B.: Zawartość mineralnych składników pokarmowych w ziarnie 3 odmian pszenicy ozimej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1989, **325**: 109-117.
141. Moraghan J. T.: Differential responses of five species to phosphorus and zinc fertilizers. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1984, **15(4)**: 437-447.
142. Morgounov A., Gomez-Becerra H. F., Abugaliev A., Dzhunusova M., Yessimbekova M., Muminjanov H., Zelenskiy Y., Ozturk L., Cakmak I.: Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. *Euphytica*, 2007, **155**: 193-2003.
143. Nachiangmai D., Dell B., Bell R., Huang L., Rerkasem B.: Enhanced boron transport into the ear of wheat as a mechanism for boron efficiency. *Plant Soil*, 2004, **264(1/2)**: 141-147.



144. Nambiar E. K. S.: Genetic differences in the copper nutrition of cereals. I. Differential responses of genotypes to copper. *Aust. J. Agric. Res.*, 1976, **27(4)**: 453-463.
145. Nambiar E. K. S.: Genetic differences in the copper nutrition of cereals. II. Genotypic differences in response to copper in relation to copper, nitrogen and other mineral contents of plants. *Aust. J. Agric. Res.*, 1976, **27(4)**: 465-477.
146. Narwal R. P., Singh B. R.: Effect of organic materials on partitioning, extractability and plant uptake of metals in an alum shale soil. *Water Air Soil Pollut.*, 1998, **103(1-4)**: 405-421.
147. Nielsen F. H.: Boron in human and animal nutrition. *Plant Soil*, 1997, **193**: 199-208.
148. Nielsen F. H.: The emergence of boron as nutritionally important throughout the life cycle. *Nutrition*, 2000, **16(7/8)**: 512-514.
149. Nowak W., Sowiński J., Pietr S.: Wpływ metody ochrony pszenicy ozimej na zawartość niektórych mikroelementów w ziarnie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **502**: 253-259.
150. Obojski J., Strączyński S.: Odczyn i zasobność gleb polskich w makro- i mikroelementy. IUNG Puławy, 1995, 1-40.
151. Oleszek W., Terelak H., Maliszewska-Kordybach B., Kukuła S.: Soil, food and agroproduct contamination monitoring in Poland. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2003, **12(3)**: 261-268.
152. Owuochi J. O., Briggs K. G., Taylor G. J.: The efficiency of copper used by 5A/5R1 wheat-rye translocation lines and wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Plant Soil*, 1996, **180**: 113-20.
153. Owuochi J. O., Briggs K. G., Taylor G. J., Penney D. C.: Response of eight Canadian spring wheat cultivars to copper II. Copper content in the leaves and grain. *Can. J. Plant Sci.*, 1995, **75**: 405-411.
154. Owuochi J. O., Briggs K. G., Taylor G. J., Penney D. C.: Response of eight Canadian spring wheat cultivars to copper: pollen viability, grain yield plant-1 and yield components. *Can. J. Plant Sci.*, 1994, **74**: 25-30.
155. Pais I., Jones B.: The handbook of trace elements. Boca Raton, FL, CRC Press, 1997, 1-240.
156. Pant J., Rerkasem B., Noppakoonwong R.: Effect of water stress on the boron response of wheat genotypes under low boron field conditions. *Plant Soil*, 1998, **202(2)**: 193-200.
157. Pervaiz Z., Hussain K., Kazmi S. S. H., Akhter B.: Zinc requirement of Barani wheat. *Asian J. Plant Sci.*, 2003, **2(11)**: 841-843.
158. Piening L. J., MacPherson D. J., Malhi S. S.: Stem melanosis of some wheat, barley and oat cultivars on a copper deficient soil. *Can. J. Plant Pathol.*, 1989, **11**: 65-67.
159. Pietruszka B., Brzozowska A., Puzio-Dębska A.: Dietary assessment of adults in three villages in Warsaw, Radom and Biała Podlaska. *Rocz. Państw. Zakł. Hig.*, 1998, **49**: 219-229.
160. Potarzycki J.: Rola miedzi w nawożeniu pszenicy ozimej. Część I. Plon i jakość ziarna. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **502**: 953-959.
161. Potarzycki J.: Rola miedzi w nawożeniu pszenicy ozimej. Część II. Gospodarka azotem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **502**: 961-966.
162. Prasad B., Sharma M. M., Sinha S. K.: Evaluating zinc fertilizer requirement on typical haplaquent in the rice-wheat cropping system. *J. Sustain. Agric.*, 2002, **19(3)**: 39-49.
163. Pueyo M., López-Sánchez J. F., Rauret G.: Assessment of  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaNO}_3$  and  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  extraction procedures for the study of Cd, Cu, Pb and Zn extractability in contaminated soils. *Anal. Chim. Acta*, 2004, **504**: 217-226.
164. Rafique E., Rashid A., Ryan J., Bhatti A. U.: Zinc deficiency in rainfed wheat in Pakistan: magnitude, spatial variability, management, and plant analysis diagnostic norms. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2006, **37(1-2)**: 181-197.
165. Raport z badań monitoringowych jakości gleb, roślin, produktów rolniczych i spożywczych w 2001 roku. Praca zbiorowa pod red. W. Michny i B. Szeke. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa, 2002, 1-72.



166. Rashid A., Rafique E., Bughio N.: Boron deficiency in rainfed alkaline soils of Pakistan. Incidence and boron requirement of wheat. In: Boron in plant and animal nutrition, Ed. by Goldbach et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002, 371-379.
167. Rawson H. M.: The developmental stage during which boron limitation causes sterility in wheat genotypes and the recovery of fertility. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1996, **23(6)**: 709-717.
168. Rengel Z., Graham R. D.: Wheat genotypes differ in Zn efficiency when grown in chelate-buffered nutrient solution. I. Growth. *Plant Soil*, 1995, **176**: 307-316.
169. Rengel Z., Römheld V.: Differential tolerance to Fe and Zn deficiencies in wheat germplasm. *Euphytica*, 2000, **113**: 219-225.
170. Rengel Z., Römheld V.: Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency. *Plant Soil*, 2000, **222**: 25-34.
171. Rerkasem B., Jamjod S.: Boron deficiency induced male sterility in wheat and implications for plant breeding. *Euphytica*, 1997, **96**: 257-262.
172. Rerkasem B., Jamjod S.: Boron deficiency in wheat: a review. *Field Crops Research*, 2004, **89**: 173-186.
173. Rerkasem B., Jamjod S.: Genotypic variation in plant response to low boron and implications for plant breeding. *Plant Soil*, 1997, **193**: 169-180.
174. Rerkasem B., Jamjod S., Niruntrayagul S.: Increasing boron efficiency in many international bread wheat, durum wheat, triticale and barley germplasm will boost production on soils low in boron. *Field Crops Res.*, 2004, **86**: 175-184.
175. Rerkasem B., Lonergan J. F.: Boron deficiency in two wheat genotypes in a warm subtropical region. *Agron. J.*, 1994, **86**: 887-890.
176. Rerkasem B., Lordkaew S.: Tissue boron. In: Sterility in wheat in sub-tropical Asia: extent, causes and solutions. Eds: H. M. Rawson and K. D. Subedi. *ACIAR Proc.*, 1996, **72**: 36-38.
177. Rerkasem B., Lordkaew S., Dell B.: Boron requirement for reproductive in wheat. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1997, **43**: 953-957.
178. Rerkasem B., Netsangtip R., Lordkaew S., Cheng C.: Grain set failure in boron deficient wheat. *Plant Soil*, 1993, **155/156**: 309-312.
179. Richards I. R.: Micronutrients in arable and field vegetable crop production. *Proceedings 551, International Fertilisers Society, York, UK*, 2004, 1-22.
180. Riesen O., Feller U.: Redistribution of nickel, cobalt, manganese, zinc, and cadmium via the phloem in young and maturing wheat. *J. Plant Nut.*, 2005, **28(3)**: 421-430.
181. Robson A. D., Lonergan J. F., Gartrell J. W., Snowball K.: Diagnosis of copper deficiency in wheat by plant analysis. *Aust. J. Agric. Res.*, 1984, **35(3)**: 347-358.
182. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 27 grudnia 2000. W sprawie wykazu dopuszczalnych ilości substancji dodatkowych i innych substancji obcych dodawanych do środków spożywczych lub używek, a także zanieczyszczeń, które mogą znajdować się w środkach spożywczych lub używkach. *Dz. U. z 2001 r. Nr 9, poz. 27*.
183. Ruel M. T., Bouis H. E.: Plant breeding: a long-term strategy for the control of zinc deficiency in vulnerable populations. *Amer. J. Clin. Nutr.*, 1998, **68**: 488-494 (suppl.).
184. Ruszkowska M., Łyszcz S.: Wskaźniki stanu zaopatrzenia roślin w miedź. *Pam. Puł.*, 1986, **87**: 139-153.
185. Ruszkowska M., Łyszcz S., Faber A., Filipiak K.: Przydatność niektórych wskaźników zaopatrzenia pszenicy ozimej w miedź. *Pam. Puł.*, 1990, **96**: 58-69.
186. Ruszkowska M., Łyszcz S., Weryszko E.: Możliwość oceny stanu zaopatrzenia roślin zbożowych w miedź w czasie wegetacji. *Prace Komisji Nauk. PTG*, 1989, **110**: 5-15.
187. Ruszkowska M., Rębowska Z., Łyszcz S., Kusio M.: Zawartość Cu w ziarnie i słomie jako wskaźnik zaopatrzenia zbóż w miedź. *Pam. Puł.*, 1991, **99**: 145-162.
188. Ruszkowska M., Wojcieszka - Wyskupajtyś U.: Mikroelementy - fizjologiczne i ekologiczne aspekty ich niedoborów i nadmiarów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **434**: 1-11.

189. Rutkowska U., Iwanow K., Kunachowicz H.: Zawartość mikroelementów w krajowych racjach pokarmowych w latach 1973–1989. Materiały VII Symposium „Mikroelementy w rolnictwie”, 1992, 432-435.
190. Schlegel R., Kynast R., Schwarzach T., Römheld V., Walter A.: Mapping of genes for copper efficiency in rye and the relationship between copper and iron efficiency. *Plant Soil*, 1993, **154**: 61-65.
191. Schnug E., Haneklaus S.: Evaluation of the significance of sulfur and other essential mineral elements in oilseed rape, cereals and sugar beets by plant analysis. In: Jez. J (Ed): Sulfur a missing link between soils, crops and nutrition. Crop Soc. of America (w druku), 2008.
192. Sharma C. M., Bhardwaj S. K.: Effect of phosphorus and zinc fertilization on yield and nutrient uptake in wheat and their residual effect on soybean. *Indian J. Agron.*, 1998, **43(3)**: 426-430.
193. Sharma P. K., Yadav G. L., Sharma B. L., Kumar S.: Response of wheat (*Triticum aestivum*) to nitrogen and zinc fertilization. *Indian J. Agron.*, 2000, **45(1)**: 124-127.
194. Shorrocks V. M.: The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant Soil*, 1997, **193**: 121-148.
195. Sienkiewicz U.: Określenie potrzeb nawożenia rzepaku ozimego miedzią. Raport końcowy z tematu badawczego nr 2.08., Wrocław 2006, 22-32 (materiały niepublikowane).
196. Sillanpää M.: Micronutrient assessment at the country level: an international study. *FAO Soils Bulletin*, Rome, 1990, **63**: 1-208.
197. Singh D. V., Swarup C.: Copper nutrition of wheat in relation to nitrogen and phosphorus fertilization. *Plant Soil*, 1982, **65**: 433-436.
198. Smilde K., Henkens Ch.: Sensitivity to copper deficiency of different cereals and strains of cereals. *Netherlands J. Agric. Sci.*, 1967, **15(4)**: 249-258.
199. Solberg E., Evans I., Penny D.: Copper deficiency: diagnosis and correction. *Agri-Fact. Practical Information for Alberta Industry*, September 1999, 1-9, dostępne jako: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$Department/deptdocs.nsf/all/agdex3476](http://www1.agric.gov.ab.ca/$Department/deptdocs.nsf/all/agdex3476)
200. Soyulu S., Topal A., Sade B., Akgun N., Gezgin S., Babaoğlu M.: Yield and yield attributes of durum wheat genotypes as affected by boron application in boron-deficient calcareous soils: An evaluation of major Turkish genotypes for boron efficiency. *J. Plant Nutr.*, 2004, **27(6)**: 1077-1106.  
<http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713597277~db=all~tab=issueslist~branches=27-v27>
201. Spiak Z.: Aktualny stan badań nad zagadnieniem nadmiaru metali ciężkich w glebach i roślinach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **434**: 769-776.
202. Spiak Z.: Badania nad określeniem szkodliwej dla roślin uprawnych zawartości cynku w glebach. *Zesz. Nauk. AR Wrocław*, 1993, **121**: 1-88 (rozpr. hab.).
203. Spiak Z.: Wpływ formy chemicznej cynku na pobieranie tego pierwiastka przez rośliny. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **434**: 997-1003.
204. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J.: Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych. *Wiś Jutra*, 2003, **10(63)**: 14-15.
205. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J.: Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2007, **8**: 99-110.
206. Stanisławska-Głubiak E., Sienkiewicz-Cholewa U.: Reakcja odmian jęczmienia jarego na kwaśny odczyn gleby oraz wapnowanie i nawożenie molibdenem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **502**: 349-356.
207. Starczak Z.: *Gospodarka mineralna roślin. W: Fizjologia roślin – praca zbiorowa pod red. J. Kopcewicza i S. Lewaka. Wyd. Nauk. PWN Warszawa*, 2005, 228-272.
208. Subedi K. D., Budhathoki C. B., Subedi M.: Variation in sterility among wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in response to boron deficiency in Nepal. *Euphytica*, 1997, **95**: 21-26.
209. Subedi K. D., Gregory P. J., Gooding M. J.: Boron accumulation and partitioning in wheat cultivars with contrasting tolerance to boron deficiency. *Plant Soil*, 1999, **214**: 141-152.

210. Szukałski H.: Mikroelementy w produkcji roślinnej. PWRiL Warszawa, 1979, 1-320.
211. Szulc W., Rutkowska B., Łabętowicz J.: Bilans mikroelementów w zmianowaniu w trwałym doświadczeniu nawozowym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2004, **502**: 363-369.
212. Takkar P. N., Walker C. D.: The distribution and correction of zinc deficiency. In: Zinc in soils and plants. Ed. A. D. Robson. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1993, 151-166.
213. 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.
214. Topal A., Gezgin S., Akgun N., Dursun N., Babaoglu M.: Yield and yield attributes of durum wheat (*Triticum durum* desf.) as affected by boron application. In: Boron in plant and animal nutrition. Ed. by Goldbach et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002, 401-406.
215. Torun A., Gultekin I., Kalayci M., Yilmaz A., Eker S., Cakmak I.: Effects of zinc fertilization on grain yield and shoot concentrations of zinc, boron, and phosphorus of 25 wheat cultivars grown on a zinc-deficient and boron-toxic soil. J. Plant Nutr., 2001, **24(11)**: 1817-1829.
216. Unno Y., Dobashi K., Mizuno N.: Interaction between starch accumulation in pollens and sterility of wheat, barley and rye on a copper-deficient soil. Jap. J. Soil Sci. Plant Nut., 1984, **55(6)**: 495-498.
217. USA National Research Council: Nutrient requirements of beef cattle: 7th Revised Edition. The National Academies Press, 2000, 1-234.
218. USA National Research Council: Nutrient requirements of horses: 5th Revised Edition. The National Academies Press, 1989, 1-101.
219. USA National Research Council: Nutrient requirements of poultry: 9th Revised Edition. The National Academies Press, 1994, 1-157.
220. USA National Research Council: Nutrient requirements of swine: 10th Revised Edition. The National Academies Press, 1998, 1-210.
221. Warchowska M.: Wpływ nawożenia azotem i miedzią pszenżyta jarego na zawartość miedzi w ziarnie i jego wartość technologiczną. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2004, **502**: 395-402.
222. Warrington K.: The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. Ann. Bot., 1923, **37**: 629-672.
223. Webb M. J., Lonergan J. F.: Zinc translocation to wheat roots and its implications for a phosphorus/zinc interaction in wheat plants. J. Plant Nutr., 1990, **13**: 1499-1512.
224. Welch R. M., Graham R.: Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. J. Exp. Bot., 2004, **55**: 353-364.
225. Welch R. M., Hart J. J., Norvell W. A., Sullivan L. A., Kochian L. V.: Effects of nutrient solution zinc activity on net uptake, translocation, and root export of cadmium and zinc by separated sections of intact durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) seedling roots. Plant Soil, 1999, **208**: 243-250.
226. Weryszko-Chmielewska E.: Anatomical and morphological copper provision indexes in wheat. Acta Agrobot., 1993, **46**: 83-97.
227. Weryszko-Chmielewska E.: Zmiany morfologiczne i anatomiczne w organach kilku gatunków roślin w warunkach niedoboru miedzi. Rozpr. hab., Seria – Rozprawy Naukowe, AR Lublin, 1992, **152**: 1-72.
228. White J. G., Zasoski R. H.: Mapping soil micronutrients. Field Crops Res., 1999, **60**: 11-26.
229. Wojciechowska-Mazurek M., Karłowski K., Starska K., Brulińska-Ostrowska E., Kumpulainen J. T.: Contents of Pb, Cd, Cu and Zn in Polish cereal grain, flour and powdered milk. FAO, Proceedings of the Technical Workshop on Trace Elements, Natural Antioxidants and Contaminants, Helsinki - August 25-26, 1995.

230. Wongmo J., Jamjod S., Rerkasem B.: Contrasting responses to boron deficiency in barley and wheat. *Plant Soil*, 2004, **259**: 103-110.
231. Wróbel S.: Calibration of 1 M HCl extractable soil boron. In: *Boron in plant and animal nutrition*. Ed. by Goldbach et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002a, 335-338.
232. Wróbel S.: Określenie potrzeb nawożenia buraka cukrowego mikroelementami. *IUNG Puławy, Monografie i Rozprawy Naukowe*, 2002, **2**: 1-96.
233. 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.
234. Wróbel S., Hryńczuk B.: Wpływ nawożenia borem na plonowanie i skład chemiczny pszenicy jarej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **502**: 451-457.
235. Wróbel S., Korzeniowska J.: Ocena potrzeb nawożenia kukurydzy borem. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2007, **8**: 127-142.
236. Wróbel S., Sienkiewicz-Cholewa U.: Określenie potrzeb nawożenia pszenicy ozimej borem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **502**: 459-466.
237. Yilmaz A., Ekiz H., Gültekin I., Torun B., Barut H., Karanlık S., Cakmak I.: Effect of seed zinc content on grain yield and zinc concentration of wheat grown in zinc-deficient calcareous soils. *J. Plant Nutr.*, 1998, **21**: 2257-2264.
238. Yilmaz A., Ekiz H., Torun B., Gültekin I., Karanlık S., Bağcı S.A., Cakmak I.: Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. *J. Plant Nutr.*, 1997, **20(4/5)**: 461-471.
239. Zalecenia nawozowe. Praca zbiorowa. Cz. I. Liczby graniczne do wyceny w glebach makro- i mikroelementów. *IUNG Puławy*, 1990, 1-44.
240. Zhu Y.G., Smith S.E., Smith F.A.: Zinc (Zn) – phosphorus (P) interactions in two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum*) differing in P uptake efficiency. *Ann. Bot.*, 2001, **88**: 941-945.
241. Zhu Y., Zhao Z.Q., Li H., Smith S.E., Smith F.A.: Effect of zinc-cadmium interactions on the uptake of zinc and cadmium by winter wheat (*Triticum aestivum*) grown in pot culture. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 2003, **71**: 1289-1296.

POTRZEBY NAWOŻENIA PSZENICY CYNKIEM, MIEDZIĄ I BOREM W WARUNKACH  
GLEBOWO-KLIMATYCZNYCH POLSKI

Streszczenie

**Słowa kluczowe:** pszenica, odmiany, potrzeby mikroelementowe, nawożenie Cu, B i Zn.

Celem pracy było określenie potrzeb nawożenia pszenicy mikroelementami w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem zróżnicowania odmianowego w ich wykorzystaniu. Badania realizowano w oparciu o:

- 74 doświadczenia polowe z doglebowym nawożeniem pszenicy jarej cynkiem,
- 9 doświadczeń polowych z dolistnym nawożeniem 10ciu różnych odmian pszenicy ozimej miedzią i borem,
- 3 doświadczenia mikropoletkowe z dolistnym nawożeniem pszenicy ozimej miedzią na tle różnego poziomu agrotechniki i nawożenia azotem.

Na 74 przeprowadzone doświadczenia z nawożeniem pszenicy cynkiem w 34 przypadkach uzyskano istotnąwyżkę plonu ziarna pszenicy na skutek zastosowanego rok wcześniej doglebowego nawożenia cynkiem. Świadczy to o korzystnym efekcie następczym tego nawożenia w warunkach klimatyczno-glebowych naszego kraju. Najkorzystniejsza pod pszenicę jarą okazała się dawka  $10 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$ , powodując średnio dla wszystkich doświadczeń 5%, a w grupie doświadczeń z pozytywną reakcją na Zn – 10% wyższą plonów ziarna. Wystąpienie reakcji pszenicy na nawożenie Zn było związane nie tylko z mniejszą zawartością tego pierwiastka, ale również ze stosunkiem Zn : P i Zn : Cu w glebie. Pszenica zareagowała wyższą plonów na nawożenie cynkiem na polach gdzie cynku było relatywnie mniej w stosunku do fosforu i miedzi. Wydaje się, że korzystne efekty nawożenia pszenicy jarej cynkiem w Polsce mogą wystąpić na glebach lekkich przy niskiej lub średniej zasobności gleby w cynk i równoczesnych wysokich zawartościach fosforu i miedzi w glebie.

Badane odmiany pszenicy ozimej różniły się istotnie reakcją na nawożenie dolistne miedzią. Przy tej samej, średniej zawartości Cu w glebie pięć z 10 badanych odmian reagowało 11-23% wyższą plonów, dwie 9-11% obniżką, a trzy nie reagowały istotnie na nawożenie Cu. Kierując się reakcją odmian na nawożenie Cu oraz zawartością tego pierwiastka w pędach wyodrębniono odmiany o dużym, średnim i małym zapotrzebowaniu na Cu. Ze względu na istniejące różnice w zapotrzebowaniu poszczególnych odmian pszenicy ozimej na Cu decyzję o nawożeniu tym składnikiem należy podejmować nie tylko w zależności od zasobności gleby w ten pierwiastek, ale również w zależności od uprawianej odmiany. Ze względu na duże niedobory miedzi w Polsce, szczególną wrażliwość pszenicy na deficyt tego mikroelementu oraz wykazane różnice odmianowe w wykorzystaniu Cu, celowe byłoby włączenie testowania potrzeb miedziowych pszenicy do Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO).

W przeprowadzonych doświadczeniach mikropoletkowych intensywny poziom agrotechniki z wyższą dawką N ( $130 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) powodował zwiększenie efektu plonotwórczego nawożenia miedzią lub eliminował negatywny wpływ Cu, który wystąpił przy podstawowym poziomie agrotechniki z niższą dawką N ( $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Zastosowanie wyższej dawki azotu najprawdopodobniej powodowało zwiększenie zapotrzebowania pszenicy na miedź.

Pomimo bardzo dużych niedoborów boru w glebach Polski potrzeba nawożenia pszenicy tym mikroelementem nie jest tak oczywista jak potrzeba nawożenia miedzią. Badania własne, potwierdzone danymi literaturowymi, wskazują na dużo większe uzależnienie efektywności wykorzystania boru od warunków hydrotermicznych niż wykorzystania innych mikroelemen-

tów. Duży wpływ warunków pogodowych na reakcję pszenicy na nawożenie borem sprawia, że jest ona znacznie zróżnicowana w latach i nieprzewidywalna. W przeprowadzonych badaniach wykazano zróżnicowaną reakcję odmian pszenicy ozimej na dolistne nawożenie borem, jednak niejednolita reakcja poszczególnych odmian, wynikająca z dużego uwikłania z warunkami pogodowymi, uniemożliwiła wyodrębnienie grup odmian o podobnych potrzebach pokarmowych w stosunku do tego pierwiastka. Największa dodatnia reakcja pszenicy ozimej na dolistną aplikację boru występuje w sytuacji suszy i wysokiej temperatury w okresie formowania pyłku. W takich warunkach hydrotermicznych przemieszczanie się boru do organów generatywnych jest utrudnione i powoduje zwiększenie zapotrzebowania pszenicy na ten pierwiastek

Zawartość miedzi i boru w całych częściach nadziemnych roślin w fazie początku strzelania w źdźbło nie jest dobrym wskaźnikiem potrzeb pokarmowych pszenicy w stosunku do tych mikroelementów. Wskaźnik ten charakteryzuje się ograniczoną przydatnością dla miedzi, i nie nadaje się do oceny zaopatrzenia pszenicy w bor.

Wiadomo, że w warunkach niewystarczających ilości dostępnych form miedzi, boru i cynku w glebie pszenica reaguje wyższą plonów na nawożenie tymi składnikami. Stosowanie tego nawożenia w praktyce rolniczej napotyka jednak na trudności związane z prawidłową oceną niedoborów mikroelementów, wynikającą z niedoskonałości istniejących testów glebowych i roślinnych. Wydaje się, że dalsze badania mikroelementowe powinny dotyczyć udoskonalenia instrumentów służących do oceny potrzeb nawożenia.

## ZINC, COPPER AND BORON REQUIREMENTS OF WHEAT IN THE SOIL AND CLIMATE CONDITIONS IN POLAND

### Abstract

**Key words:** wheat, cultivars, requirements of micronutrients, Cu, B and Zn fertilization.

The aim of the research has been to determine the micronutrient needs of wheat in Poland, with a special attention paid to differences between wheat cultivars in micronutrient efficiency. The research was based on:

- 74 field trials involving soil fertilization of spring wheat with Zn,
- 9 field trials consisting of foliar application of 10 winter wheat cultivars with Cu and B,
- 3 microplot trials comprising foliar application of winter wheat with Cu versus differentiated agronomic treatments and N fertilization.

Out of the 74 trials involving wheat fertilization with zinc, in 34 cases wheat grain yield was raised by the soil fertilization with zinc applied in a previous year. This result demonstrates positive residual effect of zinc fertilization under the climatic and soil conditions in Poland. The best fertilization rate under spring wheat proved to be  $10 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$ , which caused a 5% rise in grain yield on average for all the trials. The increase was even higher (10%) in the group of treatments where wheat responded positively to Zn fertilization. Response of wheat to zinc fertilization was conditioned not only by a lower soil content of zinc but also by the Zn : P and Zn : Cu ratios in soil. Wheat responded to Zn fertilization by higher yields on fields where there was less Zn relative to P and Cu. It seems that better effects of fertilizing of spring wheat with zinc in Poland can occur on light soils, low to medium in zinc but rich in phosphorus and copper.



The tested winter wheat cultivars differed significantly in their response to foliar application with copper. At an identical average Cu content in soil, five out of ten tested cultivars responded to Cu nutrition by 11-23% grain yield increase, two by 9-11% yield decrease and three did not respond significantly to Cu fertilization. Considering the response of the wheat cultivars as well as the concentration of this element in wheat shoots, three groups of cultivars were distinguished: high, moderately and low Cu-efficient. Due to the differences between the winter wheat cultivars in copper efficiency, a decision about Cu fertilization ought to be made according to the soil Cu content as well as in dependence of a cultivated wheat cultivar. It seems advisable, for several reasons, to include tests on copper efficiency of wheat cultivars in the Post-Registration Testing System (PDO). Firstly, soils in Poland are low in copper. Secondly, wheat cultivars have proved to differ in Cu efficiency. Finally, wheat is specially sensitive to copper deficit.

The microplot trials showed that a more intensive level of agronomic practice along with a higher N rate ( $130 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) strengthened the yield-creating effect of copper fertilization in comparison to the basic agronomic treatments with a lower N dose ( $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Application of the higher N rate was most probably responsible for an increased need of wheat for Cu.

Although soils in Poland are largely deficient in boron, boron fertilization of wheat does not seem to be such important as Cu fertilization. Own research as well as the relevant literature references show that B efficiency is much more dependent on hydrothermal conditions than that of other micronutrients. The fact that the weather conditions produce such a strong influence on the response of wheat to boron application means that the B efficiency varies from year to year and is largely unpredictable. Although our studies have evidenced variable response of the tested winter wheat cultivars to foliar boron application, it was impossible to distinguish groups of cultivars characterised by similar B efficiency due to the fact that the response of the cultivars, being highly weather-dependent, was not uniform. The strongest positive response of winter wheat to foliar application of boron occurs under drought conditions and at high temperatures prevailing during the formation of pollen. Under such hydrothermal conditions, transfer of boron to generative organs is hindered, which raises wheat needs for this micronutrient.

The content of copper and boron in the whole aerial parts of wheat plants during the early shooting stage is not a good indicator of nutritional needs of wheat for these micronutrients. This index has only a limited applicability for copper and is useless for boron.

It is known that under insufficient supply of available forms of copper, boron and zinc in soil, wheat responds with higher yields to fertilization with these nutrients. However, application of micronutrients in farming is hindered by the imperfection of the existing soil and plant tests used for assessing micronutrients status in soils. It appears that future studies should focus on the improvement of tools which serve to assess fertilization needs of crops.



## WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej IUNG-PIB „**Monografie i Rozprawy Naukowe**” publikowane są recenzowane prace o charakterze monografii i oryginalne rozprawy naukowe (prace habilitacyjne) z zakresu agronomii i kształtowania środowiska rolniczego.

Wydruk tekstu do recenzji czcionką 11 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

### **Przygotowanie do druku:**

- tekst i tabele w programie Word, wersja 6.0 lub wyższa
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: spis treści, wstęp, metodyka, omówienie wyników i dyskusja, wnioski lub podsumowanie, literatura, streszczenie
- objaśnienia tabel, podpisy i opisy do rysunków oraz streszczenie pracy wraz ze słowami kluczowymi w językach polskim i angielskim

### **tekst**

- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

### **tabele**

- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstępy międzywierszowe
- umieszczone w oddzielnych plikach

### **rysunki**

- czarno-białe
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiary w zakresie 13 cm × 19 cm
- dołączony wydruk w odpowiednich wymiarach, bardzo dobrej jakości, na białym papierze lub na folii
- w podpisach czcionka 9 p.
- na dyskietce w oddzielnych plikach

### **jednostki miary**

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t × ha<sup>-1</sup>)

### **literatura**

- spis literatury w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony
- cytowanie w tekście – jako numer pozycji ze spisu literatury (w nawiasach okrągłych) lub dodatkowo z nazwiskiem autora (pismo rozstrzelone).

Pracę do recenzji należy składać w 2 egzemplarzach. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany i ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, składać do Redakcji w 1 egzemplarzu i na dyskietce (lub przesłać e-mailem) na adres:

Dział Upowszechniania i Wydawnictw  
IUNG - PIB  
ul. Czartoryskich 8  
24-100 Puławy  
e-mail: imarcinkowska@iung.pulawy.pl

W serii wydawniczej IUNG-PIB „**Monografie i Rozprawy Naukowe**” ukazały się następujące pozycje:

1. Adam Harasim – *Kompleksowa ocena płodozmianów z różnym udziałem roślin zbożowych i okopowych*. Puławy, 2002.
2. Stanisław Wróbel – *Określenie potrzeb nawożenia buraka cukrowego mikroelementami*. Puławy, 2002.
3. Janusz Podleśny – *Studia nad oddziaływaniem światła laserowego na nasiona, wzrost i rozwój roślin oraz plonowanie łubinu białego (*Lupinus albus L.*)*. Puławy, 2002.
4. Czesław Józefaciuk, Anna Józefaciuk, Eugeniusz Nowocień, Rafał Wawer – *Przeciwerozyjne zagospodarowanie zlewni wyżynnej potoku Grodarz z uwzględnieniem ograniczania występowania powodzi*. Puławy, 2002.
5. Jerzy Książak – *Dynamika gromadzenia składników pokarmowych w organach roślin tradycyjnych i samokończących odmian bobiku w okresie od kwitnienia do dojrzałości pełnej*. Puławy, 2002.
6. Franciszek Pistelok – *Analiza zależności pomiędzy zanieczyszczeniem ze źródeł komunalnych a jakością powierzchniowych wód płynących na obszarach silnie zurbanizowanych na przykładzie zlewni Górnej Wisły*. Puławy, 2002.
7. Ewa Stanisławska-Głubiak – *Analiza wybranych czynników determinujących efekty dolistnego nawożenia molibdenem w uprawie rzepaku ozimego*. Puławy, 2003.
8. Kazimierz Noworolnik – *Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie jęczmienia jarego w różnych warunkach siedliska*. Puławy, 2003.
9. Teresa Doroszevska – *Krzyżowanie oddalone i transformacja genetyczna w uzyskiwaniu odporności tytoniu (*Nicotiana tabacum L.*) na wirusa Y ziemniaka (PVY)*. Puławy, 2004.
10. Eugeniusz K. Chylek – *Uwarunkowania procesu modernizacji rolnictwa i obszarów wiejskich w Polsce*. Puławy, 2004.
11. Zbigniew Samoń – *Studia nad metodami energooszczędnego suszenia chmielu*. Puławy, 2004.
12. Ryszard Weber – *Zmienność plonowania odmian pszenicy ozimej w zależności od przedplonu i sposobu uprawy roli*. Puławy, 2004.
13. Janusz Igras – *Zawartość składników mineralnych w wodach drenarskich z użytków rolnych w Polsce*. Puławy, 2004.
14. Mariusz Kucharski – *Odporność chwastów na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy PSII na polach uprawnych południowo-zachodniej Polski*. Puławy, 2005.

15. Maria J. Król – *Azospirillum – asocjacyjne bakterie wiążące wolny azot*. Puławy, 2006.
16. Jerzy Grabiński – *Studia nad potencjałem allelopatycznym żyta ozimego*. Puławy, 2006.
17. Krzysztof Domaradzki – *Efektywność regulacji zachwaszczenia zbóż w aspekcie ograniczenia dawek herbicydów oraz wybranych czynników agroekologicznych*. Puławy, 2006.
18. Anna Stochmal – *Flawonoidy lucerny siewnej (Medicago sativa L.) – budowa chemiczna, właściwości spektralne, zawartość w zależności od odmiany i terminu zbioru*. Puławy, 2007.
19. Tomasz Stuczyński – *Assessment and modelling of land use change in Europe in the context of soil protection*. Puławy, 2007.