

SKUTECZNOŚĆ ZLOKALIZOWANEGO NAWOŻENIA KUKURYDZY I GROCHU W TRADYCYJNYM I ZEROWYM SYSTEMIE UPRAWY ROLI*

EWA STANISŁAWSKA-GLUBIAK, JOLANTA KORZENIOWSKA

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy w Puławach
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli we Wrocławiu*

e.glubiak@iung.wroclaw.pl

Synopsis. W 3-letnich ścisłych doświadczeniach polowych badano efekty zlokalizowanego (rzędowo-wgłębno) nawożenia nawozem wieloskładnikowym PKMg, w tradycyjnym i zerowym systemie uprawy roli, w porównaniu do nawożenia rzutowego. Dawkę nawozu ustalono według ilości fosforu, zalecanej dla danego gatunku. Badano obiekty z pełną oraz zmniejszoną dawką nawozu do poziomu 2/3 i 1/2 dawki pełnej. W uprawie kukurydzy, niezależnie od systemu uprawy roli, nawożenie rzędowo-wgłębne dało równorzędne lub gorsze efekty plonotwórcze w porównaniu z nawożeniem rzutowym. Zmniejszone dawki nawozu stosowane rzędowo-wgłębnie, nie powodowały obniżenia plonów kukurydzy ani istotnych zmian w zawartości P, K i Mg w ziarnie w stosunku do obiektu z pełną dawką stosowaną w sposób zlokalizowany. W uprawie grochu nawożenie rzędowo-wgłębne działało na ogół tak samo jak rzutowe, zarówno na wysokość plonów, jak i na koncentrację badanych składników w nasionach, ale zredukowanie dawek spowodowało w kilku przypadkach obniżenie plonów nasion.

Słowa kluczowe – *key words:* nawożenie rzędowo-wgłębne – *deep band fertilization*, nawóz wieloskładnikowy PKMg – *multi-component PKMg fertilizer*, uprawa zerowa – *no-tillage*

WSTĘP

W praktyce rolniczej powszechnie stosowaną metodą aplikacji stałych nawozów mineralnych jest nawożenie rzutowe na całą powierzchnię pola. Przy takim sposobie wysiewu nawozy nie są skoncentrowane w miejscu penetracji korzeni roślin, lecz rozmieszczone losowo. W przypadku składników wolno migrujących w glebie, takich jak fosfor, znaczna część zastosowanej dawki może być niedostępna dla roślin. Wykorzystanie fosforu z nawozów kształtuje się w granicach 15–35 %, co wynika również z jego uwsteczniania się wskutek kontaktu z glebą na dużej powierzchni [Gorlach i Mazur 2001]. W przypadku pozostałych składników pokarmowych przyczyną niepełnego ich wykorzystania są straty spowodowane przenikaniem do głębszych warstw gleby i do wód gruntowych. Dodatkowym czynnikiem ograniczającym dostępność składników pokarmowych dla roślin mogą być okresowe susze, podczas których wierzchnia warstwa gleby, w której umieszczone są nawozy, wysycha. Pewnym rozwiązaniem omawianych problemów mogłoby być tzw. nawożenie zlokalizowane, które polega na umieszczeniu nawozów w pobliżu rzędu nasion, co ułatwia młodej roślinie szybkie dotarcie korzeniami do składników pokarmowych. Jest wiele sposobów tego rodzaju nawożenia, np. stosowanie

* Praca została wykonana w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB

rzędowe wgłębne, rzędowe płytko pod nasionami lub rzędowo łącznie z nasionami [Randall i Hoefl 1986]. Metoda ta powinna zwiększyć wykorzystanie składników pokarmowych, a tym samym pozwolić na zredukowanie dawki nawozów.

W systemie zero-uprawowym (siew bezpośredni) rekomendowanym głównie z uwagi na mniejsze koszty uprawy roślin, a także zapobieganie erozji gleby, stosowane jest najczęściej nawożenie analogiczne, jak w uprawie tradycyjnej. Rzutowy wysiew nawozów w systemie zero-uprawowym, gdzie nawozy pozostają na powierzchni pola nie wymieszane z glebą, powoduje stratyfikację składników pokarmowych w glebie, zwłaszcza fosforu i potasu [Mallarino i in. 1999, Vyn i in. 2002, Yin i Vyn 2004], co może mieć wpływ na prawidłowe odżywienie roślin i produkcję biomasy. Ponadto nawozy nie wymieszane z glebą, pozostające na powierzchni pola, mogą podlegać spływom powierzchniowym, zanieczyszczając zbiorniki wodne. W przypadku uprawy zerowej nawożenie zlokalizowane wydaje się więc szczególnie uzasadnione.

Celem niniejszych badań była ocena efektów nawożenia zlokalizowanego zarówno w zero-wym, jak i tradycyjnym systemie uprawy roli.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono w latach 2003–2005 w stacji doświadczalnej IUNG-PIB w Jelczu-Laskowicach k. Wrocławia (51°02' N, 17°22' E), gdzie gleby należą do kategorii agronomicznej gleb lekkich lub średnich o zawartości substancji organicznej w granicach 0,86–1,36% oraz odczynie kwaśnym lub bardzo kwaśnym. Przeprowadzono 6 ścisłych jednoczynnikowych doświadczeń polowych z kukurydzą i grochem (po 3 dla każdego gatunku), co roku na innym polu, podzielonym na 2 części. Jedna część pola była od wielu lat utrzymywana w zerowym, a druga w tradycyjnym systemie uprawy roli. Rodzaj uprawy nie mógł być traktowany jako drugi czynnik, ponieważ nie było możliwe jego rozlosowanie.

Właściwości chemiczne gleb poszczególnych pól (tab.1) odnoszą się do obu jego części, zarówno uprawy tradycyjnej, jak i zerowej, ponieważ próbki glebowe były pobierane jako średnie z całej jego powierzchni. Pola doświadczalne charakteryzowały się na ogół średnią zawartością fosforu w glebie oraz wysoką lub średnią potasu i magnezu.

Tabela1. Wybrane właściwości chemiczne warstwy ornej (0–20 cm) gleb pól doświadczalnych
Table 1. Some chemical properties of the arable layer (0–20 cm) of soil in experimental fields

Rok Year	Pole Field	Roślina – Plant	pH _{KCl}	Zawartość w mg·kg ⁻¹ Concentration in mg·kg ⁻¹		
				P	K	Mg
2003	I	kukurydza – maize	5,5	57	191	88
	II	groch – pea	4,5	41	131	32
2004	III	kukurydza – maize	4,6	48	162	74
	IV	groch – pea	5,0	64	245	85
2005	V	kukurydza – maize	4,2	61	135	31
	VI	groch – pea	4,3	35	138	29

Na polu z uprawą tradycyjną stosowano uprawę poźniwną wykonaną agregatem uprawowym (kultywator + talerzówka + wał strunowy) na głębokość 10–15 cm oraz orkę siewną na głębokość 25 cm i przedsięwną uprawę za pomocą brony aktywnej. Uprawa zerowa – siew bezpośredni – była wykonywana bez stosowania mechanicznej uprawy. Siew nasion przeprowadzono przy użyciu siewnika do siewu bezpośredniego firmy Monosem po uprzednim zwalczaniu chwastów herbicydem (Roundup Max). W tradycyjnej metodzie uprawy rozdrobniona słoma była mieszana z glebą w trakcie uprawy poźniwnej, a w uprawie zerowej pozostawała na powierzchni pola jako mulcz.

Na obu częściach pola, różniących się systemem uprawy roli, założono analogiczne doświadczenia nawozowe w układzie długich pasów z lustrzanym odbiciem, w 4 powtórzeniach, według następującego schematu:

1. Kontrola bez nawożenia PKMg,
2. Nawożenie rzutowe – cała dawka według zaleceń IUNG-PIB,
3. Nawożenie zlokalizowane – cała dawka zalecana dla nawożenia rzutowego,
4. Nawożenie zlokalizowane – 2/3 dawki,
5. Nawożenie zlokalizowane – 1/2 dawki.

Nawożenie zlokalizowane polegało na umieszczeniu nawozu wieloskładnikowego PKMg, o nazwie POLIMAG 305, na głębokości 5 cm pod nasionami z przesunięciem 5 cm w bok, przy pomocy siewnika punktowego do siewu bezpośredniego firmy Monosem. Dawkę nawozu ustalono według, zalecanej dla nawożenia rzutowego, dawki fosforu. Wraz z nawozem wprowadzono pod kukurydzę: P – 28 kg·ha⁻¹, K – 80 kg·ha⁻¹ i Mg – 19 kg·ha⁻¹, a pod groch: P – 24,5 kg·ha⁻¹, K – 70 kg·ha⁻¹ i Mg – 17 kg·ha⁻¹. Na wszystkich obiektach nawozowych, łącznie z kontrolnym, stosowano azot rzutowo w formie saletry amonowej w dawkach dostosowanych do potrzeb uprawianych roślin.

Zmianowanie dla obu części pola było zawsze jednakowe. W doświadczeniach z kukurydzą na polu uprawiano wcześniej rzepak ozimy, a następnie pszenicę ozimą, a w doświadczeniach z grochem przedplonem były kolejno jęczmień jary i pszenica ozima.

Kukurydzę węgierskich odmian Matilda (2003 r.) i LG 2244 (2004, 2005 r.) wysiewano między 23 a 29 kwietnia, a zbierano w okresie 10–20 października. Groch krajowej odmiany Wiato wysiewano między 19 marca a 10 kwietnia. Zbiór przeprowadzono na początku sierpnia. W trakcie wegetacji na obu częściach pola o zróżnicowanej uprawie roli zwalczano chwasty w kukurydzy mieszkanką Gesaprimu i Milargo oraz w grochu Afalonem i Targą.

Warunki pogodowe w okresie wegetacji różniły się w poszczególnych latach badań., jednak w porównaniu do średniej wieloletniej wszystkie lata charakteryzowały się mniejszą sumą opadów (tab. 2) oraz wyższą średnią temperaturą powietrza (tab. 3).

Tabela 2. Średnie miesięczne temperatury powietrza w Jelczu-Laskowicach (°C)

Table 2. Mean monthly air temperatures in Jelcz-Laskowice (°C)

Rok – Year	Miesiąc – Month							Średnia – Mean	
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	III – VII	V – IX
2003	3,0	7,5	15,7	19,7	19,7	19,8	14,0	13,1	17,8
2004	3,9	9,4	12,9	17,1	18,6	19,6	14,1	12,4	16,5
2005	1,3	9,3	14,2	17,0	19,9	17,6	14,8	12,3	16,7
1956 – 2000	3,2	8,0	13,3	16,6	18,2	17,5	13,5	11,9	15,8

Tabela 3. Miesięczne sumy opadów w Jelczu-Laskowicach (mm)

Table 3. *Monthly sums of precipitation in Jelcz-Laskowice (mm)*

Rok – Year	Miesiąc – Month							Suma – Total	
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	III – VII	V – IX
2003	16,2	19,6	57,7	27,6	77,7	59,4	27,5	199	250
2004	63,6	24,3	37,3	43,7	55,3	47,9	27,1	224	211
2005	12,3	20,3	86,2	22,7	12,4	34,8	16,9	154	173
1956 – 2000	31,3	37,6	61,3	71,4	80,0	67,7	47,6	282	328

W trakcie wegetacji pobierano próby roślinne do analiz chemicznych. Dla grochu były to najmłodsze rozwinięte liście na początku kwitnienia, a dla kukurydzy liść kolbowy na początku wytwarzania znamion. Pobierano również próby nasion lub ziarna. W próbach, oznaczono zawartość fosforu metodą spektrometrii przepływowej, potasu metodą emisyjnej spektrofotometrii płomieniowej i magnezu metodą ASA.

Wyniki doświadczeń dotyczące wysokości plonów opracowano na podstawie analizy wariancji dla doświadczeń pojedynczych oraz wielokrotnych, czyli powtarzanych w latach (tzw. synteza doświadczeń), przy pomocy programu komputerowego AWAR.

WYNIKI BADAŃ

Analiza wariancji wykonana dla 3 doświadczeń łącznie (synteza), w ramach każdej uprawy i każdego gatunku, wykazała istotność interakcji badanego czynnika (nawożenie) z latami, co wskazuje na jego uwikłanie z warunkami pogodowymi i wyklucza wnioskowanie oparte na średnich wynikach z 3 lat. Wpływ nawożenia zlokalizowanego na plonowanie roślin omówiono oddzielnie dla każdego roku badań.

Najwyższy plon ziarna kukurydzy na obu systemach uprawy uzyskano w roku 2005, który był najkorzystniejszy pod względem ilości opadów majowych (tab. 4). Z obiektów kontrolnych zebrano 7,07 t·ha⁻¹ ziarna z uprawy tradycyjnej i 6,90 t·ha⁻¹ z uprawy zerowej. W roku 2004, o najmniejszej ilości opadów w maju, różnica w plonach kontrolnych między uprawami wynosiła ponad 40% na korzyść tradycyjnej. Reakcja roślin na nawożenie PKMg była większa na uprawie zerowej. Plony ziarna na obiekcie nawożonym rzutowo wzrosły tu aż o 97% w porównaniu do kontroli. Efektywność nawożenia na uprawie zerowej była wyższa prawdopodobnie z powodu lepszych warunków wilgotnościowych w glebie, jakie przy niedoborze opadów charakteryzują uprawę zerową w porównaniu do tradycyjnej [Pabin i in. 2001].

Efekty plonotwórcze w uprawie kukurydzy nawożenia zlokalizowanego były różne w zależności od roku badań. Na uprawie tradycyjnej w roku 2003 nawożenie rzutowe okazało się skuteczniejsze, niż zlokalizowane, a w następnych latach nie stwierdzono istotnych różnic w plonach między metodami nawożenia. Na uprawie zerowej w dwu pierwszych latach badań istotnie lepsze efekty przyniosło nawożenie rzutowe niż zlokalizowane, a w ostatnim roku wystąpiła tendencja do lepszego działania nawożenia rzutowego. Zmniejszenie dawki nawozowej w większości przypadków dało jednakowe efekty plonotwórcze, jak zastosowanie pełnej dawki zlokalizowanej. W jednym przypadku, w roku 2005 na uprawie zerowej, efekt zmniejszenia

Tabela 4. Wpływ sposobu aplikacji nawozu PKMg na plony ziarna kukurydzy ($t \cdot ha^{-1}$)
 Table 4. The effect of the PKMg fertilizer application method on yields of maize seeds ($t \cdot ha^{-1}$)

Nawożenie Fertilization	System uprawy roli – Tillage system					
	Tradycyjny – Conventional			Zerowy – No-till		
	2003	2004	2005	2003	2004	2005
Kontrola Control	6,01 b	6,09 b	7,07 b	5,59 b	3,22 c	6,90 b
Rzutowe, cała dawka Broadcast, whole dose	8,05 a	6,87 a	7,71 ab	6,72 a	6,36 a	7,75 a
Zlokalizowane, cała dawka Deep band, whole dose	5,37 c	6,59 ab	8,31 a	6,01 b	5,46 b	7,55 ab
Zlokalizowane, 2/3 dawki Deep band, 2/3 dose	5,76 cb	6,60 ab	8,05 ab	5,78 b	5,43 b	7,54 ab
Zlokalizowane, 1/2 dawki Deep band, 1/2 dose	5,54 cb	6,68 ab	7,83 ab	6,10 b	4,87 b	8,21 a

Te same litery w kolumnach świadczą o braku różnicy w świetle testu Tukey'a ($p < 0,05$)
 There is no significant difference between the same letters in columns according to Tukey's test ($p < 0,05$)

Tabela 5. Zawartość niektórych składników pokarmowych w roślinach kukurydzy (średnia z lat 2003–2005) w zależności od metody aplikacji nawozu ($g \cdot kg^{-1}$ s.m.)
 Table 5. Content of some nutrients in maize plants (2003–2005 average) depending on application method of fertilization ($g \cdot kg^{-1}$ DM)

Nawożenie Fertilization	Liście – Leaves						Ziarno – Grain					
	P		K		Mg		P		K		Mg	
	T*	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z
Kontrola Control	2,3 a	2,4 a	23,0 a	22,9 a	2,2 a	2,1 a	2,3 a	2,6 a	2,8 a	3,2 a	0,9 a	1,1 a
Rzutowe, cała dawka Broadcast, whole dose	2,5 a	2,5 a	23,2 a	21,8 a	2,3 a	2,3 a	2,5 a	2,5 a	3,1 a	3,2 a	1,0 a	1,0 a
Zlokalizowane, cała dawka Deep band, whole dose	2,3 a	2,3 a	23,7 a	23,0 a	2,2 a	2,2 a	2,2 a	2,7 a	2,7 a	3,2 a	0,9 a	1,1 a
Zlokalizowane, 2/3 dawki Deep band, 2/3 dose	2,3 a	2,3 a	23,1 a	22,6 a	2,2 a	2,2 a	2,4 a	2,9 a	3,1 a	3,4 a	1,0 a	1,1 a
Zlokalizowane, 1/2 dawki Deep band, 1/2 dose	2,4 a	2,3 a	23,5 a	21,6 a	2,2 a	2,2 a	2,4 a	2,5 a	3,0 a	3,0 a	1,0 a	1,0 a

T* – uprawa tradycyjna – conventional tillage, Z – uprawa zerowa – no-tillage
 Te same litery w kolumnach świadczą o braku różnicy w świetle testu Tukey'a ($p < 0,05$)
 There is no significant difference between the same letters in columns according to Tukey's test ($p < 0,05$)

dawki o połowę był lepszy, porównywalny z uzyskanym na obiekcie nawożonym rzutowo pełną dawką PKMg.

Analiza zawartości N, P, K w liściach kukurydzy oraz w ziarnie, pozwala zauważyć, że w obu systemach uprawy roli metoda nawożenia, jak również wysokość dawki, nie miały dużego wpływu na koncentrację omawianych makroelementów (tab. 5). Stwierdzono jedynie tendencję większego gromadzenia składników pokarmowych w ziarnie z uprawy zerowej, w porównaniu do uprawy tradycyjnej.

Groch na obiekcie kontrolnym plonował na podobnym poziomie na obu systemach uprawy roli, a różnice między latami były na ogół niewielkie (tab. 6). Jedynie w uprawie tradycyjnej w roku 2003 plon nasion z kontroli był niższy, niż w następnych latach. Przyczyną była prawdopodobnie susza glebowa, spowodowana niższą sumą opadów, przy jednocześnie wyższej średniej temperaturze powietrza, niż w innych latach.

Tabela 6. Wpływ sposobu aplikacji nawozu PKMg na plony nasion grochu ($t \cdot ha^{-1}$).

Table 6. The effect of the PKMg fertilizer application method on yields of pea seeds ($t \cdot ha^{-1}$)

Nawożenie <i>Fertilization</i>	System uprawy roli – <i>Tillage system</i>					
	Tradycyjny – <i>Conventional</i>			Zerowy – <i>No-till</i>		
	2003	2004	2005	2003	2004	2005
Kontrola <i>Control</i>	1,80 c	2,33 c	1,93 b	2,02 b	2,05 b	1,94 b
Rzutowe, cała dawka <i>Broadcast, whole dose</i>	3,09 a	2,26 c	2,56 a	2,62 a	2,18 b	2,40 b
Zlokalizowane, cała dawka <i>Deep band, whole dose</i>	2,98 a	2,73 b	2,75 a	2,70 a	2,15 b	2,61 a
Zlokalizowane, 2/3 dawki <i>Deep band, 2/3 dose</i>	2,61 b	2,99 a	2,42 ab	2,71 a	2,36 b	2,26 b
Zlokalizowane, 1/2 dawki <i>Deep band, 1/2 dose</i>	2,38 b	2,67cb	2,44 ab	2,07 b	2,64 a	1,36 c

Te same litery w kolumnach świadczą o braku różnicy w świetle testu Tukey'a ($p < 0,05$)

There is no significant difference between the same letters in columns according to Tukey's test ($p < 0.05$)

W roku 2003 nawożenie zlokalizowane w pełnej dawce działało na plony grochu równorzędnie z nawożeniem rzutowym, niezależnie od systemu uprawy roli. Jednakże na uprawie tradycyjnej obie zmniejszone dawki obniżyły plon nasion, a na uprawie zerowej tylko dawka najniższa okazała się mniej efektywna. Większe plony nasion grochu na obiektach z nawożeniem zlokalizowanym, w porównaniu do rzutowego, uzyskano na uprawie zerowej w roku 2005 w warunkach niskiej zawartości fosforu w glebie i bardzo kwaśnego jej odczynu. Jednakże zmniejszone dawki zlokalizowane spowodowały tu obniżenie plonów nasion grochu w stosunku do obiektu z pełną dawką zlokalizowaną. Podobnie w roku 2004, ale na uprawie tradycyjnej, nawożenie zlokalizowane było bardziej efektywne, niż rzutowe, a szczególnie w zmniejszonej dawce do poziomu 2/3. W tym samym roku na uprawie zerowej jedynie zastosowanie zlokalizowanej dawki zmniejszonej do poziomu 1/2 spowodowało wyższą plonów nasion. Pole, gdzie

uprawiano groch w roku 2004 charakteryzowało się średnią zawartością fosforu w glebie oraz bardzo wysoką zasobnością w potas i magnez.

Koncentracja P, K, Mg w liściach roślin grochu nawożonych dawkami zlokalizowanymi, nie odbiegała zasadniczo od nawożonych metodą rzutową (tab. 7). W nasionach zwraca uwagę fakt, że groch nawożony zmniejszonymi dawkami zlokalizowanymi nie zawierał mniejszych ilości składników pokarmowych w porównaniu do obiektu z pełną dawką zlokalizowaną, jak również z obiektem nawożonym rzutowo.

Tabela 7. Zawartość niektórych składników pokarmowych w roślinach grochu (średnia z lat 2003–2005) w zależności od metody aplikacji nawozu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)

Table 7. Content of some nutrients in pea plants (2003–2005 average) depending on application method of fertilization ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ DM)

Nawożenie Fertilization	Liście – Leaves						Nasiona – Seeds					
	P		K		Mg		P		K		Mg	
	T*	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z
Kontrola Control	2,5 a	2,7 a	21,1 a	20,6 a	2,3 a	2,2 a	3,4 a	3,2 a	10,0 a	10,1 a	1,5 a	1,5 a
Rzutowe, cała dawka Broadcast, whole dose	2,4 a	2,9 a	21,0 a	21,3 a	2,4 a	2,2 a	3,3 a	3,3 a	10,0 a	10,5 a	1,4 a	1,5 a
Zlokalizowane, cała dawka Deep band, whole dose	2,5 a	2,9 a	22,4 a	21,3 a	2,3 a	2,1 a	3,7 a	3,2 a	10,5 a	10,1 a	1,4 a	1,4 a
Zlokalizowane, 2/3 dawki Deep band, 2/3 dose	2,4 a	3,0 a	21,0 a	21,5 a	2,3 a	2,2 a	3,3 a	3,2 a	9,9 a	10,0 a	1,5 a	1,4 a
Zlokalizowane, 1/2 dawki Deep band, 1/2 dose	2,3 a	2,9 a	21,3 a	21,2 a	2,4 a	2,2 a	3,2 a	3,3 a	9,9 a	9,9 a	1,5 a	1,4 a

T* – uprawa tradycyjna – *conventional tillage*, Z – uprawa zerowa – *no-tillage*

Te same litery w kolumnach świadczą o braku różnicy w świetle testu Tukey'a ($p < 0,05$)

There is no significant difference between the same letters in columns according to Tukey's test ($p < 0.05$)

DYSKUSJA

Prace zagraniczne, głównie amerykańskie i kanadyjskie, donoszą o dużej skuteczności nawożenia zlokalizowanego rzędowo-wgłębnego. Efekty takiej metody nawożenia badano przy różnych sposobach uprawy roli, dla różnego rodzaju nawozów fosforowych i potasowych. W wielu przypadkach taka metoda aplikacji była bardziej korzystna dla plonowania roślin, niż tradycyjny sposób nawożenia. Według autorów, pozwala ona na zwiększenie wykorzystania składników pokarmowych z nawozów, a tym samym na zmniejszenie ich dawki. Większa efektywność nawożenia zlokalizowanego nie jest jednak w pełni jednoznaczna. Niektóre prace donoszą także o małej przydatności tej metody aplikacji nawozów. Autorzy tych prac nie stwierdzili różnic między rzutowym a wgłębnym nawożeniem kukurydzy i soi fosforem, a nawożenie rzędowo-wgłębne potasem dawało wyższe plony w stosunku do nawożenia rzutowego tylko w niektórych przypadkach [Bordoli i Mallarino 1998, Borges i Mallarino 2000, Mallarino i in. 1999].

W niniejszych badaniach reakcja roślin na kompleksowe nawożenie PKMg, stosowane rzędowo-wgłębnie pod nasionami, również nie była jednoznaczna. W przypadku obu systemów uprawy roli efekty plonotwórcze nawożenia zlokalizowanego na ogół były równorzędne, a niekiedy gorsze, w porównaniu do nawożenia rzutowego. Tylko w dwóch przypadkach uprawy grochu stwierdzono istotną statystycznie różnicę w plonach na korzyść nawożenia zlokalizowanego: w roku 2005 w zerowym systemie uprawy roli, przy niskiej zawartości fosforu w glebie oraz w roku 2004 w systemie uprawy tradycyjnej, mimo, że zawartość fosforu w glebie była średnia, a potasu i magnezu bardzo wysoka. Przy średniej zasobności gleby w fosfor nawożenie zlokalizowane tylko niekiedy okazuje się lepsze od rzutowego, a jego skuteczność wzrasta wraz ze spadkiem zawartości fosforu w glebie [Buah i in. 2000, Randal i Hoeft 1986]. Według różnych autorów dodatnie efekty zlokalizowanego nawożenia uwidaczniają się nie tylko przy niskiej zawartości składnika w glebie, ale w ogóle w trudniejszych warunkach agrotechnicznych, takich, jak: nieuregulowany odczyn, gleba piaszczysta, system bezorkowy, susza, opóźniony siew [Grzebisz i Szczepaniak 2003, Michalski i Kowalik 2007, Randall i Hoeft 1986, Sander i Eghball 1999], a także niska temperatura w okresie wegetacji. W badaniach przeprowadzonych przez Dubasa i Duhra [1983] dodatni wpływ nawożenia zlokalizowanego nawozami fosforowymi lub wieloskładnikowymi na plon ziarna kukurydzy ujawnił się jedynie w latach, w których w początkowym okresie wegetacji temperatura gleby była niska ($< 6^{\circ}\text{C}$). Jest to zapewne wynikiem ograniczonych możliwości przyswajania fosforu przez rośliny w niskiej temperaturze, w związku z czym umieszczenie nawozu w pobliżu korzenia rośliny może zwiększyć efektywność jego działania. Przy temperaturze poniżej $10\text{--}12^{\circ}\text{C}$ osłabieniu ulega aktywność korzeni i związane z tym pobieranie jonów, szczególnie fosforowych [Kruczek i Sulewska 2005]. W badaniach własnych brak dodatniego efektu nawożenia zlokalizowanego kukurydzy mógł być wynikiem korzystnych warunków termicznych w początkowym okresie wegetacji kukurydzy, ponieważ temperatura powietrza wynosiła $13\text{--}16^{\circ}\text{C}$. Jednakże w badaniach Kruczka i Szulca [2005] rzędowo-wgłębne zastosowanie nawozu zwiększyło plon ziarna kukurydzy w stosunku do wysiewu rzutowego, niezależnie od przebiegu pogody w latach, rodzaju nawozu i dawki fosforu. Czynnikiem decydującym o skuteczności nawożenia zlokalizowanego były tu warunki wilgotnościowe w okresie kwitnienia i zawiązywania ziarna przez kukurydzę.

W niniejszych badaniach nawożenie zlokalizowane PKMg nie wpływało na zmianę koncentracji wymienionych składników pokarmowych w liściach i nasionach uprawianych roślin w stosunku do nawożenia rzutowego. Yin i Vyn [2004] również nie stwierdzili takich różnic w zawartości potasu w roślinach soi.

Mimo, że nawożenie zlokalizowane często nie daje wyraźnie lepszych efektów plonotwórczych, niż nawożenie rzutowe, to należy je zalecać, zwłaszcza dla zerowego systemu uprawy roli, ze względu na ochronę środowiska. Nawożenie tą metodą szczególnie pól o pewnym nachyleniu, eliminuje zagrożenie dla czystości wód powodowane spływami powierzchniowymi.

WNIOSKI

1. Nawożenie rzędowo-wgłębne kukurydzy nawozem wieloskładnikowym PKMg, polegające na umieszczeniu pełnej zalecanej dawki nawozu równocześnie z siewem nasion, 5cm pod nimi z przesunięciem 5 cm w bok, dało równorzędne lub gorsze efekty plonotwórcze w porównaniu z nawożeniem rzutowym, zarówno w zerowym, jak i tradycyjnym systemie uprawy roli. W uprawie grochu uzyskano natomiast równorzędne lub większe plony.
2. Nawożenie zlokalizowane w zmniejszonych dawkach do poziomu $2/3$ i $1/2$, przy średniej zasobności gleby w fosfor, potas i magnez, nie powodowało obniżenia wysokości plonów

kukurydzy oraz istotnych zmian w zawartości P, K i Mg w ziarnie na obu systemach uprawy roli. Groch natomiast w kilku przypadkach zareagował obniżką plonu nasion na zmniejszony poziom nawożenia. Nie miało to jednak istotnego wpływu na koncentrację badanych składników w nasionach.

PIŚMIENNICTWO

- Bordoli J.M., Mallarino A.P. 1998. Deep and shallow banding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agron. J.* 90: 27–33.
- Borges R., Mallarino A.P. 2000. Grain yield, early growth and nutrient uptake of no-till soybean as affected by phosphorus and potassium placement. *Agron. J.* 92: 380–388.
- Buah S.S.J., Polito T.A., Killorn R. 2000. No-tillage soybean response to banded and broadcast and direct and residual fertilizer phosphorus and potassium applications. *Agron. J.* 92: 657–662.
- Dubas A., Duhr E. 1983. Wpływ sposobu nawożenia fosforem na plonowanie kukurydzy. *Pam. Puł.* 81: 131–139.
- Gorlach E., Mazur T. 2001. Zachowanie się w glebie i stosowanie superfosfatów. W: *Chemia rolna*. Wyd. Nauk. PWN Warszawa: 217–218.
- Grzebisz W., Szczepaniak W. 2003. Systemy nawożenia. *J. Elementol.* 8(3), Suppl.: 95–107.
- Kruczek A., Sulewska H. 2005. Wpływ sposobu nawożenia, terminu siewu i odmian na gromadzenie składników mineralnych przez kukurydzę w początkowym okresie rozwoju. *Acta Agrophys.* 5(3): 683–694.
- Kruczek A., Szulc P. 2005. Wpływ wielkości dawki fosforu, rodzaju nawozu i sposobu nawożenia na plonowanie kukurydzy uprawianej na ziarno. *Pam. Puł.* 140: 149–157.
- Mallarino A.P., Bordoli J.M., Borges R. 1999. Phosphorus and potassium placement effects on early growth and nutrient uptake of no-till corn and relationships with grain yield. *Agron. J.* 91: 37–45.
- Michalski T., Kowalik I. 2007. Nawożenie startowe jako metoda poprawy efektywności nawożenia i obniżki kosztów produkcji kukurydzy. *Inż. Rol.* 11(6): 167–174.
- Pabin J., Włodek S., Biskupski A. 2001. Retencja wodna gleby w uprawie zerowej. *Mat. Symp. „Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roślinnej”*. Warszawa 6–7 września 2001: 81–186.
- Randall G.W., Hoelt R.G. 1986. Fertilizer placement methods: New wrinkles on a new face. *Crops Soils Magaz.* 38(6): 17–22.
- Sander D.H., Eghball B. 1999. Planting date phosphorus fertilizer placement effects on winter wheat. *Agron. J.* 91: 707–712.
- Vyn T.J., Galic D.M., Janovicek K.J. 2002. Corn response to potassium placement in conservation tillage. *Soil Till. Res.* 67:159–169.
- Yin X., Vyn T.J. 2004. Residual effects of potassium placement for conservation-till corn on subsequent no-till soybean. *Soil Till. Res.* 75:151–159.

E. STANISŁAWSKA-GLUBIAK, J. KORZENIOWSKA

EFFICIENCY OF DEEP-PLACED FERTILIZATION FOR MAIZE AND PEA IN CONVENTIONAL AND NO-TILLAGE SYSTEM

Summary

In 2003–2005, a field experiment was conducted on maize and pea to test the effects of localized (deep band) fertilization with a multi-component PKMg fertilizer under conventional and no tillage soil management. Fertilizer was placed at sowing, 5 cm below seeds, with a 5 cm shift away from the seeds. The rate

of fertilizer was determined according to the dose of phosphorus recommended for broadcast fertilization. The following quantities of nutrients were thus introduced: P – 28 kg·ha⁻¹, K – 80 kg·ha⁻¹ and Mg – 19 kg·ha⁻¹ under maize, and P – 24.5 kg·ha⁻¹, K – 70 kg·ha⁻¹ and Mg – 17 kg·ha⁻¹ under pea. In addition, objects fertilized with lower rates, down to 2/3 and 1/2 of the full rate, were tested. Irrespective of the soil cultivation method, deep band fertilization under maize produced equal or worse results than broadcast fertilization. The lower rates of fertilizer introduced by deep band application did not cause inferior yields of maize or any significant changes in the content of P, K or Mg in seeds compared to the object which received the full localized rate of fertilizer. As for pea cultivation, localized fertilization generally produced comparable results to broadcast fertilization, both in terms of yield volume and the content of the analysed macronutrients in seeds. When the soil content of phosphorus was low and the soil reaction was very acidic, pea yields were higher under no tillage when localized fertilization was applied. Reducing the rates of PKMg causes, in some cases, depressed yields of pea seeds. Although localized fertilization did not generate yields that were evidently superior to those under broadcast fertilization, it should be recommended as a measure to protect natural environment. Deep band fertilization, especially on fields somehow inclined toward surface water bodies eliminates the threat to the purity of waters caused by surface effluents.