

Stanisław Wróbel, Karolina Nowak-Winiarska

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

DOSTĘPNOŚĆ SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH DLA ROŚLIN W WARUNKACH UPROSZCZEŃ W UPRAWIE ROLI*

Wstęp

Uproszczenia uprawy roli, których wspólną cechą jest rezygnacja z orki, oprócz znanych korzyści niosą ze sobą również szereg skutków niepożądanych, takich jak konieczność wzmożonej ochrony chemicznej, zmiany niektórych właściwości fizycznych (zwłaszcza gęstości i zwięzłości gleby), a także warunków termicznych i wilgotnościowych. Zjawiska te są stosunkowo dobrze rozpoznane i często dyskutowane w publikacjach. Natomiast znacznie mniej badań poświęcono dynamice przemian i dostępności składników pokarmowych w odmiennych od uprawy orkowej warunkach glebowych, występujących w przypadku systemów uproszczonych. Zagadnienia te są nadal słabo rozpoznane, lecz coraz częściej dostrzegane przez praktykę rolniczą. W literaturze krajowej problem nawożenia podstawowego w uprawach uproszczonych podejmowany jest stosunkowo rzadko. Niemal całkowicie brak jest opracowań poświęconych przemianom i dostępności składników pokarmowych niedostarczanych do gleby z podstawowym nawożeniem, takich jak mikroelementy i siarka, która staje się obecnie składnikiem deficytowym w uprawach rolnych. Do przyczyn takiego stanu można zaliczyć ograniczenie emisji przemysłowych SO_2 do atmosfery, brak nawożenia obornikiem, stosowanie niskobalastowych nawozów mineralnych, genetycznie uwarunkowane duże wymagania pokarmowe nowych generacji odmian roślin uprawnych itp.

Znacznie więcej prac z tego zakresu znaleźć można w literaturze zagranicznej, co dowodzi zainteresowania problemem i potwierdza potrzebę prowadzenia podobnych badań w kraju. Wyniki doniesień zagranicznych są jednak często rozbieżne i niejednoznaczne. Przyczyną jest z pewnością znaczne zróżnicowanie warunków glebowo-klimatycznych w jakich badania prowadzono, co również wskazuje na konieczność weryfikacji tych wyników w warunkach polskich. Takie czynniki uprawowe, jak stosowanie mulczu, uproszczenia zmianowania roślin (płodozmiany zbożowe, monokultu-

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

ra), intensyfikacja nawożenia NPK przy braku obornika wielokierunkowo oddziałują na warunki glebowe. W przypadku upraw uproszczonych nasilają się niekorzystne zjawiska, zwłaszcza gdy przebieg pogody w okresie wegetacji roślin nie jest w pełni korzystny, np. występują okresowe susze.

Zasadniczo wymagania pokarmowe roślin w systemach uproszczonej uprawy roli są podobne jak w uprawie płuźnej, jednak rezygnacja z orki głębokiej poprzez zmianę warunków w środowisku glebowym wyraźnie oddziałuje na dostępność składników. W uprawach bezorkowych nie tylko nawozy azotowe, lecz także fosforowe i potasowe stosowane są najczęściej wiosną powierzchniowo pod agregat uprawowy (uprawa powierzchniowa) lub w czasie siewu nasion siewnikiem z aplikatorem (siew bezpośredni). Często, nawet w gospodarstwach dysponujących specjalistycznym sprzętem, w uprawach uproszczonych nawozy fosforowe i potasowe wysiewa się na powierzchnię gleby. Podobnie postępuje się z drugą częścią dawki azotu.

Działanie nawozów zastosowanych powierzchniowo lub płytko wymieszanych z glebą jest bardziej niż w uprawie tradycyjnej uzależnione od przebiegu pogody. Na podstawie danych meteorologicznych ostatniego dziesięciolecia stwierdzić można, że anomalie pogodowe na stałe wpisują się do scenariusza pogodowego Europy, a cechą klimatu polskiego staje się występowanie nawet kilkudekadowych okresów suszy w sezonie wiosennym. Bardzo spowalnia to proces rozkładu zastosowanych przedsięwzięć nawozów, a także uzupełnianych pogłównie (druga część dawki N) oraz dopływu azotanów z naturalnej nityfikacji glebowej i mineralizacji połączeń organicznych. Zjawiska te nasilają się w warunkach monokultury roślin i intensyfikacji nawożenia podstawowego NPK bez obornika i nie mogą pozostawać bez wpływu na jakość i wielkość uzyskiwanych plonów.

Okresowo występować może duże stężenie składników nawozowych w powierzchniowej warstwie gleby (0-10 cm), które w połączeniu z chemicznymi środkami ochrony roślin (uprawy uproszczone wymagają na ogół wzmożonej ochrony chemicznej), produktami rozkładu mulczu czy resztek poźniwnych, a także mikotoksynami wydzielanymi przez rozwijające się tam grzyby mogą wydatnie zmieniać warunki fizykochemiczne gleby (w tym odczyn i potencjał redox). Nie bez wpływu na te zjawiska pozostaje również wzrost zwięzłości oraz zmniejszenie przepuszczalności gleby w warunkach uprawy bezorkowej. W tej sytuacji dochodzi często do okresowego naruszenia równowagi jonowej w glebie i ujawniania się antagonizmów i synergizmów stwarzających sztuczną konkurencyjność w pobieraniu składników przez rośliny. Monokultura wyczerpująca mikroelementy i wymagająca pełnej chemicznej ochrony roślin oraz wysokie dawki nawozów NPK nasilają omawiane procesy. Zjawiska te mogą wpływać negatywnie na rozwój i plonowanie roślin.

Najważniejszymi czynnikami decydującymi o dostępności składników mineralnych dla roślin w uprawach uproszczonych są ich właściwości chemiczne oraz warunki glebowe i meteorologiczne w sezonie wegetacyjnym. Duże znaczenie odgrywa tutaj stopień rozpuszczalności składników decydujący o ich przenikaniu do głębszych warstw gleby. Składniki pokarmowe wprowadzane do gleby w postaci nawozów pod wpływem

wem wilgoci ulegają rozpuszczeniu i stopniowo przemieszczają się do roztworu glebowego. Warunkiem efektywnego ich wykorzystania jest jednak pozostawanie w zasięgu korzeni roślin. Równomierne rozmieszczenie składników w profilu warstwy ornej ma szczególne znaczenie w przypadku nawozów słabo przemieszczających się w glebie, jak fosfor i potas (6). Brak orki wyraźnie nasila stratyfikację tych składników. Siew bezpośredni, zwłaszcza na glebie bardziej zwięzłej, utrudnia rozwój korzeni i zmniejsza ich masę. Ogranicza to możliwości pobierania wody i składników pokarmowych przez rośliny. W tych warunkach susza, zwłaszcza długotrwała, zmniejsza efektywność nawożenia mineralnego stosowanego na powierzchnię gleby. Wymieszanie z glebą jest mniej istotne w przypadku azotu, składnika o dobrej rozpuszczalności. Jednak brak wilgoci w glebie, w przypadku wystąpienia okresowej suszy powoduje niedostępność tego składnika, który ponadto będzie narażony na ulatnianie się w postaci NH_3 . Dlatego też przy uprawach uproszczonych zaleca się wysiew nawozów azotowych przede wszystkim w systemie zlokalizowanym przy zastosowaniu siewnika z aplikatorem nawozów.

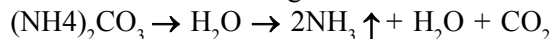
Przyczyny i mechanizmy zmian dostępności składników pokarmowych dla roślin w uproszczonych systemach uprawy roli

Azot. W systemach uproszczonych brak orki i pozostawienie resztek poźniowych, a tym bardziej mulczu na powierzchni gleby utrudnia gospodarkę azotem i zmniejsza opłacalność jego stosowania. Gleba w warunkach upraw bezorkowych nagrzewa się wolniej w okresie wiosennym, co znacznie spowalnia proces mineralizacji i nityfikacji azotu. Później rozpoczyna się również aktywność bakterii wiążących wolny azot atmosferyczny. Opóźnia to rozwój młodych siewek, wpływając negatywnie na stan upraw w późniejszym okresie. Znaczne ilości azotu mogą zostać okresowo unieruchomione w procesie mineralizacji resztek poźniowych lub stosowanego mulczu, co hamuje wzrost roślin w krytycznym okresie ich rozwoju. Azot może również ulegać stratom poprzez ulatnianie się do atmosfery w postaci NH_3 , jeśli zastosowano mocznik lub inne formy amonowe lub spływom powierzchniowym (w zależności od ukształtowania terenu i intensywności opadów).

Gleby w tradycyjnej uprawie rolniczej zawierają zmienne ilości substancji organicznej, zazwyczaj 1-4%. Stosowanie uproszczonych systemów uprawy roli wzbogaca glebę w substancję organiczną, która z kolei staje się źródłem składników pokarmowych dla roślin i mikroorganizmów glebowych, a także materiałem wyjściowym do tworzenia humusu glebowego i poprawy struktury gleby. Mineralizacja jest naturalnym procesem przemian substancji organicznej przez mikroorganizmy glebowe, połączonym z wydzielaniem się amonowych form azotu i innych ważnych z rolniczego punktu widzenia składników pokarmowych. Jednak tylko część azotu amonowego zostaje pobrana przez rośliny lub związana w kompleksie sorpcyjnym gleby. Większość NH_4 ulega w glebie nityfikacji przy udziale bakterii autotroficznych *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*, czyli przemianie w formę azotanową (NO_3), która jest dobrze przyswajalna dla roślin, a w wodzie może łatwo ulegać wymyciu.

W sytuacji znacznej obfitości materii organicznej w glebie, np. w warunkach stosowania mulczu w uprawach uproszczonych czy dużej ilości resztek poźniwnych, intensywny rozwój mikroorganizmów glebowych rozkładających materię organiczną (element cyklu węgla w glebie) powoduje duże zapotrzebowanie na azot. Dochodzi wówczas do pobierania i unieruchomiania wolnego azotu glebowego. Proces ten ma charakter okresowy – po rozłożeniu substancji organicznej z mulczu azot zostaje zwrócony do gleby, stając się źródłem pokarmu dla roślin. Z rolniczego punktu widzenia proces unieruchomiania azotu jest niekorzystny, gdyż przypada na okres wschodów i wczesnych faz rozwojowych roślin uprawnych. Zrównoważenie efektu czasowego unieruchomiania azotu glebowego polega na wczesnowiosennym stosowaniu nawożenia azotem w dawce $30\text{--}60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Efekty takie obserwuje się w uprawach płuznych oraz w początkowych latach prowadzenia gospodarki bezorkowej (do 2-3 lata). W okresie późniejszym następuje wysycenie wierzchnich warstw gleby azotem mineralnym i wówczas unieruchomianie jego części w małym stopniu odbija się na rozwoju roślin. Nie ma wtedy konieczności dodatkowego nawożenia azotem, co jest jednym z elementów stabilizacji warunków uprawy uproszczonej.

Straty azotu z nawozów niedostatecznie wymieszanych z glebą zachodzić mogą również na drodze ulatniania się do atmosfery w formie gazowej (NH_3). Ten sposób strat azotu dotyczyć może mocznika, chociaż jest to nawóz wolniej rozkładający się od form saletrzanych. Mocznik (forma amidowa azotu) wysiany na powierzchnię gleby ulega hydrolizie przy udziale enzymów (ureaza) występujących obficie w glebie. Powstający w wyniku tej reakcji amoniak może zostać częściowo związany w glebie (sprzyja temu wymieszanie nawozu z glebą), jednak większość tego związku z powierzchniowo zastosowanego mocznika ulatnia się do atmosfery zgodnie z reakcją:



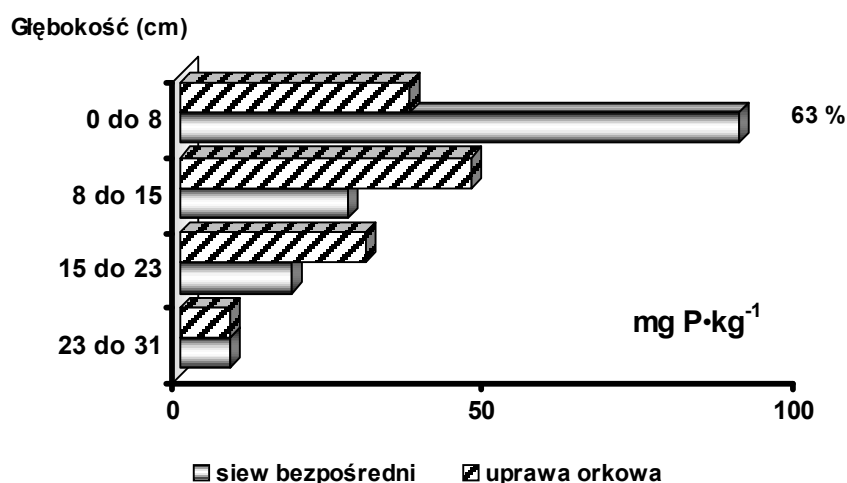
Wysiew mocznika pod powierzchnię gleby (aplikatorem) zapobiega w znacznym stopniu tym niekorzystnym zjawiskom. Dobre wyniki uzyskuje się również przy stosowaniu deszczowania lub nawadniania bezpośrednio po wysiewie nawozu. Do powierzchniowego stosowania azotu w uproszczonych systemach uprawy roli należy dobrać raczej formy saletrzane nawozów.

Fosfor i potas. W przeciwieństwie do azotu fosfor i potas charakteryzują się małą mobilnością w glebie i dlatego też w uprawach bezorkowych dość łatwo ulegają stratyfikacji. Sprzyja temu wzrost związłości i ograniczenie przepuszczalności gleby oraz okresowe susze wiosną i wczesnym latem. W uprawie minimalnej (wiosenna uprawa roli agregatem z kultywatorem) stratyfikacja dotyczy warstwy powierzchniowej do głębokości około 10 cm, a w siewie bezpośrednim 2-6 cm. W największym stopniu stratyfikacji ulega fosfor, którego koncentracja w warstwie powierzchniowej sięgać może 90% całkowitej zawartości tego składnika w warstwie ornej. Przyczyną tego stanu w warunkach braku orki są również normalne potrzeby pokarmowe roślin, w wyniku których składniki pokarmowe pobierane są z głębszych warstw gleby. Po kilkuletnim nieprzerwanym stosowaniu uprawy uproszczonej lub siewu bezpośredniego stratyfikacja składników w glebie odgrywa mniejszą rolę wskutek stopniowego

przenikania składników do warstw głębszych, w czym dużą rolę odgrywają korzenie roślin i fauna glebowa, w tym dżdżownice.

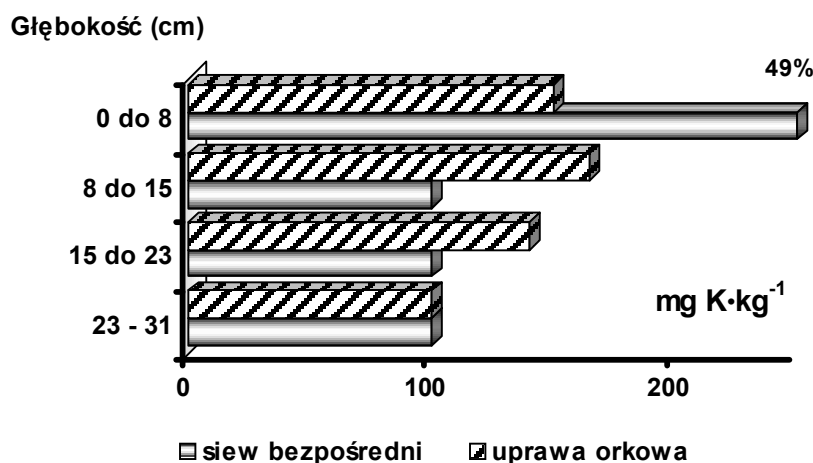
Autorzy szeregu prac donoszą o kumulacji składników w powierzchniowej warstwie gleby, uzależniając ją od długości okresu stosowania uproszczeń uprawy roli. W badaniach W ł o d k a i in. (14) analizowano 7 poziomów warstwy ornej (0-2, 2-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm) gleby wytworzonej z piasku gliniastego mocnego, uprawianej systemem tradycyjnym, uproszczonym (kultywator) oraz zerowym przez okres sześciu lat. W obu systemach bezorkowych stwierdzono wyraźną stratyfikację fosforu, potasu i magnezu w warstwach 0-2 i 2-5 cm. W warunkach uprawy zerowej pozostawianie słomy po zbiorze zbóż powodowało spadek zawartości potasu i magnezu, co autorzy wiążą ze spowolnieniem procesów mineralizacji materii organicznej w glebie słabiej ogrzewanej wiosną pod przykryciem. Podobny kierunek zmian zawartości fosforu, potasu i magnezu w glebie w warunkach upraw bezorkowych obserwowali F r a n z l u e b b e r s i H o n s (8).

Według C r o z i e r a i in. (3) w uprawach uproszczonych kontynuowanych przez okres krótszy niż 6 lat stwierdzano wyraźną stratyfikację fosforu, potasu, miedzi, cynku i manganu w warstwie 0-10 cm, w porównaniu ze stanem w warstwie 10-20 cm. Zależność ta dotyczyła również odczynu gleby. W okresie powyżej 6 lat zjawiska te nie występowały. Badania przeprowadzono na 59 polach z różnymi glebami. W badaniach M a k u s a (11) zawartość P, K, S i Fe w warstwach 0 - 5, 10-15 i 25-30 cm stopniowo zmniejszała się wraz z głębokością. Nie dotyczyło to jednak Na i NO_3 . Natomiast według C r u z a (4) siew bezpośredni powodował stratyfikację fosforu w warstwie 0-8 cm w zakresie 63%, a potasu 49% całkowitych ilości tych składników oznaczonych w warstwie ornej (0-31 cm); (rys. 1 i 2). Niektórzy autorzy donoszą, że



Rys. 1. Stratyfikacja fosforu w warunkach siewu bezpośredniego

Źródło: Cruz J. C., 1982 (3).



Rys. 2. Stratyfikacja potasu w warunkach siewu bezpośredniego
 Źródło: Cruz J. C., 1982 (3).

w początkowych latach uprawy uproszczonej występować mogą różnice w zależności od rodzaju składnika. Obserwowano stratyfikację fosforu, podczas gdy zawartość potasu zmniejszała się w powierzchniowej warstwie gleby 1-5 cm (12).

Również zawartość siarki w warunkach uprawy zerowej wykazywała zróżnicowane kierunki zmian. Wykazywano zarówno kumulację tego składnika w powierzchniowej warstwie gleby (11), jak również obniżenie się jej zawartości w warstwie 0-10 cm, w stosunku do niższego poziomu 10-25 cm (3). Tendencja malejąca zawartości siarki w warstwie powierzchniowej gleby wynikać może z okresowego uwsteczniania się tego składnika w cyklu węgla (podobnie jak azotu) w warunkach obfitości substancji organicznej (resztki poźniwne, mulcz); (7).

Wyniki badań własnych potwierdzają wnioski z wcześniejszych doniesień. Badania nad dostępnością składników w monokulturze kukurydzy uprawianej w trzech systemach uprawy roli przeprowadzono w doświadczeniach mikropoletkowych oraz polowych ściśłych.

Doświadczenia mikropoletkowe założono w Stacji Doświadczalnej IUNG Jelcz-Laskowice w 2002 roku na mikroparcelach o powierzchni 1 m², w których porównywano trzy systemy uprawy: tradycyjny (T), uproszczony (U) – wiosenna płytka uprawa, uprawa zerowa – siew bezpośredni (Z). Mikroparcele wypełniono glebą pobraną z warstwy ornej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego (18,0% frakcji <0,02 mm). W 2004 roku (po trzech latach badań) analizowano glebę z warstw 0-5 oraz 10-15 cm, oznaczając przyswajalne formy makro- i mikroelementów oraz odczyn gleby. Stwierdzono wzrost koncentracji badanych składników pokarmowych w warstwie 0-5 cm, w stosunku do ich zawartości w warstwie 10-15 cm na obiektach z uprawą uproszczoną (U) i zerową (Z). Zawartość tych składników była także istot-

nie wyższa niż w warstwie gleby 0-5 cm z tradycyjnym systemem uprawy (T). Podobne zmiany wykazywał odczyn gleby; tendencje spadkowe wartości pH_{KCl} w warstwie 0-5 cm (tab. 1).

Nierównomierne rozmieszczenie przyswajalnych form makroelementów w profilu warstwy ornej wywarło negatywny wpływ na zaopatrzenie roślin kukurydzy. Stwierdzano istotne zmniejszanie się ich zawartości w roślinach z obiektów, gdzie stosowano uprawę uproszczoną (U) i siew bezpośredni (Z); (tab. 2 i 3). Podobnie kształtowały się zależności z mikroelementami.

Siarka, podobnie jak azot, ulegać może w glebie procesom immobilizacji i mineralizacji, w cyklu przemian związków węgla. Decyduje o tym stosunek C:S w resztkach organicznych (mulczu) w glebie. Pozostawienie na powierzchni pola słomy zbóż lub kukurydzy ubogiej w siarkę powoduje jej immobilizację. W przeciwieństwie do tego słoma rzepaku stosunkowo zasobna w siarkę może uwalniać ten składnik. Immobilizacja siarki w glebie zachodzi jeśli stosunek C:S w glebie > 400, a zawartość siarki

Tabela 1

Wpływ sposobu uprawy roli na odczyn oraz zawartość i rozmieszczenie przyswajalnych form makroelementów w warstwie ornej gleby

Uprawa*	Głębokość (cm)	pH_{KCl}	P	K	Mg
			mg·100 g ⁻¹ gleby		
T	0-5	6,5	17,7	11,8	9,3
	10-15	6,6	17,7	12,5	9,0
U	0-5	6,3	20,1	16,5	11,3
	10-15	6,5	18,1	12,7	9,6
Z	0-5	6,3	19,6	15,9	11,4
	10-15	6,7	18,2	12,8	9,6
$NIR_{\alpha=0,05}$	II/I	r.n.	1,55	1,35	1,05
	I/II		1,72	2,96	1,80

T – tradycyjna, U – uproszczona, Z – zerowa
r.n. – różnice nieistotne

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

Tabela 2

Wpływ sposobu uprawy roli na zawartość makroelementów w częściach wskaźnikowych kukurydzy**

Uprawa*	N	P	K	Ca	Mg
	% s.m.				
T	2,65	0,28	2,12	0,82	0,35
U	2,37	0,22	1,89	0,65	0,32
Z	2,33	0,20	1,91	0,59	0,31
$NIR_{\alpha=0,05}$	0,255	0,033	0,195	0,213	r.n.
Zawartości optymalne wg Bergmana (1)					
	2,8-3,5	0,25-0,5	2,0-3,5	0,25-1,0	0,2-0,5

* objaśnienia jak do tabeli 1

** liście spod kolby w stadium formowania kwiatostanów żeńskich

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

Tabela 3

Wpływ sposobu uprawy roli na zawartość makroelementów w ziarnie kukurydzy

Uprawa*	N	P	K	Ca	Mg
	% s.m.				
T	1,30	0,35	0,34	0,11	0,13
U	1,21	0,27	0,25	0,08	0,09
Z	1,17	0,19	0,26	0,06	0,10
NIR _{α=0,05}	0,125	0,109	0,041	0,04	r.n.
Dane porównawcze (wg 7)					
	1,55	0,34	0,66	0,09	0,16

* objaśnienia jak do tabeli 1
 Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

Tabela 4

Wpływ sposobu uprawy roli na odczyn oraz zawartość i rozmieszczenie przyswajalnych form mikroelementów w warstwie ornej gleby

Uprawa*	Głębokość (cm)	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
		mg · kg ⁻¹ gleby					
T	0-5	1,11	4,18	1275	320	0,04	24,2
	10-15	1,10	4,11	1253	326	0,05	22,1
U	0-5	1,31	4,33	1344	362	0,06	24,8
	10-15	1,00	3,88	1203	303	0,03	22,7
Z	0-5	1,30	4,82	1389	383	0,07	30,8
	10-15	1,10	3,85	1111	298	0,03	24,7
NIR _{α=0,05}	II/I	0,145	0,331	117,0	55,2	0,030	2,06
	I/II	0,108	0,514	111,5	31,2	0,020	3,82

* objaśnienia jak do tabeli 1
 Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

w resztkach poźniwnych nie przekracza 0,25% (7). Mineralizacja organicznych połączeń siarkowych oraz wzrost kwasowości gleby zmniejszający redukcję siarczanów są ważnymi czynnikami wzrostu zawartości S-SO₄ w powierzchniowej warstwie gleby (9).

W doświadczeniach mikroplotkowych kumulacja siarki przyswajalnej w wierzchniej warstwie gleby (0-5 cm) z obiektów, w których stosowano bezorkową uprawę roli (U i Z) była przyczyną obniżania się zawartości tego składnika w roślinach kukurydzy (rys. 3).

Pogarszające się w stosunku do wartości optymalnych według Bergmanna (1) zaopatrzenie kukurydzy w badane składniki mineralne dowodzi, że stosowanie uproszczeń uprawy roli w monokulturze kukurydzy uznać należy za czynnik o negatywnym oddziaływaniu na jakość biologiczną roślin. Wynik ten wskazuje, że stosowanie jednoczesnych uproszczeń uprawy roli i zmianowania roślin wymaga podejmowania dodatkowych działań zapobiegających pogarszaniu się jakości uzyskiwanych ziemiopłodów.

Tabela 5

Wpływ sposobu uprawy roli na zawartość mikroelementów w częściach wskaźnikowych kukurydzy

Uprawa*	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg · kg ⁻¹ s.m.				
T	6,05	7,55	136	37,8	19,6
U	4,80	6,11	114	32,3	19,0
Z	5,03	6,24	106	27,6	18,4
NIR _{α=0,05}	0,603	0,892	15,2	4,93	1,02
Zawartości optymalne wg Bergmana (1)					
	6-15	6-12	21-250	35-100	25-70

* objaśnienia jak do tabeli 1
 Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

Tabela 6

Wpływ sposobu uprawy roli na zawartość mikroelementów w ziarnie kukurydzy

Uprawa*	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg · kg ⁻¹ s.m.				
T	1,90	1,64	19,4	5,37	15,8
U	1,73	1,28	19,8	5,05	15,0
Z	1,64	0,99	19,9	4,83	14,6
NIR; LSD (α = 0,05)	0,211	0,302	r.n.	0,489	0,96
Dane porównawcze (wg 7)					
	2,91	4,81	-	24,5	35,5

* objaśnienia jak do tabeli 1
 Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

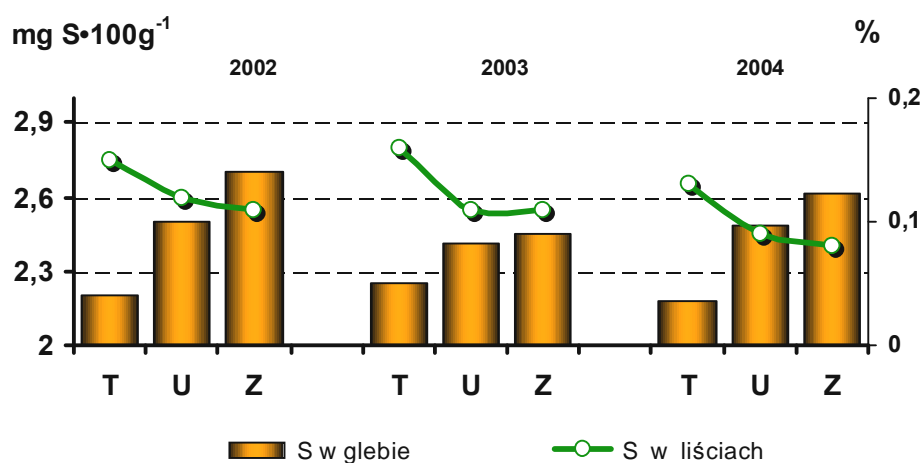
Na rysunku 4 przedstawiono plonowanie kukurydzy w poszczególnych latach badań z uwagi na duży i zmienny wpływ czynnika pogodowego. Z wyjątkiem 2003 roku stwierdzono istotnie mniejsze plony ziarna kukurydzy w uprawie uproszczonej i zerowej, co wiązać można między innymi z ograniczoną dostępnością składników pokarmowych. Ze względu na bardzo duży plonotwórczy wpływ nawożenia (około 60% – przyjmując za 100% działanie wszystkich czynników agrotechnicznych, w tym uprawę roli, ochronę roślin, materiał siewny itd.); (5), ograniczenia dostępności składników pokarmowych uważać można za jedną z głównych przyczyn uzyskiwania mniejszych plonów w początkowych latach prowadzenia uproszczonych systemów uprawy roli.

Doświadczenia połowe ścisłe przeprowadzono w latach 2003–2005 na glebie płowej (piasek gliniasty mocny) o zawartości frakcji spławialnej (<0,02 mm) – 17%, w których uwzględniono dwa czynniki:

- I – systemy uprawy roli: uprawa tradycyjna, uprawa uproszczona (płytką uprawą wiosenną) i siew bezpośredni przy zastosowaniu siewnika z krojem tarczowym i aplikatorem nawozów;

- II – poziomy nawożenia NPK ($N+P_2O_5+K_2O$) · ha⁻¹: 0+0+0; 50+30+40; 100+60+80 i 200+120+160.

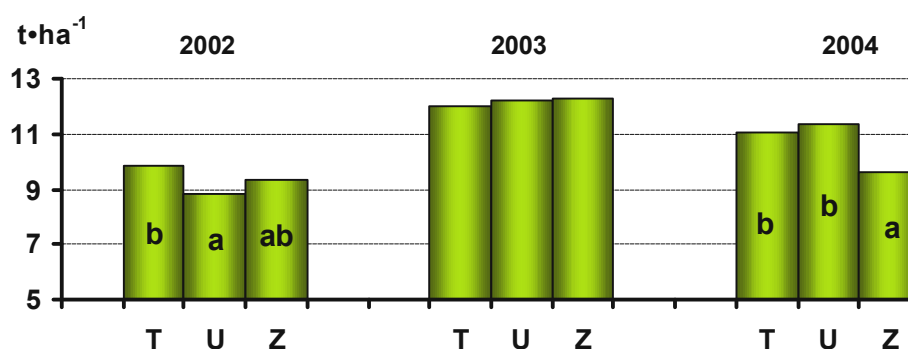
Analiza chemiczna gleby pochodzącej z warstw 0-10 cm i 10-15 cm przeprowadzona po zakończeniu trzech doświadczeń 3-letnich wykazała występowanie stratyfikacji większości najważniejszych składników mineralnych (fosfor, potas, bor, miedź,



T – uprawa tradycyjna, U – uprawa uproszczona, Z – uprawa zerowa

Rys. 3. Zawartość siarki w liściach kukurydzy na tle zawartości S-SO₄ w warstwie 0-5 cm gleby w poszczególnych latach badań

Źródło: Opracowanie własne.



Objaśnienia, jak do rysunku 3

Różnice między plonami oznaczonymi różnymi literami są istotne przy $\alpha = 0,05$

Rys. 4. Plony ziarna kukurydzy z poszczególnych lat doświadczenia mikropoletkowego

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

mangan i cynk) w warstwie powierzchniowej 0-10 cm z upraw bezorkowych (U i Z). Zawartość tych składników była również istotnie wyższa niż w tej samej warstwie gleby z uprawą tradycyjną (tab. 7). W warstwie 0-10 cm w warunkach uprawy zerovej stwierdzono również istotny statystycznie spadek wartości pH_{KCl} w porównaniu z jego stanem w uprawie tradycyjnej. Zmiany te występowały wyraźniej w warunkach wyższego poziomu nawożenia mineralnego N – 200, P_2O_5 – 120, i K_2O – 169 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ niż przy dawkach obniżonych: N – 50, P_2O_5 – 30, K_2O – 40 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Nierównomierny rozkład składników pokarmowych w glebie z uprawą uproszczoną (U) i zerową (Z) wyraźnie oddziaływał na ich zawartość w roślinach kukurydzy. Najczęstszy kierunek zmian dotyczył obniżania się zawartości składników mineralnych w porównaniu z ich stanem w glebie uprawianej sposobem tradycyjnym. Zmiany te, występujące już w trakcie wegetacji roślin (tab. 8), stwierdzono także w ziarnie kukurydzy (tab. 9). Bardziej zdecydowane spadki zawartości dotyczyły potasu, boru, żelaza, manganu i molibdenu. Ten kierunek zmian, choć mniej wyraźnie zarysowany, dotyczył także wapnia i magnezu, a także azotu i fosforu. Jedynie zawartości miedzi i cynku w kukurydzy uprawianej na obiektach z uprawą uproszczoną (U) i zerową (Z) wykazywały istotny wzrost zawartości w biomacie części wegetatywnych, co miało swoje odbicie również w składzie chemicznym ziarna. Ten efekt wiązać należy z dużym znaczeniem odczynu gleby w kształtowaniu dostępności tych mikroelementów. Obniżająca się wartość pH w powierzchniowej warstwie gleby, na której nie stosowano orki, powodowała uruchamianie się form trudno rozpuszczalnych tych składników.

Na podstawie wyników badań własnych można stwierdzić, że ziarno kukurydzy uprawianej w warunkach 3-letniej monokultury odznaczało się niską zawartością składników mineralnych. Dotyczyło to zwłaszcza takich składników, jak potas, żelazo, miedź, mangan i cynk. Uproszczenia uprawy roli poprzez stratyfikację składników negatywnie (z wyjątkiem Cu i Zn) wpływały (ograniczenie pobrania) na ich zawartość w roślinach. W wyniku tego, podobnie jak w doświadczeniu mikropoletkowym, następowało zubożenie plonów w składniki mineralne (tab. 8 i 9). O wpływie uproszczeń uprawy roli na skład chemiczny roślin donoszą S e l l e s i M c C o n k e y (13) oraz B u a h (2). L a l i n. (10) odnotowali zmniejszenie zawartości Ca, Mg i B oraz wzrost Mn w liściach kukurydzy uprawianej w siewie bezpośrednim. Zmiany zawartości składników mineralnych w roślinach kukurydzy z doświadczenia polowego były natomiast w małym stopniu modyfikowane przez intensyfikację nawożenia mineralnego NPK.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania własne (eksperymenty mikropoletkowe i polowe) oraz doniesienia literatury wskazują na problem dostępności składników pokarmowych dla roślin uprawianych w warunkach uproszczeń uprawy roli, który jest dość złożony i wielowątkowy. Biorąc pod uwagę zarówno zróżnicowane właściwości chemiczne składników pokarmowych, form i sposobów aplikacji nawozów, a także różnorodność

Tabela 7

Wpływ sposobu uprawy roli i poziomu nawożenia NPK w doświadczeniu polowym na odczyn, zawartość i rozmieszczenie składników mineralnych w warstwie ornej gleby płowej (średnia z lat 2003–2005)

Uprawa*	Głębokość (cm)	pH _{KCl}	mg · 100 g ⁻¹ gleby							mg · kg ⁻¹ gleby						
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	B ₂ - (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) · ha ⁻¹ = (50 + 30 + 40) · ha ⁻¹	B ₄ - (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) · ha ⁻¹ = (200 + 120 + 160) · ha ⁻¹	B ₂ - (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) · ha ⁻¹ = (50 + 30 + 40) · ha ⁻¹	B ₄ - (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) · ha ⁻¹ = (200 + 120 + 160) · ha ⁻¹	
T	0-10	5,88	19,8	14,5	5,2	0,40	2,11	690	151	0,10	4,61					
	10-20	5,98	18,7	16,0	6,3	0,50	2,66	732	164	0,10	4,54					
U	0-10	5,23	21,2	15,9	6,4	0,30	2,41	700	160	0,10	5,87					
	10-20	5,91	16,0	13,1	4,9	0,30	2,54	677	157	0,10	4,84					
Z	0-10	5,37	22,9	23,1	4,8	0,50	2,70	694	176	0,10	6,53					
	10-20	5,58	18,9	12,3	5,7	0,16	1,92	630	124	0,10	3,94					
NIR $\alpha = 0,05$	III/I	r.n.	2,21	6,12	0,59	0,29	0,61	r.n.	33,0	r.n.	0,88					
	I/II	0,49	2,60	5,97	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	21,3	r.n.	1,09					
T	0-10	5,71	15,8	10,9	4,1	0,40	2,01	609	129	0,10	3,80					
	10-20	5,07	17,0	9,7	3,6	0,30	1,97	634	118	0,10	3,61					
U	0-10	5,39	19,5	17,0	6,0	0,40	2,41	683	154	0,10	5,32					
	10-20	5,63	15,2	15,9	5,6	0,30	2,24	588	146	0,10	5,07					
Z	0-10	5,22	23,0	23,2	5,2	0,66	3,04	690	162	0,16	6,36					
	10-20	5,73	17,2	14,0	6,4	0,16	2,49	681	143	0,20	4,07					
NIR $\alpha = 0,05$	III/I	r.n.	3,12	7,03	0,66	0,37	0,48	r.n.	18,7	r.n.	1,90					
	I/II	0,44	5,09	8,98	r.n.	0,22	0,73	r.n.	27,8	r.n.	2,11					

* objaśnienia jak do tabeli 1
Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 8

Wpływ sposobu uprawy roli i poziomu nawożenia NPK w doświadczeniu polowym na zawartość składników pokarmowych w częściach wskaźnikowych kukurydzy (średnia z lat 2003–2005)

Uprawa*	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	% s.m.										
	$B_2 - (N + P_2O_5 + K_2O) \cdot ha^{-1} = (50 + 30 + 40) \cdot ha^{-1}$										
T	2,26	0,29	2,32	0,49	0,30	5,57	6,21	144	124	0,42	19,2
U	2,43	0,24	1,78	0,42	0,25	4,62	6,53	128	108	0,30	19,4
Z	2,80	0,24	1,90	0,47	0,22	4,70	8,01	133	86	0,21	25,6
	$B_4 - (N + P_2O_5 + K_2O) \cdot ha^{-1} = (200 + 120 + 160) \cdot ha^{-1}$										
T	2,69	0,31	2,39	0,55	0,36	5,49	6,92	162	178	0,36	26,3
U	2,68	0,28	2,21	0,49	0,28	5,20	7,55	125	127	0,29	28,5
Z	2,91	0,26	1,92	0,50	0,20	4,70	9,27	137	110	0,16	30,6
	Zawartości optymalne wg Bergmana (1)										
	2,8-3,5	0,25-0,5	2,0-3,5	0,25-1,0	0,2-0,5	6-15	6-12	21-250	35-100	0,15-0,5	25-70

* objaśnienia jak do tabeli 2

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 9

Wpływ sposobu uprawy roli i poziomu nawożenia NPK w doświadczeniu połowym na zawartość składników pokarmowych w ziarnie kukurydzy (średnia z lat 2003–2005)

Uprawa*	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	
	mg · 100 g ⁻¹ s.m.						mg · kg ⁻¹ s.m.					
	$B_2 = (N + P_2O_5 + K_2O) \cdot ha^{-1} = (50 + 30 + 40) \cdot ha^{-1}$											
T	1,53	0,32	0,39	0,04	0,13	2,62	1,73	35,3	9,98	0,29	13,9	
U	1,34	0,26	0,31	0,02	0,11	2,22	2,62	29,8	7,42	0,13	19,0	
Z	1,30	0,26	0,30	0,02	0,10	2,16	2,18	24,4	6,39	0,08	21,5	
	$B_4 = (N + P_2O_5 + K_2O) \cdot ha^{-1} = (200 + 120 + 160) \cdot ha^{-1}$											
T	1,58	0,34	0,40	0,04	0,12	2,31	2,44	29,2	7,98	0,26	20,3	
U	1,50	0,27	0,34	0,03	0,11	2,08	2,34	29,0	6,74	0,20	21,4	
Z	1,28	0,25-	0,30	0,02	0,10	1,96	2,52	29,2	6,14	0,09	21,5	
	Dane porównawcze (wg 7)											
	1,55	0,34	0,66	0,09	0,16	2,91	4,81	40,0	24,5	0,26	35,5	

* objaśnienia jak do tabeli 1

Źródło: Opracowanie własne.

warunków glebowo-klimatycznych i wymagań roślin, opracowanie jednoznacznych zaleceń lub zasad nawożenia dla systemów z uproszczeniami uprawy roli na obecnym etapie poznania jest zadaniem trudnym. Jednak zebrany dotychczas materiał eksperymentalny oraz spostrzeżenia z praktyki pozwalają stwierdzić, że do najważniejszych czynników poprawiających warunki odżywiania się roślin przy uproszczonej uprawie zaliczyć należy:

- stosowanie nawożenia „na zapas” fosforem potasem, magnezem i mikroelementami oraz wapnowania na podstawie wyników analiz chemicznych gleby i dokładne (przed rozpoczęciem uprawy bezorkowej) wymieszanie nawozów w warstwie ornej gleby;
- unikanie wysiewu nawozów w nieodpowiednich formach chemicznych i zbyt dużych dawkach;
- stosowanie odpowiedniego siewnika umieszczającego ziarno i nawozy na odpowiedniej głębokości, niezależnie od zbitości gleby i masy resztek poźniwnych;
- prowadzenie uprawy uproszczonej na glebie o dostatecznej retencji wodnej, ale o niezbyt dużej zwięzłości;
- stosowanie racjonalnego zmianowania roślin i unikanie upraw w monokulturze;
- optymalizowanie innych elementów uprawy roślin (dobór materiału siewnego, odpowiednie terminy zabiegów, racjonalna ochrona chemiczna itd.).

Podjmując decyzję o prowadzeniu uproszczeń w uprawie roli nie należy wyciągać pochopnych wniosków na podstawie wyników w początkowych latach oraz wystąpienia niekorzystnego układu warunków atmosferycznych w jednym roku. Doświadczenia krajowe i zagraniczne wskazują, że na stabilizację agrosystemu oczekiwać należy 4-8 lat od rozpoczęcia uproszczeń w uprawie roli (12).

Literatura

1. Bergmann W.: Bemerkungen und Tabellen zur analytischen Pflanzendiagnose der Pflanzen - oder Blattanalyse. VEB Gustav-Fischer-Verlag, Jena, 1986, 1-38.
2. Buah S., Polito T., Killorn R.: No-tillage corn response to placement of fertilizer nitrogen, phosphorus and potassium. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2000, **31(19-20)**: 3121-3133.
3. Crozier C.R., Naderman G.C., Tucker M.R., Sugg R.E.: Nutrient and pH stratification with conventional and no-till management. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1999, **30: 1-2**: 65-74.
4. Cruz J.C.: Effect of crop rotation and tillage systems on some soils properties. Root Distribution and Crop Production. PhD Thesis. Purdue University, 1982, 3-73.
5. Czuba R.: Zasady stosowania nawozów mineralnych na gruntach ornych. W: Nawożenie mineralne roślin uprawnych. Praca pod red. R. Czuby. Wyd. Zakłady Chemiczne Police SA, 1996, 85-174.
6. Finck A.: Fertilizers and fertilization. Verlag Chemie GmbH, D-6940 Weinheim, 1982, 1-438.
7. Fotyma M., Mercik S.: *Chemia rolna*. PWN Warszawa, 1995, 1-356.
8. Franzlubbers A.J., Hons F.M.: Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrient under conventional and no tillage. *Soil Till. Res.*, 1996, **39**: 229-239.
9. Gorlach E., Mazur T.: *Chemia rolna*. PWN Warszawa, 2001, 1-347.
10. Lal R., Fausey N.R., Brown L.C.: Drainage and tillage effects on leaf tissue nutrient contents of corn and soybeans on Crosby-Kokomo soils in Ohio. *Proc. 7-th Intern. Drain. Symp.*, Orlando, 1998, **3**: 465-471.

11. M a k u s D. J.: Soil but not sweet corn ear nutrients are affected by conservation tillage. *J. Veget. Crop Prod.*, 2002, **8(2)**: 49-63.
12. R h o r t o n F. E.: Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 2000, **64**, **2**: 700-709.
13. S e l l e s F., M e C o n k e y C. A.: Distribution and forms of P under cultivator and zero tillage for continuous and fallow wheat cropping systems. *Soil Till. Res.*, 1999, **51(1-2)**: 47-59.
14. W ł ó d e k S., H r y Ń c z u k B., P a b i n J., B i s k u p s k i A.: Zawartość składników pokarmowych w warstwach poziomu próchniczego gleby uprawianej różnymi sposobami. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2003, **493**: 727-732.
15. W r ó b e l S., P a b i n J., M i c k i e w i c z A.: Wpływ uproszczeń uprawy roli na dostępność składników pokarmowych w monokulturze kukurydzy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2007 (w druku).

Adres do korespondencji:

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