

Pobranie fosforu z ziarnem pszenżyta jarego na tle uprawy roli i nawożenia mineralnego oraz właściwości chemicznych gleby

¹Hanna Klikocka, ²Bogdan Szostak, ³Renata Gaj, ¹Aleksandra Głowacka, ¹Bartosz Narolski

¹Wydział Agrobioinżynierii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, Polska

²Instytut Żywnienia Zwierząt i Bromatologii, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, Polska

³Katedra Chemii Rolnej i Biogeochemii Środowiska, Wydział Rolnictwa i Bioinżynierii,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, Polska

Abstrakt. Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2007–2009 na glebie średniej brunatnej dystroficznej typowej na terenie Zamojszczyzny. Oceniono reakcję pszenżyta jarego na zróżnicowaną uprawę roli (tradycyjną i uproszczoną) oraz nawożenie mineralne: NPK (kontrola) i NPK wzbogacone w siarkę w ilości 40 kg S·ha⁻¹ w postaci siarczanu amonu. Celem badań było określenie wpływu założonych czynników na plon oraz zawartość i pobranie fosforu przez ziarno pszenżyta jarego. Badania uzupełniono analizą właściwości chemicznych gleby. Stwierdzono, że uprawa tradycyjna i dodatek siarki do nawożenia zwiększają istotnie plon ziarna. Zawartość fosforu ogólnego w ziarnie była istotnie wyższa w obiektach z uproszczoną uprawą roli.

Pobranie fosforu przez ziarno było istotnie wyższe w kombinacjach z dodatkiem siarki do nawożenia NPK. Stosowanie uproszczonej uprawy roli zwiększało zawartość fosforu przyswajalnego, natomiast dodatek siarki podwyższał zawartość siarki siarczanowej w glebie, w warstwie 0–30 cm. Zawartość fosforu w ziarnie korelowała dodatnio z odczynem gleby (pH) i zawartością węgla ogólnego w glebie.

słowa kluczowe: uprawa roli, nawożenie, siarka, fosfor, ziarno, pszenżyto jare

WSTĘP

Fosfor, obok węgla, azotu i siarki, pełni jedną z najważniejszych funkcji biochemicznych w metabolizmie roślin. Niedobór fosforu jest najgroźniejszy w początkowych fazach rozwojowych roślin, kiedy pierwiastek ten ma decydujący wpływ na szybkość wzrostu systemu korzeniowego, a tym samym na zdolność rośliny do pobierania wody i składników pokarmowych z gleby. Zawartość

fosforu w glebie wpływa na aktywność mikrobiologiczną i biochemiczną gleby, a w konsekwencji na przemiany i dostępność innych składników pokarmowych (Gaj, 2008; Lemanowicz, Koper, 2009). Zagadnienie fosforu w agrocenozach jest nadal problemem otwartym, ponieważ udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości jego przyswajalnych form wynosi 40%, a gleb o bardzo wysokiej i wysokiej zawartości – 35% (Lipiński, 2000).

Siarka w roślinie pełni wielorakie funkcje fizjologiczne mające znaczenie biologiczne, ochronne i gospodarcze. Rośliny dobrze odżywione siarką są bardziej wytrzymałe na stropy biotyczne i mniej podatne na choroby, wzrasta ich wartość odżywcza i plon. Postępujący proces ekologizacji (oczyszczania atmosfery z siarki) doprowadził do globalnego wzrostu procentowego udziału obszarów rolniczych ubogich w siarkę. W konsekwencji nawożenie S jako składnikiem pokarmowym roślin uprawnych zwiększa się (Grzebisz, Przygocka-Cyna 2003; Gaj, Klikocka, 2011; Klikocka i in., 2015). W chwili obecnej zawartość S-SO₄ w glebach Polski zawiera się pomiędzy 3,6 i 50,7 mg·kg⁻¹ (Siebielec i in., 2012). Ponad 90% gleb w kraju znajduje się w klasie o niskiej zawartości siarki (do 5,0 mg S-SO₄·100 g⁻¹ gleby). Najmniej siarki siarczanowej występuje w glebach w województwie lubuskim, łódzkim, mazowieckim i podkarpackim, na co, zwłaszcza w lubuskim, nakłada się mała emisja siarki. Także województwo lubelskie charakteryzuje się niską zawartością S-SO₄ w glebie (12,0 mg·kg⁻¹) oraz niską emisją SO₂ (13,1 tys. ton·rok⁻¹) i imisją SO₂ (15,5 kg·ha⁻¹) (Klikocka i in., 2015).

Cykl biogeochemiczny fosforu i siarki jest podatny na wszelkie zmiany powodowane przez rolniczą działalność człowieka, np. stosowane nawozy mineralne czy zabiegi agrotechniczne, które bardzo często zmieniają naturalny obieg pierwiastków w przyrodzie (Machado i in., 2007). Wybór właściwego systemu uprawy roli to jeden z podstawowych czynników, decydujących o możliwości uzyskania dużych i stabilnych plonów (Schillinger, 2005). Dobre przygotowanie gleby pod pszenżyto jare sprzyja wzrostowi

Autor do kontaktu:

Hanna Klikocka
e-mail: hanna.klikocka@up.lublin.pl
tel. 84-677-27-54

Praca wpłynęła do redakcji 8 maja 2015 r.

i rozwojowi roślin oraz umożliwia wykorzystanie intensywnego nawożenia (Klikocka i in., 2014).

Celem pracy była ocena wpływu uprawy tradycyjnej i uproszczonej oraz nawożenia mineralnego NPK bez i z suplementacją siarki na zawartość w ziarnie i pobranie fosforu z ziarnem pszenżyta jarego na tle właściwości chemicznych gleby w warunkach glebowo-klimatycznych Zamojszczyzny.

MATERIAŁ I METODY

Przedmiotem badań było pszenżyto jare (*Triticosecale* Witt.) odmiany Wanad. Doświadczenie polowe przeprowadzono metodą podbloków losowanych w układzie zależnym split-plot w czterech powtórzeniach, w latach 2007–2009, we wsi Malice k. Zamościa (N 50°43'; E 23°45'). Założono je na glebie średniej brunatnej dystroficznej typowej (BDt), wytworzonej z gliny piaszczystej średnioziarnistej (gpśr) (Mocek, Drzymała, 2010), zaliczonej do kompleksu żyniego dobrego, o odczynie lekko kwaśnym (pH 5,6). Zawartość węgla ogólnego wynosiła 8,4 g·kg⁻¹, azotu ogólnego 0,8 g·kg⁻¹ gleby. Zawartość przyswajalnych form składników pokarmowych wynosiła odpowiednio: P – 42,8, K – 79,6, Mg – 28,8 i S-SO₄ – 11,5 mg·kg⁻¹ gleby (Ostrowska i in., 1991).

W doświadczeniu badano następujące czynniki:

I. sposób uprawy roli (UR):

tradycyjny (TRD) – jesienią: bronowanie (5 cm), orka przedzimowa (20 cm). Wiosną bronowanie (5 cm), gruberowanie (15 cm), bronowanie (5 cm);

uproszczony (UPR) – jesienią: bronowanie (5 cm), gruberowanie (15 cm). Wiosną gruberowanie (15 cm), bronowanie (5 cm).

II. rodzaj nawożenia mineralnego (NM):

a. NPK;

b. NPKS.

Powierzchnia poletek do siewu i obserwacji wynosiła 30 m², natomiast do zbioru 20 m² (4,0 m × 5,0 m). Siew pszenżyta jarego przeprowadzono w trzeciej dekadzie marca, zakładając gęstość 550 ziaren·m⁻².

Podprzedplon, którym był ziemniak, zastosowano 5 t·ha⁻¹ słomy pszenżytniej uzupełnionej 50 kg·ha⁻¹ mocznika (23 kg N·ha⁻¹). Po zbiorze przedplonu w II dekadzie września wykonano bronowanie. Orkę przedzimową lub gruberowanie wykonano w II dekadzie października. Wiosenne prace polowe rozpoczynano w trzeciej dekadzie marca. Nawozy fosforowe w dawce 39,6 kg P·ha⁻¹ w formie superfosfatu potrójnego i potasowe w dawce 83 kg K·ha⁻¹ w formie soli potasowej stosowano w całości przedsięwzięcia, a nawozy azotowe w dawce 90 kg N·ha⁻¹ w formie saletry amonowej (w przypadku nawożenia NPKS częściowo bilansowane z siarczanem amonu) i siarkowe w formie siarczanu amonu w dawce 40 kg S·ha⁻¹ stosowano w dwóch terminach, 1/2 dawki w trakcie przygotowania roli do siewu i 1/2 dawki w fazie strzelania pszenżyta w żdźbło (BBCH 32). Zwalczanie chorób i szkodników prowadzono zgodnie z metodykami IOR i opisano je szczegółowo w opracowaniu Klikockiej i Sachajko (2011).

Sumy opadów atmosferycznych w okresie wegetacji pszenżyta w roku 2007 roku były zbliżone do średniej wieloletniej (1971–2005: 341,3 mm) (tab. 1). W okresie wegetacyjnym 2008 roku opady przekroczyły średnią wieloletnią o 28,6 mm. Szczególnie duże opady obserwowano w kwietniu (71,5 mm) i lipcu (104,6 mm). Podobny rozkład opadów w miesiącach letnich wystąpił w 2007 roku. W okresie wegetacji 2009 r. suma opadów atmosferycznych była niższa od średniej sumy wieloletniej o 25,7 mm. Wysokie opady wystąpiły w maju (102,6 mm) i czerwcu (124,4 mm), niskie natomiast w kwietniu (15,5 mm) i lipcu (24,2 mm), zaś sierpień był zbliżony do średniej wieloletniej (48,9 mm). Średnie temperatury powietrza w analizowanych okresach wegetacji pszenżyta jarego były wyższe

Tabela 1. Suma opadów [mm] i średnia temperatura powietrza [°C] w latach 2007–2009 i w wieloleciu 1971–2005 (Stacja Meteorologiczna w Zamościu)

Table 1. Sums of rainfalls [mm] and mean air temperature [°C] in the years 2007–2009 and in long-term period 1971–2005 (research station Zamość).

Lata Years	Miesiące Months					Suma/Średnia Sum/Mean		
	IV	V	VI	VII	VIII	IV–V	VI–VII	IV–VIII
Opady; Precipitation [mm]								
2007	21,7	41,1	54,0	118,9	31,6	62,8	172,9	267,3
2008	71,5	74,8	48,9	104,6	69,7	146,3	153,5	369,9
2009	15,5	102,6	124,4	24,2	48,9	118,1	148,6	315,6
1971–2005	44,1	65,5	78,9	98,4	54,3	109,6	177,3	341,3
Temperatura; Temperature [°C]								
2007	10,0	17,6	19,8	21,1	18,6	13,8	20,5	17,4
2008	10,7	15,5	19,4	20,2	19,7	13,1	19,8	17,1
2009	11,3	13,8	20,2	20,0	20,1	12,6	20,1	17,1
1971–2005	7,9	14,1	16,8	18,4	17,8	11,0	17,6	15,0

od średniej wieloletniej (1971–2005: 15,0°C), w okresie wegetacji 2007 r. o 2,4°C, natomiast w okresach 2008 i 2009 roku o 2,1°C. Generalnie, w każdym miesiącu analizowanych lat temperatura powietrza przekraczała średnią temperaturę w wieloleciu. Nie zauważono jednak, aby rozkład opadów i temperatur wpływał znacząco na różnicowanie faz rozwojowych pszenżyta jarego.

Po zbiorze roślin określono plon ziarna w t·ha⁻¹ (przy 11% wilgotności). Próbki ziarna (z każdego poletka) suszono w temperaturze 60°C przez 48 godzin. Następnie zmielono je na cząstki mniejsze od 0,12 mm. Zawartość ogólnej formy fosforu w ziarnie oznaczono zgodnie z metodyką podaną w tabeli 2. W próbach glebowych pobieranych corocznie z każdego poletka po zbiorze pszenżyta jarego oznaczono zawartość fosforu przyswajalnego, siarki siarczanowej, węgla ogólnego i odczyn gleby (pH) według metod podanych w tabeli 2.

Zebrane w doświadczeniu wyniki poddano analizie statystycznej. Do obliczeń wykorzystano analizę wariancji z funkcją testową F-Snedecora, a następnie określono jej rozkład. Istotność różnic oceniono testem Tukeya ($\alpha = 0,05$). W celu określenia zależności między badanymi cechami posłużono się analizą korelacji. W zestawieniu i statystycznym opracowaniu wyników wykorzystano arkusz kalkulacyjny Excel 2007 oraz program Statistica (StatSoft Polska'97).

WYNIKI BADAŃ

Wykazano istotnie korzystny wpływ tradycyjnej uprawy roli (TRD) w stosunku do uprawy uproszczonej (UPR) na wielkość plonu ziarna pszenżyta jarego (wzrost o 13,8%) (tab. 3-4). Również korzystny wpływ na plon ziarna miało nawożenie NPKS w stosunku do nawożenia NPK (wzrost o 11,9%). Nie stwierdzono współdziałania uprawy

roli i nawożenia mineralnego na plon ziarna. Czynniki pogodowy również wpływał na plon ziarna. Najwyższy plon uzyskano w roku 2009, w latach 2007–2008 był on niższy średnio o 17,6%. Plon ziarna korelował ujemnie z zawartością fosforu ogólnego w ziarnie, natomiast dodatnio z jego pobraniem przez ziarno (tab. 5). Zawartość węgla ogólnego, fosforu przyswajalnego i siarki siarczanowej w glebie po zbiorze pszenżyta jarego nie korelowała istotnie z plonem ziarna. Istotną ujemną korelację wykazano pomiędzy plonem ziarna a odczynem gleby (pH) ($r = -0,312$).

Analiza statystyczna wykazała podobne oddziaływanie czynników doświadczenia na plon ziarna. Błąd standardowy, współczynnik zmienności oraz prawdopodobieństwo rozkładu F wskazują, że uprawa roli, nawożenie mineralne i czynnik pogodowy są porównywalnymi czynnikami plonotwórczymi dla pszenżyta jarego (tab. 3).

Zawartość fosforu ogólnego w ziarnie pszenżyta jarego zależała istotnie od zastosowanych sposobów uprawy roli i lat badań, natomiast nie zależała od nawożenia mineralnego oraz jego współdziałania ze sposobami uprawy roli. Istotnie więcej P-og., o 6,8% było w ziarnie po zastosowaniu uprawy uproszczonej w stosunku do uprawy tradycyjnej. Pobranie fosforu przez ziarno zależało natomiast od nawożenia mineralnego i czynnika pogodowego w poszczególnych latach badań. Istotnie większe pobranie, o 11,8% stwierdzono po dodaniu siarki do nawożenia NPK. Najwyższą zawartość fosforu w ziarnie odnotowano w 2007 roku, natomiast jego najwyższe pobranie w 2009 roku. Zawartość fosforu w ziarnie korelowała dodatnio z odczynem gleby ($r = 0,382$) i zawartością węgla ogólnego w glebie ($r = 0,353$) (tab. 5). Nie odnotowano istotnej korelacji pomiędzy fosforem ogólnym w ziarnie a przyswajalnym w glebie, chociaż tendencja była dodatnia. Analizując jednak wpływ poszczególnych sposobów uprawy roli i nawożenia mineralnego, wykazano, że w przy-

Tabela 2. Metody oznaczeń chemicznych materiału roślinnego i gleby
Table 2. Analytical methods for plant tissue materials and for soil.

Parametr Parameter	Metoda Method
Materiał roślinny; Plant tissue materials	
Sucha masa Dry matter	Metoda suszarkowa przez 48 godzin w temp. 60°C By oven method (48 hours at 60°C)
P-ogólny; P-total	Fotometryczna; By the photometric method (Page i in., 1982)
Gleba; Soil	
pH	Potencjometryczna w 0,01 M CaCl ₂ Potentiometrically in 0.01 M CaCl ₂ suspension using a Methrohm 605 pH-meter
C-ogółem C-total	Spalanie na sucho; Dry combustion; LECO EC-12®, model 752-100
P-przyswajalny P-available	Metoda Egnera-Riehma – fotometrycznie By the photometric method
S-SO ₄ ²⁻	Ekstrakcja w 0,025 m KCl, oznaczenie na chromatografii jonowym Extracted by 0.025 m KCl and determined by ion-chromatograph (Bloem i in., 2002)

Tabela 3. Wyniki obliczeń statystycznych dla badanych cech
Table 3. Results of statistical computation for the study features.

Badana cecha Investigated features	Zmienne Variable	SED	CV%	F-obl. Estimated F	p-wartość p-value	NIR LSD $\alpha = 0,05$
Plon ziarna Grain yield [t·ha ⁻¹]	UR	0,35	6,51	11,76**	0,002	0,42
	NM	0,30	5,62	8,75**	0,006	0,42
	UR × NM	0,48	8,94	1,69	0,203	r.n.
	L	0,51	9,37	12,17***	0,000	0,51
Zawartość P-ogółem w ziarnie P-content in grain [g·kg ⁻¹ s.m.]	UR	0,133	3,334	11,32*	0,160	0,160
	NM	0,006	0,145	0,00	0,885	r.n.
	UR × NM	0,135	3,388	0,35	0,556	r.n.
	L	0,220	5,526	15,56***	0,000	0,197
Pobranie P z ziarnem P – uptake with grain [kg·ha ⁻¹]	UR	0,71	3,32	2,92	0,097	r.n.
	NM	1,19	5,54	8,13**	0,007	1,7
	UR × NM	1,44	6,73	0,96	0,333	r.n.
	L	1,78	5,49	3,99*	0,028	2,1
C-ogółem C-total [g·kg ⁻¹]	UR	0,05	0,67	0,17	0,681	r.n.
	NM	0,22	2,62	2,67	0,111	r.n.
	UR × NM	0,34	4,16	3,85	0,058	r.n.
	L	0,44	5,32	5,47**	0,008	0,66
Zawartość w glebie Content in soil	UR	2,89	5,90	8,50**	0,006	4,0
	NM	0,35	0,71	0,12	0,726	r.n.
	UR × NM	2,91	5,94	0,00	0,980	r.n.
	L	2,36	4,81	2,83	0,073	r.n.
S-SO ₄ [mg·kg ⁻¹]	UR	0,73	3,77	2,63	0,114	r.n.
	NM	1,51	7,84	11,35**	0,002	1,82
	UR × NM	1,79	9,29	1,98	0,168	r.n.
	L	1,26	6,54	3,95*	0,029	2,23

Czynniki: UR – uprawa ($df_1 = 1, df_2 = 33$), NM – nawożenie ($df_1 = 1, df_2 = 33$), UR × NM – uprawa × nawożenie ($df_1 = 1, df_2 = 33$), L – lata ($df_1 = 2, df_2 = 33$); gdzie df_1 – stopnie swobody zmiennej, df_2 – stopnie swobody błędu, SED – błąd standardowy różnicy, CV% – współczynnik zmienności, F obl. z analizy wariancji: istotne różnice na poziomie * $\alpha = 0,05$, ** $\alpha = 0,01$, *** $\alpha = 0,001$, p-wartość rozkładu F, NIR – najmniejsza istotna różnica, r.n. – różnica nieistotna

Factors: UR – soil tillage ($df_1 = 1, df_2 = 33$), NM – mineral fertilization ($df_1 = 1, df_2 = 33$), UR × NM – soil tillage × mineral fertilization ($df_1 = 1, df_2 = 33$), L – years ($df_1 = 2, df_2 = 33$): where df_1 – degrees of variable freedom, df_2 – degrees of error freedom, SED – standard error of a difference, CV% – coefficient of variation, estimated F of variance analysis, significant difference at * $\alpha = 0,05$, ** $\alpha = 0,01$, *** $\alpha = 0,001$, p-value of F-variance ratio, LSD – least significant difference, r.n. – not significant

Tabela 4. Wpływ uprawy roli i nawożenia mineralnego na plon oraz badane cechy ziarna i gleby
Table 4. The influence of soil tillage and mineral fertilization on the yield and features of grain and soil.

Uprawa roli Soil tillage (UR)	Nawożenie Fertilization (NM)	Roślina Plant			Zawartość w glebie Content in soil			
		plon ziarna grain yield [t·ha ⁻¹]	zawartość P P content [g·kg ⁻¹ s.m.]	pobranie P P uptake [kg·ha ⁻¹]	pH gleby pH of soil	C-ogólny C-total [g·kg ⁻¹]	P-przysw. P-avail. [mg·kg ⁻¹]	S-SO ₄ [mg·kg ⁻¹]
TRD	NPK	5,60	3,83	21,38	5,28	8,30	45,7	17,67
	NPKS	5,94	3,87	22,93	5,23	8,39	46,4	19,43
	średnio; mean	5,77	3,85	22,15	-	8,35	46,1	18,55
UPR	NPK	4,63	4,14	19,13	5,43	8,72	51,5	17,86
	NPKS	5,51	4,08	22,33	4,92	7,76	52,2	22,14
	średnio; mean	5,07	4,11	20,73	-	8,24	51,8	20,0
Średnio Mean	NPK	5,12	3,99	20,25	-	8,51	48,6	17,76
	NPKS	5,73	3,98	22,63	-	8,07	49,3	20,78
Średnio Mean (L)	2007	5,08	4,26	21,59	5,64	8,08	49,4	18,82
	2008	5,04	3,96	19,93	5,25	8,79	45,9	20,99
	2009	6,14	3,72	22,80	5,08	8,37	51,6	18,01

TRD – tradycyjna uprawa roli; conventional tillage

UPR – uproszczona uprawa roli; reduced tillage

Tabela 5. Współczynniki korelacji pomiędzy badanymi zmiennymi
Table 5. Correlation coefficients between study variables.

Zmienne Variables (n = 48)	Ziarno; Grain		pH	Gleba; Soil		
	zawartość P P-content	pobranie P P-uptake		C-ogółem C-total	P przysw. P-avail.	S-SO ₄
Plon ziarna Grain yield per ha	-0,542**	0,943**	-0,312*	-0,171	-0,077	0,084
Zawartość P w ziarnie Content of P in grain	-	-0,211	0,382**	0,353*	0,227	0,042
Pobranie P przez ziarno Uptake of P by grain	-	-	-0,201	-0,043	0,001	0,122
pH gleby pH of soil	-	-	-	0,469**	0,267	-0,043
Zawartość C ogólnego w glebie Content of C-total in soil	-	-	-	-	0,173	0,001
Zawartość P przysw. w glebie Content of P-avail. in soil	-	-	-	-	-	0,122

istotność; significance * $P = 0,05 - 0,285$, ** $P = 0,01 - 0,368$

Tabela 6. Współczynniki korelacji liniowej pomiędzy zawartością fosforu w ziarnie pszenżyta jarego a właściwościami gleby (n = 12)
Table 6. Coefficients of line correlation between P-content in grain of spring Triticale and parameters of soil (n = 12).

Uprawa roli Soil tillage	Nawożenie mineralne Mineral fertilization	Gleba Soil			
		pH	C-total	P-przysw. P-avail.	S-SO ₄
TRD	NPK	0,453	-0,157	-0,810*	-0,061
	NPKS	0,385	0,455	-0,054	0,023
UPR	NPK	0,650*	0,735**	0,406	-0,050
	NPKS	0,905**	0,686*	-0,314	0,224

istotność; significance * $P = 0,05 - 0,576$, ** $P = 0,01 - 0,708$

TRD – tradycyjna uprawa roli – conventional tillage

UPR – uproszczona uprawa roli – reduced tillage

padku uprawy tradycyjnej połączonej z nawożeniem NPK wystąpiła ujemna korelacja pomiędzy zawartością fosforu ogólnego w ziarnie a zawartością fosforu przyswajalnego w glebie ($r = -0,810$) (tab. 6).

Zawartość fosforu przyswajalnego w glebie zależała istotnie od sposobu uprawy roli, natomiast nawożenie mineralne nie miało na nią istotnego wpływu. Zawartość fosforu przyswajalnego wzrosła o 12,4% po zastosowaniu uproszczonej uprawy roli w stosunku do tradycyjnej. Nawożenie siarką w ilości 40 kg S·ha⁻¹ powodowało jedynie tendencję do wzrostu jego zawartości w glebie. Zawartość fosforu przyswajalnego w glebie korelowała istotnie ujemnie z zawartością fosforu ogólnego w ziarnie pszenżyta jarego w obiektach z uprawą tradycyjną, gdzie stosowano nawożenie NPK (tab. 6).

Zawartość siarki siarczanowej w glebie zależała od dodatku siarki do nawożenia NPK, a nie była zmieniana sposobami uprawy roli. Po zaaplikowaniu 40 kg S·ha⁻¹ zawartość siarki w glebie po zbiorze pszenżyta jarego wzrosła o 17% w stosunku do nawożenia bez siarki. Wystąpiła także tendencja wzrostu S-SO₄ w glebie uprawianej sposobem uproszczonym w stosunku do sposobu tradycyjnego. Zawartość siarki w glebie podlegała zmianom sezonowym. Nie

stwierdzono wpływu współdziałania uprawy roli z nawożeniem mineralnym na zawartość tej formy siarki w glebie (tab. 3-4). Zawartość siarki w glebie nie korelowała istotnie z zawartością fosforu ogólnego w ziarnie pszenżyta jarego (tab. 6).

Zastosowane sposoby uprawy roli i nawożenie mineralne nie powodowały zmiany zawartości C ogólnego w glebie pobranej po zbiorze pszenżyta jarego. Jedynie przebieg pogody różnicował ją w zakresie od 8,08 do 8,79 g·kg⁻¹. Odczyn gleby (pH) ulegał obniżeniu po zastosowaniu siarki do nawożenia NPK (tab. 3-4). Wykazano dodatnią korelację pomiędzy odczynem gleby a zawartością węgla ogólnego ($r = 0,469$), podczas gdy w przypadku pozostałych cech gleby nie wystąpił taki związek (tab. 5). Stwierdzono dodatnie korelacje pomiędzy odczynem gleby i zawartością węgla organicznego a zawartością fosforu ogólnego w ziarnie w obiektach z uproszczoną uprawą roli, bez względu na rodzaj nawożenia mineralnego (tab. 6).

DYSKUSJA

W przeprowadzonych badaniach uprawa tradycyjna pod pszenżyto jare powodowała istotny wzrost plonu ziarna o 13,8% w stosunku do uprawy uproszczonej. Starczewski i in. (1995) wykazali, że zmiana sposobu uprawy przedsięwziętej nie wpływała istotnie na wschody roślin, plon ziarna i jego strukturę. W innym doświadczeniu Starczewski i Czarnocki (2004) stwierdzili, że pszenżyto jare plonowało najwyższej w obiekcie z uprawą tradycyjną. Najmniejszy spadek plonu wystąpił w obiekcie traktowanym herbicydem, a niespełna 10% niższe plonowanie obserwo-

wano w obiekcie z talerzowaniem w uprawie poźniwej. Zastąpienie podorywki kultywatorowaniem czy zupełna rezygnacja z uprawy poźniwej oraz orka razówka tuż po żniwach powodowały spadek plonu ziarna o kolejne 5–10%. Tylko zupełne zrezygnowanie z orki powodowało statystycznie udowodniony 50% spadek plonowania. W odniesieniu do czynnika drugiego we własnych badaniach stwierdzono pozytywną reakcję rośliny na nawożenie siarczanem amonu ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ w ilości $40 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$, gdyż nastąpił istotny wzrost plonu ziarna (o 11,9%). Kłkocka (2004) stwierdziła brak reakcji pszenżyta jarego na nawożenie siarką w postaci siarczanu amonu w dawce $25 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$, dopiero podwyższenie dawki siarki do $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodowało istotny wzrost plonu ziarna. Podleśna i in. (2003) i Podleśna (2013) wykazali, że nawożenie pszenicy jarej siarką w dawce $60 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ wpływało istotnie na wzrost plonu ziarna. Potarzycki (2003) stwierdził, że plon jęczmienia jarego zwiększał się w miarę wzrostu dawki siarki. Wielkość uzyskanego plonu ziarna była także zależna od czynnika pogodowego. Niesprzyjające plonowaniu pszenżyta były sezony wegetacyjne 2007 i 2008, które były dość wilgotne w lipcu, natomiast w czerwcu rośliny mogły odczuwać niedostatek opadów. Odwrotnym układem warunków charakteryzował się sezon 2009, w którym plon ziarna był najwyższy. Jak wiadomo, w kształtowaniu plonu dużą rolę odgrywa suma i rozkład opadów (Dmowski, Dzieżyc, 2009; Radzka i in., 2009).

Wykazano, że zawartość fosforu ogólnego w ziarnie pszenżyta jarego zależała istotnie od zastosowanych sposobów uprawy roli i lat badań, natomiast nie miało na nią wpływu nawożenie mineralne oraz jego współdziałanie ze sposobem uprawy roli. Istotnie więcej P-og., o 6,9% było w ziarnie po zastosowaniu uprawy uproszczonej w stosunku do uprawy tradycyjnej. Małecka i in. (2014) nie stwierdzili bezpośredniego wpływu uproszczonych systemów roli na zawartość fosforu w ziarnie jęczmienia jarego. W badaniach własnych w zależności od sezonów wegetacyjnych ziarno zawierało od 3,72 do $4,26 \text{ g P} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Oznacza to, że rośliny były dobrze odżywione fosforem, gdyż, jak podaje Valsami-Jones (2004), zawartość krytyczna tego pierwiastka w zbożach wynosi od 0,20 do 0,29% P, niezależnie od organu rośliny. Gaj (2008) wykazała, że w warunkach klimatyczno-glebowych Wielkopolski, niezależnie od dawki fosforu w nawozach jego zawartość w ziarnie pszenicy ozimej wynosiła od 0,251 do 0,30%. Natomiast Małecka i in. (2014) podają wartości wyższe, od 0,38 do 0,40%.

Pobranie fosforu przez ziarno zależało od nawożenia mineralnego i czynnika pogodowego w poszczególnych latach badań. Istotnie większe pobranie, o 11,8% stwierdzono po dodaniu siarki do nawożenia NPK. Pobranie pierwiastka w zależności od lat badań wynosiło od 19,93 do $22,80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Podobne wyniki otrzymała Gaj (2008) w nawożeniu pszenicy ozimej zmiennymi dawkami fosforu. Lemanowicz (2011) podaje, że deficyt siarki w glebie

może ograniczyć pobieranie podstawowych składników pokarmowych, w tym fosforu, przez rośliny. Skwierawska i in. (2008) stosując w nawożeniu siarkę siarczanową i elementarną nie wykazały jednak istotnych zmian w zawartości i pobraniu fosforu przez całe rośliny, w tym ziarno jęczmienia jarego.

Zawartość fosforu przyswajalnego w glebie wzrosła o 12,4% po zastosowaniu uproszczonej uprawy roli w stosunku do tradycyjnej. Bielińska i in. (2008) stwierdzili statystycznie istotny przyrost zawartości fosforu przyswajalnego pod wpływem stosowania ograniczonej uprawy roli, przede wszystkim w powierzchniowej (0–10 cm) warstwie gleb. Nawożenie siarką w ilości $40 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodowało jedynie tendencję wzrostu zawartości fosforu ogólnego w glebie. Bezak-Mazur i Stoińska (2013) na podstawie przeglądu literatury donoszą, że największe znaczenie fosforu w przyrodzie wiąże się z jego przyswajalnością dla roślin z formy aktywnej, ruchomej i zapasowej. Fosfor aktywny występuje w roztworze glebowym w postaci jonów fosforanowych (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}), które są bezpośrednio pobierane przez korzenie roślin. Skowrońska i Filipek (2009) twierdzą, że utlenianie siarki w glebie powoduje wzrost stężenia jonów H^+ , zmniejszając tym samym dopływ dostępnego fosforu. Jednakże według Skwierawskiej i Zawartki (2009 a, b) w 0–40 cm warstwy gleby po dodaniu $120 \text{ kg S-SO}_4 \cdot \text{ha}^{-1}$ nastąpił wzrost zawartości fosforu przyswajalnego, przy jednoczesnym obniżeniu odczynu gleby (pH). Także Jaggi i in. (1999, 2005) zauważają tendencję wzrostu dostępności fosforu w glebie po zastosowaniu siarki. Wzrost ten wynika ze zmian pH gleby, konkurencji pomiędzy jonami siarczanowymi a produktami mineralizacji organicznych form fosforu oraz uwolnienia jonów glinu i żelaza, które reagują bardziej z siarczanami niż z jonami fosforanowymi. Gądor i Motowicka-Terelak (1986) twierdzą również, że gleby bogate w siarkę tworzą korzystne warunki do uwalniania fosforu ze związków trudno rozpuszczalnych.

Związki fosforu w glebie występują w formie organicznej i mineralnej (Chinchilla, 2010). Zawartość związków organicznych fosforu w glebie zależy od rodzaju gleby i wynosi od 15 do 80% fosforu całkowitego. Proces mineralizacji fosforu organicznego zależy od wilgotności, temperatury, odczynu i rodzaju gleby, a także od stosunku węgla organicznego do fosforu w glebie (Bezak-Mazur, Stoińska, 2013).

Zawartość siarki siarczanowej w glebie (oznaczana po uprawie roślin) po dodaniu $40 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ wzrosła o 17% w stosunku do nawożenia bez siarki. Kozłowska-Strawska i Kaczor (2004) również stwierdzili wzrost siarki siarczanowej w glebie (z 12 do 24 mg kg^{-1}) po zbiorze jęczmienia jarego nawożonego siarczanem amonu. Barrow (1960) i Kalembsa i in., (1995) uważają, że na dostępność siarczanów ma wpływ stosunek C:S w substancji organicznej gleby, a przy stosunku poniżej 200:1 następuje mineralizacja i uwalnianie siarczanów. Tabatabai (1986) podaje,

że jeżeli stosunek C:S wynosi powyżej 200–400:1, następuje w glebie przewaga immobilizacji siarki. W prezentowanym doświadczeniu stosunek ten wynosił przeciętnie 245:1, co mogło skutkować niezbyt wysokim uwalnianiem siarczanów.

WNIOSKI

1. W warunkach klimatyczno-glebowych Zamojszczyzny zastosowanie tradycyjnej uprawy roli i dodatku siarki w ilości 40 kg S·ha⁻¹ w formie siarczanu amonu do nawożenia NPK wpływa korzystnie na plon ziarna pszenżyta jarego.

2. Zawartość fosforu ogólnego w ziarnie była istotnie wyższa po zastosowaniu uproszczonej uprawy roli w stosunku do tradycyjnej. Dodatek siarki do nawożenia NPK spowodował istotny wzrost pobrania fosforu przez ziarno.

3. Stosowanie uproszczonej uprawy roli zwiększało zawartość fosforu przyswajalnego w glebie w porównaniu do uprawy tradycyjnej, natomiast dodatek siarki podwyższał zawartość siarki siarczanowej w glebie.

4. Zawartość fosforu w ziarnie korelowała dodatnio z odczynem gleby (pH) i zawartością węgla ogólnego w glebie.

PIŚMIENNICTWO

- Barrow N.J., 1960.** A comparison of the mineralization of sulfur from soil organic matter. *Australian Journal of Agricultural Research*, 11: 960-969.
- Bezak-Mazur E., Stoińska R., 2013.** The importance of phosphorus in the environment - review article. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, 15(3): 33-42.
- Bielińska E.J., Mocek A., Paul-Lis M., 2008.** Wpływ systemu uprawy na aktywność enzymatyczną gleb zróżnicowanych typologicznie. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 53(3): 10-13.
- Bloem E., Haneklaus S., Schroetter S., Schung E., 2002.** Optimization of a method for soil sulphur extraction. *Communication of Soil Science. Plant analysis*, 33(1-2): 41-51.
- Chinchilla R.F.C., 2010.** Phosphorus response and orthophosphate leaching in floritam St. Augustinegrass and Empire Zoysiagrass. University of Florida.
- Dmowski Z., Dziezyc H., 2009.** Potrzeby opadowe pszenicy jarej na glebach kompleksów pszennego dobrego i żytniego bardzo dobrego w północno-wschodniej Polsce. *Acta Agrophysica*, 13(1): 39-48.
- Gaj R., 2008.** Zrównoważone gospodarstwo fosforem w glebie i w roślinie w warunkach intensywnej produkcji roślinnej. *Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization*, 33: 1-143.
- Gaj R., Klikocka H., 2011.** Wielofunkcyjne działanie siarki w roślinie – od żywienia do ochrony. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 51(1): 33-34.
- Gądor J., Motowicka-Terelak T., 1986.** Wpływ zasarczenia gleb na ich właściwości oraz na plonowanie roślin w doświadczeniu lizymetrycznym. Cz. II. Wpływ zasarczenia gleb siarką elementarną na plonowanie i skład chemiczny roślin uprawnych. *Pamiętnik Puławski*, 88: 25-37.
- Grzebisz W., Przygocka-Cyna K., 2003.** Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim. *Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization*, 4(17): 64-77.
- Jaggi R.C., Aulakh M.S., Sharma R., 1999.** Temperature effects on soil organic sulphur mineralization and elemental sulphur oxidation in subtropical soils of varying pH. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 54: 175-182.
- Jaggi R.C., Aulakh M.S., Sharma R., 2005.** Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. *Biology and Fertility of Soils*, 41(1): 52-58.
- Kalembsa S., Amberger A., Symanowicz B., Godlewska A., 1995.** Zawartość organicznych i nieorganicznych związków siarki i fosforu w glebie po wieloletnim zróżnicowanym nawożeniu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 421a: 173-179.
- Klikocka H., 2004.** Wpływ nawożenia siarką na plon i skład chemiczny ziarna pszenżyta jarego oraz właściwości gleby. *Fragmenta Agronomica*, 21(3): 70-79.
- Klikocka H., Sachajko J., 2011.** Kompleksowa ocena agrotechnologii ziemniaka i pszenżyta jarego. *Rozprawy i Monografie* (4). Wyd. IAPAN Lublin, 128 ss.
- Klikocka H., Narolski B., Michalkiewicz G., 2014.** The effects of tillage and soil mineral fertilization on the yield and yields components of spring barley. *Plant Soil Environment*, 60(6): 255-261.
- Klikocka H., Wylupek T., Narolski B., 2015.** Analiza zawartości siarki w biosferze Zamojszczyzny. *Ochrona Środowiska*, 37(1): 33-42.
- Kozłowska-Strawska J., Kaczor A., 2004.** Wpływ nawożenia roślin różnymi związkami siarki na zawartość siarki siarczanowej w glebie. *Annales UMCS, E*, 59(2): 515-520.
- Lemanowicz J., Koper J., 2009.** Zawartość wybranych form fosforu w glebie i koniczynie łąkowej oraz aktywność fosfatyz glebowych na tle zróżnicowanego nawożenia mineralnego i organicznego. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, 9, 4(28): 119-139.
- Lemanowicz J., 2011.** Phosphatases activity and plant available phosphorus in soil under winter wheat (*Triticum aestivum* L.) fertilized minerally. *Polish Journal of Agronomy*, 4: 12-15.
- Lipiński W., 2000.** Odczyn i zasobność gleb w świetle badań Stacji Chemiczno-Rolniczych. *Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization*, 3a: 89-105.
- Machado S., Petrie S., Rhinhart K., Qu A., 2007.** Long-term continuous cropping in the Pacific Northwest: Tillage and fertilizer effects on winter wheat, spring wheat, and spring barley production. *Soil Tillage Research*, 94(2): 473-481.
- Małecka I., Bleharczyk A., Sawinska Z., Piechota T., 2014.** Wpływ systemów uprawy roli na produkcję biomasy nadziemnej jęczmienia jarego oraz pobranie makroskładników. *Fragmenta Agronomica*, 31(4): 65-74.
- Mocek A., Drzymała S., 2010.** Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wyd. UP Poznań, 264 ss.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991.** Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. *Katalog. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa*.
- Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R., 1982.** Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Second Edition. American Society of Agronomy, Inc and Soil Science Society of America, Inc Madison, Wisconsin.
- Podleśna A., Cacak-Pietrzak G., Sowiński M., 2003.** Reakcja pszenicy ozimej na nawożenie siarką w doświadczeniu po-

- lowym. Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization, 4(17): 169-179.
- Podleśna A., 2013.** Studia nad rolą siarki w kształtowaniu gospodarki mineralnej oraz wielkości i jakości plonu wybranych roślin uprawnych. Wyd. IUNG-PIB Puławy. Monografie i Rozprawy Naukowe, 37, 141 ss.
- Potarzycki J., 2003.** Rola siarki z superfosfatu prostego w nawożeniu jęczmienia jarego. I. Plon i jakość ziarna. Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization, 4(17): 180-192.
- Radzka E., Koc G., Bombik A., 2009.** Wpływ posuch na plonowanie pszenicy jarej w środkowowschodniej Polsce. Acta Agrophysica, 13(2): 445-454.
- Schillinger W., 2005.** Tillage Method and Sowing Rate Relations for Dryland Spring Wheat, Barley, and Oat. Crop Science, 45: 2636-2643.
- Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Terelak H., Koza P., Łysiak M., Gałązka R., Pecio M., Suszek B., Miturski T., Hryńczuk B., 2012.** Monitoring chemizmu gleb w Polsce w latach 2010-2012. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 196 ss.
- Skowrońska M., Filipek T., 2009.** Akumulacja azotu i fosforu przez kukurydzę pod wpływem ograniczonego nawożenia potasem. Proceedings of ECOpole, 3(1): 109-112.
- Skwierawska M., Zawartka L., Zawadzki B., 2008.** The effect of different rates and forms of applied sulphur on nutrient composition of planted crops. Plant Soil Environment, 54(5): 179-189.
- Skwierawska M., Zawartka L., 2009a.** Zmiany kwasowości gleby i plonowania roślin pod wpływem nawożenia siarką. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 538: 221-229.
- Skwierawska M., Zawartka L., 2009b.** Effect of different rates and forms of sulphur on content of available phosphorus in soil. Journal of Elementology, 14(4): 795-803.
- Starzewski J., Korsak M., Skrzyczyński T., 1995.** Wpływ przedsięwziętej uprawy roli na plonowanie pszenżyta jarego. Zeszyty Naukowe WSR-P Siedlce, Ser. Rolnictwo, 39: 7-13.
- Starzewski J., Czarnocki Sz., 2004.** Sposób uprawy roli a zachwaszczenie i plonowanie pszenżyta. Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura, 3(2): 69-76.
- Tabatabai M.A. (red.), 1986.** Sulphur in agriculture. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Valsami-Jones E., 2004.** Phosphorus in Environmental Technology Principles and Applications. IWA Publishing, London, 643 ss.

H. Klikocka, B. Szostak, R. Gaj, A. Głowacka, B. Narolski

THE UPTAKE OF PHOSPHORUS BY SPRING TRITICALE GRAIN AGAINST THE BACKDROP OF SOIL TILLAGE, MINERAL FERTILIZATION AND SOIL CHEMICAL PROPERTIES

Summary

The field experiment was conducted (2007–2009) on Cambisols in Zamojszczyzna – south-eastern Poland. The response of spring Triticale to different soil tillage regimes (conventional and reduced) and to two fertilization schemes: NPK (control) and NPK enriched with sulphur at a rate of 40 kg S·ha⁻¹ as ammonium sulphate.

The aim of the study was to estimate the effect of experimental factors on grain yield of spring Triticale, content of P in grain, uptake of P by grain and some factors of soil.

It was found that the use of conventional soil tillage and sulphur addition at a rate of 40 kg S·ha⁻¹ as ammonium sulphate increased grain yield of spring Triticale. Phosphorus content of the grain was significantly higher under the simplified soil tillage. The phosphorus uptake by grain was significantly higher after the addition of sulphur to NPK fertilization compared to the control treatment. Under reduced soil tillage content of available phosphorus in soil increased, while sulphur addition increased sulphate sulfur content of the soil. Phosphorus content of the grain was positively correlated with soil pH and with total carbon content of the soil.

key words: soil tillage, sulphur fertilization, phosphorus, grain, soil, spring Triticale