Fragm. Agron. 32(4) 2015, 63–72

WPŁYW NAWOŻENIA SIARKĄ NA PLONOWANIE PSZENICY OZIMEJ

Jarosław Potarzycki[1], Katarzyna Przygocka-Cyna, Jakub Wendel, Łukasz Biniek, Bartosz Ridiger

Katedra Chemii Rolnej i Biogeochemii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71F, 60-625 Poznań

Synopsis. Celem pracy była ocena wpływu formy chemicznej nawozu siarkowego i terminu stosowania na plonowanie pszenicy ozimej. Ocenie poddano 5 obiektów doświadczenia, w tym 4 warianty nawożenia siarką, w dawce odpowiadającej 25 kg S·ha^{-1}: (1) kontrola [bez S] (2) siarczan wapnia zawarty w superfosfacie prostym, przedsiewnie [SW] (3) siarka elementarna, przedsiewnie [S^{o}] (4) siarczan amonu, przedsiewnie, jesienią [SAM-J] (5) siarczan amonu pogłównie, wiosną przed ruszeniem wegetacji roślin [SAM-W]. Wykazano dodatni wpływ wszystkich testowanych nawozów na plon ziarna, a najsilniejsze działanie plonotwórcze wykazały SW i SAM-W, dla których średni przyrost plonu wyniósł 12%. Plon ziarna w największym stopniu zależał od liczby kłosów przypadających na jednostkę powierzchni, kształtowanej przez nawożenie siarką. W przypadku SAM-W dodatni wpływ siarki dotyczył także liczby ziarniaków w kłosie i masy 1000 ziarniaków. Efektem stosowania nawozów siarkowych było zmniejszenie udziału źdźbeł w biomasie nadziemnej, co wskazuje na ten organ jako źródło asymilatów dla rozwijających się ziarniaków.

Słowa kluczowe: pszenica ozima, nawożenie, siarka, komponenty plonu

WSTĘP

W przeszłości emisja siarki pochodzenia antropogenicznego nie tylko w pełni zaspokajała potrzeby pokarmowe roślin uprawnych lecz stanowiła zagrożenie dla agroekosystemów [Kaczor i Kozłowska 2000]. Obecnie stosowanie nawozów siarkowych jest istotnym elementem zrównoważonego rolnictwa [Till 2010], a w wielu regionach Świata składnik ten stanowi jeden z czynników minimum produkcji roślinnej [Grant i Hawkesford 2015]. W Polsce średnia depozycja siarki (S) w ostatnich latach kształtowała się na poziomie 12–14 kg·ha^{-1} [GUS 2014], co sprawiło, że bilans tego składnika na przeważającym obszarze kraju był ujemny [Grzebisz i Hardter 2006].

Z badań wykonanych w ramach „Monitoringu chemizmu gleb ornych w Polsce" wynika, że 94% analizowanych profili glebowych w całym kraju charakteryzuje się niską zawartością siarki siarczanowej [Siebielec i in. 2012]. Szczególnie narażone na wystąpienie niedoborów siarki są gleby piaszczyste (gruboziarniste), z których siarczany są łatwo wymywane [Motowicka-Terelak i Terelaka 1998].

Zboża pobierają mniej siarki niż rzepak i rośliny bobowate. Zakładając przeciętną wartość pobrania jednostkowego siarki (S) na poziomie 3–4 kg·t^{-1} [Jamal i in. 2010] i przyjmując wartość krytyczną dla całkowitej akumulacji jej przez roślinę uprawną, poniżej której może wystąpić ujemne saldo bilansowe tego pierwiastka na poziomie 14 kg·ha^{-1} [Grzebisz i Hardter 2006]

[1] Adres do korespondencji – *Corresponding address*: jarekpo@up.poznan.pl

realizacja potencjału plonotwórczego pszenicy ozimej bezwzględnie wymaga uwzględnienia tego makroelementu w systemie nawożenia. Problem nawożenia pszenicy ozimej siarką podjęto już w wielu pracach [Hoel 2011, Järvan i in. 2012, Karamanos i in. 2013, Kulháneka i in. 2014, Podleśna 2011]. Jednak optymalizacja nawożenia tym składnikiem, poza wyznaczeniem optymalnych dawek, wymaga także wyboru odpowiedniej formulacji chemicznej, oraz terminu stosowania nawozu, zarówno ze względów ekonomicznych jak i ekologicznych [Gallejones i in. 2012, Hawkesford 2012].

Celem pracy była ocena wpływu siarki zastosowanej w różnych formach chemicznych i terminach na plon pszenicy ozimej i jego strukturę.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono w latach 2004–2006 w gospodarstwie zlokalizowanym w Strzelcach Małych, w południowej Wielkopolsce (51°86′ N, 17°08′ E). Pszenicę ozimą odmiany Kobra uprawiano po przedplonie, którym był rzepak ozimy. Jednoczynnikowe doświadczenie polowe wykonano w czterech powtórzeniach analizując w porównaniu do obiektu kontrolnego (1) [bez S], następujące warianty nawożenia siarką: (2) siarczan wapnia pochodzący z superfosfatu prostego, przedsiewnie [SW], (3) siarka elementarna, przedsiewnie [S^o], (4) siarczan amonu przedsiewnie, jesienią [SAM-J], (5) siarczan amonu pogłównie, wiosną przed ruszeniem wegetacji roślin [SAM-W]. W każdym z wariantów zastosowano dawkę siarki 25 kg·ha^{-1} (S) w postaci odpowiedniego nawozu. Dawki pozostałych składników wynosiły: azot – 140 kg·ha^{-1} (20 kg·ha^{-1} jesienią i 120 kg·ha^{-1}, wiosną w dwóch terminach) w formie saletry amonowej, przy czym dawkę azotu zbilansowano uwzględniając ilość składnika zawartą w siarczanie amonu; potas – 120 kg·ha^{-1} (K_2O) w formie soli potasowej 60%; fosfor – 60 kg·ha^{-1} (P_2O_5) w formie superfosfatu potrójnego (przy ustalaniu dawki fosforu uwzględniono ilość tego składnika zastosowaną w wariancie nawozowym z superfosfatem prostym)

Doświadczenie corocznie zakładano na glebie lekkiej, o odczynie obojętnym i średniej zawartości przyswajalnego fosforu (tab. 1). Ilość przyswajalnego potasu w glebie oscylowała na granicy klas zasobności średniej i wysokiej, a zasobność w magnez była wysoka. Ilość siarki siarczanowej (S-SO_4) w glebie zawierała się w klasie zasobności niskiej (rok 2004) lub w dol-

Tabela 1. Właściwości agrochemiczne gleby (warstwa 0–0,30 m)
Table 1. Chemical properties of soil (depth 0–0.30 m)

Cecha gleby – Chemical properties	Lata – Years		
	2004	2005	2006
pH, 1 mol·dm^{-3} KCl	6,7	6,8	6,8
Węgiel organiczny – Organic carbon, g·kg^{-1} I/	14,4	16,0	16,2
Fosfor przyswajalny (P) – Available phosphorus, mg·kg^{-1} II/	62,7	65,4	65,8
Potas przyswajalny (K) – Available potassium, mg·kg^{-1} II/	101,3	136,9	138,0
Magnez przyswajalny (Mg) – Available magnesium, mg·kg^{-1} III/	56	55	55
Siarka siarczanowa (S-SO_4) – Sulphate (VI), mg·kg^{-1} IV/	9	17	18

I/ metoda – method Tiurin; II/ metoda – method Egner-Riehm, III/ metoda – method Schachtschabel, IV/ metoda nefelometryczna – method Bradsley-Lancaster

nych granicach wyznaczonych dla średniej zasobności (2005–2006). Warunki meteorologiczne w okresie wiosennej wegetacji pszenicy ozimej zamieszczono w tabeli 2. Plon ziarna pszenicy ozimej określano kombajnem poletkowym z powierzchni 16 m^2, a biomasę roślin i elementy plonu wyliczono na podstawie próbek pobranych z powierzchni 1m^2, w czterech powtórzeniach. W pracy obliczono indeksy ziarna, liści, źdźbeł i plew stanowiące udział tych organów w całej biomasie nadziemnej, wyrażając je w procentach. Interpretacji wyników dokonano w oparciu o analizę wariancji i współczynników ścieżki [Konys i Wiśniewski 1994].

Tabela 2. Warunki meteorologiczne w latach 2004–2006
Table 2. Meteorological conditions for years 2004–2006

Rok Year	Miesiąc Month	Opady – odchylenie od średniej wieloletniej Rainfalls – deviation from the long-term mean (%)	Temperatura – odchylenie od średniej wieloletniej Temperature – deviation from the long-term mean (°C)
2004	III	-24	1,6
	IV	-54	1,8
	V	18	-0,7
	VI	-42	0,0
	VII	-47	-0,4
2005	III	-5	0,4
	IV	-15	1,1
	V	40	-0,3
	VI	-37	0,4
	VII	-7	-1,4
2006	III	-40	-2,1
	IV	43	1,4
	V	-30	0,2
	VI	-39	1,7
	VII	-73	5,0

WYNIKI I DYSKUSJA

Plon ziarna pszenicy ozimej zależał od nawożenia, wykazując jednocześnie zmienność w latach, lecz między czynnikami nie wystąpiło współdziałanie. W porównaniu z kontrolą znaczący wzrost plonu udowodniono dla wszystkich testowanych nawozów, zawierających siarkę w dawce odpowiadającej 25 $kg \cdot ha^{-1}$ (tab. 3). Zhao i in. [1999] podają, że reakcja plonotwórcza pszenicy na nawożenie siarką może być bardzo zróżnicowana, wahając się w zakresie 5–50%, w zależności od warunków glebowych. Autorzy optymalną dawkę tego składnika dla pszenicy ozimej określili na poziomie około 20 $kg \cdot ha^{-1}$. Według Singh i in. [2014] maksymalna zwyżka plonu ziarna pszenicy uzyskana w wyniku nawożenia siarką wyniosła 26%. W badaniach własnych efekty plonotwórcze istotnie zależały od formy chemicznej nawozu, co potwierdza tezę, że strategia nawożenia musi uwzględniać dynamikę pobierania siarki przez roślinę uprawną w całym okresie wegetacji, gdyż remobilizacja tego składnika z organów wegetatywnych do ziarna jest

Tabela 3. Plon i elementy plonowania pszenicy ozimej
Table 3. Grain yield and yield components of winter wheat

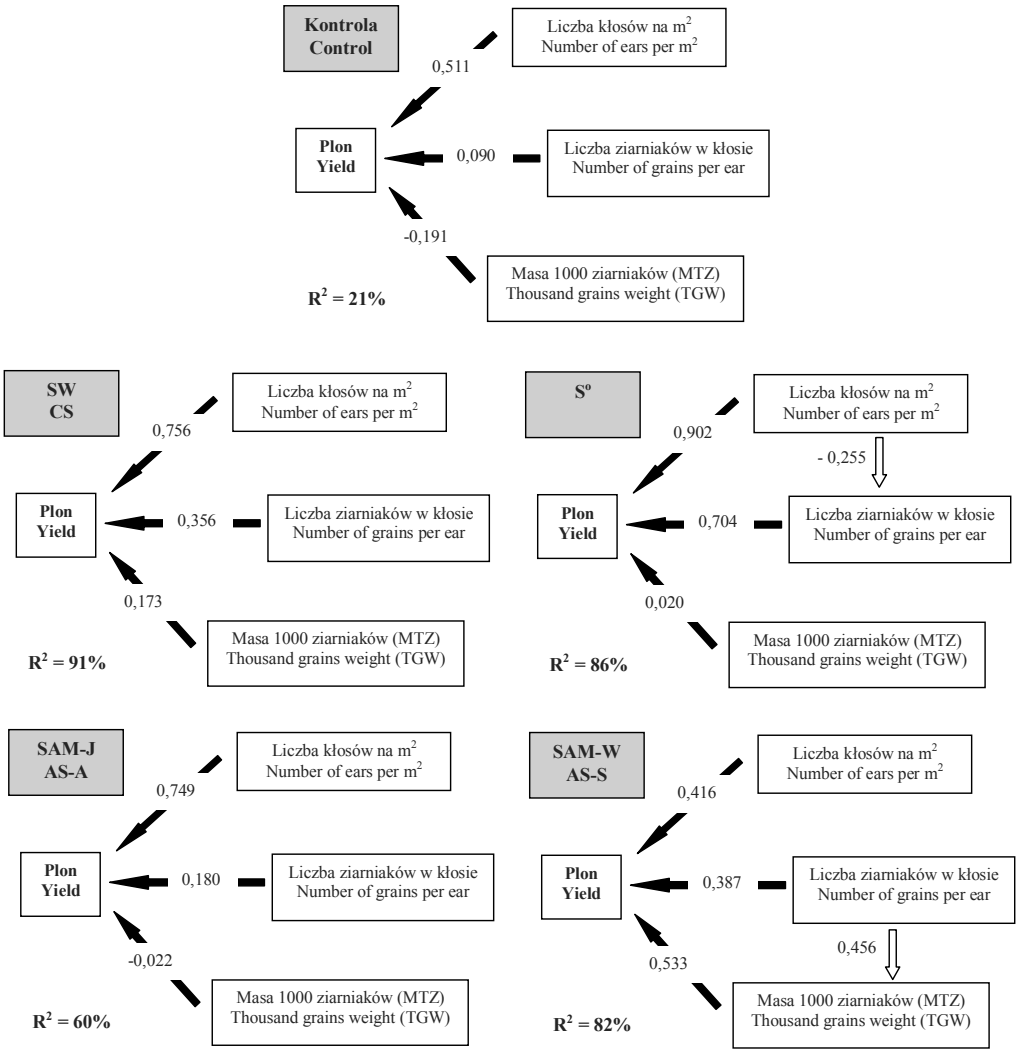
Czynnik doświadczalny[1/] Experimental factor[1/]	Plon ziarna Grain yield ($t \cdot ha^{-1}$)	Liczba kłosów na m^2 Number of ears per m^2	Liczba ziarniaków w kłosie Number of grains per ear	Masa 1000 ziarniaków Thousand grains weight (g)
Lata – Years				
2004	6,68	548	31,7	39,3
2005	5,21	503	27,7	37,6
2006	6,43	621	27,0	38,7
NIR – LSD	0,25**	30**	1,2**	0,8**
Nawożenie siarką – Sulphur fertilization				
Kontrola – Control	5,67	498	28,1	38,6
SW – CS	6,36	590	28,4	38,5
S^o	6,12	551	30,3	38,0
SAM-J – AS-A	6,03	585	28,9	38,2
SAM-W – AS-S	6,35	570	28,3	39,4
NIR – LSD	0,55**	39**	1,6*	0,9*
V, %	12,3	12,2	10,2	3,9

** $p < 0,01$; *$p < 0,05$;
[1/] objaśnienie – an explanation: SW – siarczan wapnia – CS – calcium sulphate, S^o – siarka elementarna – elemental Sulphur, SAM-J – siarczan amonu, jesień – AS-A – ammonium sulphate, autumm, SAM-W – siarczan amonu, wiosna – AS-S – ammonium sulphate, spring

ograniczona [Grant i Hawkesford 2015]. Największe plony odnotowano po zastosowaniu siarki w formie siarczanu wapnia (SW) i pogłównej aplikacji siarczanu amonu (SAM-W), a odnotowana zwyżka plonu wyniosła 0,69 $t \cdot ha^{-1}$ czyli 12%. Wprowadzenie do gleby siarki elementarnej (S^o) i siarczanu amonu przed siewem pszenicy ozimej (SAM-J) okazało się mniej efektywne, gdyż średni przyrost plonu dla tych wariantów wyniósł odpowiednio 8 i 6%. W tym kontekście zaskakująca może być silna reakcja pszenicy ozimej na nawożenie siarczanem wapnia (SW), porównywalna z wariantem, w którym wniesiono do gleby siarczan amonu w okresie wiosny (SAM-W). Działanie SW znajduje jednak uzasadnienie w konfrontacji z danymi literaturowymi. Girma i in. [2005] podkreślają rolę formy chemicznej nawozu siarkowego w kształtowaniu plonu, równie ważną jak dawka tego składnika. Autorzy ci odnotowali większe plony ziarna pszenicy ozimej po zastosowaniu siarczanu wapnia ($CaSO_4$) niż siarki elementarnej, tłumacząc to szybszą dostępnością siarczanów z gipsu, przy średnim poziomie opadów. Spośród testowanych wariantów nawożenia siarką najgorsze efekty uzyskano dla siarczanu amonu stosowanego przedsiewnie (SAM-J), co wynika prawdopodobnie z dużej rozpuszczalności tego nawozu i wymycia anionów siarczanowych w okresie jesienno-zimowym [Scherer 2001]. Dla tego nawozu korzystniejszy okazał się wiosenny termin aplikacji.

Analiza komponentów plonu pszenicy ozimej obejmuje określenie liczby źdźbeł kłosonośnych oraz produktywności kłosa odniesionej do liczby ziarniaków w kłosie i masy 1000 ziar-

niaków [Michalski 2009]. Z badań własnych wynika, że nawożenie siarką w największym stopniu kształtowało gęstość łanu (dla $p < 0,01$), podczas gdy dla pozostałych komponentów plonu różnice były istotne na poziomie $p < 0,05$ (tab. 3). Podobne wnioski, dotyczące dominującej roli składowej plonu kształtowanej najwcześniej, zawierają prace Järvan i in. [2012] oraz Hussain i Leitch [2007]. Ścisły związek między gęstością łanu a plonem ziarna tłumaczyć można pozytywnym wpływem siarki obecnej w roślinie na biosyntezę etylenu, którego działanie według Garcia del Moral [1999] sprowadza się do kontrolowania aktywności niektórych hormonów, poprzez: (1) ograniczenie syntezy i przemieszczania auksyn, a przez to zmniejszenie dominacji pędu głównego czyli promowanie krzewienia roślin; (2) zmniejszenie aktywności giberelin, co prowadzi do skrócenia słomy i zwiększenia średnicy naczyń przewodzących wodę i składniki pokarmowe do ziarniaków; (3) aktywację cytokinin stymulujących wzrost korzeni, zwłaszcza u nowo powstałych pędów bocznych. Na obiektach nawożonych siarką najmniej źdźbeł kłosononośnych odnotowano przy stosowaniu jej w formie elementarnej (S^o), co przyczyniło się do obniżenia plonu, mimo największej liczby ziarniaków w kłosie w tym wariancie badań (tab. 3). Wynika to prawdopodobnie z mniejszej dostępności siarczanów w okresie ruszania wiosennej wegetacji roślin, która jest wypadkową aktywności biologicznej gleby i warunków glebowych (odczyn, temperatura) kontrolujących procesy utleniania siarki elementarnej [Kulczycki 2015]. W efekcie działanie nawozów opartych o siarkę elementarną w niesprzyjających warunkach może okazać się zbyt wolne [Grant i Hawkesford 2015]. Najbardziej stabilną cechą (niezależną od nawożenia) okazała się masa 1000 ziarniaków, co potwierdzają wartości współczynnika zmienności (tab. 3, V=3,9%). Jedynie na obiekcie z siarczanem amonu stosowanym pogłównie (SAM-W) odnotowano istotny wzrost masy 1000 ziarniaków. Wyniki uzyskane w badaniach własnych potwierdzają zatem zdolność pszenicy ozimej do kompensacji struktury plonu. Przedsiewne nawożenie siarczanem wapnia (SW) skutkowało większą liczbą źdźbeł kłosonośnych przy mniejszej masie ziarniaków, natomiast po pogłównej aplikacji siarczanu amonu (SAM-W) zależności były odwrotne. W pracy wykonano analizę ścieżki, przyjmując jako zmienną zależną plon (Y), natomiast zmiennymi niezależnymi (x1, x2, x3) były komponenty plonu. Takie postępowanie diagnostyczne pozwala na określenie także wpływów pośrednich zachodzących między poszczególnymi składowymi plonu. Dla wariantów z siarczanem wapnia (SW) oraz z siarczanem amonu stosowanym jesienią (SAM-J) głównym determinantem plonu była liczba kłosów na jednostce powierzchni (rys. 1). Po zastosowaniu siarki elementarnej (S^o) ujawniło się działanie pośrednie składowej plonu kształtowanej najwcześniej, w efekcie którego większej gęstości łanu towarzyszyło zmniejszenie liczby ziarniaków w kłosie. Dla praktyki rolniczej oznacza to, że wprowadzając do systemu nawożenia pszenicy nawozy oparte o siarkę elementarną, której działanie ujawnia się w późniejszych stadiach rozwojowych, należy umiarkowanie stymulować rośliny do krzewienia produkcyjnego, po to by plantacja nie wytworzyła zbyt dużej liczby źdźbeł kłosonośnych. Interesująco przedstawiają się dane dotyczące wariantu z siarczanem amonu stosowanym pogłównie, w okresie wiosny (SAM-W). Jak wynika z analizy ścieżkowej w tym przypadku bezpośrednie oddziaływanie wszystkich ocenianych składowych plonu na wielkość zbiorów było podobne, co oznacza zrównoważenie układu zależności (dla R^2=82). Jednak najważniejszą obserwacją wynikającą z ryciny 1 jest dodatnie pośrednie działanie liczby ziarniaków w kłosie na plon, poprzez wpływ na masę 1000 ziarniaków. Zatem plonotwórcza rola siarki w wariancie SAM-W przejawiła się aż w trzech etapach kształtowania plonu poprzez: (1) ograniczenie redukcji liczby źdźbeł kłosonośnych, która jest procesem naturalnych i zachodzi na początku strzelania w źdźbło, (2) zwiększenie liczby ziarniaków w kłosie oraz (3) sterowanie procesem nalewania ziarna, który decyduje ostatecznie o masie 1000 ziarniaków.



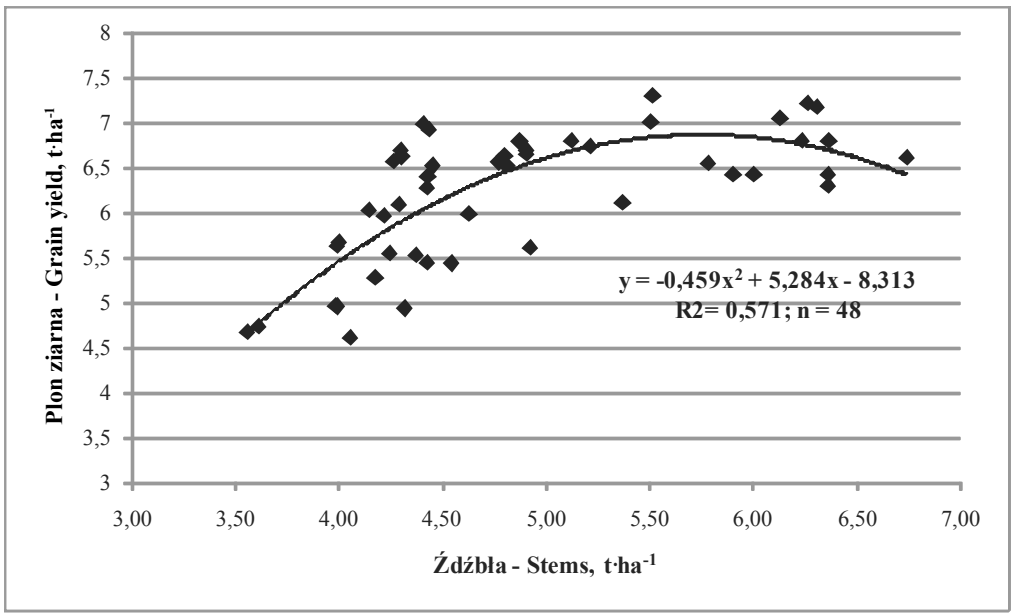
Rys. 1. Diagram analizy ścieżki dla elementów plonowania (n=12)
Fig. 1. The path-diagram of yield components (n=12)

Tabela 4 Biomasa pszenicy ozimej w stadium BBCH 91
Table 4. Biomass of winter wheat at stage BBCH 91

Czynnik doświadczalny Experimental factor	Całkowita biomasa Total biomass ($t \cdot ha^{-1}$)	Indeksy – indexes (%)			
		ziarna grain	liści leaves	źdźbeł stems	plew chaff
Lata – Years					
2004	15,22	43,9	6,7	39,3	10,1
2005	11,68	44,6	9,1	34,8	11,5
2006	13,95	46,2	9,8	32,7	11,3
NIR – LSD	0,46**	1,1**	0,5**	1,2**	0,9**
Nawożenie siarką – Sulphur fertilization					
Kontrola – Control	12,64	44,9	7,4	37,3	10,4
SW – CS	14,13	45,0	8,7	34,6	11,7
S^o	13,79	44,5	8,6	35,5	11,4
SAM-J – AS-A	13,45	44,9	8,9	35,5	10,7
SAM-W – AS-S	14,06	45,2	9,1	35,1	10,6
NIR – LSD	0,60**	r.n.	0,7**	1,5*	r.n.
V, %	12,4	4,4	20,9	10,0	13,4

** $p < 0,01$; *$p < 0,05$; r.n. – różnice nieistotne – not significant
/ objaśnienie – an explanation: SW – siarczan wapnia – CS – calcium sulphate, S^o – siarka elementarna – elemental Sulphur, SAM-J – siarczan amonu, jesień – AS-A – ammonium sulphate, autumm, SAM-W – siarczan amonu, wiosna – AS-S – ammonium sulphate, spring

Analogicznie do plonu ziarna, sucha masa liści i źdźbeł zależały od nawożenia siarką, a poszczególne nawozy działały niezależnie od lat badań. Stosowanie siarki znacząco zwiększało udział liści w całkowitej biomasie pszenicy, jednocześnie obniżając istotnie udział w niej źdźbeł (tab. 4). Wskazywać to może na udział siarki w przemieszczaniu się suchej masy ze źdźbeł do ziarników. Uwzględniając tylko warianty nawożone siarką (bez kontroli) w okresie trzech lat badań wyznaczono maksimum plonu ziarna dla masy źdźbeł wynoszące 5,76 $t \cdot ha^{-1}$ (rys. 2). W tym kontekście kluczowa staje się kontrola czynników wydłużających aktywność fizjologiczną źdźbeł w okresie nalewania ziarna, wśród których jednym z najważniejszych jest stosowanie azotu w późnych fazach rozwojowych pszenicy, co może także przyczynić się do utrzymania właściwego stosunku N:S w ziarniakach.



Rys. 2. Zależność między suchą masą źdźbeł a plonem ziarna
Fig. 2. The relationship between dry weight of stems and grain yield

WNIOSKI

1. Niezależnie od formy chemicznej siarki (S) w badanych nawozach potwierdzono dodatni wpływ tego składnika stosowanego w dawce 25 kg·ha^{-1} na plon ziarna pszenicy ozimej, a najsilniejsze działanie plonotwórcze wykazały siarczan wapnia pochodzący z superfosfatu prostego i siarczan amonu stosowany wiosną, dla których średni przyrost plonu wyniósł 12%.
2. Liczba źdźbeł kłosonośnych na jednostce powierzchni zależna od nawożenie siarką w największym stopniu determinowała plon ziarna pszenicy ozimej.
3. W systemie nawożenia siarką opartym o szybkodziałający siarczan amonu stosowany pogłównie wpływ komponentów plonowania na poziom plonu był zrównoważony, co oznacza istotną rolę siarki także w kształtowaniu liczby ziarniaków w kłosie i masy 1000 ziarniaków.
4. Siarka w zastosowanych nawozach istotnie wpływała na udział liści i źdźbeł w biomasie nadziemnej pszenicy ozimej.

PIŚMIENNICTWO

Gallejones P., Castello´n A., del Prado A., Unamunzaga O., Aizpurua A. 2012. Nitrogen and sulphur fertilization effect on leaching losses, nutrient balance and plant quality in a wheat–rapeseed rotation under a humid Mediterranean climate. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 93: 337–355.

Garcia del Moral L.F., de la Morena I., Ramos J.M. 1999. Effects of nitrogen and foliar sulphur interaction on grain yield and yield components in barley. J. Agron. Crop Sci. 183: 287–295.

Girma K., Mosali J., Freeman K.W., Raun W.R., Martin K.L., Thomason W.E. 2005. Forage and grain yield field response to applied sulfur in winter wheat as influence by source and rate. J. Plant Nutr. 28: 1541–1553.

Grant C., Hawkesford M.J. 2015. Sulfur. W: (eds.) Barker A.V. Pilbeam D.J. "Handbook of Plant Nutrition. Second Edition. " Wyd. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton – London – New York: 261–302.

Grzebisz W., Hardter R. 2006. ESTA® Kizeryt – naturalny siarczan magnezu. Wyd. K&S: ss. 126.

GUS 2014. Ochrona Środowiska 2014. Wyd. Główny Urząd Statystyczny. ss. 541.

Hawkesford M.J. 2012. Sulfate uptake and assimilation – Whole plant regulation. In: De Kok L.J., Tausz M., Hawkesford M.J., Hoefgen R., McManus M.T., Norton R.M., Rennenberg H., Saito K., Schnug E., Tabe L. (eds.). Sulfur Metabolism in Plants. Proceed. of the International Plant Sulfur Workshop 1. Springer Science + Business Media Dordrecht: 11–24.

Hoel B.O. 2011. Effects of sulphur application on grain yield and quality, and assessment of sulphur status in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Acta Agric. Scand., Sect. B – Soil Plant Sci. 61: 499–507.

Hussain Z., Leitch M.H. 2007. The effect of sulphur and growth regulators on growth characteristics and grain yield of spring sown wheat. J. Plant Nutr. 30: 67–77.

Jamal A., Moon Y.S., Abdin M.Z. 2010. Sulphur – A general overview and interaction with nitrogen. Aust. J. Crop Sci. 4: 523–529.

Järvan M., Edesi L., Adamson A. 2012. Effect of sulphur fertilization on grain yield and yield components of winter wheat. Acta Agric. Scand., Sect. B – Soil Plant Sci. 62: 401–409.

Kaczor A., Kozłowska J. 2000. Wpływ kwaśnych opadów na agroekosystemy. Fol. Univ. Agric. Stetin. 204, Agricultura 81: 55–68.

Karamanos R.E., Harapiak J.T., Flore N.A. 2013. Sulphur application does not improve wheat yield and protein concentration. Can. J. Soil Sci. 93: 223–228.

Konys L., Wiśniewski P. 1991. Analiza ścieżkowa w układach przyczynowo-skutkowych. Rocz. AR Poznań 153, Algor. Biometr. Statyst. 11: 37–54.

Kulczycki G. 2015. Wpływ nawożenia siarką elementarną na plon roślin i właściwości gleb. Wyd. UP Wrocław, Monogr. 186: ss. 114.

Kulháneka M., Balíka J., Černýa J., Peklováa L., Sedláře O. 2014. Winter wheat fertilizing using nitrogen-sulphur fertilizer. Arch. Agron. Soil Sci. 60: 67–74.

Michalski T. 2009. Wymagania środowiskowe oraz uprawa roli i siew w integrowanej produkcji pszenicy ozimej. W: Integrowana produkcja pszenicy ozimej i jarej. Korbas M., Mrówczyński M. (red.). Wyd. IOR-PIB Poznań: 9–23.

Motowicka-Terelak T., Terelak H. 1998. Siarka w glebach Polski – stan i zagrożenie. Wyd. PIOŚ, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: ss. 106.

Podleśna A. 2011. Yielding effect of nitrogen and sulfur at pot experiment conditions with winter wheat (*Trticum aestivum* L.). Ecol. Chem. Eng. A. 18(3): 401–405.

Scherer H.W. 2001. Sulphur in crop production – invited paper. Europ. J. Agron. 14: 81–111.

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 ornych w Polsce w latach 2010–2012. Bibl. Monit. Środ., Warszawa: ss. 196.

Singh P.S., Singh R., Singh M.P., Singh V.P. 2014. Impact of sulfur fertilization on different forms and balance of soil sulfur and the nutrition of wheat in wheat-soybean cropping sequence in *Tarai* soil. J. Plant Nutr. 37: 618–632.

Till A.R. 2010. Sulfur and sustainable agriculture. International Fertilizer Industry Association. Paris, France. ss. 71.

Zhao F.J., Hawkesford M.J., McGrath S.P. 1999. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. J. Cereal. Sci. 30: 1–17.

J. Potarzycki, K. Przygocka-Cyna, J. Wendel, Ł. Biniek, B. Ridiger

THE IMPACT OF SULPHUR FERTILIZATION ON YIELD OF WINTER WHEAT

Summary

The aim of the study was to evaluate the effect of the chemical form of sulphur fertilizers and the date of application on yield of winter wheat. Five experimental objects including four fertilized with surlphur were evaluated at a dose equivalent to 25 kg $S \cdot ha^{-1}$: (1) control [without S], (2) calcium sulphate derived from single superphosphate, before sowing [CS], (3) elemental sulphur, before sowing [So], (4) ammonium sulphate, before sowing, autumn [AS-A], (5) of ammonium sulphate, in the spring, before begin vegetation [AS-S]. A positive effect of all fertilizers on grain yield was shown yet the strongest yield-forming properties belonged to CS and AS-W for an average yield increase of 12%. The yield depended, to the greatest extent, on the number of ears per unit area, shaped by sulphur fertilization. In the case of AS-W, the positive effect of sulfur also affected the number of grains per ear and thousand grains weight (TGW). The effect of sulphur fertilizers application was to reduce the share of stems in the above the ground biomass, indicating the stems as a source of assimilates for the developing grains.

Key words: winter wheat, fertilization, sulphur, yield components

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 4.11.2015

Do cytowania – *For citation*:
Potarzycki J., Przygocka-Cyna K., Wendel J., Biniek Ł., Ridiger B. 2015. Wpływ nawożenia siarką na plonowanie pszenicy ozimej. Fragm. Agron. 32(4): 63–72.