

Katedra Ekonomii i Agrobiznesu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin
e-mail: hanna.klikocka@up.lublin.pl

HANNA KLIKOCKA , MAGDALENA CYBULSKA

Wpływ nawożenia azotem i siarką na plon ziarna i cechy jakościowe pszenicy jarej

The effect of nitrogen and sulfur fertilization on the grain yield
and quality characteristics of spring wheat

Streszczenie. W celu określenia wpływu azotu i siarki na plonowanie i jakość pszenicy jarej przeprowadzono ścisłe 3-letnie doświadczenie polowe w latach 2009–2011. Materiałem doświadczalnym była pszenica jara (*Triticum aestivum* L.) odmiany ‘Tybalt’ nawożona zróżnicowanymi dawkami azotu (czynnik I: 0, 40, 80, 120 kg·ha⁻¹) i siarki (czynnik II: 0, 50 kg·ha⁻¹). Doświadczenie założono metodą split-plot w czterech powtórzeniach w gospodarstwie indywidualnym w Malicach koło Hrubieszowa, na glebie średniej brunatnej dystroficznej typowej (BDt), wytworzonej z gliny piaszczystej średnioziarnistej (gpśr), zaliczonej do kompleksu żytniego dobrego. W fazie wegetacji pszenicy jarej BBCH 89–90 pobrano 96 próbek, z czego przeanalizowano 24 próbki średnie ziarna na zawartość białka ogólnego, glutenu, skrobi, wskaźnik sedymentacyjny Zeleny’ego i liczbę opadania. Po zbiorze ziarna oznaczono plon z poletka i przeliczono go na t·ha⁻¹. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że pszenica jara wykazała dodatnią reakcję, wyrażoną wielkością i jakością plonów, na nawożenie azotem i siarką. Najkorzystniejszy wpływ na plon ziarna pszenicy i jakość ziarna miało zastosowanie azotu w dawce 80 i 120 kg·ha⁻¹ oraz nawożenie siarką w ilości 50 kg·ha⁻¹. Wartość badanych cech plonu i jakości ziarna pszenicy jarej były silniej determinowane nawożeniem azotem niż nawożeniem siarką. Większość badanych cech korelowała dodatnio pomiędzy sobą.

Słowa kluczowe: azot, siarka, plon, jakość ziarna

WSTĘP

W podnoszeniu wydajności i jakości *sensu stricto* produkcji roślinnej bardzo ważną rolę odgrywa zbilansowane nawożenie. W ostatnich latach przy ustalaniu potrzeb po-

karmowych roślin bierze się pod uwagę siarkę. To pierwiastek, który w latach 80. XX w. był postrzegany w paradygmacie wyłącznie niekorzystnego oddziaływania jego związków na ekosystemy [Bloem 1998, Klikocka 2010, 2011, Wójcikowska-Kapusta i in. 2019]. Jednakże w wyniku coraz częściej pojawiających się sygnałów o deficytach siarki w glebie zainteresowanie tymże składnikiem pokarmowym w kontekście jego niezbędności wzrosło [Klikocka i in. 2003, Brodowska 2013]. W Polsce objawy niedoboru siarki w rzepaku na początku lat 90. XX w. badali Grzebisz i Fotyma [1996]. Współcześnie problematyka ta skupia dużą uwagę naukowców, na co wskazuje rosnąca liczba doniesień naukowych potwierdzających istotność niedoboru siarki [Siebielec i in. 2017, Tabak i in. 2019].

Także drugi analizowany w pracy składnik pokarmowy – azot – jest bardzo ważny w produkcji roślinnej, ponieważ w największym stopniu decyduje o ilości oraz jakości zebranego plonu [Knapowski i Ralcewicz 2004, Klikocka i Cybulska 2014].

Współcześnie na całym świecie przeprowadzane są badania empiryczne, których celem jest ustalenie nawozowego wpływu azotu i siarki na plonowanie i jakość roślin uprawnych. Korzystne oddziaływanie azotu i siarki na wielkość i wartość biologiczną plonów odnotowuje się zwłaszcza w doświadczeniach z rzepakiem [Malhi i in. 2007]. Dołączenie siarki do podstawowego nawożenia zbóż azotem optymalizuje plony, ponieważ zwiększa wydajność jednostkową i poprawia jakość pozyskanego ziarna [Podleśna i in. 2003, Podleśna i Cacak-Pietrzak 2006, Stankowski i in. 2019]. Odpowiednio zbilansowane nawożenie S i N jest ważne z uwagi na interakcje podczas procesu pobierania i asymilacji azotu i siarki w roślinie [Pilbeam 2015]. Część interakcji między metabolizmem N i S z oddziaływania O-acetyloseryny, bezpośredniego prekursora cysteiny, przy czym stężenie tego aminokwasu siarkowego zależy od żywienia azotem [Hesse i in. 2004]. Siarka jako ważny składnik białka pszenicy wpływa na poprawę parametrów jakościowych mąki [Tea i in. 2007, Klikocka i Cybulska 2014, Dostálová i in. 2015, Klikocka i in. 2016].

Pszenica zwyczajna (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*) jest genetycznym heksaploidem, który pochodzi z Azji Środkowej. Została udomowiona 6000 lat p.n.e. i do dzisiejszych czasów jest zbożem o podstawowym znaczeniu w żywieniu *Homo sapiens*. Jest uprawiana na całym świecie, liczba jej odmian sięga 50 tys. Głównymi producentami są: Chiny, Indie, USA, Rosja i Francja. Polska zajmuje 17 miejsce w świecie pod względem uprawy pszenicy. W strukturze zasiewów naszego kraju pszenica zajmuje 22,3%. Uprawia się ją na powierzchni 2417 tys. ha, w tym odmian jarych 492 tys. ha. Średni plon w 2018 r. wynosił 4,06 t·ha⁻¹ [GUS 2020]. W krajowym rejestrze COBORU [2020] znajduje się obecnie 40 odmian pszenicy jarej zwyczajnej. Ziarno pszenicy przeznaczane jest na mąkę dla ludzi i paszę dla zwierząt. Mąka służy w głównej mierze do wyrobu pieczywa i makaronów. Jakość mąki zależy od wartości użytkowej ziarna, ta zaś od sposobu i warunków jej uzyskania [Rachoń i in. 2020].

Celem badań była ocena plonu pszenicy jarej i cech jakościowych ziarna w warunkach nawożenia azotem oraz siarką.

MATERIAŁ I METODY

Trzyletnie doświadczenie polowe zostało przeprowadzone w latach 2009–2011 w gospodarstwie indywidualnym w Malicach koło Hrubieszowa (woj. lubelskie) na glebie średniej brunatnej dystroficznej typowej (BDt), wytworzonej z gliny piaszczystej średnioziarnistej (gpśr) [PTG 2008], zaliczonej do kompleksu żyniego dobrego. Doświadczenie zostało założone metodą split-plot w 4 powtórzeniach. Odczyn gleby był kwaśny (pH = 5,6), zawartość przyswajalnego P wysoka (48,3 mg·kg⁻¹), zawartość K i Mg średnia (odpowiednio: 79,6 i 35,1 mg·kg⁻¹), a niska siarki ogólnej (S) i przyswajalnej (S-SO₄²⁻), odpowiednio 72 i 10,4 mg·kg⁻¹. Pod przedplon, którym był ziemniak, zastosowano obornik bydlęcy w ilości 30 t·ha⁻¹, a po zbiorze przedplonu została wykonana orka średnia (20 cm).

Doświadczenie obejmowało 2 czynniki:

1. nawożenie azotem w dawce: 0, 40, 80, 120 kg·ha⁻¹,
2. nawożenie siarką w dawce: 0, 50 kg·ha⁻¹.

Powierzchnia poletka wynosiła 30 m² (5 × 6 m). Siewu pszenicy jarej dokonano w III dekadzie marca. Przed siewem zastosowano nawozy fosforowe (superfosfat potrójny granulowany w dawce 90 kg P₂O₅·ha⁻¹) i potasowe (sól potasowa w dawce 100 kg K₂O·ha⁻¹). Nawozy azotowe w formie saletry amonowej (NH₄NO₃) w dawce 40 kg·ha⁻¹ zastosowano przedśiewnie. Dawkę azotu 80 kg·ha⁻¹ podano w dwóch terminach (przed siewem i w fazie BBCH 30–31), natomiast 120 kg·ha⁻¹ w trzech terminach (przed siewem i w fazach BBCH 30–31 oraz BBCH 55–59). Siarkę w dawce 50 kg·ha⁻¹ zastosowano dwukrotnie, dzieląc ją na dawki mniejsze: 1 dawkę podano przedśiewnie (40 kg S·ha⁻¹) w postaci kizerytu – MgSO₄ × H₂O, a drugą w fazie BBCH 55–59 w ilości 10 kg S·ha⁻¹ zastosowano dolistnie w formie siedmiowodnego siarczanu magnezu (MgSO₄ × 7H₂O) (3,2% roztwór SO₃ w 100 l wody) (tab. 1).

Tabela 1. Schemat aplikacji dawek azotu i siarki
Table 1. Scheme of nitrogen and sulfur doses application

Składnik Nutrient	Dawka Dose (kg·ha ⁻¹)	Termin stosowania – Application date		
		przed siewem before sowing	BBCH 30–31	BBCH 55–59
Azot Nitrogen	0	–	–	–
	40	40	–	–
	80	40	40	–
	120	40	40	40
Siarka Sulfur	50	40	–	10

Poletka o różnych kombinacjach nawozowych bilansowano w zależności od pH poprzez stosowanie wapna magnezowego i węgla wapnia.

Agrotechnika pszenicy jarej była prowadzona zgodnie z aktualnymi zaleceniami. Ziarniaki przed siewem zaprawiono zaprawą Vitavax 200 FS (s.a. karboksyna), w ilości

300 ml 100·kg⁻¹. Do niszczenia chwastów dwuliściennych i jednoliściennych zastosowano mieszaninę herbicydów Granstar 75 WG (s.a. sulfmetmetonmetyl) (20 g·ha⁻¹) i Puma Super 069 EW (s.a. fenoxaprop-P-etyl) (1 l·ha⁻¹) w fazie krzewienia się zboża (BBCH 28). Występowanie chorób podsuszkowych ograniczano, stosując w fazie strzeżenia w źdźbło (BBCH 30–32) Alert 375 SC (s.a. flusilazol + karbendazym) – 1,0 l·ha⁻¹, natomiast przeciw chorobom liści i kłosa, w stadium BBCH 58–59, Tilt CB 37,5 (s.a. propikonazol + karbendazym) w ilości 1 l·ha⁻¹. Do zwalczania szkodników zastosowano w stadium BBCH 58–59 preparat Decis 2,5 EC (s.a. deltametryna) w dawce 0,25 l·ha⁻¹. Z uwagi na to, że pszenica jara ‘Tybłat’ charakteryzuje się krótką słomą, odstąpiono od stosowania retardantu.

Suma opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym (III–VIII) 2009 r. wyniosła 349,1 mm i była mniejsza o 18,3 mm od sumy wieloletniej (1971–2005: 367,4 mm). W sezonie wegetacyjnym 2010 i 2011 opady przekroczyły sumę wieloletnią odpowiednio o 76,0 i 47,2 mm. Szczególnie wysokie opady obserwowano w maju (102,6 mm) i czerwcu (124,4 mm) roku 2009, natomiast lipiec był suchy (24,2 mm). W roku 2010 przekropne były również maj (98,2 mm), lipiec (143,5 mm) i sierpień (86,1 mm), natomiast czerwiec był optymalny (62,9 mm). W roku 2011 okres od kwietnia do czerwca charakteryzował się optymalnym rozkładem opadów, ale lipiec i sierpień były bardzo przekropne (148,0 i 133,6 mm). Sumy temperatur powietrza w analizowanych sezonach wegetacyjnych (III–VIII) były wyższe od sumy wieloletniej (1971–2005: 2553°C). I tak, w sezonie 2009 – o 99°C, w sezonie 2010 – o 162°C, a w sezonie 2011 – o 28°C. Generalnie w każdym miesiącu analizowanych lat temperatura powietrza przekraczała średnią temperaturę z wielolecia (tab. 2).

Tabela 2. Opady i temperatura powietrza w latach 2009–2011 w zestawieniu ze średnimi wieloletnimi (1971–2005) wg Stacji Meteorologicznej w Zamościu

Table 2. Rainfall and air temperatures of the years 2009–2011 as compared to the long-term mean (1971–2005), according to the Meteorological Observatory Station at Zamość

Czynniki pogodowe Weather factors	Rok Year	Miesiące – Months						Sum
		III	IV	V	VI	VII	VIII	
Opady Rainfall (mm)	2009	33,5	15,5	102,6	124,4	24,2	48,9	349,1
	2010	19,6	33,1	98,2	62,9	143,5	86,1	443,4
	2011	12,5	36,2	31,4	52,9	148,0	133,6	414,6
	LYM	26,1	44,1	65,5	78,9	98,4	54,3	367,4
Temperatura powietrza Air temperature (°C)	2009	1,2	11,3	13,8	20,0	20,0	20,1	2652
	2010	3,5	9,8	15,1	18,4	21,5	20,2	2715
	2011	2,8	10,6	13,4	18,5	20,0	18,9	2581
	LYM	1,6	7,9	14,1	16,8	18,4	17,8	2553

LYM – średnie dla wielolecia – long years means: 1971–2005

W czasie zbioru pobrano próbki ziarna (przy 11% wilgotności) w ilości 1 kg z poletka. Plon ziarna z poletka przeliczono na jednostkę $t \cdot ha^{-1}$. W próbkach ziarna oznaczono zawartość glutenu i skrobi oraz wartość wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego. Oznaczenia wykonano z zastosowaniem bliskiej podczerwieni za pomocą spektrometru firmy Pertin Inframatic typ IM9200. Liczbę opadania oznaczono na aparacie do oznaczania liczby opadania typu SWD-SŻ. Analizy wykonano w certyfikowanym Laboratorium w Małopolskiej Hodowli Roślin Sp z o.o., Centrala Nasienna w Zamościu. Zawartość białka ogólnego w ziarnie wyliczono jako iloczyn: $5,7 \times$ zawartość N [Zhao i in. 1997]. Plon białka ogólnego wyliczono jako iloczyn zawartości białka ogólnego w ziarnie i plonu ziarna. Zawartość azotu ogólnego oznaczono na aparacie CNS-2000 LECO w Laboratorium Katedry Ekologii Lasu Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

Analiza statystyczna. Do określenia wpływu czynników doświadczenia na badane cechy wykorzystano analizę wariancji Anova z funkcją testową F-Snedecora. Istotność różnic wykonano testem Tukeya ($\alpha = 0,05$). Wyliczony ponadto współczynnik zmienności (CV%) będący miarą rozrzutu wyników, jako iloraz standardowego odchylenia i średniej, oraz błąd standardowy. W celu określenia zależności i związków między badanymi cechami przeprowadzono analizę korelacji linowej, determinacji i regresji liniowej. Do wykonania analizy statystycznej posłużono się programami Excel 7.0 i Statistica 13.3 (StatSoft Polska 2017).

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że różnice w plonie ziarna, zawartości glutenu, zawartości i plonu białka ogólnego, wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego, liczby opadania były statystycznie istotne w zależności od zastosowanej dawki azotu (czynnik I) (tab. 3). Nawożenie azotem nie zmieniało istotnie jedynie zawartości skrobi w ziarnie pszenicy jarej. Azot zaliczany jest do najważniejszych pierwiastków plonotwórczych, mających niewątpliwie największy wpływ, nie tylko na wielkość plonu, ale także na parametry jakościowe ziarna i mąki, m.in. zawartość białka i glutenu morkrego, rozpuszczalność glutenu, liczbę opadania, wskaźnik sedymentacji Zeleny'ego, wodochłonność mąki czy objętość pieczywa [Tea i in. 2007, Klikocka i in. 2016, Tabak i in. 2019].

W przypadku drugiego czynnika – siarki – istotne różnice obserwowano w odniesieniu do wszystkich omawianych cech, z wyjątkiem zawartości w ziarnie skrobi i białka ogólnego. W tych przypadkach nie stwierdzono istotnego prawdopodobieństwa rozkładu funkcji testowej F przy $\alpha = 0,05$ oraz nie udowodniono istotnych różnic testem Tukeya (tab. 3). Opinię o korzystnym plonotwórczym działaniu siarki na plonowanie pszenicy jarej potwierdziły badania Podleśnej i in. [2003], Podleśnej i Cacak-Pietrzak [2006], Gondka i Gondek [2010], Brodowskiej [2013] oraz Klikockiej i Cybulskiej [2014].

Przeprowadzona analiza wariancji w przypadku wszystkich omawianych cech jakościowych pszenicy jarej nie wykazała statystycznie istotnego współdziałania czynników zastosowanych w doświadczeniu. Jednakże, chociaż nie potwierdzono tego statystycznie, można zauważyć, że wartości wszystkich analizowanych cech proporcjonalnie przy-

rastały na tle wzrastających dawek azotu i dodatku siarki. Oznacza to, że porównując interakcję czynnika II (nawożenie siarką) na tle różnych poziomów czynnika I (nawożenie azotem), stwierdzono korzystny trend, wynikający z dodatniego oddziaływania dodatku siarki do nawożenia azotem. Ten typ działania czynnika plonotwórczego, w tym przypadku nawozowego, sygnalizuje działanie addytywne siarki i ujawnia się w warunkach działania czynnika niedoborowego w stopniu umiarkowanie słabym, zgodnie z regułami określonymi przez prawo malejących przyrostów produkcji, znane jako prawo Mitscherlicha [Grzebisz 2009]. Generalnie współdziałanie addytywne składników ujawnia się wówczas, gdy zachodzi stały wskaźnikowy wzrost masy (plonu) w następnym zastosowanym drugim czynnikiem.

Obserwowano istotny wpływ czynnika pogodowego w odniesieniu do większości badanych cech. Jedynie wskaźnik sedymentacji Zeleny'ego i liczba opadania nie zależały od warunków pogodowych. Opisane zależności zostały potwierdzone w badaniach Woźniaka i Staniszewskiego [2007], z których wynika, że warunki pogodowe mają wpływ na cechy jakościowe ziarna. W badaniach cytowanych autorów niższa suma opadów atmosferycznych i wyższa suma temperatury powietrza sprzyjały wyższej zawartości białka i glutenu w ziarnie pszenicy oraz wyższej wartości wskaźnika Zeleny'ego. Woźniak i Staniszewski [2007] podają ponadto za innymi autorami, że szczególnie negatywnie na plon i jego jakość wpływają niedobory opadów w okresie kłoszenia, kwitnienia i zawiązywania ziarniaków, ciepłe i umiarkowanie wilgotne miesiące letnie zwiększają zawartość białka w ziarnie, chłodna i wilgotna pogoda w tym okresie zwiększa aktywność alfa-amylazy, co prowadzi do porastania ziarna, a umiarkowanie suchy i ciepły sezon wegetacyjny sprzyja gromadzeniu białka w ziarnie pszenicy ozimej, a zwłaszcza dużej zawartości glutenu oraz wysokiej wartości wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego.

Warunki meteorologiczne (tj. opady i temperatura powietrza) w okresie wegetacji pszenicy jarej w prezentowanym doświadczeniu w roku 2011 wpłynęły istotnie korzystnie na plon ziarna oraz zawartość w ziarnie glutenu i skrobi. Sezon wegetacyjny 2009 sprzyjał gromadzeniu białka ogólnego w ziarnie, co spowodowało również wzrost jego plonu. Natomiast warunki pogodowe w okresie wegetacji pszenicy jarej w latach 2009–2011 nie wpływały istotnie na zróżnicowanie wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego i liczby opadania w ziarnie pszenicy jarej.

Analiza wyników wykazała istotnie korzystny wpływ nawożenia azotem (czynnik I) na wielkość plonu ziarna pszenicy jarej oraz większość badanych cech jakościowych ziarna, z wyjątkiem skrobi. Plon ziarna najkorzystniejszy był po zastosowaniu dawki $80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($5,40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) i wzrósł o kolejne $0,19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (3,4%) po zastosowaniu dawki $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, lecz był to przyrost w granicach błędu statystycznego (tab. 3). Zawartość glutenu w ziarnie przyrastała istotnie wprost proporcjonalnie w miarę zwiększania dawki azotu i była najwyższa po zastosowaniu $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (34,15%).

W przypadku zawartości białka ogólnego i jego plonu oraz wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego i liczby opadania stwierdzono podobną reakcję i najwyższą wartość cech stwierdzono po zastosowaniu 80 i $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 3). Generalnie, z wyjątkiem skrobi, najkorzystniej na badane cechy oddziaływała dawka $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Tabela 3. Wpływ nawożenia azotem i siarką na plon i cechy jakościowe ziarna pszenicy jarej (2009–2011)

Table 3. The influence of nitrogen and sulfur fertilization on grain yield and values of quality traits of spring wheat (2009–2011)

Nawożenie Fertilization		Plon ziarna Grain yield (t·ha ⁻¹)	Zawartość Content (%)			Plon białka og. Total protein yield (kg·ha ⁻¹)	Wskaźnik sedymentacji Zeleny sedimentation (ml)	Liczba opadania Falling number (s)
S	N		Gluten	Skrobia Starch	Białko ogólne Total protein			
Numer cechy Number of features		1	2	3	4	5	6	7
0 S	0	4,03	25,23	62,2	14,47	514,8	32,00	224,3
	40	4,15	27,03	62,2	15,30	560,8	32,33	243,7
	80	5,36	29,70	62,2	15,80	748,2	33,33	255,7
	120	5,47	34,63	62,4	16,17	782,8	32,83	261,0
50 S	0	4,13	26,93	62,5	14,60	530,6	32,67	231,3
	40	4,38	28,70	62,6	15,70	607,7	33,00	245,3
	80	5,43	31,03	62,4	15,87	761,1	33,50	264,0
	120	5,72	33,67	62,4	16,40	829,8	34,00	265,7
Średnio Mean	0 S	4,75	29,15	62,3	15,43	651,6	32,63	246,2
	50 S	4,92	30,08	62,5	15,64	682,3	33,29	251,6
Średnio Mean	0 N	4,08	26,08	62,3	14,53	522,7	32,33	227,8
	40 N	4,27	27,87	62,4	15,50	584,2	32,67	244,5
	80 N	5,40	30,37	62,3	15,83	754,7	33,42	259,8
	120 N	5,59	34,15	62,4	16,28	806,3	33,42	263,3
Średnio Mean	2009	4,74	28,52	62,1	16,25	688,0	32,63	248,7
	2010	4,68	30,14	62,3	15,91	660,3	33,38	249,6
	2011	5,09	30,19	62,6	14,45	652,6	32,88	248,2
	Średnio Mean	4,83	29,62	62,3	15,54	667,0	32,96	248,9
CV%	N	13,80	10,2	0,1	4,1	17,5	1,4	5,6
	S	1,70	1,6	0,2	0,7	2,3	1,0	1,1
	L	3,73	2,6	0,4	5,0	2,3	0,9	0,2
	N × S	13,93	10,5	0,2	4,2	17,7	1,8	5,8
F obl. F-value	N	169,6	117,0	0,2	64,2	638,9	4,8	77,5
	S	7,7	8,3	4,0	5,1	33,0	7,1	8,6
	L	18,5	11,4	8,4	142,1	16,2	3,1	0,2
	N × S	0,6	3,9	0,8	0,6	3,1	0,7	0,6
NIR _{0,05} LSD _{0,05}	N	0,20	1,1	r.n.	0,3	18,5	0,9	6,4
	S	0,14	0,8	r.n.	r.n.	13,1	0,6	4,5
	L	0,18	1,0	0,3	0,3	16,0	r.n.	r.n.
	N × S	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

Zmienne: N – dawka azotu ($df_1 = 3, df_2 = 6$), S – dawka siarki ($df_1 = 1, df_2 = 6$), L – lata ($df_1 = 2, df_2 = 6$), N × S – dawka azotu × dawka siarki ($df_1 = 3, df_2 = 6$): gdzie df_1 – stopnie swobody zmiennej, df_2 – stopnie swobody błędu; CV% – współczynnik zmienności; Rozkład F-Snedecora; istotne różnice na poziomie $P < 0.05, P < 0.011$, NIR – najmniejsza istotna różnica; r.n. – różnica nieistotna

Variables: N – nitrogen dose ($df_1 = 3, df_2 = 6$), S – sulfur dose ($df_1 = 1, df_2 = 6$), L – years ($df_1 = 2, df_2 = 6$), N × S – nitrogen dose × sulfur dose ($df_1 = 3, df_2 = 6$): where df_1 – degrees of freedom of variable, df_2 – degrees of freedom of error; CV% – coefficient of variation; F distribution of Snedecor value; significant differences at $P < 0.05, P < 0.011$, LSD – the smallest significant difference; r.n. – difference not significant

W przypadku nawożenia siarką (czynnik II) analiza wyników badań wykazała korzystny wpływ nawożenia NPK wzbogaconego w siarkę ($50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) na plon ziarna i cechy jakościowe. Pod wpływem dodatku siarki plon ziarna wzrósł istotnie – o $0,17 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, zawartość glutenu o $0,93\%$, plon białka ogólnego o $30,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, wartość wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego o $0,66 \text{ ml}$ i liczba opadania o $5,4 \text{ s}$. Zawartość skrobi i zawartość białka ogólnego wykazały natomiast dodatni trend wzrostu w reakcji na nawożenie siarką (tab. 3). Nawożenie pszenicy ozimej siarką w dawce 60 kg S na hektar w badaniach Podleśnej i in. [2003] prowadziło do wzrostu plonu ziarna (o 11%), zawartości białka (o 1%) i glutenu w ziarnie (o 2%), a także wzrostu szklistości, liczby opadania i objętości pieczywa. Opinię o korzystnym plonotwórczym działaniu siarki na plonowanie pszenicy jarej potwierdziły badania Gondka i Gondek [2010].

Wykazano, że współdziałanie nawożenia azotem i siarką w odniesieniu do wszystkich badanych cech było nieistotne. Można jednak zauważyć, że nawożenie siarką zwiększało oddziaływanie azotu i po wniesieniu siarki wzrastała ranga badanych cech na tle każdego poziomu dawki N, przy czym bardzo korzystne okazało się stosowanie dawek 80 i $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ i nawożenia siarką w ilości $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nawożenie siarką (czynnik II) powodowało, że niezależnie od dawki azotu (czynnik I) wartość badanych cech ulegała poprawie (choć nie potwierdzono tego statystycznie). Należy także zauważyć, że przyrosty te po zastosowaniu dawki azotu $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w stosunku do dawek mniejszych były mniej korzystne niż w przypadku dawki $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w odniesieniu do $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zjawisko to należy tłumaczyć prawem malejących przyrostów produkcji (prawo Mitscherlicha) [Grzebisz 2009]. Generalnie należy stwierdzić, że wysoką efektywność plonotwórczą siarki można jednak osiągnąć tylko w warunkach jej dużego niedoboru [Wielebski 2006, Klikocka i Cybulska 2014]. Zdaniem Eriksena i in. [2001] oraz Inal i in. [2003] dodatnie zależności między dawką siarki a zawartością tego składnika w roślinie wskazują na niewielką zdolność do pobierania i redystrybucji tego składnika, tym samym mogą charakteryzować dostępność siarczanów w glebie. W badaniach własnych stwierdzono zależność pomiędzy zawartością siarki w ziarnie pszenicy jarej i wielkością jego plonu. Można na tej podstawie wysnuć wniosek, że siarka nie podlegała efektowi rozcieńczenia i jej zawartość kształtowała się na optymalnym poziomie do końca wegetacji roślin.

Ziarno przeznaczone na cele konsumpcyjne powinno charakteryzować się wysoką wartością technologiczną, określaną przez parametry jakościowe ziarna i mąki, m.in. zawartość białka, ilość i rozplywalność glutenu, wskaźnik sedymentacji, liczbę opadania, wyrównanie ziarna, wodochłonność mąki, objętość pieczywa [Podolska 2007]. W literaturze naukowej wiele miejsca poświęca się zagadnieniu nawożenia azotem pszenicy jakościowej oraz jego wpływu na plon i wartość technologiczną ziarna [Klikocka i in. 2016]. Natomiast znacznie mniejszy nacisk kładzie się na nawożenie pozostałymi składnikami mineralnymi, w tym siarką [Tabak i in. 2019]. A jak wiadomo, wysokość, a także jakość plonu, zgodnie ze znanym prawem minimum, uzależniona jest od składnika pokarmowego, który występuje w ilościach najmniejszych w stosunku do potrzeb rośliny [Grzebisz 2009]. Bardzo ważnym elementem uprawy pszenicy jakościowej jest jej przydatność do celów piekarskich. Järwan i in. [2008] stwierdzają, że zastosowanie siarki w doświadczeniu z pszenicą ozimą nie wpływało jednoznacznie na zawartość

białka i glutenu mokrego w ziarnie, ale we wszystkich doświadczeniach zwiększeniu uległ indeks glutenu, a jakość białka uległa poprawie.

Analiza współczynnika zmienności wskazuje generalnie, że zmienność badanych cech pod wpływem stosowania nawożenia azotem i siarką oraz współdziałania tych czynników była niewielka i nie przekroczyła 20%. Plon ziarna pszenicy jarej wykazał zmienność w reakcji na nawożenie azotem 13,80%, na nawożenie siarką 1,70% oraz na współdziałanie tych czynników 13,93%. Niewielką zmienność plonu ziarna powodował również czynnik pogodowy ($CV\% = 3,73$). W przypadku cech jakościowych ziarna większą zmienność wartości badanych cech powodowało nawożenie azotem ($CV\% =$ od 0,1 do 17,5) i jego współdziałanie z nawożeniem siarką ($CV\% =$ od 0,2 do 17,7), aniżeli bezpośrednie nawożenie siarką ($CV\% =$ od 0,2 do 7,63). Najbardziej stabilnymi cechami były zawartość skrobi i wskaźnik sedymentacji Zeleny'ego. Najwyższą zmiennością charakteryzowała się zawartość glutenu oraz zawartość i plon białka ogólnego (tab. 3).

Pomiędzy plonem ziarna pszenicy jarej a wszystkimi pozostałymi cechami jakości ziarna, z wyjątkiem zawartości skrobi, uzyskano istotnie dodatnie korelacje. Najwyższy współczynnik korelacji uzyskano pomiędzy plonem ziarna a zawartością glutenu, plonem białka ogólnego i liczbą opadania. Cechy te w omawianej kolejności były determinowane w 66,1, 82,6 i 75,7% plonem ziarna. Najniższy współczynnik korelacji i determinacji wystąpił pomiędzy plonem ziarna a zawartością białka. Omawiane cechy korelowały również pomiędzy sobą (tab. 4 i 5).

Tabela 4. Współczynniki korelacji i determinacji oraz istotne równania regresji liniowej pomiędzy plonem ziarna pszenicy jarej i cechami jakościowymi ziarna

Table 4. Correlation and determination coefficients and significant linear regression equations between spring wheat grain yield and grain quality features

Badana cecha Tested feature ($n = 24$)	Współczynnik – Coefficient		Równanie regresji Regression equation $Y = b + ax$
	korelacji correlation (R)	determinacji determination (R^2)	
Zawartość glutenu Gluten content (%)	0,813	0,661	$Y = 0,228 + 0,171x$
Zawartość skrobi Starch content (%)	0,007	0,001	–
Zawartość białka og. Total protein content (%)	0,449	0,202	$Y = 1,671 + 0,265x$
Plon białka ogólnego Total protein yield ($kg \cdot ha^{-1}$)	0,909	0,826	$Y = 1,723 + 0,006x$
Wskaźnik sedymentacji Zeleny'ego Zeleny sedimentation (ml)	0,498	0,248	$Y = -8,799 + 0,413x$
Liczba opadania Falling number (s)	0,870	0,757	$Y = -9,811 + 0,042x$

Pogrubione cyfry – istotne różnice na poziomie $P < 0,05$ $R \geq 0,406$, istotne różnice na poziomie $P < 0,01$ $R \geq 0,517$
 Bold numbers – significant differences at $P < 0.05$ $R \geq 0.406$, significant differences at $P < 0.01$ $R \geq 0.517$

Tabela 5. Współczynniki korelacji pomiędzy badanymi cechami jakościowymi ziarna
Table 5. Correlation coefficients between the examined quality features of grain

Badana cecha Tested feature (n = 24)	Nr cechy Feature number	Współczynnik korelacji (R) Correlation coefficient (R)				
		3	4	5	6	7
Zawartość glutenu Gluten content (%)	2	0,106	0,414	0,513	0,696	0,796
Zawartość skrobi Starch content (%)	3		-0,341	-0,079	0,025	0,017
Zawartość białka og. Total protein content (%)	4			0,368	0,600	0,560
Plon białka og. Total protein yield (kg·ha ⁻¹)	5				0,007	0,624
Wskaźnik sedymentacji Zielonego Zeleny sedimentation (ml)	6					0,576
Liczba opadania Falling number (s)	7					

Pogrubiowane cyfry – istotne różnice na poziomie $P < 0,05$ $R \geq 0,406$, istotne różnice na poziomie $P < 0,01$ $R \geq 0,517$
Bold numbers – significant differences at $P < 0,05$ $R \geq 0,406$, significant differences at $P < 0,01$ $R \geq 0,517$

WNIOSKI

Przeprowadzone badania własne wykazały, że najkorzystniejszy wpływ na plon ziarna pszenicy jarej 'Tybalt' miało zastosowanie azotu w dawce 80 i 120 kg·ha⁻¹ oraz nawożenie siarką w ilości 50 kg·ha⁻¹. Wartości badanych cech jakościowych ziarna pszenicy jarej: zawartość glutenu, zawartość i plon białka ogólnego, wskaźnik sedymentacji Zielony'ego i liczba opadania zwiększały się istotnie proporcjonalnie wraz ze wzrostem dawki azotu. Nawożenie siarką w ilości 50 kg·ha⁻¹ powodowało istotny wzrost wartości omawianych cech, z wyjątkiem skrobi i białka ogólnego.

Generalnie należy stwierdzić, że w warunkach ujemnego bilansu siarki w glebach uprawnych Zamojszczyzny konieczne jest stosowanie siarki nawozowej. Ponieważ rolnictwo polskie przechodzi na integrowany system produkcji, to, biorąc pod uwagę, że nawożenie mineralne powinno być stosowane poniżej poziomu pobrania, proponuje się, aby wariant 80 kg N·ha⁻¹ w powiązaniu z 50 kg S·ha⁻¹ był zalecany do stosowania w praktyce.

PIŚMIENNICTWO

- Bloem E.M., 1998. Schwefel-Bilanz von Agrarökosystemem unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften. Landbauforschung Völkerröde, Sonderheft 192, 1–156.
- Brodowska M.S., 2013. Nawożenie mineralne jako czynnik determinujący wpływ siarki na plonowanie, skład chemiczny i jakość roślin uprawnych. Rozpr. Nauk. UP w Lublinie, 380, 159 ss.

- COBORU – Centralny Ośrodek Badania Odmian Rolniczych, 2020. Lista odmian roślin rolniczych wpisanych do krajowego rejestru w Polsce 2020, Słupia Wielka.
- Dostálová Y., Hřivná L., Kotková B., Burešová I., Janečková M., Šottníková V., 2015. Effect of nitrogen and sulphur fertilization on the quality of barley protein. *Plant Soil Environ.* 61(9), 399–404. <https://doi.org/10.17221/262/2015-PSE>
- Eriksen J., Nielsen M., Mortensen J., Schjorring J., 2001. Redistribution of sulphur during generative growth of barley plants with different sulphur and nitrogen status. *Plant Soil* 230, 239–246. <https://doi.org/10.1023/A:1010328115203>
- Gondek K., Gondek A., 2010. The influence of mineral fertilization on the yield and content of selected macro and microelements in spring wheat. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 55(1), 30–36.
- Grzebisz W., Fotyma E., 1996. Ocena odżywienia siarką rzepaku uprawianego w północno-zachodniej Polsce. *Rośl. Oleiste* 17(1), 275–280.
- Grzebisz W., 2009. Nawożenie roślin uprawnych. Część II. Nawozy i systemy nawożenia. Podstawy nawożenia. PWRiL, Poznań, 376 ss.
- GUS – Główny Urząd Statystyczny, 2020. Rocznik statystyczny rolnictwa. Warszawa.
- Hesse H., Nikiforova V., Gakière B., Hoefgen R., 2004. Molecular analysis and control of cysteine biosynthesis: Integration of nitrogen and sulphur metabolism. *J. Exp. Bot.* 55, 1283–1292. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh136>
- Inal A., Günes A., Alphaslan M., Adak M., Taban S., Eraslan F., 2003. Diagnosis of sulphur deficiency and effects of sulphur on yield and yield components of wheat grown in central Anatolia, Turkey. *J. Plant Nutr.* 26(7), 1483–1498. <https://doi.org/10.1081/PLN-120021056>
- Järwan M., Edesi L., Adamson A., Lukme L., Akk A., 2008. The effect of sulphur fertilization on yield, quality of protein and baking properties of winter wheat. *Agr. Res.* 6(2), 459–469.
- Klikocka H., Haneklaus S., Bloem E., Schnug E., 2003. Ocena potrzeb nawożenia ziemniaka siarką. *Naw. Nawoż./Fert. Fertiliz.* 4(17), 143–150.
- Klikocka H., 2010. Znaczenie siarki w biosferze i nawożeniu roślin. *Przem. Chem.* 89/7, 903–908.
- Klikocka H., 2011. Zasoby siarki w Polsce oraz jej znaczenie w przemyśle i rolnictwie. *Przem. Chem.* 90(9), 1000–1009.
- Klikocka H., Cybulska M., 2014. Sulphur and nitrogen fertilization of spring wheat. Mineral fertilization of spring wheat. Sarrbrucken, LAP Lambert Academic Publishing, 122 ss.
- Klikocka H., Cybulska M., Barczak B., Narolski B., Szostak B., Kobiółka A., Nowak A., Wójcik E., 2016. The effect of sulphur and nitrogen on grain yield and technological quality of spring wheat. *Plant Soil Environ.* 62(5), 230–236. <https://doi.org/10.17221/18/2016-PSE>
- Knapowski T., Ralcewicz M., 2004. Ocena wskaźników jakościowych ziarna i mąki pszenicy ozimej w zależności od zróżnicowanego nawożenia azotem. *Annales UMCS, E,* 59(2), 959–968.
- Malhi S.S., Gan Y., Raney J.P., 2007. Yield, seed quality, sulfur uptake of *Brassica* oilseed crops in response to sulfur fertilization. *Agron. J.* 99(2), 570–577. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0269>
- Pilbeam D.J., 2015. Nitrogen. In: A.V. Barker, D.J. Pilbeam, *Handbook of Plant Nutrition*. Second Edition. CRC Press/Taylor & Francis Group Boca Raton, London–New York, 17–63.
- Podleśna A., Cacak-Pietrzak G., Sowiński M., 2003. Reakcja pszenicy ozimej na nawożenie siarką w doświadczeniu polowym. *Naw. Nawoż./Fert. Fertiliz.* 4(17), 169–179.
- Podleśna A., Cacak-Pietrzak G., 2006. Kształtowanie plonu oraz parametrów przemiałowych i wypiekowych pszenicy jarej poprzez nawożenie azotem i siarką. *Pam. Puł.* 142, 382–391.
- Podolska G., 2007. Kształtowanie cech jakościowych ziarna pszenicy poprzez technologię produkcji. *Stud. Rap. IUNG-BIP* 9, 55–64.
- PTG – Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. *Roczn. Glebozn.* 60(2), 5–16.

- Rachoń L., Krochmal-Marczak B., Cebulak T., 2020. Przydatność ziarna jarej pszenicy zwyczajnej, twardej i orkiszowej do produkcji pieczywa w zależności od intensywności technologii produkcji. *Agron. Sci.* 75(2), 25–36. <https://doi.org/10.24326/as.2020.2.2>
- Siebielec G., Smereczak B., Klimkiewicz-Pawlas A., Kowalik M., Kaczyński R., Koza P., Ukalska-Jaruga A., Łysiak M., Wójtowicz U., Poręba L., Chabros E., 2017. Raport z III etapu realizacji zamówienia “Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2015–2017”. IUNG-PIB, Puławy, 190 ss.
- Stankowski S., Podolska G., Kaczmarek S., Jaroszevska A., Hury G., Sobolewska M., 2019. Influence of sulphur fertilization on yielding and chemical composition of grain of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in different habitat conditions. *J. Elementol.* 24(3), 1007–1023. <https://doi.org/10.5601/jelem.2018.23.4.1743>
- Tabak M., Lepiarczyk A., Filipek-Mazur B., Bachara P., 2019. The effect of fertilization with ammonium nitrate enriched with ammonium sulfate on the quantity and quality of winter wheat grain yield as well as on soil properties. *Plant Soil Environ.* 65, 211–217. <https://doi.org/10.17221/44/2019-PSE>
- Tea I., Genter T., Nault N., Lummerzhim M., Kleiber D., 2007. Interaction between nitrogen and sulfur by foliar application and its effects on flour bread-making quality. *J. Sci. Food Agric.* 87(15), 2853–2859. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3044>
- Wielebski F., 2006. Nawożenie różnych typów odmian rzepaku ozimego siarką w zróżnicowanych warunkach glebowych. Cz. II. Wpływ na jakość i skład chemiczny nasion. *Rośl. Oleiste* 26(2), 283–297.
- Wóźniak A., Staniszewski M., 2007. Wpływ warunków pogodowych na jakość technologiczną ziarna pszenicy jarej cv. Opatka i pszenicy ozimej cv. Korweta. *Acta Agrophys.* 9(2), 525–540.
- Wójcikowska-Kapusta A., Żukowska G., Myszcza M., 2019. Wpływ dodatku wapna poflotacyjnego i osadu ściekowego na zawartość siarki w profilach rekultywowanych gleb. *Przem. Chem.* 98(12), 2021–2025. <https://doi.org/10.15199/62.2019.12.30>
- Zhao F.J., McGrath S.P., Salmon S.E., Shewry P.R., Quayle R., Withers P.J.A., Evans E.J., Monaghan J., 1997. Optimising sulphur inputs for breadmaking quality of wheat. *Asp. Appl. Biol.* 50, 199–205.

Źródło finansowania: Badania sfinansowano ze środków na działalność statutową Zakładu Ogólnej Uprawy Roli i Roślin UP w Lublinie i Grantu na Badania Własne dla Doktorantów w latach 2009–2011. Koszty opublikowania pracy pokryto z dotacji dla dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo, UP w Lublinie w 2020 r.

Summary. In order to identify the influence of nitrogen and sulfur fertilizers on the yield and quality of spring wheat, a strict 3-year field experiment was carried out in 2009–2011. The subject of the experiment was spring wheat (*Triticum aestivum* L.) of ‘Tybalt’ cultivar fertilized with different doses of nitrogen (factor I: 0, 40, 80, 120 kg ha⁻¹) and sulfur (factor II: 0, 50 kg ha⁻¹). The experiment was carried out according to the split-plot method on an individual farm in Malice near Hrubieszów, on typical brown dystrophic medium (BDt) soil made from medium-grained sandy loam classified as a good rye complex. During the spring wheat vegetation phase BBCH 89–90, 96 grain samples were collected and 24 grain samples were analyzed for the content of total protein, gluten, starch, as well as Zeleny sedimentation index and falling number. After the harvest, the grain yield per plot was determined and converted into t ha⁻¹. Based on the conducted research, it was shown that spring wheat showed a positive response to nitrogen and sulfur fertilization, expressed in the size and quality of the yields. The use of nitrogen in the doses of 80 and 120 kg ha⁻¹

and sulfur fertilization in the amount of 50 kg ha⁻¹ had the most beneficial effect on the wheat grain yield and its quality. Values of the investigated yield characteristics and spring wheat grain quality were more strongly determined by nitrogen fertilization than sulfur fertilization. Most of the examined features positively correlated with each other.

Key words: nitrogen, sulfur, yield, quality of grain

Otrzymano – Received: 18.07.2020
Zaakceptowano – Accepted: 27.09.2020