

Plonowanie i jakość ziarna pszenicy ozimej uprawianej w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem i siarką

The yield and grain quality of winter wheat grown under conditions of differentiated nitrogen and sulfur fertilization

Tomasz Knapowski[✉], Wojciech Kozera^{ID}

Katedra Biogeochemii, Gleboznawstwa i Melioracji Wodnych, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, ul. Bernardyńska 6, 85-029 Bydgoszcz

✉knap@pbs.edu.pl

Ziarno pszenicy cechuje się wysoką wartością technologiczną, co stwarza możliwości jego wykorzystania w celach spożywczych, w tym jako surowiec do produkcji mąki i chleba. Jakość wypiekowa surowca powinna charakteryzować się optymalnymi wartościami wskaźników ją opisującymi. Mogą one być weryfikowane, m. in. poprzez nawożenie mineralne, w tym azotem i siarką. Przeprowadzono 2-czynnikowe badania polowe, założone metodą losowanych podbloków, w których materiał doświadczalny stanowiło ziarno pszenicy ozimej odmiany Skagen. Czynniki badawczy mi było zróżnicowane nawożenie azotem ($n = 4$: 80, 120, 160 kg N·ha⁻¹, kontrola) i siarką ($n = 3$: 20, 40 kg S·ha⁻¹, kontrola). Eksperyment miał na celu ustalenie wpływu czynników doświadczenia oraz ich współdziałania na plonowanie pszenicy oraz wartości wybranych cech technologicznych ziarna i uzyskanej z niego mąki (liczby opadania, białka ogólnego, glutenu mokrego, wskaźnika sedymentacji, objętości pieczywa). Stwierdzono, że każdorazowe zwiększanie dawek nawożenia azotem i siarką determinowało istotny wzrost plonu ziarna pszenicy ozimej. Najwyższe, istotne wartości liczby opadania odnotowano po wysiewie 80 kg N·ha⁻¹, a dla pozostałych analizowanych parametrów jakościowych po zastosowaniu 120 kg N·ha⁻¹. Z kolei aplikacja siarki w dawce 40 kg S·ha⁻¹ determinowała uzyskanie najkorzystniejszych wartości badanych wskaźników technologicznych w porównaniu do ich wartości z obiektów, gdzie stosowano 20 kg S·ha⁻¹ i obiektu kontrolnego. Przy czym udowodniono to statystycznie w stosunku do wartości liczby opadania, zawartości białka ogólnego i objętości pieczywa.

Słowa kluczowe: nawożenie azotem, nawożenie siarką, plon ziarna, pszenica ozima, wartość technologiczna ziarna

Wheat grain is characterized by high technological value, which creates opportunities for its use in food production, including as a raw material for flour and bread production. The baking value of the raw material should be characterized by optimal values of the indicators describing it. These can be verified, among other things, through mineral fertilization, including nitrogen and sulfur. In this regard, a 2-factor field study was conducted, using a randomized block method, where the experimental material was winter wheat grain of the 'Skagen' variety. The research factors were differentiated nitrogen fertilization ($n = 4$: 80, 120, 160 kg N·ha⁻¹, control) and sulfur fertilization ($n = 3$: 20, 40 kg S·ha⁻¹, control). The experiment aimed to determine the effect of the factors above and their interaction on wheat yield and the values of technological traits of the grain and the flour obtained from it (falling number, total protein, wet gluten, sedimentation index, bread volume). It was found that increasing doses of nitrogen and sulfur fertilization significantly increased the yield of winter wheat grain. The highest, significant values of the analyzed quality parameters of winter wheat (total protein, wet gluten, sedimentation index, bread volume) were recorded after applying 120 kg N·ha⁻¹, and for falling number after sowing 80 kg N·ha⁻¹. In contrast, sulfur application at a dose of 40 kg S·ha⁻¹ determined the achievement of the most favorable values of the tested technological indicators in comparison to their values from the objects where 20 kg S·ha⁻¹ was applied and the control object. This was statistically proven concerning the falling number values, total protein content, and bread volume.

Keywords: nitrogen fertilization, sulfur fertilization, grain yield, winter wheat, technological value,

Wstęp

Pszenica (*Triticum aestivum* L.) jest jednym z najczęściej uprawianych zbóż na świecie jak i w Polsce. Powierzchnia jej zasiewów w naszym kraju w 2023 roku wynosiła 7,188 mln ha i w stosunku do 2020 roku była niższa o 3,7%. Natomiast zbiory ziarna tego zboża (2023 r.) wynosiły 13,178 mln ton, co stanowiło około 37% całkowitej ilości zebranych zbóż (GUS 2024). Celem nowoczesnej uprawy pszenicy jest osiągnięcie, przy zastosowaniu jak najmniejszych nakładów, możli-

wie najwyższego efektu plonotwórczego, ale bardzo ważnym aspektem jest również jakość uzyskanego surowca. Zebrane ziarno, w zależności od kierunku jego użytkowania, powinno charakteryzować się optymalnymi wartościami cech technologicznych. Jedną z możliwości wykorzystania plonu pszenicy jest jego przeznaczenie na cele spożywcze, zwłaszcza do wypieku pieczywa. Aby osiągnąć założony cel uprawy, gatunek tego zboża wymaga starannych zabiegów agrotechnicznych, wśród których duże znaczenia ma nawożenie, w tym azotem i siarką. Azot jest jednym z najważ-

niejszych składników pokarmowych dla roślin. To kluczowy czynnik plonotwórczy zwiększający krzewienie produkcyjne i jednocześnie pełniący istotną rolę w kształtowaniu jakości kompleksu białkowego w ziarnie, co przekłada się na cechy wypiekowe (Faizy i in. 2017). O jego korzystnym wpływie na plon ziarna pszenicy i wartości parametrów technologicznych informują badania wielu autorów (Litke i in. 2018, Klikocka i Cybulska 2020, Jańczak-Pieniążek i in. 2020, Tsvey i in. 2021). Z kolei potrzeba stosowania siarki w uprawach rolniczych ujawniła się w ostatnich dekadach, co jest konsekwencją zmniejszonej jej imisji (Stankowski i in. 2015). Coraz więcej jest doniesień naukowych, które wskazują na ważność niedoboru tego składnika pokarmowego (Klikocka i in. 2016, Tabak i in. 2019). Dołączenie siarki do podstawowego nawożenia zbóż azotem może pozytywnie wpływać na efekt plonotwórczy, ponieważ zwiększa wydajność jednostkową i poprawia jakość zebranego surowca – ziarna i wymielonej z niego mąki (Hoel 2011, Hřivná i in. 2015, Järvan i in. 2017, Stankowski i in. 2019, Klikocka i Cybulska 2020). Według Klikockiej i in. (2016), siarka, która jest bardzo ważną składową kompleksu białkowego ziarniaków pszenicy, korzystnie determinuje wartości wskaźników jakościowych mąki. Z kolei Pilbeam (2015) wskazuje, że właściwie zbilansowana aplikacja azotu i siarki jest istotna ze względu na interakcje podczas procesu pobierania i asymilacji tych składników w roślinie. Wysookie nawożenie azotem przy niedoborach siarki powoduje zakłócenie stosunku N:S, co skutkuje zmniejszeniem wykorzystania azotu przez rośliny,

a tym samym spadkiem plonowania i pogorszeniem wartości parametrów technologicznych zebranego ziarna (Stankowski i in. 2015).

Przeprowadzone wstępne badania (kontynuowane w sezonach 2023/24 i 2024/25) miały na celu ustalenie wpływu nawożenia azotem i siarką oraz ich współdziałania na plonowanie pszenicy ozimej oraz wartości wybranych cech jakościowych ziarna i uzyskanej z niego mąki, co może decydować o kierunku wykorzystania na cele wypiekowe. Hipoteza badawcza zakładała, że wyżej wymienione czynniki zwiększą efekt plonotwórczy testowanego zboża i jednocześnie korzystnie będą oddziaływać na cechy technologiczne zebranego surowca.

Material i Metody

Materiałem badawczym było ziarno pszenicy ozimej odmiany Skagen (hodowca Borries-Eckendorf) zebrane z poletek dwuczynnikowego doświadczenia polowego, założonego metodą losowanych podbloków (w 3. powtórzeniach) na glebie kompleksu żytznego bardzo dobrego (IIIa). Charakteryzowała się ona obojętnym odczynem, średnią lub wysoką zawartością przyswajalnych form P, K i Mg (Tab. 1). Badania wstępne przeprowadzono w sezonie wegetacyjnym 2022/2023 w RZD Politechniki Bydgoskiej w Minikowie (53°10'2" N, 17°44'22"E). Zboże uprawiano w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem i siarką na tle stałego, wysianego jesienią, nawożenia fosforowo-potasowego (30 kg P·ha⁻¹ – 57% KCl, 103 kg K·ha⁻¹ – 46% superfosfat potrójny).

Tabela 1.
Table 1.

Właściwości fizykochemiczne gleby
Physicochemical properties of soil

Kwasowość hydrolityczna / Hydrolytic acidity Hh	pH _{KCl}	Zawartość / Contents				
		N _{ogółem} / N _{total}	C _{organiczny} / C _{organic}	przyswajalnego / available		
				P	K	Mg
mmol (+)·kg ⁻¹		g·kg ⁻¹			mg·kg ⁻¹	
10,97	6,77	0,97	8,98	118,79	212,62	87,47

Pierwszym czynnikiem było zróżnicowane nawożenie azotem (34% saletra amonowa) (n=4):

- dawki 80 kg N·ha⁻¹ (N₈₀) zastosowano wiosną, jednorazowo na ruszenie wegetacji,
- dawki 120 kg N·ha⁻¹ (N₁₂₀) podzielono: 80 kg wiosną na ruszenie wegetacji i 40 kg w pełni strzelania w żdźbło (34-37 BBCH),
- dawki 160 kg N·ha⁻¹ (N₁₆₀) podzielono: 80 kg wiosną na ruszenie wegetacji, 40 kg w pełni strzelania w żdźbło (34-37 BBCH) i 40 kg na początku kłoszenia (50-51 BBCH),
- obiekt kontrolny bez azotu – N₀.

Drugim czynnikiem badawczym była aplikacja dolistna siarki (n=3), tj.: 20 kg S·ha⁻¹ (S₂₀), 40

kg S·ha⁻¹ (S₄₀) oraz obiekt kontrolny bez nawożenia siarką (S₀). Zastosowano ją w fazie pełni strzelania w żdźbło (faza 34-37 wg skali BBCH) w formie siarczanu sodu (Na₂SO₄).

Przedplonem dla pszenicy ozimej był rzepak ozimy. Wszystkie zabiegi uprawowe, siew materiałem siewnym C/1 w ilości 160 kg·ha⁻¹ ziarna (24.09.2022) oraz zbiór (5.08.2023 przy pomocy kombajnu poletkowego Wintersteiger w fazie pełnej dojrzałości ziarna) wykonano zgodnie z wymaganiami agrotechnicznymi optymalnymi dla badanego zboża.

W Tabeli 2 przedstawiono warunki meteorologiczne panujące w czasie wegetacji pszenicy ozi-

mej w sezonie 2022/23 oraz za wielolecie 2003-2023. Można zauważyć, że w trakcie badań całkowita suma opadów była mniejsza o 13,9 mm, a średnia temperatura wyższa o 0,5°C w stosunku do wartości odnotowanych dla wielolecia. Poszczególne miesiące charakteryzowały się zmiennymi sumami opadów i średnimi temperaturami powietrza. W kwietniu, a zwłaszcza maju 2023 r.

stwierdzono niskie opady (niższe w porównaniu do wielolecia odpowiednio o: 18,8% i 38,0%). Z kolei różnice w średnich miesięcznych temperaturach od marca do maja oraz w lipcu 2023 r. w stosunku do średniej z 20-lecia nie przekraczały 0,7°C, natomiast czerwiec i sierpień był cieplejszy odpowiednio: 1,0 i 1,5°C.

Tabela 2
Table 2

Warunki meteorologiczne w sezonie wegetacyjnym 2022/2023 oraz w wieloleciu 2003-2023
Meteorological conditions in the 2022/2023 growing season and in the 2003-2023 multi-year period

Lata / Years	Miesiąc /Month												Cały sezon / All season
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Suma opadów / Total rainfall (mm)													
2022/23	54,1	28,3	19,8	31,1	21,6	30,3	61,6	21,2	20,5	57,9	69,5	96,8	512,7
2003-23	39,0	41,6	37,0	39,2	35,8	27,2	31,3	26,1	54,0	57,6	76,8	68,4	526,6
Średnia temperatura / Average temperature (°C)													
2022/23	12,1	10,3	3,6	0,7	2,7	1,2	3,7	7,8	12,9	18,3	18,7	20,6	9,4
2003-23	14,1	9,0	4,3	0,8	-1,3	-0,3	3,0	8,5	13,2	17,3	19,4	19,1	8,9

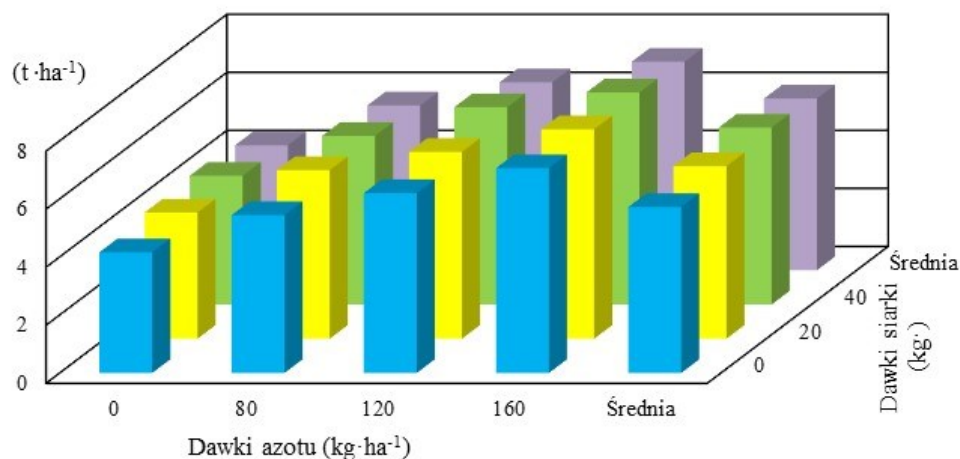
Plon ziarna (PLZ) zebrany z poletek doświadczalnych zważono i przeliczono na $t \cdot ha^{-1}$. Pobrano próbki ziarna do analiz chemicznych. Po ich oczyszczeniu i odpowiednim przygotowaniu oznaczono wartości parametrów technologicznych: gluten mokry (GL), białko ogólne (BO), wskaźnik sedymentacji (WS) (przy pomocy analizatora Infratec 1241), liczbę opadania (LO) (PN-ISO-3093:2010) oraz objętość pieczywa (OP) (PN-A-74108:1996).

Uzyskane wyniki badań poddano analizie wariancji w modelu właściwym dla sposobu założenia doświadczenia w polu. Do oceny różnic między średnimi obiektowymi stosowano wielokrotny test rozstępu Tukey'a z prawdopodobieństwem $p =$

0,05. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem pakietu programów statystycznych *Statistica 13 Pl*.

Wyniki i Dyskusja

Zbiory ziarna pszenicy w Polsce w 2023 roku, jak podaje GUS (2024), wynosiły 13,171 mln ton, co dało średnią z hektara na poziomie $5,38 t \cdot ha^{-1}$. W przeprowadzonym doświadczeniu badana odmiana, niezależnie od nawożenia azotem i siarką, charakteryzowała się wyższym PLZ, tj. $5,92 t \cdot ha^{-1}$ (Rys. 1), a zatem różnica wynosiła 10,0%. Wyższe plonowanie (od 7,0 do $11 t \cdot ha^{-1}$) odnotowano w pracach Murawskiej i in. (2014) oraz Buczka i Jańczak Pieniążek (2020).



Rys. 1 Plon ziarna pszenicy ozimej ($t \cdot ha^{-1}$) w zależności od poziomu nawożenia azotem i siarką.

Fig. 1 Grain yield of winter wheat ($t \cdot ha^{-1}$) depending on the level of nitrogen and sulfur fertilization.

Stwierdzono, że zróżnicowane nawożenie azotem i siarką oraz ich współdziałanie istotnie różnicowało PLZ testowanej pszenicy (Rys. 1). Wzrost poziomu nawożenia azotem w całym zakresie dawek powodował średnio zwiększanie efektu plonotwórczego. Najwyższą wartość tej cechy odnotowano po wysiewie 160 kg N·ha⁻¹ (7,19 t·ha⁻¹) i była ona wyższa w stosunku do plonów uzyskanych na obiektach N₀, N₈₀ i N₁₂₀ odpowiednio o: 66,8; 26,6 i 11,0%. Na korzystnie istotny wpływ wysokich dawek nawożenia azotem na plonowanie pszenicy ozimej wskazują badania Buczka i Jańczak-Pieniążek (2021). Odnotowali oni wyższy plon (o 0,61 t·ha⁻¹) po wysiewie 200 kg N·ha⁻¹ w porównaniu do obiektu, gdzie stosowano 150 kg N·ha⁻¹. Podobne zależności dotyczące wpływu wzrastających dawek azotu na zwiększanie PLZ w uprawie pszenic stwierdzono również w pracach innych autorów (Järvan i in. 2008, Murawska i in. 2014, Litke i in. 2018, Klikocka i Cybulska 2020, Tsvey i in. 2021).

Najkorzystniejszy, istotny statystycznie średni PLZ (6,10 t·ha⁻¹) badanego zboża po zastosowaniu siarki, uzyskano przy dawce 40 kg·ha⁻¹ (Rys. 1). Różnice w stosunku do obiektów S₀ i S₂₀ wynosiły 6,6 i 2,5%. Wzrost plonowania w zależności od nawożenia siarką w uprawie pszenicy ozimej odnotowano w doświadczeniach Stankowskiego i in. (2015) oraz Klikockiej i in. (2016).

Stwierdzono również statystycznie udowodniony wpływ interakcji badanych czynników na omawianą cechę. Najwyższą wartość (7,31 t·ha⁻¹) zauważono po wysiewie największych dawek N i S. Podobne zależności uzyskali Järvan i in. (2008, 2017) oraz Klikocka i Cybulska (2020).

Kompleks enzymatyczny ziarna charakteryzowany jest przez liczbę opadania. Zbyt niskie jej wartości informują, że takiego ziarna nie powinno przeznaczać się do wypieku chleba. Występuje wówczas zbyt wysoka aktywność α-amylazy, co może skutkować uzyskaniem produktu końcowego o złej jakości. Odnotowano, że średnia wartość LO dla odmiany Skagen wynosiła 497 s (Tab. 3).

Tabela 3.
Table 3.

Wartości cech technologicznych pszenicy ozimej
Values of technological features of winter wheat

Nawożenie S / S fertilization (2 czynnik / 2 nd factor) (kg·ha ⁻¹)	Nawożenie N / N fertilization (1 czynnik / 1 st factor) (kg·ha ⁻¹)				Średnia / average
	0	80	120	160	
Liczba opadania / Falling number (s)					
0	486	555	550	512	526a
20	484	517	494	490	496b
40	462	467	481	463	468c
Średnia / average	478b	513a	508a	488ab	497
Białko ogólne / Total protein (g·kg ⁻¹ s.m.)					
0	114	132	138	145	132b
20	118	126	133	146	131b
40	123	134	145	149	138a
Średnia / average	118d	132c	139b	146a	134
Gluten mokry / Wet gluten (%)					
0	28,2	32,0	35,2	36,0	32,9
20	29,1	31,0	34,7	34,6	32,4
40	26,9	31,7	36,9	35,9	35,5
średnia / average	28,1c	31,6b	35,6a	35,5a	32,7
Sedymentacja mąki / Sedimentation value (cm ³)*					
0	34,0	46,4	51,5	54,6	46,6
20	35,8	40,6	55,3	57,3	47,2
40	33,6	45,3	57,4	57,5	56,4
średnia / average	34,4c	44,1b	54,7a	6,4a	47,4
Objętość pieczywa / Bread volume (cm ³)					
0	472	495	507	516	498b
20	477	476	500	507	490b
40	488	505	512	529	509a
Średnia / average	479c	492b	507a	517a	499

* - istotne współdziałanie czynników / essential interaction of factors; a,b,c,d - różne litery za średnimi wartościami wskazują na istotne różnice (p < 0,05) / different letters behind the mean values indicate significant differences (p < 0.05)

Prace innych autorów wskazują na różnicowane średnie wartości tego parametru technologicznego ziarna pszennego, mieszczące się w przedziale od 224 do 463 s (Murawska i in. 2014, Knapowski i in. 2015, Litke i in. 2018, Klikocka i Cybulska 2020). Do przerobu na cele spożywcze, jak podają Makarewicz i in. (2012), najlepiej nadaje się ziarno pszeniczne o wartości LO mieszczącej się w przedziale od 250 do 400 s.

Litke i in. (2018) informują, że różnicowane nawożenie azotem powoduje istotne zmiany w wartości LO ziarna pszenicy. Stwierdzono to również w niniejszej pracy, przy czym statystycznie udowodniona w stosunku do wartości omawianej cechy okazała się dawka $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast dawki 120 i $160 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ wpłynęły na stopniowe obniżanie wartości LO w porównaniu do obiektu N_{80} .

Nawożenie siarką, podobnie jak w badaniach Stankowskiego i in. (2015), wpłynęło istotnie na wartość LO w ziarnie testowanej pszenicy (Tab. 3). Zanotowano korzystne zmniejszanie wartości omawianego wskaźnika (o 5,7% przy dawce $20 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz 11,0% przy dawce $40 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$) w porównaniu do obiektu bez aplikacji siarki.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zawartość BO w badanym ziarnie wynosiła średnio $134 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Tab. 3). Niższe wartości tej cechy (od 95 do $123 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) uzyskano w eksperymentach Murawskiej i in. (2014), Litke i in. (2018), Jańczak-Pieniążek i in. (2020) oraz Buczka i Jańczak-Pieniążek (2021). Z kolei w innych pracach ziarno pszenne cechowało się wyższymi zawartościami BO (od 136 do $155,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) (Makarewicz i in. 2012, Klikocka i Cybulska 2020).

Kompleks białkowy ziarna pszenicy charakteryzowany zawartością BO był istotnie weryfikowany różnicowanym nawożeniem azotem (Tab. 3). Każdorazowe zwiększanie dawki tego składnika pokarmowego powodowało wzrost zawartości BO w ziarnie. Po zastosowaniu maksymalnego nawożenia azotem wartość tej cechy wynosiła $149 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ i w stosunku do obiektów N_0 , N_{80} i N_{120} była wyższa, odpowiednio o: 21,1; 11,2 i 2,8%. Powyższe wyniki są zbieżne z danymi zawartymi w innych pracach (Klikocka i in. 2016, Litke i in. 2018, Buczek i Jańczak-Pieniążek 2021, Tsvey i in. 2021).

Aplikacja siarki przyczyniła się do zmiany ilości BO w ziarnie pszenicy. Najwyższą istotną wartość ($138 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) stwierdzono po zastosowaniu największej dawki tego składnika i wartość ta była wyższa od obiektu kontrolnego i S_{20} , odpowiednio o: 5,3 i 4,6%. Klikocka i in. (2016) informują, że nawożenie siarką pszenicy nie ma statystycznie istotnego znaczenia w stosunku do ilości BO w ziarnie. Natomiast korzystne oddziaływanie siarki na tą cechę udowodnili Järvan i in. (2008, 2017) oraz Stankowski i in. (2015).

Ilość i jakość glutenu mokrego to jedne z ważniejszych danych dotyczących wskaźników technologicznych pszenic przeznaczonych do celów wypiekowych. Gluten determinuje wzrost i rozwój ciasta w trakcie prowadzenia procesu wypieku, wpływając na odpowiednią strukturę i pulchność uzyskanego produktu. W przeprowadzonych badaniach średnia wydajność GL osiągnęła 32,7% (Tab. 2). Niższe wartości tego wskaźnika odnotowano w pracach Klikockiej i in. (2016), Järvana i in. (2017), Litke i in. (2018), natomiast wyższe w eksperymentach Makarewicz i in. (2012).

Wśród stosowanych czynników badawczych istotny wpływ na ilość GL w ziarnie testowanej pszenicy miało różnicowane nawożenie azotem. Najkorzystniejszą, w stosunku do wartości tej cechy (32,7%), okazała się dawka $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Podobne dodatnie zależności między nawożeniem azotem a wydajnością glutenu stwierdzono w pracach Klikockiej i in. (2016), Jańczak-Pieniążek i in. (2020) oraz Buczka i Jańczak-Pieniążek (2021).

Nawożenie siarką, niezależnie od dawki azotu, nie miało istotnego wpływu na wydajność GL w ziarnie badanej pszenicy. Należy jednak zaznaczyć, że najwyższą wartość omawianej cechy uzyskano po zastosowaniu $40 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$. Odmienne zależności odnotowali Stankowski i in. (2015) oraz Klikocka i in. (2016), wskazując na statystycznie udowodniony korzystny wpływ dawek 42 oraz $50 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ (wzrost w porównaniu do kontroli o 4,80 oraz 0,93%).

Średnia wartość WS w mące pszennej odmiany Skagen osiągnęła poziom $47,4 \text{ cm}^3$ (Tab. 3) i była wyższa w stosunku do średniej podanej w pracach przez innych autorów (Murawska i in. 2014, Litke i in. 2018, Buczek i Jańczak-Pieniążek 2021).

Zastosowanie różnicowanego nawożenia azotem oraz jego interakcja z aplikacją siarki istotnie wpływały na wartość WS określającego jakość glutenu (Tab. 3). Aplikacja azotu, w całym zakresie stosowanych dawek, determinowała wzrost jego wartości, ale istotną statystycznie okazała się dawka $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Przy czym wartość tej cechy osiągnęła poziom $54,7 \text{ cm}^3$ i była wyższa w stosunku do niższych obiektów doświadczalnych o 59,0% (kontrola) i 24,0% (N_{80}). Powyższe wyniki korespondują z badaniami innych autorów potwierdzających istotny wpływ nawożenia azotem na wzrost wartości WS mąki pszennej (Litke i in. 2018, Buczek i Jańczak-Pieniążek 2021). Współdziałanie badanych składników nawozowych wpływało na wartość WS, a istotnie największy wolumin tej cechy ($57,5 \text{ cm}^3$) odnotowano po zastosowaniu najwyższych dawek azotu i siarki.

Na objętość chleba, bezpośredni istotny parametr jakościowy decydujący o wartości wypiekowej surowca, mają wszystkie wcześniej oznaczone cechy. Objętość chleba w niniejszych badaniach

wynosiła 499 cm³. Zróżnicowane wartości tego wskaźnika (432-520 cm³) stwierdzono w doświadczeniach Knapowskiego i in. (2015).

Nawożenie azotem i siarką miały istotny wpływ na OP (Tab. 3). Wzrost dawek azotu, w całym zakresie, wpłynął efektywnie na zwiększenie objętości chleba, przy czym istotną okazała się dawka 120 kg N·ha⁻¹. Stwierdzono również, podobnie jak w badaniach Järvana i in. (2008, 2017), statystycznie udowodnione różnice w OP pod wpływem aplikacji siarki w uprawie testowanej pszenicy, a najwyższą jej wartość (509 cm³) odnotowano po zastosowaniu 40 kg S·ha⁻¹. Była ona wyższa w porównaniu do obiektu kontrolnego i obiektu S₂₀ odpowiednio o: 2,2% i 3,9%.

Wnioski

1. Zastosowane nawożenie azotem i siarką, w całym zakresie dawek, determinowało istotny wzrost plonu ziarna pszenicy ozimej.
2. Każdorazowe zwiększanie dawki nawożenia azotem, niezależnie od aplikacji siarki, powodowało istotny wzrost zawartości białka ogólnego w ziarnie. Natomiast istotnie najwyższą wartość tej cechy odnotowano po aplikacji 40 kg S·ha⁻¹, w stosunku do zawartości białka

w ziarnie zebranym z obiektu, gdzie stosowano 20 kg S·ha⁻¹ i obiektu kontrolnego.

3. Istotnie najwyższe, średnie wartości analizowanych parametrów technologicznych pszenicy ozimej, tj. ilości glutenu mokrego w ziarnie, wartości wskaźnika sedymentacji mąki, objętości pieczywa ze 100 g mąki oraz wartości liczby opadania, stwierdzono po zastosowaniu nawożenia: 120 kg N·ha⁻¹ oraz 80 kg N·ha⁻¹.
4. Zwiększanie dawki siarki do 40 kg·ha⁻¹, niezależnie od dawki azotu, powodowało istotne zwiększanie aktywności amylolitycznej ziarna. Ilość glutenu mokrego, wartość wskaźnika sedymentacji i objętość chleba osiągnęły najwyższe wartości po aplikacji 40 kg S·ha⁻¹, przy czym statystyczną istotność stwierdzono w przypadku objętości pieczywa i to jedynie w porównaniu do kontroli.
5. Interakcja nawożenia azotem i aplikacji siarką miała istotny wpływ na plon ziarna i wartość wskaźnika sedymentacji mąki. Największe wartości tych cech odnotowano po zastosowaniu maksymalnych dawek azotu i siarki.

Literatura

- Buczek J., Jańczak-Pieniążek M. 2021. Reakcja pszenicy hybrydowej na wysokie dawki azotu i nawożenie dolistne. Biul. IHAR, 296, 17–24. DOI: <https://doi.org/10.37317/10.37317/biul-2021-0010>
- Faizy S.E.D., Mashali S.A., Youssef S.M., Elmahdy S.M., 2017. Study of wheat response to nitrogen fertilization, micronutrients and their effects on some soil available macronutrients. J. Sus. Agric. Sci. 43 (1), 55–64. DOI: <https://doi.org/10.21608/jsas.2017.3491>
- Główny Urząd Statystyczny (red. Rozkrut D.). 2024. Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2024. Zakł. Wyd. Stat., Warszawa. stat.gov.pl
- 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 Agr. Scand., Sect. B, Soil Plant Sci. 61, 499–507.
- Hřivná L., Kotková B., Burešová I. 2015. Effect of sulphur fertilization on yield and quality of wheat grain. Cereal Res Commun. 43:344–352. DOI: <https://doi.org/10.1556/CRC.2014.0033>
- Jańczak-Pieniążek M., Buczek J., Tobiasz-Salach R., Bobrecka-Jamro D. 2020. Wpływ intensywności uprawy na produktywność mieszańcowych i populacyjnych odmian pszenicy ozimej. Biul. IHAR, 288, 59–66. DOI: <https://doi.org/10.37317/10.37317/biul-2020-0007>
- Järvan 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. Agron. Res., 6(2), 459–469.
- Järvan M., Lukme L., Adamson A., Akk A. 2017. Responses of wheat yield, quality and bread-making properties on the sulphur fertilization. Acta Agr. Scand., Sec. B - Soil Plant Sci., 67, 5, 444–452. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2017.1293725>
- Klikocka H., Cybulska M. 2020. Wpływ nawożenia azotem i siarką na plon ziarna i cechy jakościowe pszenicy jarej. Agr. Sci., 75, 3, 117–129. DOI: <https://doi.org/10.24326/as.2020.3.9>
- Klikocka H., Cybulska M., Barczak B., Narolski B., Szostak B., Kobińska A., Nowak A., Wójcik E. 2016. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat. Plant Soil and Environ., 62, 5: 230–236.
- Knapowski T., Kozera W., Murawska B., Wszelaczyńska E., Pobereżny J., Mozolewski W., Keutgen A.J., 2015. Ocena parametrów technologicznych wybranych odmian pszenicy ozimej pod względem wypiekowym. Inż. Ap. Chem., 54(5), 255–256.
- Litke L., Gaile Z., Ruza A. 2018. Effect of nitrogen fertilization on winter wheat yield and yield quality. Agronomy Research, 16(2), 500–509. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.18.064>
- Makarewicz A., Gąsiorowska B., Cybulska A., 2012. Wpływ dolistnego nawożenia azotem na wybrane parametry jakościowe ziarna pszenicy ozimej. Fragm. Agron., 29 (1), 105–113.
- Murawska B., Spychaj-Fabisiak E., Keutgen A., Wszelaczyńska E., Pobereżny J. 2014. Cechy technologiczne badanych odmian ziarna pszenicy ozimej uprawianych w warunkach Polski i Wielkiej Brytanii, Inż. Ap. Chem., 53, 2, 96–98.
- 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.
- PN-ISO 3093:2010. Zboża – Oznaczanie liczby opadania metodą Hagberga-Pertena.
- PN-A-74108:1996. Pieczywo. Metody badań. Warszawa: PKN.

- Stankowski S., Hury G., Sobolewska M., Opatowicz N., Bas-hutska U. 2015. Wpływ nawożenia siarką na plonowanie i jakość ziarna pszenicy ozimej. Науковий вісник НЛТУ України, 25,6, 174–177.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.5601/jelem.2018.23.4.1743>
- Tabak M., Lepiarczyk A., Filipek-Mazur B., Bachara P., 2019. Ammonium nitrate enriched with sulfur influences wheat yield and soil properties. Plant Soil Environ., 65, 211–217. DOI: <https://doi.org/10.17221/44/2019-PSE>
- Tsvey Y., Ivanina R., Ivanina V., Senchuk S. 2021. Yield and quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grain in relation to nitrogen fertilization. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín, 74(1), 9413–9422. DOI: <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n1.88835>