

## THE INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZATION ON THE YIELD AND CONTENT OF SELECTED MACRO AND MICROELEMENTS IN SPRING WHEAT

### Summary

*The assessment of the effect of fertilization on yielding and contents of selected macro- and microelements (nitrogen, sulphur, magnesium, copper and zinc) in the spring wheat yield was conducted in a three-year field experiment. Wheat fertilization with sulphur (irrespective of the applied fertilizer) caused a significant increase in yields of wheat grain in comparison with the yields from the treatment where solely nitrogen, phosphorus and potassium was used in the third year of the investigations. Irrespective of the applied fertilization, the greatest straw yield was gathered in the first year of the research, which unfavourably affected the value of grain yield to straw yield ratio. Sulphur fertilization introduced on the treatments NPK+S(S) and NPK+S(P), both in grain and straw caused a marked increase in nitrogen content as compared with this component content assessed in the biomass of plants not fertilized with sulphur. Sulphur content in grain and straw from the treatments where fertilization with this element was used did not differ in comparison with the content determined in wheat biomass from the object where sulphur was not applied. A significant diversification in the value of N:S ratio was observed. The highest values of this parameter in grain and straw were obtained on the treatments where wheat was fertilized with NPK+S. Due to high soil abundance in magnesium, practically no differences in this component content in wheat biomass from individual treatments were found. Considering the fodder value a deficient copper content was noted both in wheat straw and grain, whereas zinc content ranged within the optimal content values.*

## WPŁYW NAWOŻENIA MINERALNEGO NA PŁONOWANIE I ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH MAKRO I MIKROELEMENTÓW W PSZENICY JAREJ

### Streszczenie

*Ocenę wpływu zastosowanego nawożenia na plonowanie i zawartość wybranych makro i mikroelementów (azot, siarka, magnez, miedź, cynk) w plonie pszenicy jarej przeprowadzono w trzyletnim doświadczeniu polowym. Nawożenie siarką pszenicy jarej (niezależnie od zastosowanego nawozu) spowodowało istotny przyrost plonów ziarna pszenicy, w porównaniu do plonów z obiektu, w którym zastosowano wyłącznie nawożenie azotem, fosforem i potasem w trzecim roku badań. Niezależnie od zastosowanego nawożenia największy plon słomy stwierdzono w pierwszym roku badań, co miało niekorzystny wpływ na wartość stosunku plonu ziarna do plonu słomy. Wprowadzone nawożenie siarką w obiektach NPK+S(S) oraz NPK+S(P), zarówno w przypadku ziarna jak i słomy spowodowało istotne zwiększenie zawartości azotu, w porównaniu do zawartości tego składnika oznaczonej w biomacie roślin nienawożonych siarką. Zawartość siarki w ziarnie i słomie z obiektów, w których zastosowano nawożenie tym pierwiastkiem nie różniła się, w porównaniu do zawartości oznaczonej w biomacie pszenicy z obiektu, w którym siarki niestosowano. Stwierdzono istotne zróżnicowanie w wartości stosunku N:S. Największe wartości tego parametru w ziarnie i słomie uzyskano w obiektach, w których pszenicę nawożono NPK+S. Ze względu na wysoką zasobność gleby w magnez praktycznie nie stwierdzono różnic w zawartości tego składnika w biomacie pszenicy z poszczególnych obiektów. Zawartość miedzi zarówno w ziarnie jak i w słomie pszenicy wykazywała niedobór pod względem paszowym, natomiast zawartość cynku mieściła się w zakresie zawartości optymalnych.*

### 1. Wprowadzenie

Podstawowym zadaniem rolnictwa jest produkcja odpowiedniej jakości żywności. Efekt ten można osiągnąć przez zrównoważone nawożenie, dobór odmian oraz poprawną agrotechnikę. Niewłaściwe stosowanie nawozów, a obecnie również materiałów organicznych pochodzenia odpadowego do nawożenia gleb i roślin, może stwarzać zagrożenia dla środowiska przyrodniczego, w tym czystości wód i gleb oraz jakości plonów roślin.

Zrównoważone rolnictwo polega na harmonijnym łączeniu celów produkcyjnych, ekonomicznych, środowiskowych i społecznych gospodarowania na roli [1, 2]. Racjonalnie gospodarując składnikami pokarmowymi można nie tylko utrzymać, ale stopniowo zwiększać potencjał plonotwórczy gleb użytkowanych rolniczo.

Analizując zasobność gleb Polski w składniki pokarmowe, w próchnicę oraz zakwaszenie, coraz częściej spotykamy się ze stwierdzeniem o ich degradacji [3, 4]. Przyczyny takiego

stanu tkwią głównie w niewystarczającej ilości stosowanych nawozów, w tym wapniowych, a także zabiegi agrotechniczne, które wykonywane w zakresie dużych uproszczeń prowadzą do niekorzystnych zmian żyzności gleb. Coroczne odprowadzenie składników biogenych z plonami roślin oraz ich straty między innymi przez wymywanie wymuszają potrzebę nawożenia, w wyniku czego reguluje się ilości niezbędnych dla roślin składników pokarmowych [5, 6, 7].

Dostarczenie roślinie odpowiedniej ilości składników pokarmowych, przy zapewnieniu odpowiednich warunków glebowych jest podstawowym elementem determinującym uzyskanie oczekiwanego plonu o odpowiedniej jakości. Pszenica ze względu na duże znaczenie w żywieniu człowieka oraz duży potencjał plonowania zajmuje czołowe miejsce w powierzchni zasiewów roślin zbożowych nie tylko w Polsce, ale i na świecie [8]. Wartość technologiczna ziarna pszenicy w największym stopniu uwarunkowana jest genetycznie. Tym niemniej istotne znaczenie modyfikujące mają warunki środowiskowe i agrotechniczne.

Celem badań była ocena wpływu nawożenia mineralnego na plonowanie oraz zawartość azotu, siarki, magnezu oraz miedzi i cynku w ziarnie i słomie pszenicy jarej.

## 2. Materiał i metody badań

Ocenę wpływu nawożenia na plonowanie i zawartość wybranych makroelementów (azot, siarka, magnez) i mikroelementów (miedź, cynk) w plonie pszenicy jarej przeprowadzono w trzyletnim doświadczeniu polowym. Eksperyment zlokalizowano na gruncie ornym w pobliżu Krakowa (49°59,625' N; 19°41,910' E). Na podstawie odkrywek glebę z obszaru doświadczenia zaliczono do typu gleb pływowych, podtypu gleb opadowo-glejowych o składzie granulometrycznym gliny ciężkiej pylastej [38]. Odczyn gleby przed rozpoczęciem badań był lekko kwaśny ( $pH_{KCl} = 5,60$ ), zawartość węgla organicznego wynosiła  $15,32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , azotu ogólnego  $1,59 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , a siarki ogólnej  $0,41 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  suchej masy gleby. Zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu była wysoka.

Doświadczenie założono metodą losowanych bloków. Powierzchnia poletek do nawożenia wynosiła  $30 \text{ m}^2$  (5 m x 6 m). Schemat doświadczenia obejmował: glebę bez nawożenia – kontrola, glebę nawożoną azotem fosforem i potasem – NPK, glebę nawożoną azotem fosforem, potasem oraz siarką wprowadzoną z siarczanem amonu – NPK+S(S) oraz gleba nawożona azotem fosforem, potasem oraz siarką wprowadzoną z Potafoską – NPK+S(P).

Jesienią 2004 roku przed założeniem doświadczenia pole zwapnowano, stosując wapno hydratyzowane, według 1/2 wartości kwasowości hydrolytycznej. Wiosną 2005 roku, po przeprowadzeniu podstawowych zabiegów uprawowych, na powierzchni poletek równomiernie rozrzucano nawozy mineralne, które wymieszano z glebą za pomocą agregatu uprawowego kultywator + brona. Wniesiona dawka azotu wynosiła  $110,0 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Fosfor i potas zastosowano w jednakowych dawkach we wszystkich obiektach (poza kontrolą); fosfor w dawce  $58,6 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$  w formie superfosfatu pojedynczego, a potas w dawce  $120,0 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$  w formie soli potasowej 60%. W obiektach NPK+S(S) i NPK+S(P) na tle nawożenia mineralnego azotem, fosforem i potasem zastosowano nawożenie siarką odpowiednio w formie siarczanu amonu – NPK+S(S) i nawozu wieloskładnikowego „Potafoski” – NPK+S(P), w dawce  $20,0 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ . W obiektach NPK oraz NPK+S(P) azot w całości zastosowano w formie saletry amonowej. W obiekcie NPK+S(S) część azotu ( $16,7 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) zastosowano w formie siarczanu amonu, a pozostałą część ( $93,3 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) w formie saletry amonowej.

Rośliną testową była pszenica jara odmiany „Jagna”. W drugim i trzecim roku badań zastosowano identyczne dawki N, P, K i S jak w roku pierwszym. Długość okresu wegetacji pszenicy zależała od warunków pogodowych i wynosiła: w 2005 roku 117 dni, w 2006 roku 106 dni, a w 2007 roku 109 dni. Pszenicę zebrano w fazie dojrzałości

pełnej. W czasie wegetacji stosowano zabiegi chemiczne w celu ochrony plantacji przed chwastami oraz chorobami grzybowymi. Zastosowano oprysk herbicydami Puma Universal (dawka  $1 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), Aminopielik Gold (dawka  $1 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) oraz fungicydem Alert 375 SC (dawka  $1 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Dla określenia plonu ziarna pszenicy w warunkach polowych rośliny zbierano z powierzchni  $4 \text{ m}^2$ , z każdego poletka oddzielnie. Po wycięciu kłosów, uzyskany plon ziarna i słomy suszono (temp.  $70^\circ\text{C}$ ) i określono plon suchej masy. W wysuszonym i zmielonym materiale roślinnym oznaczono azot ogólny po mineralizacji próbki w stężonym kwasie siarkowym, metodą Kjeldahla. Zawartość magnezu, miedzi i cynku oznaczono po mineralizacji próbki na sucho ( $450^\circ\text{C}$ , 5 godz.) w piecu muflowym i rozтворzeniu pozostałości w rozcieńczonym (1:2) kwasie azotowym [9]. Magnez oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA), a miedź i cynk metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z indukcyjnym wzbudzeniem plazmowym (ICP-AES). Zawartość siarki oznaczono po mineralizacji próbki w stężonym kwasie azotowym metodą ICP-AES.

Dla uzyskanych wyników przeprowadzono analizę wariancji jednoczynnikową (czynnik nawożenie) lub dwuczynnikową (czynniki: nawożenie i rok badań) z zastosowaniem testu f-Fishera. Istotność różnic pomiędzy średnimi arytmetycznymi weryfikowano w oparciu o grupy jednorodne wyznaczone testem Duncana przy poziomie istotności  $\alpha < 0,05$ .

Warunki meteorologiczne (opady, temperatura) panujące w czasie prowadzenia doświadczenia przedstawiono w tab. 1 i 2. Przebieg warunków pogodowych w czasie doświadczenia różnił się zwłaszcza pomiędzy latami. Największą ilością opadów (suma od marca do sierpnia) charakteryzował się rok 2005 (I rok badań), a najmniejszą rok 2007 (III rok badań). Największą średnią, roczną temperaturą powietrza charakteryzował się rok 2007. Stwierdzono również różnice w średniej temperaturze w okresie wegetacji pszenicy jarej (marzec – sierpień).

## 3. Wyniki i dyskusja

W przeprowadzonych badaniach plony ziarna pszenicy jarej z obiektów, w których zastosowano nawożenie, w pierwszym roku badań były na ogół mniejsze, w porównaniu do plonów uzyskanych w tych samych obiektach w kolejnych, dwóch latach badań (rys. 1). Zastosowane nawożenie siarką (niezależnie od zastosowanego nawozu) spowodowało istotny przyrost plonów ziarna pszenicy ( $0,8 \text{ t}$ ), w porównaniu do plonów z obiektu, w którym zastosowano nawożenie azotem, fosforem i potasem (NPK) w trzecim roku badań. Sumaryczny plon ziarna pszenicy (z trzech lat) wskazuje na korzystny wpływ nawożenia siarką, zwłaszcza w obiekcie, w którym zastosowano nawóz wieloskładnikowy, Potafoskę – NPK+S(P) (tab. 3).

Tab. 1. Miesięczne i okresowe sumy opadów atmosferycznych w latach badań [mm]

Table 1. Monthly and periodic precipitation totals in study years [mm]

Rok Year	Miesiąc / Month												Σ III-VIII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2005	66,4	32,6	20,7	49,1	61,3	40,6	113,4	102,6	26,5	7,7	29,9	46,7	387,7
2006	57,5	48,5	60,1	56,5	51,9	89,1	14,1	104,1	17,2	31,9	20,9	16,1	375,8
2007	100,6	42,2	61,1	15,4	51,7	72,1	71,0	76,4	179,8	48,3	90,4	21,4	347,7

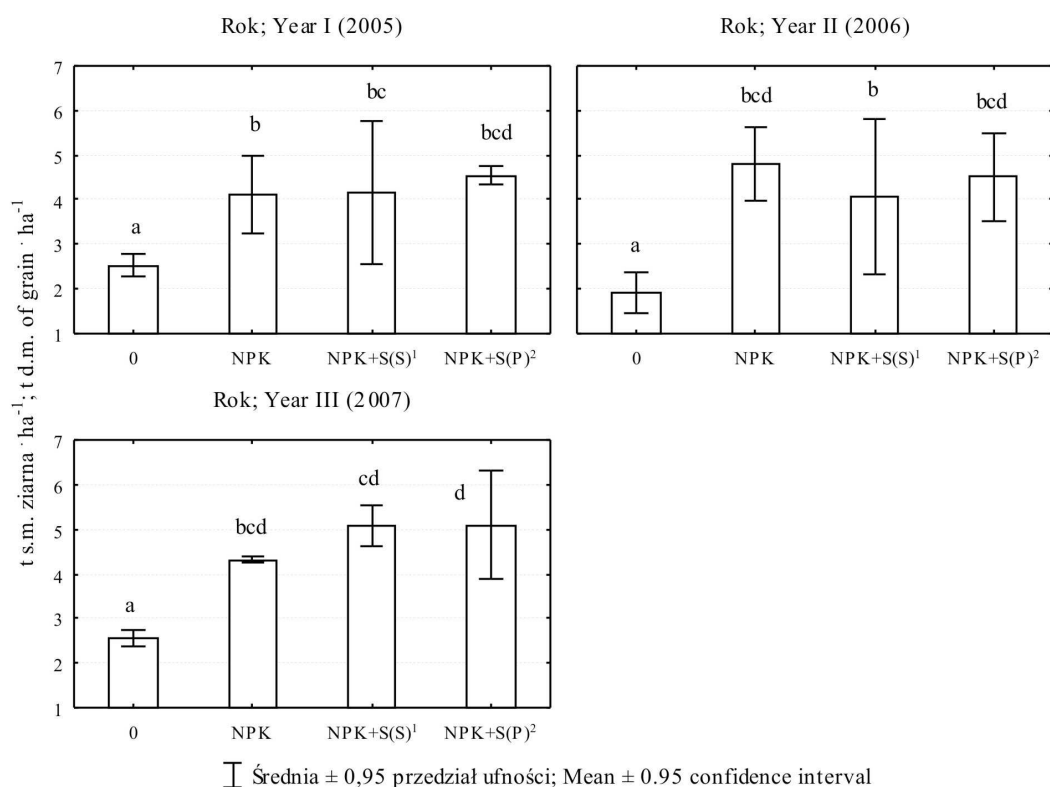
Tab. 2. Średnia dobowa temperatura powietrza w latach badań [°C]  
 Table 2. Mean daily air temperature in study years [°C]

Rok Year	Miesiąc / Month												Średnia Mean III-VIII
	I	II	III	IV	V	V	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2005	-1,2	-4,3	-0,2	6,8	11,4	14,4	17,6	15,4	12,5	7,1	3,9	-0,7	10,9
2006	-2,4	-3,0	0,2	5,6	10,9	15,0	18,6	15,6	13,4	9,1	6,3	0,9	11,0
2007	3,2	1,2	6,0	8,5	15,2	18,4	19,4	19,0	12,4	7,7	0,8	-1,1	14,4

Tab. 3. Sumaryczny plon ziarna i słomy pszenicy jarej z trzech lat (2005-2007)  
 Table 3. Total yield of spring wheat grain and straw in three years (2005-2007)

Nawożenie / Fertilization	Ziarno / Grain	Słoma / Straw
	t·ha <sup>-1</sup> s.m. / d.m.	t·ha <sup>-1</sup> s.m. / d.m.
Bez nawożenia - Kontrola Without fertilization - Control	7,01 <sup>a</sup>	8,50 <sup>a</sup>
NPK	13,24 <sup>b</sup>	13,90 <sup>bc</sup>
NPK+S(S) <sup>1</sup>	13,75 <sup>b</sup>	14,80 <sup>c</sup>
NPK+S(P) <sup>2</sup>	14,15 <sup>b</sup>	13,40 <sup>b</sup>

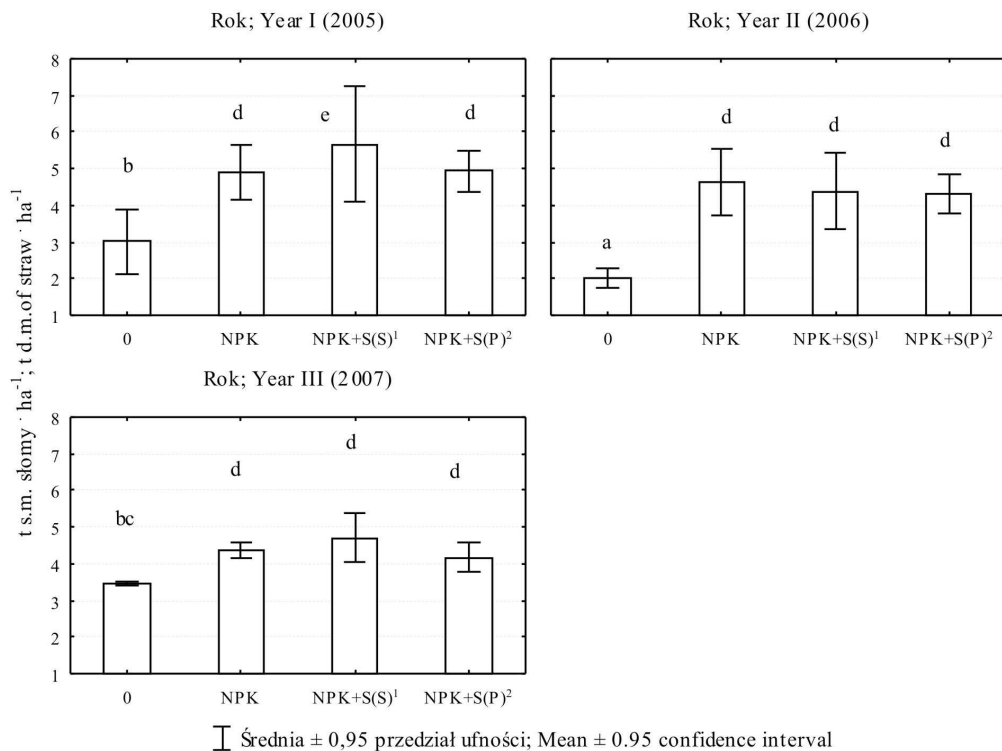
Średnie oznaczone tymi samymi literami w kolumnach nie różnią się istotnie według testu Duncana przy  $\alpha < 0,05$ ; czynnik: nawożenie  
 Means marked by the same letters in columns did not differ significantly at  $\alpha < 0.05$  according to the Duncan test; factor: fertilization  
<sup>1</sup> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, <sup>2</sup> Potafoska



Rys. 1. Plony ziarna pszenicy jarej w poszczególnych latach badań (średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie według testu Duncana przy  $\alpha < 0,05$ ; czynniki: nawożenie x rok)

Fig. 1. Yields of spring wheat grain in each year of the experiments (means marked by the same letters did not differ significantly at  $\alpha < 0.05$  according to the Duncan test; factors: fertilization x year)

<sup>1</sup> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, <sup>2</sup> Potafoska



Rys. 2. Plony słomy pszenicy jarej w poszczególnych latach badań (średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie według testu Duncana przy  $\alpha < 0,05$ ; czynniki: nawożenie x rok)

Fig. 2. Yields of spring wheat straw in each year of the experiments (means marked by the same letters did not differ significantly at  $\alpha < 0.05$  according to the Duncan test; factors: fertilization x year)

<sup>1</sup> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, <sup>2</sup> Potafoska

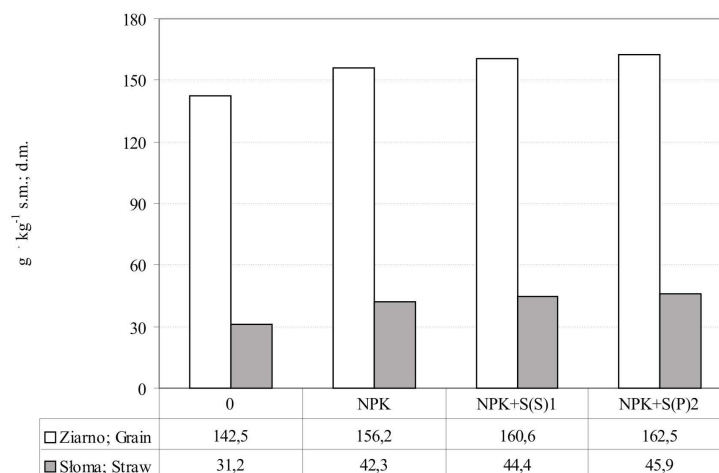
Większe zróżnicowanie dotyczyło plonów słomy pszenicy (rys. 2). Niezależnie od zastosowanego nawożenia, najwięcej słomy uzyskano w 2005 roku, co miało niekorzystny wpływ na stosunek plonu ziarna do plonu słomy. Sumaryczne plony słomy pszenicy (z trzech lat) były największe w obiekcie, w którym zastosowano nawożenie azotem, fosforem, potasem i siarką, wprowadzoną z siarczanem amonu – NPK+S(S). W stosunku do obiektu bez nawożenia relatywny przyrost plonu słomy wynosił od 57 do 74% (tab. 3).

Prawidłowe i racjonalne nawożenie wpływa na ogół korzystnie na wielkość i wartość biologiczną oraz technologiczną plonów roślin [10]. Niekorzystne warunki produkcyjne Polski, w porównaniu do krajów sąsiadujących stanowią dużą przeszkodę w uzyskiwaniu wyższych plonów. Niemniej istnieje możliwość poprawy żyzności gleby przez odpowiednie zabiegi agrotechniczne, w tym nawożenie. Według Kwiatkowskiego i in. [10] zastosowanie intensywnej agrotechniki w zasiewach ozimych form pszenicy, niezależnie od odmiany, pozwoliło na osiągnięcie wyższych o ponad 72% plonów ziarna, w porównaniu do plonów z zasiewów chronionych i pielęgnowanych w sposób ograniczony. Według Lipy [11] ograniczone nawożenie mineralne oraz zmniejszenie dawki herbicydów może spowodować zmniejszenie plonów w wyniku pogorszenia większości elementów struktury ładu i plonu zbóż (obsada kłosów, MTZ). W przeprowadzonych badaniach, w obiekcie, w którym zastosowano nawożenia azotem, fosforem i potasem plon ziarna był mniejszy od uzyskanego w obiektach, w których zastosowano dodatkowo nawożenie siarką. Oprócz agrotechniki istotnym czynnikiem limitującym plonowanie zarówno ozimych, jak i jarych form pszenicy jest odczyn gleby [12]. Według Kocój [12] dolna granica optimum pH dla pszenicy jarej na glebach ciężkich wynosi 6,0. Również Bro-

dowska [13] w swoich badaniach potwierdziła, że pszenica należy do roślin negatywnie reagujących na zakwaszenie gleby. W przeprowadzonych badaniach pomimo zabiegu wapnowania wartości pH gleby, niezależnie od zastosowanego nawożenia były mniejsze od 0,2 do 0,3 jednostki pH.

Zastosowane nawożenie spowodowało istotne zwiększenie, w porównaniu do obiektu nienawożonego, zawartości azotu zarówno w ziarnie, jak i słomie pszenicy (tab. 4). Nawożenie siarką, bez względu na jej źródło, powodowało istotne zwiększenie zawartości azotu w ziarnie i słomie, w porównaniu do zawartości tego składnika w biomase roślin nawożonych wyłącznie azotem, fosforem i potasem. Większa zawartość azotu ogólnego w ziarnie i słomie pszenicy nawożonej, a zwłaszcza w obiektach, w których zastosowano siarkę, wpłynęła na większą zawartość białka w obu analizowanych częściach roślin (rys. 3).

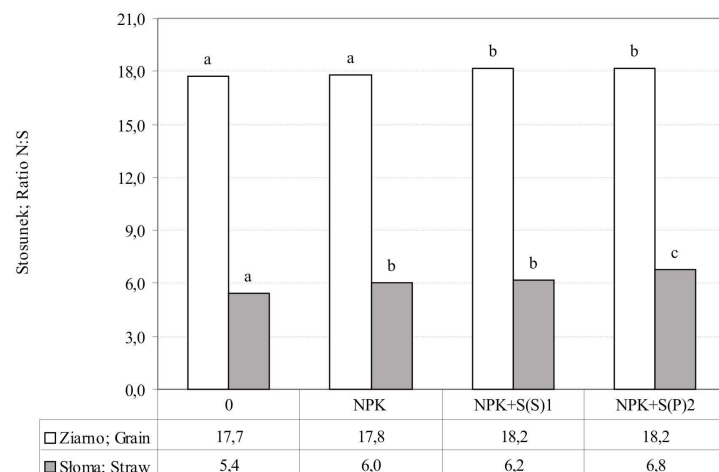
Z licznych badań wynika, że azot zaliczany jest do najważniejszych pierwiastków plonotwórczych, a nawożenie tym pierwiastkiem jest efektywne wtedy, gdy gleba zasobna jest w pozostałe składniki pokarmowe [3, 10, 12, 14]. Znajduje to potwierdzenie w uzyskanych wynikach badań, gdzie dodatkowe nawożenie siarką spowodowało zwiększenie zawartości azotu ogólnego, zarówno w ziarnie, jak i słomie pszenicy, a także proporcjonalny przyrost zawartości białka ogólnego, w porównaniu do zawartości oznaczonej w biomase pszenicy z obiektu, w którym siarki nie zastosowano. Wyniki badań Achramowicza i in. [15, 16] oraz Borkowskiej i in. [17] wskazują na zwiększenie zawartości białka ogólnego pod wpływem zwiększonego nawożenia azotowego. W innych badaniach Borkowskiej i in. [14] nie wykazano żadnych zmian w zawartości tego składnika, natomiast Sadowska i in. [18] uzyskali zmniejszenie zawartości białka przy nawożeniu roślin większymi dawkami azotu.



Rys. 3. Zawartość białka ogólnego w ziarnie i słomie pszenicy jarej

Fig. 3. Total protein content in grain and straw of spring wheat

<sup>1</sup> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, <sup>2</sup> Potafoska



Rys. 4. Wartość stosunku N:S w ziarnie i słomie pszenicy jarej (średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie według testu Duncana przy  $\alpha < 0,05$ ; czynniki: nawożenie x rok)

Fig. 4. Value of ratio N:S in grain and straw of spring wheat (means marked by the same letters did not differ significantly at  $\alpha < 0.05$  according to the Duncan test; factors: fertilization x year)

<sup>1</sup> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, <sup>2</sup> Potafoska

Tab. 4. Zawartość makro i mikroelementów w ziarnie i słomie pszenicy jarej

Table 4. Content of macro and microelements in grain and straw of spring wheat

Nawożenie Fertilization	Ziarno / Grain				
	N	S	Mg	Cu	Zn
	g·kg <sup>-1</sup> s.m. / d.m.	mg·kg <sup>-1</sup> s.m. / d.m.			
Bez nawożenia - Kontrola Without fertilization - Control	22,8 <sup>a</sup>	1,29 <sup>a</sup>	1,09 <sup>a</sup>	3,69 <sup>b</sup>	49,4 <sup>b</sup>
NPK	25,0 <sup>b</sup>	1,44 <sup>b</sup>	1,06 <sup>a</sup>	2,60 <sup>a</sup>	51,1 <sup>b</sup>
NPK+S(S) <sup>1</sup>	25,7 <sup>c</sup>	1,41 <sup>b</sup>	1,06 <sup>a</sup>	2,64 <sup>a</sup>	45,5 <sup>a</sup>
NPK+S(P) <sup>2</sup>	26,0 <sup>c</sup>	1,43 <sup>b</sup>	1,05 <sup>a</sup>	3,19 <sup>ab</sup>	52,2 <sup>b</sup>
	Słoma; Straw				
Bez nawożenia - Kontrola Without fertilization - 0	4,99 <sup>a</sup>	0,92 <sup>a</sup>	0,81 <sup>a</sup>	2,28 <sup>a</sup>	16,5 <sup>a</sup>
NPK	6,77 <sup>b</sup>	1,12 <sup>b</sup>	0,83 <sup>ab</sup>	2,30 <sup>a</sup>	18,7 <sup>ab</sup>
NPK+S(S) <sup>1</sup>	7,11 <sup>c</sup>	1,14 <sup>b</sup>	0,85 <sup>ab</sup>	2,29 <sup>a</sup>	17,4 <sup>ab</sup>
NPK+S(P) <sup>2</sup>	7,35 <sup>c</sup>	1,08 <sup>b</sup>	0,90 <sup>b</sup>	2,20 <sup>a</sup>	20,3 <sup>b</sup>

Średnie oznaczone tymi samymi literami w kolumnach nie różnią się istotnie według testu Duncana przy  $\alpha < 0,05$ ; czynnik: nawożenie

Means marked by the same letters in columns did not differ significantly at  $\alpha < 0.05$  according to the Duncan test; factor: fertilization

<sup>1</sup> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, <sup>2</sup> Potafoska

Niezależnie od zastosowanego nawożenia zawartość siarki zarówno w częściach wegetatywnych (słoma), jak i generatywnych (ziarno) pszenicy była istotnie większa od zawartości tego składnika oznaczonego w biomacie pszenicy z obiektu kontrolnego. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic pomiędzy zawartością siarki w biomacie pszenicy nawożonej tym składnikiem, w porównaniu do zawartości w biomacie z obiektu, w którym nie zastosowano dodatkowego nawożenia siarką. Zastosowane nawożenie istotnie różnicowało wartość stosunku N:S (rys. 4). Największe wartości tego parametru uzyskano w ziarnie nawożonym azotem, fosforem, potasem oraz siarką.

Jak stwierdził Kaczor i in. [19] zawartość siarki zależy od fazy rozwojowej rośliny, organu, a także nawożenia. Zwiększenie zawartości siarki w wyniku nawożenia tym pierwiastkiem stwierdzili także McGrath i in. [20] i Zhao i in. [21]. W przeprowadzonych badaniach zawartości siarki w biomacie pszenicy nawożonej i nienawożonej siarką nie różniły się. Nie stwierdzono również zróżnicowania w zawartości siarki pomiędzy częściami generatywnymi (ziarno), a wegetatywnymi (słoma) pszenicy. W badaniach Kaczora i in. [19] zawartość siarki w słomie pszenicy była większa niż w ziarnie. Takiej zależności nie potwierdzają badania Boreczek [22]. Pomimo, że pszenica należy do grupy roślin o stosunkowo niewielkim zapotrzebowaniu na siarkę, to przy niedoborach tego pierwiastka w glebie może dochodzić do obniżenia wykorzystania azotu i pogorszenia stosunku N:S [12]. W przeprowadzonych badaniach zarówno ziarno, jak i słoma z obiektów, w których zastosowano dodatkowo nawożenie siarką charakteryzowały się większą wartością stosunku N:S, w porównaniu do wartości tego parametru w biomacie z obiektu bez nawożenia siarką.

Zawartość magnezu w roślinach wykazuje duże zróżnicowanie w zależności od ich gatunku i warunków uprawy. Według McRitchie [23] tkanki roślinne powinny zawierać nawet 3,5-5,0 g Mg · kg<sup>-1</sup> s.m. W badaniach własnych nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości magnezu w ziarnie pszenicy pochodzącej z obiektów nawożonych (tab. 4). Nawet wprowadzenie tego pierwiastka z Potafoską w obiekcie NPK+S(P) nie miało wpływu na zwiększenie zawartości tego składnika w ziarnie. Odwrotną zależność stwierdzono w przypadku słomy. Największą średnią ważoną zawartość tego składnika stwierdzono w słomie z obiektu, w którym magnez wprowadzono z nawożeniem (NPK+S(P)).

Rola magnezu w roślinie jest związana z jego występowaniem w chlorofilu i udziale w różnych procesach fizjologicznych, jak fotosynteza, przemiany węglowodanów, białek i tłuszczów [12]. Pierwiastek ten bierze również czynny udział w utrzymywaniu prawidłowej równowagi jonowej w roślinie [12, 24, 25, 26]. Wskazuje to na konieczność oceny zawartości tego pierwiastka w biomacie roślin. Wymagania pokarmowe pszenicy w stosunku do magnezu są znacznie mniejsze niż w stosunku do azotu, fosforu czy potasu. Niemniej według Noworolnika [27] jare formy pszenicy silniej reagują na zawartość magnezu w glebie niż na zawartość fosforu. Według Wyszowskiego [28] nawożenie magnezem, w porównaniu z innymi makroelementami, powoduje największe i istotne zmiany w zawartości tego składnika w pszenicy jarej. W badaniach własnych magnez wprowadzono tylko w obiekcie, w którym zastosowano nawóz wieloskładnikowy (Potafoskę). Mimo to efekt zastosowanego nawożenia statystycznie udowodniono tylko w przypadku słomy. Brak zróżnicowania w zawartości magnezu w ziar-

nie pszenicy mógł wynikać ze stosunkowo dużej zasobności w przyswajalne jego formy w glebie, na której prowadzono badania [27]. Należy jednak podkreślić, że nawożenie pszenicy magnezem jest szczególnie efektywne na glebach lekkich, wykazujących kwaśny odczyn i małą zawartość tego składnika [12].

Miedź należy do grupy pierwiastków niezbędnych dla roślin. Jest składnikiem enzymów i białek biorących udział w wielu procesach metabolicznych. Średnia zawartość miedzi była istotnie największa w ziarnie pszenicy z obiektów: nienawożonego i nawożonego siarką, którą wprowadzono z Potafoską – NPK+S(P). Zawartość miedzi w słomie pszenicy była mniejsza od oznaczonej w ziarnie. Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania w zawartości tego pierwiastka w słomie pszenicy z poszczególnych obiektów doświadczenia. Zawartość miedzi zarówno w ziarnie, jak i słomie pszenicy nie przekraczała 4 mg · kg<sup>-1</sup> s.m., a więc wykazywała niedobór pod względem paszowym [29].

Średnia zawartość cynku była większa w ziarnie niż w słomie pszenicy. Zarówno w ziarnie, jak i w słomie pszenicy najczęściej tego pierwiastka oznaczono w biomacie z obiektów, w których zastosowano nawożenie azotem, fosforem i potasem – (NPK) oraz azotem, fosforem, potasem i siarką, którą wprowadzono z Potafoską – (NPK+S(P)). Oceniając zawartość cynku pod względem paszowym w analizowanej biomacie stwierdzono, że były to zawartości mieszczące się w zakresie uznawanych za optymalne [29].

Niedobór mikroelementów, podobnie jak ich nadmiar w glebie może ograniczać plonowanie roślin, jak również istotnie zmieniać cechy jakościowe plonu. Pszenica wykazuje największą wrażliwość między innymi na niedobór miedzi i cynku [30]. Zawartość i biodostępność mikroelementów w glebie, w tym miedzi i cynku jest modyfikowana wieloma czynnikami m.in. odczynem gleby, zawartością materii organicznej, pojemnością sorpcyjną gleby, a także zdolnością rośliny do ich pobierania oraz nawożeniem [31, 32]. Badania Ruszkowskiej i in. [33] dowodzą, że otrzymanie przez szereg lat wysokich plonów wiąże się z koniecznością kontroli stanu zaopatrzenia roślin w mikroelementy. W przeprowadzonych badaniach stosunkowo niska okazała się zawartość miedzi w ziarnie i słomie pszenicy. Według danych Gorlacha [29] zawartości te należy uznać za niedoborowe, co istotnie obniża wartość paszową ziarna i słomy. Może to również decydować pośrednio o wysokości plonu roślin zwłaszcza, że miedź wchodzi w skład enzymów i białek, które biorą udział w specyficznych procesach metabolicznych. W naszych badaniach ograniczać dostępność tego pierwiastka mógł odczyn gleby oraz zawartość materii organicznej, do której miedź wykazuje duże powinowactwo [32, 34, 35].

Cynk w roślinach pełni ważne funkcje, głównie ze względu na jego udział w aktywowaniu wielu enzymów. Jak wykazał Bednarek i in. [36] zawartość cynku w ziarnie pszenicy była bardzo wyrównana i nie zależała istotnie od rejonu uprawy pszenicy. Również Stanisławska-Głubiak i Korzeniowska [37] nie stwierdziły wyraźnych zmian koncentracji cynku w ziarnie pszenicy jarej w wyniku zastosowanego nawożenia mineralnego, co autorki tłumaczą dużą zawartością przyswajalnych form tego pierwiastka w glebie. W przeprowadzonych badaniach własnych zawartość cynku przyswajalnego w glebie z terenu doświadczenia mieściła się w zakresie zawartości średnich, co mogło istotnie wpływać na stosunkowo małe zróżnicowanie w zawartości tego pierwiastka w biomacie pszenicy z poszczególnych obiektów.

#### 4. Wnioski

1. Nawożenie pszenicy jarej siarką niezależnie od zastosowanego nawozu spowodowało istotny przyrost plonów ziarna pszenicy, w porównaniu do plonów z obiektu, w którym zastosowano wyłącznie nawożenie azotem, fosforem i potasem w trzecim roku badań.
2. Niezależnie od zastosowanego nawożenia największy plon słomy zebrano w pierwszym roku badań, co niekorzystnie wpłynęło na stosunek plonu ziarna do plonu słomy.
3. Nawożenie siarką w przypadku ziarna, jak i słomy spowodowało istotne zwiększenie zawartości azotu, w porównaniu do zawartości tego składnika w biomacie roślin z obiektów nienawożonych siarką. Zawartość siarki w biomacie pszenicy z obiektów, w których zastosowano nawożenie tym pierwiastkiem nie różniła się, w porównaniu do zawartości oznaczonej w biomacie pszenicy z obiektu, w którym siarki nie zastosowano. Stwierdzono istotne zróżnicowanie w wartości stosunku N:S.
4. Ze względu na wysoką zasobność gleby w magnez nie stwierdzono różnic w zawartości tego składnika w biomacie pszenicy z poszczególnych obiektów.
5. Zawartość miedzi w ziarnie i słomie pszenicy wykazywała niedobór pod względem paszowym, natomiast zawartość cynku mieściła się w zakresie zawartości optymalnych.

#### 5. Literatura

- [1] Fotyma E., Fotyma M.: Podstawy zrównoważonego nawożenia azotem. [W]: Diagnostyka gleb i roślin w rolnictwie zrównoważonym, (red. S. Kalembasa). Wyd. Akademii Podlaskiej w Siedlcach, Monograf., 54, s. 39-48, 2004.
- [2] Fotyma M., Fotyma E.: Podstawy zrównoważonego nawożenia fosforem i potasem. [W]: Diagnostyka gleb i roślin w rolnictwie zrównoważonym, (red. S. Kalembasa). Wyd. Akademii Podlaskiej w Siedlcach, Monograf., 54, s. 49-58, 2004.
- [3] Mercik S., Stepien M., Pietrzak S.: Przydatność obornika do regeneracji gleb bardzo kwaśnych, ubogich w próchnicę oraz wyczerpanych ze składników pokarmowych. Cz. I. Właściwości gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 499, s. 253-260, 2004.
- [4] Szafranek A.: Wpływ użytkowania rolniczego na właściwości fizykochemiczne gleb pól wyczerpanych Wysockiej Kąlskiej. Roczn. Glebozn., 11(3/4), s. 97-105, 2000.
- [5] Mazur T.: Ekologiczne uwarunkowania nawożenia w rolnictwie jutra. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 349, Ses. Nauk., 64, s. 263-270, 1999.
- [6] Oquist K. A., Strook J. S., Mulla D. J.: Influence of alternative and conventional farming practices on subsurface drainage and water quality. J. Environ. Qual., 36, p. 1194-1204, 2007.
- [7] White S. K., Brümmer J. E., Leininger W. C., Frasier G. W., Waskom R. M., Bauder T. A.: Irrigated mountain meadow fertilizer application timing effect on overland flow water quality. J. Environ. Qual., 32, p. 1802-1808, 2003.
- [8] Suwara I., Lenart S., Gawrońska-Kulesza A.: Wzrost i plonowanie pszenicy ozimej po 50 latach zróżnicowanego nawożenia i zmianowania. Acta Agroph., 10(3), s. 695-704, 2007.
- [9] Ostrowska A., Gawliński A., Szczubiałka Z.: Metody analizy i oceny gleb i roślin. Wyd. IOŚ Warszawa ss. 325, 1991.
- [10] Kwiatkowski C., Wesołowski M., Harasim E., Kubecki J.: Plon i jakość ziarna odmian pszenicy ozimej w zależności od poziomu agrotechniki. Pam. Puł., 142, s. 277-286, 2006.
- [11] Lipa J.: Nowoczesna ochrona zbóż. Pam. Puł., 135, s. 241-259, 2004.
- [12] Kocoń A.: Nawożenie jakościowej pszenicy jarej i ozimej a plon i jakość ziarna. Pam. Puł., 139, s. 55-64, 2005.
- [13] Brodowska M. S.: Wpływ wapnowania i nawożenia siarką na wzrost, rozwój i plonowanie jarych form pszenicy i rzepaku. Cz. I. Pszenica jara. Acta Agroph., 1(4), s. 617-622, 2003.
- [14] Borkowska H., Grundas S., Styk B.: Wysokość i jakość plonów niektórych odmian pszenicy jarej w zależności od nawożenia azotowego. Annales UMCS, Sec. E, 57, s. 99-103, 2002.
- [15] Achramowicz B., Borkowska H., Styk B.: Wpływ poziomów nawożenia azotowego na plonowanie niektórych odmian pszenicy jarej. Annales UMCS, Sec. E., 49, s. 59-64, 1994.
- [16] Achramowicz B., Borkowska H., Styk B., Grundas S.: Wpływ nawożenia azotowego na jakość glutenu pszenicy jarej. Biul. IHAR, 193, s. 29-34, 1995.
- [17] Borkowska H., Grundas S., Styk B.: Influence of nitrogen fertilization of winter wheat on its gluten quality. Int. Agrophysics, 13, s. 333-335, 1999.
- [18] Sadowska J., Błaszczak W., Jeliński T., Fornal J., Borkowska H., Styk B.: Fertilization and technological quality of wheat grain. Int. Agrophysics, 15, p. 279-285, 2001.
- [19] Kaczor A., Brodowska M. S., Kowalski G.: Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na zawartość siarki w jarych formach pszenicy i rzepaku. Annales UMCS, Sec. E, 59(4), s. 1847-1853, 2004.
- [20] McGrath S. P., Zhao F. J.: Sulphur uptake, yield response and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). J. Agric. Sci., 162, p. 53-62, 1996.
- [21] Zhao F. J., Hawkesford M. J., Warrilow A. G. S., McGrath S. P., Clarkson D. T.: Responses of two wheat varieties to sulphur addition and diagnosis of sulphur deficiency. Plant and Soil, 81, p. 317-327, 1996.
- [22] Boreczek B.: Bilans siarki w uprawie wybranych roślin polowych. Fragm. Agron., 4, s. 118-133, 2001.
- [23] McRitchie J. J.: Magnesium deficiency of foliage plants. Plant Pathol. Circ., 354, p. 35-50, 1992.
- [24] Filipek T.: Wpływ zakwaszenia na zawartość potasu i magnezu oraz stosunek K : Mg w glebach i roślinach zbożowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 480, s. 43-49, 2001.
- [25] Jacobsen S. T.: Interaction between plant nutrients. III. Antagonism between potassium, magnesium and calcium. Acta Agric. Scandinav., B, 43, p. 1-5, 1993.
- [26] Mercik S., Panak H.: Wpływ współdziałania wapnia, magnezu, potasu i sodu w różnych proporcjach na pobranie i skład chemiczny roślin. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 285, s. 151-166, 1984.
- [27] Noworolnik K.: Wpływ jakości gleby na plonowanie pszenicy jarej i jęczmienia jarego. Acta Agroph., 11(2), s. 457-464, 2008.
- [28] Wyszowski M.: Wpływ magnezu na kształtowanie plonów i wzajemnych relacji między niektórymi jonami w roślinach. Wyd. UWM w Olsztynie, ser. Rozprawy i Monografie, 52, ss. 92, 2001.
- [29] Gorlach E.: Zawartość pierwiastków śladowych w roślinach pastewnych jako miernik ich wartości. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Ses. Nauk., 34 s. 13-22, 1991.
- [30] Ziętecka M., Dynysiuk B.: Zawartość Cu, Mn i Zn w niektórych fazach rozwojowych trzech odmian pszenicy ozimej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 325, s. 79-86, 1989.
- [31] Gorlach E., Gambuś F.: Potencjalnie toksyczne pierwiastki śladowe (nadmiar, szkodliwość i przeciwdziałanie). Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 472, s. 275-296, 2000.
- [32] Gondek K., Kopec M.: Heavy metal binding by humus in soil of long-term static fertilizer experiment at Czarny Potok. Chem. i Inż. Ekol., 7, p. 561-572, 2004.
- [33] Ruszkowska M., Sykut S., Kusio M.: Stan zaopatrzenia roślin w mikroelementy w warunkach zróżnicowanego nawożenia w wieloletnim doświadczeniu lizymetrycznym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 434, s. 43-47, 1996.
- [34] Mocek A., Owczarzak W.: Wiązanie Cu, Pb, Zn przez próchnicę w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 411, s. 293-298, 1993.
- [35] Grzebisz W., Kociałkowski W. Z., Diatta J. B.: Sorpcja miedzi w glebie inkubowanej z resztkami roślinnymi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 411, s. 305-310, 1993.
- [36] Bednarek W., Tkaczyk P., Dresler S.: Zawartość metali ciężkich jako kryterium oceny jakości ziarna pszenicy jarej. Acta Agroph., 12(2), s. 315-326, 2008.
- [37] Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J.: Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych. [w]: Studia i raporty IUNG-PIB, 8, s. 99-110, 2007.
- [38] Systematyka Gleb Polski. Roczn. Glebozn., 40, ¼, ss.150.