

ZAWARTOŚĆ I POBIERANIE FOSFORU, POTASU I MAGNEZU PRZEZ PSZENICĘ JARĄ I WSIEWKĘ KONICZYNY PERSKIEJ W ZALEŻNOŚCI OD ZAGĘSZCZENIA ROŚLIN

Maria Wanic, Monika Myśliwiec, Krzysztof Orzech, Mariola Denert

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, plac Łódzki 3, 10-721 Olsztyn
e-mail: maria.wanic@uwm.edu.pl

Streszczenie. W doświadczeniu wazonowym, zrealizowanym w latach 2010-2012, analizowano zawartość i pobieranie fosforu, potasu i magnezu przez pszenicę jarą i wsiewkę koniczyny perskiej. Czynniki doświadczenia były: 1. sposób siewu pszenicy i koniczyny: w siewie czystym (kontrola) i we wzajemnej mieszance; 2. zagęszczenie roślin: zalecane (zgodne z agrotechniką) i mniejsze (zmniejszone w stosunku do zalecanego o 20%). Badania przeprowadzono w fazach rozwojowych pszenicy jarej: kłoszenie i dojrzałość. Na podstawie pomiarów suchej masy części nadziemnych (u pszenicy masy wegetatywnej i kłosów, u koniczyny masy wegetatywnej) i korzeni oraz zawartości w nich – P, K i Mg obliczono pobranie tych pierwiastków przez oba gatunki. Wykazano, że zawartość P i Mg w pszenicy nie zmieniała się pod wpływem wsiewki koniczyny perskiej. Zawartość K w roślinach pszenicy była mniejsza na obiektach z wsiewką. Zawartość P, K i Mg w roślinach koniczyny perskiej w obu sposobach siewu była podobna w fazie kłoszenia zboża. W fazie dojrzałości pszenicy w mieszance stwierdzono jego redukcję. Pobranie P, K i Mg przez pszenicę jarą i wsiewkę koniczyny perskiej było mniejsze niż w siewie czystym. Zagęszczenie roślin nie różnicowało pobrania przez pszenicę analizowanych pierwiastków. Koniczyna z kolei pobrała więcej magnezu na obiekcie z zagęszczeniem większym, a potasu na obiekcie z zagęszczeniem mniejszym.

Słowa kluczowe: fosfor, potas, magnez, plon główny, wsiewka, pszenica jara, koniczyna perska, zawartość, pobranie, zagęszczenie roślin

WSTĘP

Spośród międzyplonów najbardziej przydatne do uprawy w północnych strefach klimatycznych Europy są wsiewki międzyplonowe (Bergkvist 2003). Rosną one z rośliną plonu głównego (najczęściej zbożem), po jej zbiorze pozostają na polu do późnej jesieni (lub wiosny), a następnie ich masa zostaje wprowadzona do gleby. Rośliny w mieszance mogą wykorzystywać zasoby środowiska (światło, wodę, składniki pokarmowe) oraz przestrzeń bardziej efektywnie niż siewy czyste, co przedkłada

się na wielkość uzyskanych plonów (Atis i in. 2012, Hauggaard-Nielsen i in. 2003). Dobrymi roślinami wsiewkowymi są koniczyny, z uwagi na symbiotyczne wiązanie azotu atmosferycznego, który wbudowują w swoje komórki, udostępniają gatunkowi towarzyszącemu oraz wzbogacają w ten pierwiastek glebę. W mieszance, pomiędzy korzeniami roślin następuje również przepływ składników pokarmowych (głównie fosforu) (Haystead i in. 1988). Korzyści z siewów mieszanych są wówczas, gdy nie konkurują one o te same czynniki wzrostu, lecz wykorzystują je komplementarnie (z różnych form, poziomów, w różnym czasie) (Hauggaard-Nielsen i in. 2003). Często jednak między rośliną plonu głównego a wsiewką dochodzi do konkurencji o czynniki wzrostu, w sytuacji gdy nie wystarczają one do zaspokojenia łącznych potrzeb obu gatunków (deficyt wody, światła, pierwiastków, miejsca) (Sobkowicz 2003). Generalnie zboża są silniejszymi konkurentami od koniczyn o glebowe składniki pokarmowe, z powodu większego na nie zapotrzebowania oraz szybszego wzrostu i lepiej rozwiniętego systemu korzeniowego. Ponadto ich rośliny są wyższe, masywniejsze i lepiej ulistnione, co ogranicza dopływ światła do niższych roślin wsiewkowych. Teoretycznie konkurencję w łanie mieszanym można ograniczyć, zmniejszając zagęszczenie roślin.

W pracy weryfikowano hipotezę zerową, według której wspólna uprawa pszenicy jarej i koniczyny perskiej pozostanie bez wpływu na pobranie przez te rośliny fosforu, potasu i magnezu. Alternatywna w stosunku do niej hipoteza badawcza zakładała, że pobranie ww. pierwiastków przez oba gatunki uprawiane w mieszance będzie mniejsze niż w siewie czystym. Słuszność hipotezy weryfikowano na podstawie doświadczenia, którego celem było zbadanie wpływu mieszanego pszenicy jarej z koniczyną perską na pobieranie fosforu, potasu i magnezu i ich akumulację w częściach nadziemnych i korzeniach obu gatunków w zależności od zagęszczenia roślin.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w oparciu o trzy serie ścisłego doświadczenia wazonowego, zrealizowanego w laboratorium szklarniowym Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (53°46'47"N, 20°29'38"E). Pierwsza seria trwała od 12.04. do 19.07.2010 r., druga od 24.03. do 30.06.2011 r. i trzecia od 26.03. do 28.06.2012 r. Pszenicę jarą i koniczynę perską uprawiano w siewie czystym i w mieszance w dwóch obiektach zagęszczenia: zalecanym (zgodnym z agrotechniką) i mniejszym (zmniejszonym w stosunku do zalecanego o 20%). Odmianą pszenicy jarej była 'Narwa' a koniczyny perskiej 'Gobry'.

Czynniki doświadczenia:

I. sposób siewu pszenicy jarej i koniczyny perskiej:

- siew czysty (kontrola);
- uprawa we wzajemnej mieszance;

II. zagęszczenie roślin:

- zalecane;
- mniejsze.

Badania przeprowadzono w fazach rozwojowych pszenicy jarej: kłoszenie (BBCH 54-56) i dojrzałość (BBCH 87-89).

Doświadczenie składało się z 48 wazonów (pszenica i koniczyna w siewie czystym i w mieszance x dwie gęstości siewu x 2 fazy rozwojowe x 4 powtórzenia) o średnicy 22 cm i głębokości 25 cm. W wazonach nasiona umieszczono w glebie w jednakowej odległości od siebie na głębokości: 3 cm – pszenica jara i 1 cm – koniczyna perska.

W wazonach z zagęszczeniem zalecanym w obu sposobach siewu wysiano 19 nasion pszenicy jarej i 12 nasion koniczyny perskiej, a z zagęszczeniem mniejszym odpowiednio – 15 i 9. Odpowiadało to zagęszczeniu roślin na 1 m²: pszenica jara: zagęszczenie zalecane – 500, mniejsze – 400; koniczyna perska: odpowiednio 300 i 240.

Wazony wypełniono podłożem gleby Eutric Cambisol (Humic) o zawartości frakcji poniżej 0,02 mm – 64%, pyłu (0,1-0,02 mm) – 12% i piasku (powyżej 1 mm) – 24%. Odnaczała się ona odczynem lekko kwaśnym (pH w 1 M KCl od 5,6 do 6,2), zawartością węgla organicznego: 13,2-14,4 g·kg⁻¹, azotu: 0,69-0,74 g·kg⁻¹ oraz zasobnością (g·kg⁻¹ gleby): wysoką fosforu (0,09-0,12) i magnezu (0,08-0,09), a średnią potasu (0,13-0,15). Pobrano ją z głębokości 0-25 cm.

Nawożenia mineralnego PK nie różnicowano w zależności od gatunku, sposobu siewu i zagęszczenia roślin. Wynosiło ono (g·wazon⁻¹): P – 0,200 i K – 0,450. Wielkość dawki N wynosiła (g·wazon⁻¹): dla pszenicy jarej w siewie czystym – 0,500, dla koniczyny perskiej w siewie czystym – 0,125, dla mieszanki – 0,300. Nawozy te zastosowano tydzień przed siewem roślin.

Termin pobierania roślin do analiz wyznaczała pszenica jara w siewie czystym na obiekcie z obsadą zalecaną. W okresie, w którym osiągnęła ona fazę rozwojową kłoszenie i dojrzałość, wszystkie rośliny usuwano z wazonów (przeznaczonych dla danej fazy rozwojowej), a następnie oddzielano część nadziemną od korzeni. Korzenie wyplukano na sitach i oddzielono od siebie. Wyodrębnione części nadziemne (pszenica – masa vegetatywna, kłosy, plewy, ziarno; koniczyna – masa vegetatywna) i korzenie wysuszono do powietrznie suchej masy i oznaczono w nich zawartość azotu ogólnego, fosforu, potasu i magnezu. Analizy przeprowadzono w Stacji Chemiczno-Rolniczej w Olsztynie. Wykonano je wg metod: azot – metodą potencjometrycznego miareczkowania podbrominem sodu, fosfor – metodą spektrometryczną, potas – metodą fotometrii płomieniowej, magnez – metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej. Próby do analiz pochodziły z 3. serii i 4. powtórzeń. Na podstawie wyników analiz chemicznych oraz pomiarów suchej masy roślin obliczono pobranie fosforu, potasu i magnezu przez pszenicę

jarą i koniczynę perską i ich akumulację w nadziemnych częściach i korzeniach obu gatunków. Dane dotyczące biomasy roślin oraz pobrania przez pszenicę i koniczynę azotu zamieszczono we wcześniejszych pracach (Wanic i Myśliwiec 2014, Wanic i in. 2016).

Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci średnich wartości z trzech serii doświadczenia. Dla zawartości fosforu, potasu i magnezu obliczono odchylenie standardowe. Wszystkie wyniki opracowano statystycznie, stosując analizę wariancji, zgodnie z modelem właściwym dla układu całkowicie losowego, przy prawdopodobieństwie błędu $p = 0,05$, ustalając grupy jednorodne na podstawie testu Tukey'a. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem programu *Statistica* 12,5.

WYNIKI

Zawartość fosforu w roślinach pszenicy jarej w okresie między kłoszeniem i dojrzewaniem zmniejszyła się (tab. 1). Był to rezultat spadku zawartości tego pierwiastka w nadziemnej masie vegetatywnej. Od kłoszenia do dojrzałości nie odnotowano znaczących zmian w zawartości potasu i magnezu w pszenicy. Wsiewka koniczyny perskiej pozostała bez istotnego wpływu na zawartość fosforu w pszenicy. Jedynie w fazie kłoszenia spowodowała ona istotne zmniejszenie jego koncentracji w korzeniach (o $0,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Pod wpływem wsiewki zmniejszyła się zawartość potasu w roślinach tego zboża. W fazie kłoszenia był to efekt mniejszej zawartości K w nadziemnej masie vegetatywnej (o $4,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), a w fazie dojrzałości w nadziemnej masie vegetatywnej (o $5,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) i w korzeniach (o $1,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Sposób siewu nie zmieniał istotnie zawartości magnezu w roślinach pszenicy.

W fazie kłoszenia na obiekcie ze zmniejszoną gęstością siewu zawartość P w całych roślinach pszenicy była taka sama jak z zalecaną, a w fazie dojrzewania istotnie mniejsza (o $0,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), co wynikało z obniżenia zawartości tego pierwiastka w korzeniach. Nie stwierdzono istotnego wpływu gęstości siewu na zawartość w pszenicy potasu i magnezu.

Współdziałanie czynników doświadczenia wykazało, że na obiekcie z obsadą zalecaną w siewie mieszanym, w stosunku do czystego, w fazie kłoszenia istotnie mniejszą zawartością fosforu odznaczały się korzenie pszenicy, a w fazie dojrzałości ziarno. Na obiekcie z obsadą mniejszą w mieszance spadek zawartości fosforu odnotowano w fazie kłoszenia w masie vegetatywnej. W mieszance zmniejszenie zawartości potasu wystąpiło na obu obiektach zagęszczenia i badanych okresach. W fazie kłoszenia na obiekcie z obsadą zalecaną wynikało to z istotnie mniejszej zawartości K w nadziemnej masie vegetatywnej i w kłosach, a w fazie dojrzałości w nadziemnej masie vegetatywnej i korzeniach na obu obiektach zagęszczenia oraz w ziarnie na obiekcie z obsadą mniejszą. Istotny wzrost zawartości Mg stwierdzono

Tabela 1. Zawartość fosforu, potasu i magnezu w pszenicy jarej ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 1. Phosphorus, potassium and magnesium content in spring wheat ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Czynnik Treatment	Objekt Object	Kłoszenie / Inflorescence emergence				części roślin / plant parts				Dojrzałość / Ripening							
		vegetatywne vegetative		kłosy heads		korzenie roots		cała roślina whole plant		kłosy heads		ziarno grains		korzenie roots		cała roślina whole plant	
		vegetative	heads	heads	heads	vegetative	whole plant	vegetative	whole plant	vegetative	whole plant	vegetative	whole plant	vegetative	whole plant	vegetative	whole plant
I II I x II	P	2,4±0,1 a	4,4±0,3 a	2,4±0,2 a	2,9±0,2 a	1,2±0,2 a	1,1±0,3 a	5,5±0,2 a	1,1±0,3 a	1,8±0,2 a	2,0±0,2 a	1,1±0,3 a	1,2±0,2 a	1,1±0,3 a	1,8±0,2 a		
	M	2,2±0,1 a	4,3±0,3 a	2,0±0,1 b	2,8±0,2 a	1,3±0,2 a	1,1±0,3 a	5,2±0,2 a	1,1±0,3 a	1,9±0,4 a	1,9±0,6 a	1,1±0,3 a	1,3±0,2 a	1,1±0,3 a	1,9±0,4 a		
	R	2,3±0,2 a	4,5±0,3 a	2,4±0,2 a	2,9±0,3 a	1,3±0,2 a	1,1±0,2 a	5,2±0,3 a	1,1±0,2 a	2,0±0,3 a	2,2±0,4 a	1,1±0,2 a	1,3±0,2 a	1,1±0,2 a	2,0±0,3 a		
	L	2,3±0,2 a	4,3±0,3 a	2,0±0,1 a	2,9±0,2 a	1,2±0,2 a	1,1±0,2 a	5,5±0,2 a	1,1±0,2 a	1,7±0,4 b	1,6±0,5 b	1,1±0,2 a	1,2±0,2 a	1,1±0,2 a	1,7±0,4 b		
	P-R	2,4±0,1 a	4,6±0,4 a	2,7±0,3 a	2,9±0,3 a	1,2±0,2 a	1,0±0,4 a	5,5±0,4 a	1,0±0,4 a	1,9±0,4 a	2,1±0,3 a	1,0±0,4 a	1,2±0,2 a	1,0±0,4 a	1,9±0,4 a		
	M-R	2,2±0,3 ab	4,3±0,2 a	2,0±0,2 b	2,8±0,2 a	1,4±0,2 a	1,1±0,1 a	4,8±0,5 b	1,1±0,1 a	2,0±0,3 a	2,3±0,1 a	1,1±0,1 a	1,4±0,2 a	1,1±0,1 a	2,0±0,3 a		
	P-L	2,4±0,2 a	4,2±0,3 a	2,0±0,1 b	2,9±0,2 a	1,1±0,3 a	1,1±0,3 a	5,5±0,3 a	1,1±0,3 a	1,7±0,2 a	1,8±0,2 a	1,1±0,3 a	1,1±0,3 a	1,1±0,3 a	1,7±0,2 a		
	M-L	2,1±0,2 b	4,3±0,4 a	2,0±0,1 b	2,8±0,2 a	1,2±0,3 a	1,1±0,2 a	5,5±0,2 a	1,1±0,2 a	1,7±0,3 a	1,4±0,3 a	1,1±0,2 a	1,2±0,3 a	1,1±0,2 a	1,7±0,3 a		
	I II I x II	P	30,7±1,4 a	11,7±1,0 a	8,3±0,4 a	21,8±1,0 a	29,6±1,6 a	11,9±0,9 a	11,0±0,7 a	11,9±0,9 a	22,3±1,0 a	4,9±0,2 a	11,0±0,7 a	29,6±1,6 a	11,9±0,9 a	22,3±1,0 a	
		M	26,2±2,3 b	10,8±0,7 a	8,8±0,8 a	17,7±1,4 b	24,0±1,2 b	11,0±0,1 a	9,5±0,1 a	11,0±0,1 a	18,0±0,6 b	3,6±0,5 b	9,5±0,1 a	24,0±1,2 b	11,0±0,1 a	18,0±0,6 b	
		R	28,1±0,2 a	11,4±0,7 a	8,4±1,3 a	20,3±0,7 a	26,0±1,4 a	11,5±0,6 a	9,7±0,3 a	11,5±0,6 a	19,7±0,6 a	4,2±0,2 a	9,7±0,3 a	26,0±1,4 a	11,5±0,6 a	19,7±0,6 a	
		L	28,8±1,5 a	11,1±1,0 a	8,6±0,3 a	19,2±1,0 a	27,7±1,2 a	11,4±0,1 a	10,8±0,4 a	11,4±0,1 a	20,7±0,5 a	4,3±0,4 a	10,8±0,4 a	27,7±1,2 a	11,4±0,1 a	20,7±0,5 a	
P-R		30,8±2,2 a	11,7±1,3 a	8,4±0,6 a	22,9±0,9 a	28,4±2,8 a	12,1±0,6 a	10,0±0,5 ab	12,1±0,6 a	21,5±0,7 a	4,9±0,2 a	10,0±0,5 ab	28,4±2,8 a	12,1±0,6 a	21,5±0,7 a		
M-R		25,4±1,8 b	11,0±0,0 b	8,4±0,5 a	17,6±0,6 b	23,5±1,8 b	10,8±0,1 b	9,3±0,1 b	10,8±0,1 b	17,8±0,4 b	3,4±0,1 b	9,3±0,1 b	23,5±1,8 b	10,8±0,1 b	17,8±0,4 b		
P-L		30,6±1,9 a	11,6±0,7 a	8,1±0,1 a	20,6±0,7 a	30,8±0,6 a	11,7±0,5 a	11,9±0,4 a	11,7±0,5 a	23,1±0,5 a	4,8±0,4 a	11,9±0,4 a	30,8±0,6 a	11,7±0,5 a	23,1±0,5 a		
M-L		27,0±2,9 ab	10,5±1,4 a	9,1±0,7 a	17,7±0,8 b	24,5±0,7 b	11,1±0,2 ab	9,6±0,2 b	11,1±0,2 ab	18,2±0,5 b	3,8±0,6 b	9,6±0,2 b	24,5±0,7 b	11,1±0,2 ab	18,2±0,5 b		
I II I x II		P	1,4±0,2 a	1,4±0,1 a	1,4±0,0 a	1,3±0,1 a	1,4±0,1 a	1,0±0,3 a	1,3±0,1 a	1,0±0,3 a	1,4±0,2 a	1,4±0,1 a	1,0±0,3 a	1,4±0,1 a	1,0±0,3 a	1,4±0,2 a	
		M	1,3±0,2 a	1,4±0,1 a	1,5±0,1 a	1,5±0,1 a	1,3±0,2 a	1,2±0,1 a	1,4±0,0 a	1,2±0,1 a	1,3±0,2 a	1,3±0,2 a	1,4±0,0 a	1,3±0,2 a	1,2±0,1 a	1,3±0,2 a	
		R	1,3±0,2 a	1,4±0,0 a	1,4±0,1 a	1,4±0,1 a	1,3±0,2 a	1,1±0,1 a	1,4±0,0 a	1,1±0,1 a	1,3±0,1 a	1,3±0,2 a	1,4±0,0 a	1,1±0,1 a	1,1±0,1 a	1,3±0,1 a	
		L	1,4±0,2 a	1,4±0,0 a	1,4±0,0 a	1,4±0,1 a	1,4±0,2 a	1,1±0,3 a	1,3±0,2 a	1,1±0,3 a	1,4±0,2 a	1,4±0,2 a	1,3±0,2 a	1,4±0,2 a	1,1±0,3 a	1,4±0,2 a	
	P-R	1,3±0,1 a	1,3±0,0 a	1,3±0,0 a	1,2±0,1 b	1,4±0,2 a	1,0±0,2 a	1,3±0,0 a	1,0±0,2 a	1,4±0,1 a	1,4±0,1 a	1,3±0,0 a	1,4±0,2 a	1,0±0,2 a	1,4±0,1 a		
	M-R	1,3±0,2 a	1,5±0,0 a	1,5±0,1 a	1,6±0,1 a	1,2±0,2 a	1,2±0,0 a	1,4±0,0 a	1,2±0,0 a	1,2±0,2 a	1,2±0,3 a	1,4±0,0 a	1,2±0,2 a	1,2±0,0 a	1,2±0,2 a		
	P-L	1,4±0,2 a	1,4±0,1 a	1,4±0,0 a	1,4±0,1 a	1,4±0,2 a	1,0±0,3 a	1,2±0,2 a	1,0±0,3 a	1,4±0,2 a	1,4±0,1 a	1,2±0,2 a	1,4±0,2 a	1,0±0,3 a	1,4±0,2 a		
	M-L	1,3±0,2 a	1,3±0,0 a	1,4±0,1 a	1,3±0,1 a	1,3±0,2 a	1,1±0,2 a	1,3±0,0 a	1,1±0,2 a	1,3±0,2 a	1,3±0,2 a	1,3±0,0 a	1,3±0,2 a	1,1±0,2 a	1,3±0,2 a		

± odchylenie standardowe – standard deviation ($n = 12$), a, b – wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie ($p \leq 0,05$) – values marked with the same letter do not differ significantly ($p \leq 0,05$), I – sposób siewu – sowing method, II – zagęszczenie – density, P – siew czysty – pure sowing, M – mieszanka – mixture, R – zalecane – recommended, L – mniejsze – lower.

w całych roślinach pszenicy w mieszance w fazie kłoszenia na obiekcie z obsadą zalecaną. W pozostałych przypadkach współdziałanie sposobu i gęstości siewu pozostało bez wpływu na jego zawartość.

W okresie między kłoszeniem i dojrzałością zawartość fosforu i potasu w roślinach koniczyny perskiej uprawianej w siewie czystym była podobna (tab. 2).

Tabela 2. Zawartość fosforu, potasu i magnezu w koniczynie perskiej ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 2. Phosphorus, potassium and magnesium content in Persian clover ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

		Fazy rozwojowe pszenicy / Growth stages of wheat					
		Kłoszenie / Inflorescence emergence			Dojrzałość / Ripening		
Czynnik Treatment	Obiekt Object	części roślin / plant parts					
		nadziemne above-ground	korzenie roots	cała roślina whole plant	nadziemne above-ground	korzenie roots	cała roślina whole plant
		P					
I	P	3,4±0,3 b	4,1±0,2 a	3,7±0,3 a	3,4±0,2 a	4,0±0,3 a	3,6±0,4 a
	M	4,0±0,2 a	3,7±0,3 a	3,8±0,2 a	3,3±0,3 a	2,9±0,1 b	3,1±0,3 b
II	R	3,7±0,3 a	4,1±0,1 a	3,7±0,2 a	3,2±0,3 a	3,6±0,3 a	3,4±0,3 a
	L	3,7±0,2 a	3,7±0,4 a	3,8±0,3 a	3,4±0,2 a	3,4±0,1 a	3,4±0,2 a
I x II	P-R	3,1±0,6 b	4,4±0,2 a	3,4±0,2 b	3,2±0,4 a	4,0±0,2 a	3,5±0,4 a
	M-R	4,2±0,2 a	3,8±0,3 a	4,0±0,1 a	3,2±0,3 a	3,1±0,3 b	3,2±0,3 a
I x II	P-L	3,7±0,2 a	3,8±0,4 a	4,0±0,3 a	3,5±0,3 a	4,0±0,2 a	3,7±0,3 a
	M-L	3,7±0,3 a	3,5±0,3 a	3,6±0,3 ab	3,3±0,2 a	2,7±0,4 b	3,0±0,2 b
		K					
I	P	25,5±0,5 a	15,9±0,2 a	22,9±0,4 a	25,7±1,8 a	10,6±0,7 a	23,5±1,3 a
	M	24,4±0,9 b	13,1±1,1 b	22,9±1,0 a	18,3±0,7 b	9,6±0,7 b	16,6±0,7 b
II	R	23,9±0,3 b	15,1±0,3 a	20,8±0,3 b	19,0±1,3 a	8,1±0,9 a	17,4±1,2 b
	L	25,9±1,0 a	13,9±0,4 b	25,0±0,8 a	25,0±1,5 b	12,1±0,4 b	22,7±1,0 a
I x II	P-R	24,7±1,1 ab	18,9±1,1 a	21,0±0,9 b	22,1±1,4 ab	8,7±1,1 b	20,9±1,2 ab
	M-R	23,1±0,9 b	11,3±1,1 b	20,6±1,0 b	15,9±1,4 c	7,5±0,8 b	13,8±1,1 c
I x II	P-L	26,2±0,7 a	12,8±0,2 b	24,8±0,5 a	29,2±2,9 a	12,5±0,8 a	26,0±1,7 a
	M-L	25,6±1,9 a	14,9±0,7 b	25,2±1,2 a	20,7±0,1 b	11,6±1,0 a	19,4±0,8 b
		Mg					
I	P	33,6±0,5 a	12,9±0,3 a	22,1±0,3 a	29,1±0,8 a	10,1±0,4 a	18,5±0,5 a
	M	24,4±0,6 b	13,1±0,4 a	22,9±0,5 a	18,3±0,5 b	9,6±0,4 a	16,6±0,7 b
II	R	28,0±0,5 a	12,2±0,2 a	21,4±0,3 b	22,4±0,8 a	7,6±0,3 b	15,7±0,6 b
	L	29,9±0,7 a	13,9±0,6 a	23,6±0,6 a	25,0±0,4 a	12,1±0,4 a	19,4±0,6 a
I x II	P-R	32,9±0,2 a	13,0±0,1 b	22,1±0,2 a	28,9±0,9 a	7,6±0,3 a	17,5±0,6 a
	M-R	23,1±0,7 b	11,3±0,3 b	20,6±0,5 b	15,9±0,8 b	7,5±0,5 a	13,8±0,6 b
I x II	P-L	34,2±0,8 a	12,8±0,5 b	22,0±0,6 b	29,2±0,7 a	12,5±0,4 a	19,4±0,5 a
	M-L	25,6±0,5 b	14,9±0,6 a	25,2±0,6 a	20,7±0,1 b	11,6±0,4 a	19,4±0,7 a

± odchylenie standardowe / standard deviation ($n = 12$), a,b,c – wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie ($p \leq 0,05$) / values marked with the same letter do not differ significantly ($p \leq 0,05$); objaśnienia jak w tabeli 1 / explanations as in table 1

W mieszance natomiast nastąpiło jej obniżenie. Zawartość Mg między kłoszeniem i dojrzałością w obu sposobach siewu zmniejszyła się (bardziej w mieszance niż w siewie czystym). Sposób siewu nie różnicował istotnie zawartości P, K i Mg w całych roślinach koniczyny w fazie kłoszenia. Stwierdzono natomiast różnice spowodowane sposobem siewu w częściach nadziemnych i korzeniach. Koniczyna

uprawiana w mieszance, w porównaniu z siewem czystym w częściach nadziemnych, odznaczała się większą zawartością P (o $0,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), mniejszą zaś K i Mg (odpowiednio o 1,1 i $9,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). W mieszance zmniejszenie zawartości K odnotowano także w korzeniach (o $28 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). W fazie dojrzałości w mieszance stwierdzono mniejszą zawartość P, K i Mg niż w siewie czystym (odpowiednio o 0,5, 6,9 i $1,9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). W przypadku P było to efektem mniejszej koncentracji tego biogenu w korzeniach, K – w częściach nadziemnych i korzeniach, a Mg – w masie nadziemnej. W obu badanych terminach nie wykazano istotnego wpływu zagęszczenia roślin na zawartość fosforu w koniczynie. Zawartość potasu i magnezu na obiekcie z zagęszczeniem mniejszym była większa niż z zalecanym. Wyjątek stanowi zawartość K w korzeniach w fazie kłoszenia, która była większa na obiekcie z obsadą zalecaną.

Interakcja czynników doświadczenia pokazała, że na obiekcie z zagęszczeniem większym wspólna uprawa koniczyny z pszenicą zwiększyła koncentrację P w całych roślinach w fazie kłoszenia, a nie spowodowała zmian jego zawartości w fazie dojrzałości. W fazie kłoszenia był to efekt większej zawartości tego pierwiastka w częściach nadziemnych. Podczas dojrzałości większą zawartością P odznaczały się korzenie koniczyny w siewie czystym. Na obiekcie z obsadą mniejszą, w fazie dojrzałości, istotnie mniejszą ilość P odnotowano w mieszance (wynik obniżenia jego zawartości w korzeniach). Sposób siewu pozostał bez wpływu na zawartość K w całych roślinach koniczyny na obu obiektach zagęszczenia, w fazie kłoszenia pszenicy. W fazie dojrzałości siew mieszany bardziej ujemnie wpływał na zawartość tego pierwiastka w całych roślinach na obiekcie z zagęszczeniem większym niż z mniejszym (efekt silniejszej reakcji na wspólną uprawę nadziemnej masy). Na obiekcie z obsadą zalecaną stwierdzono istotnie mniejszą zawartość Mg w mieszance niż w siewie czystym (z wyjątkiem zawartości w korzeniach). Na obiekcie z obsadą mniejszą, w fazie kłoszenia w całych roślinach koniczyny stwierdzono większą zawartość Mg w mieszance niż w siewie czystym. W fazie dojrzałości w mieszance odnotowano istotnie mniejszą zawartość Mg niż w siewie czystym tylko w masie nadziemnej. W fazie dojrzałości pszenica pobrała mniej fosforu, potasu i magnezu niż w fazie kłoszenia w obu sposobach siewu (tab. 3). Redukcja zawartości P, K i Mg większe rozmiary przybrała w mieszance niż w siewie czystym. W mieszance istotnie mniejszą niż w siewie czystym akumulację P odnotowano w ziarnie w fazie dojrzałości, K – w masie nadziemnej w obu okresach i Mg w fazie dojrzałości w masie wegetatywnej. Siew mieszany w większym stopniu ograniczał pobieranie przez pszenicę potasu (kłoszenie o 20,9%, dojrzałość o 32,1%), a w mniejszym fosforu (dojrzałość o 21,1%) i magnezu (dojrzałość o 15,4%).

Pszenica zakumulowała istotnie więcej fosforu, potasu i magnezu w nadziemnej masie wegetatywnej w fazie kłoszenia na obiekcie z obsadą mniejszą niż z większą (odpowiednio o 10,6, 12,5 i 36,7%). Tabela 3. Pobranie i akumulacja fosforu, potasu i magnezu przez pszenicę jarą (g·wazon).

Table 3. Phosphorus, potassium and magnesium uptake and accumulation by spring wheat (g pot)

Czynnik Treat- ment	Obiekt Object	Kłoszenie / Inflorescence emergence				Dojrzałość / Ripening			
		części roślin / plant parts							
		wegetatywne vegetative	kłosa heads	korzenie roots	całkowite total	wegetatywne vegetative	ziarno grains	korzenie roots	całkowite total
P									
I	P	0,033 a	0,024 a	0,010 a	0,067 a	0,014 a	0,017 a	0,007 a	0,038 a
	M	0,036 a	0,025 a	0,010 a	0,071 a	0,015 a	0,010 b	0,005 a	0,030 b
II	R	0,029 b	0,026 a	0,011 a	0,066 b	0,015 a	0,013 a	0,006 a	0,034 a
	L	0,040 a	0,023 a	0,010 a	0,073 a	0,013 a	0,014 a	0,006 a	0,033 a
	P-R	0,033 b	0,024 a	0,010 a	0,067 b	0,016 a	0,016 a	0,006 a	0,038 a
I x II	M-R	0,025 b	0,028 a	0,011 a	0,064 b	0,014 b	0,011 b	0,006 a	0,031 ab
	P-L	0,033 b	0,023 a	0,010 a	0,066 b	0,011 a	0,020 a	0,007 a	0,038 a
	M-L	0,047 a	0,022 a	0,009 a	0,078 a	0,015 b	0,010 b	0,004 a	0,029 b
K									
I	P	0,451 a	0,070 a	0,030 b	0,551 a	0,368 a	0,039 a	0,014 a	0,421 a
	M	0,330 b	0,064 b	0,042 a	0,436 b	0,251 b	0,025 b	0,010 a	0,286 b
II	R	0,359 b	0,067 a	0,038 a	0,464 b	0,300 a	0,031 a	0,011 a	0,342 a
	L	0,421 a	0,067 a	0,034 a	0,522 a	0,319 a	0,033 a	0,012 a	0,364 a
I x II	P-R	0,419 b	0,073 a	0,031 a	0,523 b	0,360 a	0,036 a	0,013 a	0,409 a
	M-R	0,299 c	0,061 a	0,044 a	0,404 d	0,241 b	0,025 b	0,009 a	0,275 b
	P-L	0,482 a	0,067 a	0,028 a	0,577 a	0,377 a	0,041 a	0,014 a	0,432 a
	M-L	0,360 b	0,067 a	0,039 a	0,466 c	0,260 b	0,025 b	0,010 a	0,295 b
Mg									
I	P	0,017 a	0,011 a	0,006 a	0,034 a	0,017 a	0,004 a	0,005 a	0,026 a
	M	0,016 a	0,013 a	0,007 a	0,036 a	0,014 b	0,004 a	0,004 a	0,022 b
II	R	0,015 b	0,008 b	0,007 a	0,030 b	0,015 a	0,004 a	0,005 a	0,024 a
	L	0,018 a	0,016 a	0,007 a	0,041 a	0,016 a	0,004 a	0,004 a	0,024 a
I x II	P-R	0,015 b	0,006 c	0,005 a	0,026 b	0,016 a	0,005 a	0,005 a	0,026 a
	M-R	0,014 b	0,010 b	0,008 a	0,032 b	0,013 b	0,004 a	0,004 a	0,021 b
	P-L	0,019 a	0,016 a	0,006 a	0,041 a	0,018 a	0,004 a	0,005 a	0,027 a
	M-L	0,017 a	0,016 a	0,006 a	0,039 ab	0,015 ab	0,004 a	0,003 a	0,022 b

a, b, c, d – wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie ($p \leq 0,05$) / values marked with the same letter do not differ significantly ($p \leq 0,05$); objaśnienia jak w tabeli 1 / explanations as in table 1

W mieszance, w fazie kłoszenia, pszenica pobrała istotnie więcej P niż w siewie czystym w wazonach z mniejszym zagęszczeniem roślin (uwidoczniło się to w większej akumulacji tego pierwiastka w masie wegetatywnej) niż z większym. W fazie dojrzałości odnotowano sytuację odwrotną – na tym obiekcie, podobnie jak na obiekcie z zagęszczeniem zalecanym, zawartość P w częściach nadziemnych pszenicy w mieszance była mniejsza niż w siewie czystym. Siew mieszany w podobnym stopniu wpływał na pobranie potasu i magnezu w obu obiektach zagęszczenia roślin. Wystąpiły tylko różnice w alokacji tych pierwiastków w częściach roślin.

Koniczyna perska między kłoszeniem i dojrzałością zwiększyła pobranie P, K i Mg i zgromadziła je głównie w pędach (tab. 4). Większy wzrost odnotowano w mieszance niż w siewie czystym. Wyraźniej uwidoczniło się to w przypadku fosforu (w mieszance między kłoszeniem i dojrzałością wzrost o 66,7%), słabiej w K i Mg (wzrost o 45,3 i 42,9%). Koniczyna w mieszance z pszenicą pobrała istotnie mniej składników pokarmowych w obu badanych okresach. Największe różnice między siewem mieszanym i czystym wystąpiły w fazie kłoszenia zboża, po czym

do fazy dojrzałości uległy one zmniejszeniu. Zmniejszenie to w podobnym stopniu wystąpiło u wszystkich analizowanych pierwiastków. W fazie kłoszenia siew mieszany, w porównaniu z czystym, silniej ograniczał akumulację fosforu i potasu w pędach (odpowiednio o 80,4 i 84,3%) niż w korzeniach (o 50,0 i 53,3%).

Tabela 4. Pobranie i akumulacja fosforu, potasu i magnezu przez koniczynę perską (g-wazon)
Table 4. Phosphorus, potassium and magnesium uptake and accumulation by Persian clover (g pot)

Czynnik Treatment	Obiekt Object	Kłoszenie / Inflorescence emergence			Dojrzałość / Ripening		
		nadziemna above- ground	korzenie roots	całkowite total	części roślin / plant parts nadziemna above- ground	korzenie roots	całkowite total
P							
I	P	0,051 a	0,004 a	0,055 a	0,060 a	0,005 a	0,065 a
	M	0,010 b	0,002 b	0,012 b	0,018 b	0,002 b	0,020 b
II	R	0,031 a	0,003 a	0,034 a	0,038 a	0,004 a	0,042 a
	L	0,031 a	0,002 a	0,033 a	0,040 a	0,003 a	0,043 a
I x II	P-R	0,049 a	0,004 a	0,053 a	0,057 b	0,006 a	0,063 a
	M-R	0,012 b	0,003 a	0,015 b	0,020 c	0,002 c	0,022 b
	P-L	0,053 a	0,003 a	0,056 a	0,063 a	0,003 b	0,066 a
	M-L	0,008 b	0,001 b	0,009 c	0,016 d	0,002 c	0,018 c
K							
I	P	0,432 a	0,015 a	0,447 a	0,480 a	0,013 a	0,493 a
	M	0,068 b	0,007 b	0,075 b	0,102 b	0,007 b	0,109 b
II	R	0,223 b	0,013 a	0,236 b	0,256 b	0,010 a	0,266 b
	L	0,277 a	0,008 b	0,285 a	0,327 a	0,010 a	0,337 a
I x II	P-R	0,377 b	0,018 a	0,395 b	0,411 b	0,014 a	0,425 b
	M-R	0,069 c	0,008 c	0,077 c	0,101 c	0,006 b	0,107 c
	P-L	0,487 a	0,011 b	0,498 a	0,550 a	0,012 a	0,562 a
	M-L	0,067 c	0,005 d	0,072 c	0,103 c	0,008 a	0,111 c
Mg							
I	P	0,035 a	0,002 a	0,037 a	0,038 a	0,003 a	0,041 a
	M	0,006 b	0,001 a	0,007 b	0,008 b	0,002 a	0,010 b
II	R	0,024 a	0,003 a	0,027 a	0,023 a	0,003 a	0,026 a
	L	0,016 b	0,001 a	0,017 b	0,023 a	0,002 a	0,025 a
I x II	P-R	0,041 a	0,003 a	0,044 a	0,037 a	0,004 a	0,041 a
	M-R	0,007 c	0,002 a	0,009 c	0,009 b	0,002 b	0,011 b
	P-L	0,028 b	0,002 a	0,030 b	0,038 a	0,002 b	0,040 a
	M-L	0,004 c	0,001 a	0,005 d	0,007 b	0,002 b	0,009 c

a,b,c,d – wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie ($p \leq 0,05$) / values marked with the same letter do not differ significantly ($p \leq 0,05$); objaśnienia jak w tabeli 1 / explanations as in table 1

Zagęszczenie roślin wpływało istotnie na pobranie przez koniczynę potasu w obu badanych okresach i magnezu w fazie kłoszenia pszenicy. Nie wykazano jego wpływu na akumulację w roślinach fosforu oraz magnezu w fazie dojrzałości zboża. Na obiekcie z zagęszczeniem większym w fazie kłoszenia roślina ta pobrała o 58,8% więcej magnezu niż z mniejszym i zgromadziła go głównie w pędach. Odwrotną sytuację stwierdzono w zawartości potasu. Koniczyna pobrała więcej tego biogenu na obiekcie z obsadą mniejszą; w fazie kłoszenia o 20,8% i dojrzałości o 26,7%. W fazie kłoszenia nadwyżkę tę zgromadziła w pędach i korzeniach, a w fazie dojrzałości w pędach.

Sposób siewu, w zależności od zagęszczenia roślin, różnie wpływał na pobieranie pierwiastków przez koniczynę. Współdziałanie czynników doświadczenia pokazało, że w pobraniu fosforu i potasu w fazie kłoszenia i dojrzałości większe różnice między uprawą mieszaną i czystą wystąpiły w wazonach ze zmniejszoną obsadą roślin. W fazie kłoszenia znalazło to odzwierciedlenie w mniejszej w mieszance niż w siewie czystym akumulacji P w korzeniach, a w fazie dojrzałości zdecydowanie mniejszej jego akumulacji w masie nadziemnej na obiekcie z obsadą mniejszą niż zalecaną. W zawartości K większa przewaga siewu czystego nad mieszanym wystąpiła na obiekcie z obsadą zmniejszoną w pędach niż w korzeniach. Większe różnice w pobraniu Mg między siewem mieszanym i czystym wystąpiły w fazie dojrzałości pszenicy na obiekcie z obsadą mniejszą niż zalecaną. Gęstość siewu wpływała także na alokację Mg w poszczególnych częściach koniczyny. Na obiekcie z zagęszczeniem zalecanym siew mieszany, bardziej niż z mniejszym, redukował akumulację Mg w fazie kłoszenia w masie wegetatywnej. Zawartość tego makroelementu w korzeniach różnicowana była sposobem siewu tylko na obiekcie z obsadą zalecaną w okresie dojrzałości pszenicy.

DYSKUSJA

W mieszance pobranie przez pszenicę jarą i koniczynę perską potasu, fosforu i magnezu było mniejsze niż w siewie czystym. U pszenicy był to efekt wykształcenia roślin o mniejszej masie, a u koniczyny perskiej o mniejszej masie i koncentracji w niej biogenów. Mniejszą akumulację P i K w międzyplonie koniczyny czerwonej odnotowali także Talgre i in. (2012). Podobne rezultaty znajdujemy w pracy Jastrzębskiej i in. (2015) informującej o mniejszym pobraniu P przez jęczmień jary i wsiewkę koniczyny czerwonej. Z kolei Jasiewicz (1995) nie odnotowała wpływu wsiewki koniczyny czerwonej na zawartość w pszenicy fosforu i potasu. Stwierdziła natomiast wzrost zawartości magnezu w słomie, a spadek w ziarnie. W badaniach własnych wykazano, że pobranie fosforu, potasu i magnezu przez pszenicę jarą z wsiewką koniczyny perskiej między kłoszeniem a dojrzałością zmniejszyło się. W tym samym czasie koniczyna zwiększyła ich zawartość. Uzyskany wynik znajduje potwierdzenie w publikacjach, z których wynika, że w okresie, gdy w mieszance jeden z gatunków kończy wegetację, jego potrzeby stają się mniejsze, a z istniejącej puli zasobów korzysta drugi gatunek (Treder i in. 2008, Sobkowicz 2003). Nadto w okresie tym pszenica wchodziła w okres dojrzałości, jej liście stopniowo zasychały i odpadały, dzięki czemu łan uległ przerzedzeniu, zapewniając większy dostęp do jego wnętrza słońca, co stworzyło rosnącej tam koniczynie korzystniejsze warunki do wzrostu. Masa jej korzeni i pędów, w stosunku do fazy kłoszenia pszenicy, uległa wyraźnemu zwiększeniu (Wanic i Myśliwiec 2014). Koniczyna sprawniej pozyskiwała zatem z gleby biogeny. W mieszance

wzrost biomasy koniczyny czerwonej między kłoszeniem i dojrzałością oraz akumulacji w niej fosforu odnotowali także Jastrzębska i in. (2015). Zarówno pszenica, jak i wsiewka w obu sposobach siewu większą ilość składników pokarmowych zakumulowały w częściach nadziemnych niż w korzeniach, co jest zgodne z badaniami Talgre i in. (2012).

Wyniki badań własnych oraz Berkvist i in. (2011) wykazały, że pszenica i koniczyna przyswajają zasoby proporcjonalnie do ich rozmiarów, co oznacza, że potrzeby pokarmowe pszenicy są większe niż koniczyny. Z dostępnej puli składników pokarmowych w większości korzystała pszenica. O większej sile konkurencyjnej pszenicy nad koniczyną o glebowe zasoby pierwiastków informują także Thorsted i in. (2006a). W mieszance, już w początkowym okresie wspólnej vegetacji, jedne gatunki rosną szybciej niż drugie, co daje im przewagę w korzystaniu z zasobów w późniejszych etapach rozwoju (Andersen i in. 2004, Wanic i Myśliwiec 2014). W badaniach własnych, już w fazie rozwoju liści i krzewienia, pszenica wykształciła rośliny o lepiej rozwiniętym systemie korzeniowym i częściach nadziemnych niż koniczyna (Wanic i Myśliwiec 2014). Mogła więc sprawniej od koniczyny pobierać wodę wraz z rozpuszczonymi w niej składnikami pokarmowymi. Sprawilo to, że w dalszym okresie vegetacji wykształciła ona rośliny o większej wysokości, obfitszym ulistnieniu i dobrze rozwiniętym aparacie asymilacyjnym oraz skuteczniej eksploatującym zasoby glebowe korzeniach, co dało jej przewagę nad niższą, słabiej ulistnioną i ukorzenioną koniczyną (Myśliwiec i in. 2014, Thorsted i in. 2006b). Koniczyna zacieniana przez większe i masywniejsze zboże słabiej asymilowała CO₂ (Wanic i in. 2016) i przyswajała N atmosferyczny oraz w ograniczonym stopniu korzystała z zawartych w glebie biogenów. O dużych zdolnościach pozyskiwania pierwiastków przez pszenicę informują Li i in. (2001).

W mieszance, na skutek wzajemnego przeplatania się korzeni roślin, dochodzi do przemieszczania się składników pokarmowych z jednego gatunku do drugiego. Drogi przepływu pierwiastków z jednej rośliny do drugiej są różne. Mogą one uwalniać się z mineralizacji korzeni i pędów (Dubach i Russelle 1994), ze starych korzeni i z wydzielin korzeniowych (Ta i in. 1986), zaś transport ich odbywać się może poprzez strzępki grzybów mikoryzowych (Haystead i in. 1988), dyfuzję, czy też bezpośredni kontakt korzeni. Na skutek tego następuje zwiększenie ich zawartości w roślinach komponenta. Przypuszczalnie tak było w badaniach własnych. W pszenicy uprawianej w mieszance całkowita zawartość P w fazie kłoszenia, na obiekcie z obsadą mniejszą, była nawet większa niż w siewie czystym. W doświadczeniu Yao i in. (2003) wykazano, że tempo przemieszczania P z koniczyny do życicy było większe niż w kierunku odwrotnym. Korzenie życicy posiadały również większą zdolność do absorpcji P i gromadzenia go w pędach.

W ramach analizowanego doświadczenia nie badano, czy i w jakich ilościach dochodzi do transferu składników pokarmowych między roślinami pszenicy i koniczyny. Biorąc pod uwagę, że ich akumulacja w roślinach obu gatunków w mieszance (a zwłaszcza u koniczyny) była mniejsza niż w siewie czystym, można przypuszczać, że transfer ten był niewielki lub go nie było.

W mieszance zagęszczenie roślin pozostało bez wyraźnego i jednoznacznego wpływu na pobranie przez pszenicę i koniczynę makroelementów (z wyjątkiem P w pszenicy). Także Känkänen i Eriksson (2007) oraz Dordas (2012) nie odnotowali wyraźnego wpływu gęstości siewu na plon ziarna jęczmienia i zawartości w nim azotu, a Żuk-Gołaszewska (2010) na biomasę koniczyny czerwonej. Tymczasem Thorsted i in. (2006b) wykazali, że rozrzedzając siew poprzez wzrost szerokości rzędów, uzyskuje się większy plon ziarna i większą akumulację w nim azotu, głównie z powodu ograniczenia konkurencji o światło i o ten pierwiastek. Odmienne rezultaty prezentują Atis i in. (2012), którzy poprzez zwiększenie ilości wysiewu odnotowali wzrost plonu pszenicy i zawartości w nim białka.

WNIOSKI

1. Wsiewka koniczyny perskiej nie miała wpływu na zawartość w roślinach pszenicy fosforu i magnezu. Pod wpływem wsiewki nastąpiło w roślinach pszenicy zmniejszenie zawartości potasu.

2. W fazie kłoszenia sposób siewu nie różnicował w koniczynie perskiej zawartości P, K i Mg. W fazie dojrzałości pszenicy, w mieszance w stosunku do siewu czystego, stwierdzono mniejszą zawartość tych pierwiastków.

3. W mieszance, w okresie dojrzałości pszenica jara i koniczyna perska pobrały mniej fosforu, potasu i magnezu niż w siewie czystym.

4. W fazie kłoszenia pszenica jara pobrała więcej fosforu, potasu i magnezu na obiekcie z obsadą mniejszą niż z zalecaną. Zagęszczenie roślin pozostało bez wpływu na ich pobranie przez pszenicę w fazie dojrzałości.

5. Obsada roślin nie różnicowała pobrania przez koniczynę perską fosforu oraz magnezu w fazie dojrzałości. Roślina ta przyswoiła więcej potasu na obiekcie z zagęszczeniem mniejszym niż zalecanym.

PIŚMIENNICTWO

- Andersen M.K., Hauggaard-Nielsen H., Ambus P., Jansen E.S., 2004. Biomass production, symbiotic nitrogen fixation and inorganic N use in dual and tri-component annual intercrops. *Plant Soil.*, 266, 273-287.
- Atis I., Kokten K., Hatipoglu R., Yilmaz S., Atak M., Can E., 2012. Plant density and mixture ratio effects on the competition between common vetch and wheat. *AJCS.*, 6(3), 498-505.
- Bergkvist G., 2003. Effect of white clover and nitrogen availability on the grain yield of winter wheat in a three season intercropping. *Acta Agr. Scan. B-S P.*, 53, 97-109.

- Bergkvist G., Stenberg M., Wetterlind J., Båth B., Elfstrand S., 2011. Clover cover crops undersown in winter wheat increase yield of subsequent spring barley – Effect of N dose and undersown grass. *Field Crop Res.*, 120, 292-298.
- Dordas C., 2012. Variation in dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in barley as affected by fertilization, cultivar, and source – sink relations. *Eur. J. Agron.*, 37, 31-42.
- Dubach M., Russelle M.P., 1994. Forage legumes roots and nodules and their role in nitrogen transfer. *Agron. J.*, 86, 259-266.
- Hauggaard-Nielsen H., Ambus P., Jensen E.S., 2003. The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 65, 289-300.
- Haystead A., Malajczuk N., Grove T.S., 1988. Underground transfer of nitrogen between pasture plants infected with vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.*, 108, 417-423.
- Jasiewicz C., Zajac T., Sendor R., Witkiewicz R., 1995. Oddziaływanie wsiewek na plon i skład chemiczny roślin ochronnych uprawianych w różnych warunkach siedliska. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 421a, 151-161.
- Jastrzębska M., Kostrzewska M.K., Wanic M., Makowski P., Treder K., 2015. Phosphorus content in spring barley and red clover plants in pure and mixed sowing. *Acta Sci. Pol. Agricultura*, 14(1), 21-32.
- Känkänen H., Eriksson E., 2007. Effects of undersown crops on soil mineral N and grain yield of spring barley. *Eur. J. Agron.*, 27, 25-34.
- Li L., Sun J.H., Zhang F.S., Li X.L., Yang S.C., Rengel Z., 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping. I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. *Field Crop Res.*, 71, 123-137.
- Myśliwiec M., Wanic M., Michalska M., 2014. Response of spring wheat to the growth with undersown of Persian clover under controlled conditions. *Acta Sci. Pol. Agricultura*, 13(3), 29-44.
- Sobkowicz P., 2003. Konkurencja międzygatunkowa w jarych mieszkankach zbożowych. *Zesz. Nauk. AR Wrocław. Rozprawy*, CXCIV, 5-105.
- Talgre L., Lauringson E., Roostalu H., Astover A., Makke A., 2012. Green manure as a nutrient source for succeeding crops. *Plant Soil Environ.*, 58(6), 275-281.
- Ta T.C., McDowall F.D.H., Faris M.A., 1986. Excretion of assimilated N fixed by nodules of alfalfa (*medicago sativa*). *Can. J. Bot.*, 64, 2063-2067.
- Thorsted M.D., Olesen J.E., Weiner J., 2006a. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. *Field Crop Res.*, 95, 280-290.
- Thorsted M.D., Weiner J., Olesen J.E., 2006b. Above and below-ground competition between intercropped winter *Triticum aestivum* and white clover *Trifolium repens*. *J. Appl. Ecol.*, 43, 237-245.
- Treder K., Wanic M., Nowicki J., 2008. The intensity of competitive interactions between spring wheat (*Triticum aestivum* L. Emend. Fiori et. Paol) and spring barley (*Hordeum vulgare* L.) under different fertilization conditions. *Acta Agrobot.*, 61(2), 195-203.
- Wanic M., Myśliwiec M., 2014. Changes in spring wheat (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L.) and Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.) biomass under the influence of plant competition and density. *Acta Agrobot.*, 67(4), 125-134.
- Wanic M., Myśliwiec M., Jastrzębska M., Kostrzewska M., Orzech K., 2016. Gas exchange intensity of spring wheat and undersown Persian clover under conditions of diversified density of plants. *Polish J. Natur. Sci.* (in press).
- Wanic M., Myśliwiec M., Orzech K., Michalska M., 2016. Nitrogen content and uptake by spring wheat and undersown Persian clover depending on plant density. *J. Elem.*, 21(1), 231-246.
- Yao Q., Li X.L., Ai W.D., Christie P., 2003. Bi-directional transfer of phosphorus between red clover and perennial ryegrass via arbuscular mycorrhizal hyphal links. *Eur. J. Soil Biol.*, 39, 47-54.
- Żuk-Gołaszewska K., Purwin C., Pysera B., Wierzbowska J., Gołaszewski J., 2010. Yields and quality of green forage from red clover di- and tetraploid forms. *J. Elem.*, 15(4), 757-770.

PHOSPHORUS, POTASSIUM AND MAGNESIUM CONTENT AND UPTAKE
BY SPRING WHEAT AND UNDERSOWN PERSIAN CLOVER DEPENDING
ON PLANT DENSITY

Maria Wanic, Monika Myśliwiec, Krzysztof Orzech, Mariola Denert

University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Plac Łódzki 3, 10-721 Olsztyn, Poland
e-mail: maria.wanic@uwm.edu.pl

Abstract. In a pot experiment conducted in the years 2010-2012, an assessment was performed of the impact of sowing method and density of spring wheat and Persian clover on their uptake and accumulation of P, K and Mg. The experimental factors were: 1) the method of sowing spring wheat and Persian clover: pure sowing (control) and mixed sowing; 2) the plant density: recommended (according to the rules of proper agricultural practice) and lower (reduced by 20% compared to the recommended density). Tests were conducted during the following growth stages of spring wheat sown on the object with pure sowing and recommended plant density: inflorescence emergence (BBCH 54-56) and ripening (BBCH 87-89). Based on the measurements of dry mass of the aboveground parts (vegetative, heads, grains) and roots, as well as the content of P, K and Mg in them, the uptake of those nutrients by both species was calculated. It was demonstrated that the concentration of P and Mg in spring wheat did not change under the influence of undersown Persian clover. K content in spring wheat growing with the undersown crop was lower than the content in pure sowing. The content of P, K and Mg in clover plants in both methods of sowing was similar to that in the inflorescence emergence stage of wheat. In the ripening stage a reduction of those elements was observed. Uptake of P, K and Mg by spring wheat and the undersown Persian clover was lower than in the case of pure sowing. Density of plants did not diversify the uptake of analysed nutrients by wheat. On the other hand, clover took up more magnesium and less potassium in the object with higher plant density.

Keywords: phosphorus, potassium, magnesium, main crop, undersown crop, spring wheat, Persian clover, content, uptake, density