

**POBRANIE AZOTU Z NAWOZU MINERALNEGO WZBOGACONEGO  
IZOTOPEM <sup>15</sup>N PRZEZ PSZENŻYTO JARE – WYNIKI WSTĘPNE**

*Dorota Kalembasa, Stanisław Kalembasa, Andrzej Wysokiński, Maria Popek*

Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach  
ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce  
e-mail: kalembasa@uph.edu.pl

**Streszczenie.** W badaniach określono wpływ dawki azotu oraz fazy rozwojowej pszenżyta jarego na pobraną ilość azotu przez tą roślinę z gleby oraz z nawozu mineralnego wzbogaconego w izotop <sup>15</sup>N, wyprodukowanego przez „Isotec” w USA. Obliczono współczynniki wykorzystania azotu przez roślinę testową z zastosowanego nawozu metodą różnicową i izotopowego rozcieńczenia. Pszenżyto jare uprawiano w trzech wariantach nawozowych: bez nawożenia azotem oraz po zastosowaniu dawki 30 i 150 kg N·ha<sup>-1</sup>, w formie siarczanu amonu wzbogaconego w izotop azotu <sup>15</sup>N. Oceniono zawartość azotu w poszczególnych częściach roślin (korzenie, łodygi, liście i odpowiednio kwitnące kłosa lub plewy oraz ziarno) w fazie kwitnienia i pełnej dojrzałości pszenżyta jarego. Stwierdzono, że więcej azotu ogółem z nawozu mineralnego pobrało pszenżyto jare nawożone dawką 150 kg N·ha<sup>-1</sup> niż dawką 30 kg N·ha<sup>-1</sup>; więcej w fazie pełnej dojrzałości, niż w fazie kwitnienia. W całkowitej ilości pobranego azotu większy udział miał azot pobrany z gleby (średnio 72,9%) niż z nawozu mineralnego (średnio 27,1%). Wykorzystanie azotu z nawozu mineralnego przez pszenżyto jare liczone metodą izotopowego rozcieńczenia i metodą różnicową wynosiło odpowiednio: 50,4% i 42,3% w fazie kwitnienia oraz 42,5 i 40,3% w fazie pełnej dojrzałości. Wykorzystanie azotu obliczone metodą izotopowego rozcieńczenia było większe w fazie kwitnienia niż pełnej dojrzałości pszenżyta, a także większe z nawozowej dawki 30 kg N·ha<sup>-1</sup> niż 150 kg N·ha<sup>-1</sup>. Obliczenia wykonane metodą różnicową wykazały również większe wykorzystanie azotu po zastosowaniu mniejszej niż większej dawki azotu. Nie stwierdzono jednak istotnych różnic pomiędzy wartościami współczynnika wykorzystania dla terminów zbioru testowej rośliny.

**Słowa kluczowe:** pszenżyto jare, azot <sup>15</sup>N, współczynnik wykorzystania azotu, metoda izotopowego rozcieńczenia

**WSTĘP**

Największym rezerwuarem azotu na Ziemi jest atmosfera. Nad powierzchnią 1 km<sup>2</sup> lądu znajduje się około 8 mln ton azotu (Krupka 1984). Azot ten stanowią głównie mało reaktywne i niedostępne dla roślin cząsteczki N<sub>2</sub>. W glebie, w porów-

naniu z atmosferą, znajduje się niewielka ilość azotu. W glebach mineralnych waha się ona w granicach 0,2-6,0 g N·kg<sup>-1</sup>, przy czym w glebach Polski przeważnie nie przekracza 1 g N·kg<sup>-1</sup>; w glebach organicznych oraz czarnoziemach i czarnych ziemiach może osiągać do 40 g·kg<sup>-1</sup> (Fotyma i in. 1998). Azot wbudowany jest głównie (95-99%) w związki organiczne, bezpośrednio niedostępne dla roślin, a w związkach mineralnych występuje tylko 1-5%. Dla większości uprawianych roślin osiągnięcie optymalnego zaopatrzenia w azot jest możliwe poprzez dostarczenie tego składnika w postaci nawozów, w tym mineralnych. Zużycie azotu w formie nawozów mineralnych na świecie wynosi ponad 100 mln ton, w Europie ponad 20 mln ton, a w Polsce około 1,5 mln ton (FAOSTAT 2013). Prognozuje się do 2050 roku zwiększenie tej ilości azotu do około 200 mln ton na świecie (Tilman i in. 2001). Część azotu niewykorzystanego przez rośliny może w procesie immobilizacji zwiększyć jego pulę w związkach organicznych, część może być przemieszczona z wodą opadową poza obręb profilu glebowego i wówczas zagrażać środowisku przyrodniczemu. Aby określić wykorzystanie przez rośliny azotu wprowadzonego do gleby w postaci nawozów, można zastosować metodę różnicową, w której przyjmuje się, że roślina nawożona i nienawożona pobiera równoważne ilości tego pierwiastka z zapasów glebowych. Jest to tzw. wykorzystanie pozorne. Dokładniej można to określić stosując do badań izotop <sup>15</sup>N (Kalembasa 1989, 1995, Leśniak 2006, Unkovich i in. 2008).

Celem pracy było określenie pobrania azotu z nawozu mineralnego wzbogaconego w izotop <sup>15</sup>N przez pszenżyto jare.

#### MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe założono w 2009 roku w układzie całkowicie losowym, na gruntach należących do UPH w Siedlcach (N52°10', E22°17'). W doświadczeniu uprawiano pszenżyto jare (*Triticosecale* Wittm. ex. A. Camus), odmianę 'Milewo', uwzględniając: czynnik I – nawożenie: obiekt kontrolny (bez nawożenia azotem); przedsiewne nawożenie azotem w dawce 30 kg N·ha<sup>-1</sup> (tj. 3 g N·m<sup>-2</sup>) w formie siarczanu amonu wzbogaconego w izotop <sup>15</sup>N; przedsiewne nawożenie azotem w dawce 150 kg N·ha<sup>-1</sup> (tj. 15 g N·m<sup>-2</sup>) w formie j.w.; czynnik II – faza rozwojowa, w której zbierano pszenżyto: kwitnienie (65 BBCH, I termin) oraz pełna dojrzałość (90 BBCH, II termin). Przedplonem dla pszenżyta jarego była gorczyca biała.

Mikroplotka o powierzchni 1m<sup>2</sup> były wytyczone w łanie uprawianych roślin. Doświadczenie prowadzono w trzech powtórzeniach. Azot mineralny w formie siarczanu amonu o 10% wzbogaceniu w izotop <sup>15</sup>N, wyprodukowanego przez „Isotec” w USA, wprowadzono do gleby przed siewem pszenżyta. Dawki nawożenia fosforem i potasem ustalono (zgodnie z wymaganiami agrotechnicznymi) na

podstawie ich ilości w glebie (w formach przyswajalnych oznaczonych metodą Egnera-Rhiema). Do wszystkich obiektów przedsięwzięcia wprowadzono potas (w dawce odpowiadającej wniesieniu do gleby  $100 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj.  $10 \text{ g K} \cdot \text{m}^{-2}$ ) w postaci soli potasowej. Nie zastosowano nawożenia fosforem ze względu na bardzo wysoką jego zawartość w glebie (w formach przyswajalnych dla roślin). Ziarno pszenżyta jarego przed wysiewem zostało zaprawione zaprawą Funaben T. Wysiew pszenżyta w ilości 480 kielkujących ziaren na  $1 \text{ m}^2$  przeprowadzono w pierwszej dekadzie kwietnia, po uprzednim tradycyjnym przygotowaniu gleby (jesienią orka, wiosną: kultywatorowanie, bronowanie). W fazie początku krzewienia zastosowano jednorazowo przeciw chwastom Chwastox Turbo 340 SL, w dawce odpowiadającej  $2 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Doświadczenie prowadzono na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego, o odczynie lekko kwaśnym, którą zakwalifikowano do kompleksu przydatności rolniczej – żytniego bardzo dobrego (4) oraz klasy bonitacyjnej IVa (gleba średniej jakości lepsza). Zawartość całkowita węgla i azotu w tej glebie, oznaczona wiosną przed wysiewem nawozów, wynosiła odpowiednio  $23,2$  i  $1,78 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Rośliny pszenżyta jarego (całe) zebrano w fazie kwitnienia i pełnej dojrzałości, oddzielnie z każdego poletka. Korzenie wykopano przy użyciu szpadla z całej powierzchni poletka do głębokości 25 cm. Rośliny zebrane w fazie kwitnienia rozdzielono na korzenie, łodygi, liście, kwitnące kłosa, natomiast w fazie pełnej dojrzałości na korzenie, łodygi, liście, plewy i ziarno. W każdej próbie materiału roślinnego oznaczono: zawartość suchej masy (D.M.)- metodą suszarkowo-wagową; zawartość ogólną azotu metodą Kjeldahla (Kalembasa i in. 1989); wzbogacenie w izotop  $^{15}\text{N}$  za pomocą spektrometru emisyjnego NOI-6e (Kalembasa 1995).

Na podstawie uzyskanych wyników badań obliczono ilość azotu w wydzielonych częściach pszenżyta jarego, pochodzącego z gleby oraz wniesionego nawozu mineralnego, metodą różnicową –  $\text{wwN}$  oraz metodą izotopowego rozcieńczenia –  $\text{ww}^{15}\text{N}$ , według wzorów podanych przez Kalembasę (1989 i 1995).

Wyniki badań opracowano statystycznie, wykorzystując analizę wariancji. O istotności wpływu badanych czynników na wartości poszczególnych cech wnioskowano na podstawie testu F Fishera-Snedecora, a wartości  $\text{NIR}_{0,05}$  (do szczegółowego porównania średnich) wyliczono testem Tukey'a. Do obliczeń wykorzystano pakiet Statistica 10 PL (StatSoft, Tulsa, USA).

Summaryczną ilość opadów atmosferycznych w poszczególnych miesiącach wegetacji oraz średnie miesięczne temperatury powietrza w okresie uprawy pszenżyta jarego przedstawiono w tabeli 1. Pszenżyto uznawane jest za roślinę o stosunkowo małych wymaganiach wodnych (Okuyama 1990, Jessop 1996). Kalbarczyk (2010) podaje, że w latach o szczególnie silnym natężeniu suszy, od fazy kłoszenia do dojrzałości woskowej lub też w całym okresie wegetacji, zmniejszenie plonu pszenżyta może przekroczyć 30% w porównaniu do plonu średniego wieloletniego, a według Michalskiego i in. (1994) nawet 60%, w stosunku do roku o korzystnym

przebiegu pogody. Pszenżyto wykazuje dużą wrażliwość na suszę w fazie krzewienia, strzelania w źdźbło, kłoszenia i wypełniania ziarniaków. Analizując przebieg pogody w roku 2009, stwierdzono dość korzystny rozkład opadów i temperatur, w porównaniu do wielolecia. W kwietniu wystąpiła niewielka ilość opadów, ale w czerwcu były one ponad dwukrotnie większe niż średnia wieloletnia. Niedobór opadów w kwietniu mógł być częściowo zrekompenzowany zapasami wody zgromadzonymi w glebie, z ponadprzeciętnych opadów w marcu. Suma opadów w okresie wegetacji badanej rośliny (od kwietnia do sierpnia) była o 34,4% większa niż średnia wieloletnia.

**Tabela 1.** Opady atmosferyczne i temperatury powietrza w trakcie wegetacji pszenżyta jarego (dane Stacji Hydrologiczno-Meteorologicznej w Siedlcach)

**Table 1.** Rainfall and air temperatures during the test crop vegetation (data from Hydro-Meteorological Station in Siedlce, given by IMiGW PIB in Warsaw)

Miesiąc Month	Opady – sumy miesięczne Monthly rainfall (mm)		Temperatura – średnie miesięczne Averages monthly temperatures (°C)	
	okres badań study period 2009	wielolecie multi-year period (1981-2008)	okres badań study period 2009	wielolecie multi-year period (1981-2008)
III	68,9	28,5	1,7	2,0
IV	5,4	32,9	10,0	7,9
V	59,8	54,2	12,9	13,7
VI	163,6	68,8	15,7	16,1
VII	56,5	64,9	19,3	18,3
VIII	95,7	62,7	17,3	17,7

## WYNIKI I DYSKUSJA

Plon poszczególnych badanych części pszenżyta jarego w obydwu fazach rozwojowych był zróżnicowany (tab. 2). Stwierdzono istotny wpływ faz rozwojowych na plon korzeni, łodyg, liści i plon sumaryczny analizowanego zboża. Wprowadzone dawki azotu nie miały istotnego wpływu na plon korzeni, łodyg, kłosów i plon sumaryczny. Większą masę liści, plew i ziarna testowanego zboża w fazie dojrzałości pełnej zebrano z obiektu nawożonego dawką 150 kg N·ha<sup>-1</sup> niż z obiektu kontrolnego i nawożonego azotem w ilości 30 kg N·ha<sup>-1</sup>. Biomasa korzeni i liści rośliny testowej, zebrana w fazie kwitnienia była większa niż w fazie dojrzałości pełnej. Większą masę łodyg zebrano w II (270,6 g·m<sup>-2</sup>) niż I terminie zbioru (185,7 g·m<sup>-2</sup>), co prawdopodobnie było wynikiem wtórnego krzewienia. Całkowita ilość uzyskanej biomasy pszenżyta jarego zebrana w fazie pełnej doj-

rzalności była o 69% większa niż w fazie kwitnienia. W fazie kwitnienia największą część plonu uprawianego pszenżyta stanowiły łodygi (34,5%) i liście (30,8%), mniejszy udział miały korzenie (25,5%), a najmniejszy kłosa (9,2%) (średnio dla roślin ze wszystkich badanych obiektów). W fazie dojrzałości pełnej struktura plonów tej rośliny przedstawiała się następująco: ziarno 38,4%; łodygi 26,5%; liście 12,2%; plewy 12,1%; korzenie 10,8%.

**Tabela 2.** Plon pszenżyta jarego (g s.m. · m<sup>-2</sup>)

**Table 2.** Yield of spring triticale (D.M. g m<sup>-2</sup>)

Faza zbioru Harvest phase	Dawka N N dose kg·ha <sup>-1</sup>	Część rośliny – Part of plant					Suma Sum
		korzenie roots	łodygi stems	liście leaves	kłosa/plewy ears/chaff <sup>2</sup>	ziarno grain	
Kwitnienie Flowering	0	160,2	192,5	165,5	57,1		575,3
	30	155,1	179,4	200,0	55,5	–	590,0
	150	147,1	185,3	258,7	53,5		644,6
	średnia average	154,1	185,7	208,1	55,4	–	603,3
Pełna dojrzałość Full maturity	0	103,3	253,2	116,9	111,8	352,2	937,4
	30	113,3	274,4	120,1	117,8	375,8	1001,4
	150	112,9	284,1	137,5	139,1	446,5	1120,1
	średnia average	109,8	270,6	124,8	122,9	391,5	1019,6
Średnia dla dawek N Average for N doses	0	131,8	222,9	141,2			756,4
	30	134,2	226,9	160,1	–	–	795,7
	150	130,0	234,7	198,1			882,4
NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>	faza zbioru harvest phase	35,9	82,5	31,6	–	–	266,8
	dawka N N dose	n.i. n.s.	n.i. n.s.	47,3	n.i.n.s. /26,8	69,0	n.i. n.s.

<sup>2</sup> – w zależności od fazy zbioru pszenżyta jarego: dla fazy kwitnienia dotyczy kłosów, a dla fazy pełnej dojrzałości plew – depending on spring triticale harvest phase: for blooming stage the value concerns the ears, but for full maturity stage the value concerns the chaff,

n.i. – różnice pomiędzy średnimi nieistotne – n.s. – differences among averages non-significant.

Zawartość azotu w ziarnie pszenżyta jarego nie była uzależniona od wprowadzonej dawki tego składnika do gleby w formie nawozu (tab. 3). W pozostałych częściach uprawianego zboża, zebranego w fazie kwitnienia i pełnej dojrzałości

oraz średnio w całej roślinie, zawartość azotu była istotnie zależna od obydwu badanych czynników w doświadczeniu. Zawartość tego pierwiastka w korzeniach, łodygach, liściach, kłosach i plewach pszenżyta nawożonego dawką 150 kg N·ha<sup>-1</sup> była większa, w porównaniu z obiektem kontrolnym, natomiast nawożonego dawką 30 kg N·ha<sup>-1</sup> nie różniła się istotnie, w stosunku do obiektu kontrolnego i nawożonego 150 kg N·ha<sup>-1</sup>. Średnia zawartość azotu w całej biomase badanej rośliny była większa na obiektach nawożonych większą dawką azotu niż mniejszą. Nie stwierdzono istotnych różnic zawartości azotu w całej biomase pszenżyta jarego zebranego z obiektu kontrolnego i nawożonego dawką 30 kg N·ha<sup>-1</sup>.

Zawartość azotu w korzeniach, łodygach i liściach oraz średnio w całej biomase roślin zebranych w fazie kwitnienia, była większa niż w fazie pełnej dojrzałości. Największą zawartość azotu w I terminie zbioru badanej rośliny uzyskano w kłosach, a w II terminie – w ziarnie. Najmniej azotu stwierdzono w korzeniach pszenżyta w fazie kwitnienia, a w fazie dojrzałości pełnej – w łodygach.

**Tabela 3.** Zawartość azotu w biomase pszenżyta jarego (g N·kg<sup>-1</sup> s.m.)

**Table 3.** Nitrogen content in spring triticale biomass (g N kg<sup>-1</sup> D.M.)

Faza zbioru Harvest phase	Dawka N N dose kg·ha <sup>-1</sup>	Część rośliny – Part of plant					Średnio w biomase Average in biomass
		korzenie roots	łodygi stems	liście leaves	kłosy/plewy ears/chaff <sup>2</sup>	ziarno grain	
Kwitnienie Flowering	0	10,7	13,9	17,3	22,1		14,8
	30	12,7	17,3	18,4	23,3	–	17,0
	150	18,4	20,2	22,1	25,4		21,0
	średnia average	13,9	17,1	19,3	23,6	–	17,6
Pełna dojrzałość Full maturity	0	6,1	4,0	12,9	7,8	21,1	12,2
	30	7,8	5,0	14,3	8,3	21,3	12,9
	150	8,2	5,2	15,6	12,8	21,7	14,3
	średnia average	7,4	4,7	14,3	9,6	21,4	13,2
Średnia dla dawek N Average for N doses	0	8,4	9,0	15,1			13,5
	30	10,3	11,2	16,4	–	–	15,0
	150	13,3	12,7	18,9			17,6
NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>	faza zbioru harvest phase	2,6	1,6	1,9	–	–	1,5
	dawka N N dose	3,9	2,4	2,9	2,2/4,6	n.i. n.s.	2,3

Wzbogacenie w izotop  $^{15}\text{N}$  poszczególnych części pszenżyta jarego (pochodzące ze wzbogaconego nawozu w  $^{15}\text{N}$ ) na obiektach nawożonych dawką  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  było ponad dwukrotnie większe niż dawką  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  (tab. 4). Wzbogacenie w ten izotop stwierdzone w korzeniach, łodygach i liściach oraz średnio w całej biomacie rośliny testowej zebranej w fazie kwitnienia było większe niż w dojrzałości pełnej. Wskazuje to, iż po okresie kwitnienia pszenżyta nastąpiło zmniejszenie pobierania azotu z nawozu mineralnego, a prawdopodobnie zwiększenie roli gleby jako źródła tego makroelementu.

**Tabela 4.** Wzbogacenie pszenżyta jarego w izotop azotu  $^{15}\text{N}$  (%)

**Table 4.** Increase of  $^{15}\text{N}$  isotope of nitrogen in biomass of spring triticale (%  $^{15}\text{N}$ )

Faza zbioru Harvest phase	Dawka N N dose $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	Część rośliny – Part of plant					Średnio w biomacie Average in biomass
		korzenie roots	łodygi stems	liście leaves	kłosa/plewy ears/chaff <sup>2</sup>	ziarno grain	
Kwitnienie Flowering	30	1,62	1,88	1,85	1,40	–	1,76
	150	4,41	4,70	4,80	4,57	–	4,67
	średnia, average	3,01	3,29	3,33	2,98	–	3,21
Pełna dojrzałość Full maturity	30	0,98	1,38	1,46	0,96	1,11	1,17
	150	3,30	3,32	3,92	3,19	3,11	3,25
	średnia, average	2,14	2,35	2,69	2,07	2,11	2,21

Najmniej azotu ogółem zgromadziło pszenżyto jare uprawiane na obiektach kontrolnych, nieco więcej – nawożonych dawką  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a najwięcej – dawką  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , niezależnie od fazy rozwojowej (tab. 5). Ilość azotu pobrana przez korzenie, łodygi i liście rośliny testowej była większa w fazie kwitnienia niż w dojrzałości pełnej. W I fazie zbioru udział azotu zgromadzonego w liściach wynosił 38,3%, łodygach 29,6%, korzeniach 19,9%, a kłosach 12,2% całkowitej ilości pobranej przez pszenżyto. W sumie badana roślina w biomacie nadziemnej, w fazie kwitnienia, zgromadziła 80,1% pobranego azotu. W fazie dojrzałości pełnej udział azotu pobranego przez korzenie, łodygi, liście, plewy i ziarno pszenżyta jarego wynosił odpowiednio 6,0; 9,6; 13,3; 9,0% oraz 62,1% (zgromadzonego). Całkowita ilość azotu pobrana przez roślinę testową była większa w II niż w I terminie zbioru.

Wszystkie analizowane części pszenżyta jarego nawożonego dawką  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  zgromadziły więcej azotu z nawozu (ponad trzykrotnie) niż po zastosowaniu  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  (tab. 5). Ilość azotu pochodzącego z nawozu w korzeniach, łodygach i liściach badanej rośliny była wyraźnie większa w fazie kwitnienia niż dojrzało-

ści pełnej. W sumie w całej biomase zebranej w I terminie, ilość azotu pobranego z nawozu (na obydwu dawkach) była nieco większa niż zebranej w II terminie. W fazie kwitnienia na obiektach z większą dawką azotu prawie  $\frac{3}{4}$  tego pierwiastka pobranego z nawozu pszenżyto jare zgromadziło w łodygach i liściach. W fazie dojrzałości pełnej ponad połowę azotu pobranego z nawozu pszenżyto zgromadziło w ziarnie. Ilość azotu pochodzącego z zapasów glebowych w całej biomase i częściach badanego zboża była zbliżona na obiektach nawożonych obydwoma dawkami azotu.

**Tabela 5.** Ilość azotu pobranego przez pszenżyto jare z różnych źródeł (g N·m<sup>-2</sup>)

**Table 5.** Uptake of nitrogen by spring triticale from different sources (g N m<sup>-2</sup>)

Faza zbioru Harvest phase	Dawka N N dose kg·ha <sup>-1</sup>	Źródła azotu Nitrogen sources	Część rośliny – Part of plant					Suma sum	
			korzenie roots	łodygi stems	liście leaves	kłosa/plewy ears/chaff <sup>2</sup>	ziarno grain		
Kwitnienie Flowering	0	–	1,71	2,68	2,86	1,26	–	8,51	
		nawóz fertiliser	0,32	0,58	0,68	0,18		1,76	
	30	gleba soil	1,65	2,52	3,00	1,11	–	8,28	
		Suma – Sum	1,97	3,10	3,68	1,29		10,04	
	150	nawóz fertiliser	1,19	1,76	2,75	0,62		6,32	
		gleba soil	1,52	1,98	2,97	0,74	–	7,21	
		Suma – Sum	2,71	3,74	5,72	1,36		13,53	
	Pełna dojrzałość Full maturity	0	–	0,63	1,01	1,51	0,87	7,43	11,45
			nawóz fertiliser	0,09	0,19	0,25	0,09	0,89	1,51
		30	gleba soil	0,79	1,18	1,47	0,89	7,11	11,44
Suma – Sum			0,88	1,37	1,72	0,98	8,00	12,95	
150		nawóz fertiliser	0,30	0,49	0,84	0,57	3,01	5,21	
		gleba soil	0,63	0,99	1,30	1,21	6,68	10,81	
		Suma – Sum	0,93	1,48	2,14	1,78	9,69	16,02	



Średnie dla obiektów nawożonych N Average for objects fertilised with N	źródło N sources of N	nawóz fertiliser	0,47	0,75	1,13	0,40/0,33 <sup>2</sup>	1,95	3,70
		gleba soil	1,15	1,67	2,19	0,93/1,05 <sup>2</sup>	6,90	9,44
	NIR <sub>0,05</sub> dla źródeł N LSD <sub>0,05</sub> for sources of N		0,16	0,19	0,28	0,15/0,13	1,21	1,04
	pobranie N z nawozu w zależności od dawki N; N uptake from fertiliser depending on N dose		30	0,21	0,39	0,47		1,64
			150	0,75	1,13	1,80		5,77
	pobranie N z gleby w zależności od dawki N; N uptake from soil depending on N dose		30	1,22	1,85	2,24		9,86
			150	1,08	1,49	2,14		9,01

Ilość azotu pochodzącego z gleby w korzeniach, łodygach i liściach pszenżyta jarego była większa w fazie kwitnienia, niż po uzyskaniu pełnej dojrzałości. Azot pobrany z gleby przez pszenżyto zebrane w fazie kwitnienia w około 70% został zgromadzony w łodygach i liściach. W fazie dojrzałości pełnej około 60% azotu pobranego z gleby pszenżyto zgromadziło w ziarnie.

W całkowitej ilości azotu pobranego przez pszenżyto jare większy udział miał azot pochodzący z gleby niż z nawozu. W zależności od zastosowanego nawożenia azotowego i fazy zbioru zboża udział azotu pochodzącego z gleby średnio w całych roślinach pszenżyta wahał się od 53,3% do 88,3%. Udział azotu pochodzącego z nawozu zawierał się w przedziale od 11,7% do 46,7%.

Procentowy udział azotu pobranego z nawozu (średnio w całej biomase pszenżyta) był większy po zastosowaniu dawki 150 kg N·ha<sup>-1</sup>, w porównaniu z dawką 30 kg N·ha<sup>-1</sup>. W roślinach pszenżyta na obiektach nawożonych większą dawką azotu udział tego makroelementu pochodzącego z gleby był mniejszy niż po zastosowaniu dawki niższej. Badane zboże w fazie dojrzałości pełnej posiadało średnio o 10% mniejszy udział azotu pobranego z nawozu niż w fazie kwitnienia.

Zawartość azotu w glebie była bardzo zbliżona przed wysiewem i po zbiorze pszenżyta jarego, niezależnie od zastosowanego nawożenia azotem i terminu zbioru rośliny testowej (tab. 6).

**Tabela 6.** Zawartość azotu w glebie ( $\text{g N}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
**Table 6.** Nitrogen content in soil ( $\text{g N kg}^{-1}$ )

Faza zbioru pszenżyta Harvest phase of triticale	Dawka N N dose ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	Zawartość N – N content	
		przed założeniem doświadczenia before establishment of experiment	po zbiorze pszenżyta after harvesting of triticale
	0		1,80
Kwitnienie Flowering	30		1,75
	150		1,81
	Średnia – Average		1,79
		1,78	
Pełna dojrzałość Full maturity	0		1,78
	30		1,76
	150		1,80
	Średnia – Average		1,78

Wartości współczynników wykorzystania azotu z zastosowanego nawozu mineralnego wzbogaconego w izotop  $^{15}\text{N}$  przez pszenżyto jare zebrane w fazie kwitnienia były większe (średnio o 8,1%), gdy obliczono je metodą izotopowego rozcieńczenia ( $\text{ww}^{15}\text{N}$ ) niż przy użyciu metody różnicowej ( $\text{wwN}$ ) (tab. 7-8). W fazie pełnej dojrzałości wykorzystanie to było zbliżone, niezależnie od zastosowanej metody liczenia.

Wartości współczynnika wykorzystania azotu obliczone metodą izotopowego rozcieńczenia były większe w I niż II terminie zbioru pszenżyta jarego (tab. 7). Stwierdzono zbliżone wykorzystanie azotu obliczone metodą różnicową w obydwu fazach rozwojowych badanej rośliny (tab. 8). Niezależnie od metody liczenia wykorzystanie azotu przez pszenżyto było większe z dawki  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  niż po zastosowaniu dawki  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Plon ziarna pszenżyta jarego uprawianego w Polsce jest stosunkowo niski, kształtując się w granicach  $2,50\text{-}3,54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Jaśkiewicz 2009). Według Nieróbca (2002) przy prawidłowej obsadzie na jednostce powierzchni, wynoszącej 450-500 roślin oraz długości kłosa około 8 cm, można uzyskać plon ziarna pszenżyta w granicach  $4,5\text{-}5,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a słomy  $4,0\text{-}4,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Badania własne dowiodły, że w warunkach wysokiej zasobności gleby w związki węgla, azotu i fosforu oraz uzupełniającego

nawożenia potasem, nawet w przypadku zaniechania nawożenia azotem, można uzyskać plon ziarna wynoszący około  $3,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  oraz masę resztek poźniwnych około  $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Plon ziarna na poziomie  $3,0\text{-}3,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  jest również możliwy do uzyskania bez nawożenia pszenżyta azotem, ale w przypadku jego uprawy po łubinie żółtym wprowadzanym, do gleby w całości w fazie kwitnienia jako nawóz zielony lub po przyoraniu jego resztek poźniwnych w fazie pełnej dojrzałości (Wysokiński i in. 2014). Zastosowanie niewielkiej dawki azotu w formie siarczanu amonu, zarówno w badaniach własnych ( $30 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), jak i przeprowadzonych przez Klikocką i Sachajko (2011) ( $35 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), spowodowało zwiększenie plonu ziarna odpowiednio o 7% oraz 11%. W przeprowadzonym doświadczeniu po zastosowaniu azotu w dawce  $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  plon ziarna zwiększył się do  $4,46 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , a masa resztek poźniwnych do  $5,61 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Wykorzystując w nawożeniu siarczan amonu do gleby wprowadzono również znaczne ilości siarki. Fotyma (2003) podaje, że siarka może zwiększać plony roślin w sposób pośredni, wpływając na przemiany azotu w roślinie, ponieważ jedną z jej funkcji fizjologicznych jest wpływ na syntezę aminokwasów. Według Potarzyckiego (2003) stosując nawozy, zawierające siarkę można spodziewać się dużej akumulacji

**Tabela 7.** Wartości współczynnika wykorzystania azotu przez pszenżyto jare z nawozu mineralnego, liczone metodą izotopowego rozcieńczenia (%)

**Table 7.** Value of utilisation coefficient of nitrogen (N) from mineral fertiliser by spring triticale, calculated by isotopic dilution method (%)

Faza zbioru Harvest phase	Dawka N N dose $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$	Część rośliny – Part of plant					Suma Sum
		korzenie roots	łodygi stems	liście leaves	kłosa/plewy ears/chaff <sup>2</sup>	ziarno grain	
Kwitnienie Flowering	30	10,7	19,3	22,7	6,0	–	58,7
	150	7,9	11,7	18,4	4,1	–	42,1
	średnia average	9,3	15,5	20,6	5,0	–	50,4
Pełna dojrzałość Full maturity	30	3,0	6,3	8,3	3,0	29,7	50,3
	150	2,0	3,3	5,6	3,8	20,0	34,7
	średnia average	2,5	4,8	6,9	3,4	24,9	42,5
Średnia dla dawek N Average for N doses	30	6,9	12,8	15,5	–	–	54,5
	150	5,0	7,5	12,0	–	–	38,4
NIR <sub>0,05</sub>	faza zbioru harvest phase	1,4	2,4	3,1	–	–	7,3
LSD <sub>0,05</sub>	dawka N N dose	1,4	2,4	3,1	1,7/n.i. n.s.	5,7	7,3

azotu w ziarnie. Prowadząc badania nad nawożeniem siarką pszenicy jarej Foty-  
ma (2003) wykazała, że zastosowanie dawki  $60 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$  wpłynęło na zwiększe-  
nie plonu ziarna i pobranie azotu. W przeprowadzonych badaniach własnych nie  
stwierdzono istotnego zwiększenia zawartości azotu w ziarnie pszenicy po zasto-  
sowaniu obydwu dawek siarczanu amonu. Uzyskano natomiast większą ilość  
azotu zakumulowanego w ziarnie badanej rośliny po zastosowaniu większej dawki  
siarczanu amonu, w porównaniu do dawki mniejszej. Przedstawiony kierunek  
zależności nie znalazł swojego odzwierciedlenia w wykorzystaniu azotu przez  
pszenicy z wprowadzonego do gleby nawozu. Zwiększenie ilości azotu pobra-  
nego z nawozu w biomase pszenicy nie było proporcjonalne do zwiększenia jego  
dawki z  $30$  do  $150 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ , dlatego też wykorzystanie tego makroelementu, niezale-  
żnie od sposobu liczenia, było większe z mniejszej dawki. Uzyskane wartości  
współczynnika wykorzystania azotu obliczone z wykorzystaniem izotopu  $^{15}\text{N}$  (tzw.  
„wykorzystanie rzeczywiste”) wskazują, że mniej dokładna metoda różnicowa  
prowadzi do uzyskania zawyżonych wyników. Autorami podobnych spostrzeżeń są  
Kalembasa (1989) i Wysokiński (2013).

**Tabela 8.** Wartości współczynnika wykorzystania azotu przez pszenicy jare z nawozu mineralne-  
go, liczone metodą różnicową (%)

**Table 8.** Value of utilisation coefficient of nitrogen (N) from mineral fertiliser by spring triticale,  
calculated by differential method (%)

Faza zbioru Harvest phase	Dawka N N dose $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$	Część rośliny – Part of plant					Suma Sum
		korzenie roots	łodygi stems	liście leaves	kłosa/plewy ears/chaff <sup>2</sup>	ziarno grain	
Kwitnienie Flowering	30	8,7	14,0	27,3	1,0	–	51,0
	150	6,7	7,1	19,0	0,7	–	33,5
	średnia average	7,7	10,6	23,2	0,8	–	42,3
Pełna dojrzałość Full maturity	30	8,3	12,0	7,0	3,7	19,0	50,0
	150	2,0	3,1	4,2	6,1	15,1	30,5
	średnia average	5,2	7,6	5,6	4,9	17,0	40,3
Średnia dla dawek N Average for N doses	30	8,5	13,0	17,2	–	–	50,5
	150	4,4	5,1	11,6	–	–	32,0
NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>	faza zbioru harvest phase	1,5	2,4	3,0	–	–	n.i. n.s.
	dawka N N dose	1,5	2,4	3,0	0,2/1,3	3,7	7,7

Zarówno w badaniach własnych, jak i prowadzonych przez Wysokińskiego (2013) oraz Wysokińskiego i in. (2014) największe ilości azotu pszenżyto jare pobrało z zapasów glebowych, niezależnie od przedplonu oraz dawki tego makroelementu zastosowanej w nawożeniu. Przyczyną takiego stanu mogła być wysoka zawartość azotu w glebie, na której uprawiano roślinę testową oraz korzystne warunki pogodowe (m.in. wilgotność, temperatura), które według Porporato i in. (2003) oraz Robertsona i Groffmana (2007) sprzyjają mineralizacji związków organicznych zawartych w glebie i zwiększają pulę azotu dostępnego dla roślin.

#### WNIOSKI

1. W doświadczeniu polowym – mikropoletkowym więcej azotu ogółem oraz z nawozu mineralnego pobrało pszenżyto jare nawożone dawką  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  niż dawką  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; więcej w fazie pełnej dojrzałości niż w fazie kwitnienia. W całkowitej ilości pobranego azotu większy udział miał azot pobrany z gleby (średnio 72,9%) niż z nawozu mineralnego (średnio 27,1%).

2. Wykorzystanie azotu z nawozu mineralnego przez pszenżyto jare obliczone metodą izotopowego rozcieńczenia i metodą różnicową wynosiło odpowiednio 50,4% i 42,3% w fazie kwitnienia oraz odpowiednio 42,5 i 40,3% w fazie pełnej dojrzałości. Wykorzystanie azotu obliczone metodą izotopowego rozcieńczenia było większe w fazie kwitnienia niż pełnej dojrzałości pszenżyta, a także większe z nawozowej dawki  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  niż  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Obliczenia wykonane metodą różnicową wykazały również większe wykorzystanie azotu po zastosowaniu mniejszej niż większej dawki  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Nie dowiodły jednak istotnych różnic pomiędzy wartościami współczynnika wykorzystania dla terminów zbioru testowej rośliny.

#### PIŚMIENNICTWO

- FAOSTAT 2013. FAO Statistics Division, [www.faostat.fao.org/](http://www.faostat.fao.org/).
- Fotyma E., 2003. Wpływ nawożenia siarką na wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez rośliny uprawy polowej. *Nawozy i Nawożenie*, 4, 17, 117-136.
- Fotyma E., Wilkos G., Pietruch C., 1998. Test glebowy azotu mineralnego. Możliwość praktycznego wykorzystania. Wyd. IUNG Puławy, 3-37.
- Jaśkiewicz B., 2009. Czynniki decydujące o regionalnym zróżnicowaniu produkcji pszenżyta w Polsce. *Fragm. Agron.*, 26, 2, 72-80.
- Jessop R.S., 1996. Stress tolerance in newer triticales compared to other cereals. *Triticale: today and tomorrow*. *Dev. Plant Breed.*, 5, 419-427.
- Kalbarczyk E., 2010. Zmienność plonu ziarna pszenżyta jarego w Polsce w warunkach różnego nasilenia suszy atmosferycznej. *Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ.*, 1, 47, 20-33.

- Kalembasa S., 1989. A comparison between the difference method and the isotopic dilution method for assessing the coefficient utilization of nitrogen by oat when applied in top dressing as potassium nitrate. *Polish J. Soil Sci.*, 12, 2, 73-78.
- Kalembasa S., 1995. Zastosowanie izotopów  $^{13}\text{N}$  i  $^{15}\text{N}$  w badaniach gleboznawczych i chemiczno-rolniczych. Wyd. Nauk.-Tech., Warszawa.
- Kalembasa S., Carlson R.W., Kalembasa D., 1989. A new method for the reduction of nitrates in total nitrogen determination according to the Kjeldahl method. *Polish J. Soil Sci.*, 22, 2, 21-26.
- Klikocka H., Sachajko J., 2011. Kompleksowa ocena agrotechnologii ziemniaka i pszenżyta jarego. *Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie*, 195, 4.
- Krupka H.M., 1984. Wybrane problemy biologicznego wiązania azotu atmosferycznego. *Wiadomości Ekologiczne*, 30, 3, 249-271.
- Leśniak P., 2006. Frakcjonowanie trwałych izotopów azotu w obiegu naturalnym - implikacje dla badań zanieczyszczeń wód podziemnych. *Przegląd Geologiczny*, 54(7), 594-596.
- Michalski T., Sulewska H., Waligóra H., 1994. Reakcja odmian pszenżyta jarego i pszenicy jarej na przebieg pogody. *Zesz. Nauk AR w Szczecinie* 162, *Rolnictwo*, 58, 175-178.
- Nieróbca P., 2002. Uprawa pszenżyta jarego na glebach lekkich. *Agrochemia*, 1, 8-10.
- Okuyama L.A., 1990. Grain yield and yield components of triticale and wheat as a function of water stress. *Agronomio do Parana*, 14, 94, 53-56.
- Porporato A., D'odorico P., Laio F., Rodriguez-Iturbe I., 2003. Hydrologic controls on soil carbon and nitrogen cycles. I. Modeling scheme. *Adv. Water Res.*, 26, 45-58.
- Potarzycki J., 2003. Rola siarki z superfosfatu prostego w nawożeniu jęczmienia jarego. I. Plon i jakość ziarna. *Nawozy i Nawożenie*, 4, 17, 180-192.
- Robertson G.P., Groffman P.M., 2007. Nitrogen transformations. (In): Paul E.A. ed., *Soil Microbiology and Biochemistry*, 3rd ed., 341-364.
- Tilman D., Fargione J., Wolff B., D'Antonio C., Dobson A., Howarth H., Schindler D., Schlesinger W.H., Simberloff D., Swackhamer D., 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292, 281-284.
- Unkovich M., Herridge D., Peoples M., Cadisch G., Boddey B., Giller K., Aloes B., Chalk P., 2008. Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems. Published by ACIAR, Monograph, 136.
- Wysokiński A., 2013. Ilość azotu biologicznie zredukowanego przez łubin żółty (*Lupinus luteus* L.) i jego wykorzystanie przez roślinę następczą – żyto ozime (*Secale cereale* L.). Wyd. UPH w Siedlcach, *Rozpr. Nauk.*, 126.
- Wysokiński A., Kalembasa D., Kalembasa S., 2014. Utilization of nitrogen from different sources by spring triticale (*Triticosecale* Wittm. ex. A. Camus) grown in the stand after yellow lupine (*Lupinus luteus* L.). *Acta Sci. Pol., Agricultura* 13, 2, 79-92.

---

**NITROGEN UPTAKE BY SPRING TRITICALE FROM MINERAL FERTILIZER ENRICHED WITH  $^{15}\text{N}$  ISOTOPE – PRELIMINARY RESULTS**

*Dorota Kalembasa, Stanisław Kalembasa, Andrzej Wysokiński, Maria Popek*

Soil Science and Plant Nutrition Department,  
Siedlce University of Natural Sciences and Humanities  
ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce  
e-mail: kalembasa@uph.edu.pl

**Abstract.** The objective of the study was to determine the effect of nitrogen dose and the development phase of spring triticale on nitrogen uptake by that plant from the soil and from a mineral fertiliser enriched with isotope  $^{15}\text{N}$ , produced by Isotec, USA. The coefficients of nitrogen utilisation from the fertiliser by the test plant were calculated with the differential method and the method of isotopic dilution. Spring triticale was cultivated in three fertilisation variants: without nitrogen fertilisation, and with the application of fertiliser doses of 30 and 150 kg N ha<sup>-1</sup> in the form of ammonium nitrate enriched with nitrogen isotope  $^{15}\text{N}$ . Estimation was made of the content of nitrogen in particular parts of the plants (roots, stems, leaves, flowering ears or chaff, respectively, and grain) in the flowering and full maturity phases of spring triticale. It was found that a larger amount of total nitrogen was taken up by spring triticale fertilised with the dose of 150 kg N ha<sup>-1</sup> than 30 kg N ha<sup>-1</sup>, and the uptake was higher in the phase of full maturity than in that of flowering. In the total uptake of nitrogen the share of nitrogen taken up from the soil was higher (average of 72.9%) than of nitrogen taken up from the mineral fertiliser (average of 27.1%). Nitrogen utilisation from the mineral fertiliser by spring triticale, calculated with the method of isotopic dilution and with the differential method was 50.4% and 42.3%, respectively, in the flowering phase and 42.5 and 40.3% in full maturity phase. Nitrogen utilisation calculated with the method of isotopic dilution was higher in the flowering phase than at full maturity of spring triticale, and also higher from the fertiliser dose of 30 kg N ha<sup>-1</sup> than 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Calculations with the differential method also showed higher nitrogen utilisation after the application of the smaller dose of nitrogen. No significant differences were noted between the values of nitrogen utilisation coefficient for the harvest times of the test crop.

**Keywords:** spring triticale, nitrogen  $^{15}\text{N}$ , nitrogen utilisation coefficient, isotopic dilution method