

Anna Podleśna

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

PROCES WIĄZANIA  $N_2$  PRZEZ ROŚLINY BOBOWATE JAKO ŹRÓDŁO  
AZOTU DLA ROŚLIN UPRAWNYCH\*

**Słowa kluczowe:** symbiotyczne wiązanie  $N_2$ , rośliny bobowate, mieszanki strączkowo-zbożowe, transfer azotu, azot działający

---

Wstęp

Współcześnie uprawiane rośliny mają wysoki potencjał plonowania, jednak jednym z warunków jego realizacji jest sprostanie ich zwiększonym potrzebom pokarmowym. Spośród wszystkich składników pokarmowych, pierwszorzędną rolę spełnia azot, który jest pierwiastkiem biogennym, niezbędnym dla życia wszystkich organizmów żywych. Istotna rola azotu w biologii roślin wynika z faktu, że pierwiastek ten wchodzi w skład nie tylko białek, ale też innych biologicznie ważnych związków tj. kwasów nukleinowych, nukleotydów, hormonów roślinnych i metabolitów wtórnych oraz nośników energii czyli ATP (1). Dlatego jego niedobór stanowi czynnik silnie ograniczający wzrost i rozwój roślin.

Całkowita ilość azotu na Ziemi jest szacowana na około  $1,6 \times 10^{17}$  t (3). Jego główne zasoby występują w: atmosferze (ok.  $3,86 \cdot 10^{15}$  t), litosferze (ok.  $1,64 \cdot 10^{15}$  t) oraz biosferze ( $2,8 \cdot 10^{11}$  t); (3). Większość azotu zlokalizowanego w geosferze (98%) stanowią formy nieprzyswajalne przez organizmy żywe, a tylko 2% tego pierwiastka może zostać przez nie wykorzystana bezpośrednio lub po uprzedniej transformacji. Do rezerwuarów biodostępnych należy przede wszystkim: atmosfera, w której azot występuje w formie cząsteczkowej ( $N_2$ ) i w związkach z tlenem ( $N_2O$ , NO,  $NO_2$ ) oraz gleba, w której pierwiastek ten występuje w postaci organicznej i nieorganicznej (azotany, azotyny i jony amonowe) w ilości ok.  $3,0 \cdot 10^{11} \cdot t^{-1}$  (16). Jednak na glebach uprawnych często występuje brak odpowiedniej ilości azotu, który zagraża zmniejszeniem wielkości uzyskiwanych plonów i obniżeniem opłacalności produkcji

---

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.6 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

(12). Dlatego w gospodarstwach rolnych stosuje się nawozy mineralne zawierające azot, które stają się jego głównym źródłem dla większości roślin uprawnych. Nawozy syntetyczne są dostępne w dużym asortymencie, a ich produkcja bardzo szybko wzrasta od początku lat 60-tych ubiegłego wieku (13). Pokrywają one zapotrzebowanie roślin na azot w 60-70 %, a pozostałą część rośliny pobierają z nawozów naturalnych i organicznych, zapasów glebowych oraz opadu atmosferycznego (26). Produkcja nawozów syntetycznych wymaga wysokich nakładów energii, jest kosztowna oraz w sposób negatywny wpływa na środowisko (12). Stosowanie dużych dawek mineralnych nawozów azotowych przyczynia się do zakwaszenia gleb, co pogarsza ich strukturę i warunki powietrzno-wodne. Zakwaszenie wywołuje niekorzystne zmiany w proporcjach mikroorganizmów powodując zwiększenie zespołu grzybów w stosunku do bakterii (21). Sprzyja też wymywaniu makroelementów (K, Ca i Mg) oraz zwiększeniu dostępności toksycznych form glinu i manganu (12,15). W tych warunkach wymywaniu ulega także azot nie pobrany przez rośliny (głównie N-azotanowy), który jest przenoszony do wód glebowych a następnie do jezior i rzek powodując ich eutrofizację (32). Innymi środowiskowymi kosztami stosowania azotowych nawozów mineralnych są emisje do atmosfery zbyt dużych ilości związków azotu, zwłaszcza  $N_2O$ ,  $N_2$ ,  $NO_x$  i  $NH_4$  (17). A więc nadmierna aplikacja nawozów azotowych, nastawiona na uzyskanie wysokiego plonu, niekorzystnie oddziałuje na środowisko oraz powoduje straty finansowe rolnika. Tymczasem jednym z celów strategii zrównoważonego rozwoju jest zmniejszanie negatywnych skutków postępu w rolnictwie, w tym także wynikających ze stosowania sztucznych nawozów mineralnych (13). Cel ten można realizować poprzez system nawożenia zrównoważonego, który opiera się na uzupełnianiu nawożenia mineralnego poprzez nawozy naturalne i organiczne oraz uwzględnia składniki pokarmowe pochodzące ze wszystkich źródeł, w tym zwłaszcza ze źródeł naturalnych (10, 20). W tym względzie szczególną uwagę należy zwrócić na rolę jaką w rolnictwie spełniają rośliny bobowate. Ta grupa roślin ma zdolność zaopatrywania się w azot w procesie symbiotycznego wiązania azotu z atmosfery i nie wymaga nawożenia tym składnikiem lub potrzebuje jedynie jego niewielkich dawek startowych. Ponadto resztki poźniwne roślin bobowatych pozostawiają znaczne ilości azotu dla roślin następczych a poprzez uprawę w mieszankach mogą zaopatrywać w ten składnik roślinę współrzedną (zboża, trawę). W oparciu o wymienione dane przyjmuje się, że uprawa roślin bobowatych powoduje także zwiększenie zasobności gleby w azot (18).

### Rośliny bobowate – charakterystyka

Bobowate (*Fabiaceae* Lindl.), dawniej motylkowate (*Papilionaceae* Hall.) są zaliczane do klasy dwuliściennych (*Dicotyledoneae*), podklasy różowych (*Rosidae*), rzędu bobowców (*Fabales*) i rodziny bobowatych, która obejmuje trzy podrodziny. Podrodziną najbogatszą w gatunki i rodzaje są bobowate (*Papilionoideae*), której przedstawiciele występują we wszystkich strefach klimatycznych świata.

Wiele gatunków z tej podrodziny to rośliny użytkowe i uprawne o znaczeniu ogólnosiwiatowym (16).

Wysoka zawartość białka bogatego w aminokwasy egzogenne w nasionach i organach wegetatywnych bobowatych (zielonka) jest podstawą w wykorzystaniu tych roślin jako pokarmu dla człowieka, paszy dla zwierząt gospodarskich, składnika pasz treściwych oraz surowca stosowanego w przemyśle przetwórczym. Średnia zawartość białka w nasionach bobowatych może wynosić  $240-440 \text{ g kg}^{-1}$ , a zielonka z tych roślin może zawierać ok.  $150-200 \text{ g kg}^{-1}$  białka i jest bogata w prowitaminę A (16).

Z ekologicznego punktu widzenia, obecność roślin bobowatych sprzyja ograniczaniu erozji wodnej ze względu na rozbudowany, palowy i głęboki system korzeniowy, który ułatwia przenikanie wód opadowych w głąb profilu glebowego, ograniczając spływy powierzchniowe wody. Natomiast duża masa części nadziemnej oddziałuje na zadarnienie gleby. Rośliny te przyczyniają się do wzbogacenia gleby w próchnicę, wzrostu jej aktywności biologicznej oraz ułatwienia transportu składników mineralnych (w tym głównie fosforu i potasu) do powierzchniowych warstw gleby, z poziomów i związków trudno dostępnych dla innych roślin (28). Od czasów Rzymian rośliny bobowate były stosowane w mieszkankach przy zakładaniu łąk i dla poprawy jakości gleby (18) Jednakże najbardziej istotną korzyścią ekologiczną ze stosowania bobowatych jest wzbogacenie gleby w przyswajalny azot, jako efekt prowadzonego przez nie procesu symbiotycznego wiązania azotu. Związek tych roślin z bakteriami przynosi korzyści nie tylko obu symbiontom, ale posiada też kluczową rolę w obiegu azotu w przyrodzie, co jest nieocenione w gospodarce rolnej oraz funkcjonowaniu ekosystemów lądowych (16). Należy podkreślić, że  $100 \text{ kg}$  azotu związanego przez roślinę bobowatą jest ekwiwalentem  $200 \text{ kg N}$  zastosowanego w formie nawozu mineralnego (22). Ma to więc podstawowe znaczenie ekologiczne dla środowiska i istotnie obniża koszty uzupełniającego nawożenia mineralnego, co ma wymiar ekonomiczny dla rolnika (6, 18, 22).

### Biologiczne wiązanie azotu atmosferycznego

Poza pobieraniem różnych form azotu przez korzenie, rośliny bobowate mogą pozyskiwać ten składnik dzięki symbiozie z bakteriami wiążącymi azot atmosferyczny (1). Jest to unikalna zdolność tej grupy roślin oparta na ciągłym, molekularnym dialogu pomiędzy partnerami: rośliną bobowatą i bakteriami z rodzaju *Rhizobium* (18, 23). Z chemicznego punktu widzenia proces biologicznego wiązania  $N_2$  jest konwersją bardzo mało reaktywnego (i przez to nieprzyswajalnego dla roślin i zwierząt) azotu cząsteczkowego ( $N_2$ ) do zredukowanej formy tego pierwiastka, czyli amoniaku, który może być dalej metabolizowany w komórkach żywych organizmów. Biologiczna transformacja wolnego azotu atmosferycznego w przyswajalne jony amonowe ( $NH_4^+$ ) jest procesem wysoce energochłonnym, co oznacza, że wymaga on elektronów i protonów ( $H^+$ ), a także znacznych ilości energii w postaci ATP (13). Wynika to z tego, że cząsteczka azotu ( $N_2$ ), składająca się z dwu atomów połączonych

potrójnym wiązaniem kowalencyjnym, jest bardzo trwała i nieaktywna chemicznie (16). Obniżenie energii aktywacji i redukcja azotu atmosferycznego (u ryzobiów) odbywa się przy udziale kompleksu enzymatycznego, w którym najważniejsza jest nitrogenaza – enzym katalizujący bezpośrednio redukcję  $N_2$  (13, 16).

Warunkiem efektywnego przebiegu procesu symbiotycznego wiązania azotu jest zakażenie rośliny bobowatej przez właściwy szczep bakterii z rodzaju *Rhizobium* o wysokiej wydajności oraz odpowiednie warunki glebowo-klimatyczne w okresie wegetacji (8, 14). Ryzobia to grupa bakterii symbiotycznych zasiedlających tkanki (głównie korzenie) roślin bobowatych, która wykazuje specyficzność gospodarza i tworzy związki symbiotyczne z odpowiednimi rodzajami bobowatych (13, 24) (Tab. 1).

Tabela 1

Specyficzność oddziaływań ryzobiovych

Rodzaj	Gatunek	Gospodarz roślinny
<i>Rhizobium</i>	<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i> <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>trifolii</i> <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>etli</i>	wyka, groch, soczewica, lędźwian fasola koniczyna fasola, wspanięga
<i>Bradyrhizobium</i>	<i>B. japonicum</i> <i>B. elkani</i>	soja, wspanięga
<i>Sinorhizobium</i>	<i>S. meliloti</i> <i>S. fredii</i>	nostrzyk, lucerna, kozieradka soja, wspanięga
<i>Azorhizobium</i>	<i>A. caulinodans</i>	<i>Sesbania rostrata</i>
<i>Mezorhizobium</i>	<i>M. loti</i> <i>M. huakuii</i>	komonica, łubin <i>Astragalus sinicus</i>

Źródło: Sujkowska, 2009 (24)

Biologiczne wiązanie azotu koniecznego do życia, ale niedostępnego roślinom, odbywa się przy udziale bakterii na terenie organów symbiozy – brodawek (16) czyli wyspecjalizowanych organów, o złożonej strukturze anatomicznej i cytologicznej, które są wytworem komórek warstw wewnętrznych kory pierwotnej korzeni roślin bobowatych (13, 24). W brodawkach znajdują się wiązki przewodzące, łączące się z centralnym systemem przewodzącym rośliny – gospodarza, którymi roślina dostarcza do brodawek węglowodany (13).

### Akumulacja azotu w roślinach bobowatych

W okresie wzrostu i rozwoju roślin bobowatych miejsce głównej akumulacji azotu ulega zmianie. Wysokiński i in. (30) stwierdzili, że w fazie początku i pełni kwitnienia grochu najwięcej azotu ogółem gromadziło się w łodygach (średnio 54,4% całkowitej ilości), a następnie w liściach (średnio 39,%). Zdaniem ww. autorów potwierdza to tezę o gromadzeniu przeważającej ilości makroskładników w biomasie

nadziemnej tej grupy roślin. Natomiast w fazie dojrzałości pełnej 72,2% całkowitej ilości azotu pobranej przez groch znajdowało się w nasionach, a pozostała część całkowitej ilości azotu była zakumulowana w organach, które najczęściej stanowią resztki poźniwne i są pozostawiane w glebie.

Z kolei udział azotu pochodzącego z biologicznej redukcji  $N_2$  w całkowitej ilości tego pierwiastka pobranej przez korzenie, łodygi, liście, strączyny i nasiona roślin dojrzałych wynosił odpowiednio: 30,1; 18,6; 6,6; 24,2 i 14,6 %, co w całej roślinie stanowiło ogółem 15,0 %. Doświadczenie wazonowe, prowadzone z zastosowaniem nawozów mineralnych wzbogaconych w izotop  $^{15}N$  wykazało, że w całkowitej ilości azotu pochodzącego ze wszystkich źródeł, ilość azotu pobranego przez groch z nawozu stanowiła w dojrzałości pełnej 42,4%, a udział azotu z zasobów glebowych wyniósł 42,6% (30). Tylko 15 % azotu rośliny pobrały z atmosfery, co stanowiło i tak większy udział tego źródła niż w fazie początku i pełni kwitnienia (odpowiednio 9,6 i 9,2%). Zdaniem autorów doświadczenia, stosunkowo niewielki udział azotu pochodzącego z biologicznej redukcji  $N_2$  w całkowitej ilości pobranej przez groch może być efektem przedsewnego nawożenia tym składnikiem. W sprzyjających warunkach glebowych oraz w warunkach chłodnego klimatu i wydłużonego okresu wegetacji groch może pobrać ponad 60% azotu z atmosfery, co odpowiada ponad 100 kg N·ha<sup>-1</sup> (2).

Inne rezultaty uzyskano w doświadczeniu polowym z łubinem żółtym (29). Ilość azotu ogółem zgromadzona w częściach nadziemnych stanowiła 89,3 % całkowitej ilości tego pierwiastka pobranej przez rośliny łubinu (Tab. 2). Najwięcej N ogółem (68,4 kg·ha<sup>-1</sup>), stanowiącą 54,3% całkowitego pobrania, łubin zgromadził w nasionach. Natomiast największy procentowy udział w całkowitej ilości azotu pobranego przez poszczególne organy miał azot pochodzący z biologicznej redukcji  $N_2$ , który ogółem w całej roślinie wyniósł 76,6%. W całkowitej ilości azotu pochodzącego ze wszystkich źródeł udział tego pierwiastka pobranego przez łubin z nawozu stanowił średnio zaledwie 1,7%. Z kolei udział azotu pochodzącego z zasobów glebowych wahał się od 18,1% w korzeniach do 35,6% w liściach, przy średniej dla całej rośliny wynoszącej 21,7%. Przedstawione wyniki potwierdzają wcześniejsze doniesienia, że rośliny bobowate, w tym łubin żółty, pobierają z powietrza duże ilości azotu.

Tabela 2

Ilość azotu pobranego przez łubin żółty z różnych źródeł ( kg N·ha<sup>-1</sup> )

Źródła azotu		Część rośliny					Suma/ Średnia
		korzenie	łodygi	liście	strączyny	nasiona	
Biologiczna redukcja $N_2$	kg	10,86	15,96	8,86	7,41	53,44	96,53
	%	80,80	75,50	61,90	76,50	78,10	76,60
Nawóz mineralny	kg	0,15	0,39	0,37	0,15	1,04	2,10
	%	1,12	1,82	2,58	1,51	1,52	1,66
Gleba	kg	2,43	4,78	4,10	2,12	13,91	27,34
	%	18,10	22,60	35,60	21,90	20,30	21,70
Razem		13,44	21,13	13,33	9,68	68,39	125,97
NIR <sub>0,05</sub>		2,02	9,06	5,60	1,83	20,16	30,65

% - udział w całkowitej ilości azotu pobranego przez poszczególne organy łubinu żółtego

Źródło: Wysokiński i in., 2014 (29)

### Ilość azotu atmosferycznego wiązanego przez rośliny bobowate

Symbiotyczne wiązanie azotu jest procesem złożonym i zdaniem Martyniuka (13) jego ilość zależy od wielu czynników w tym od: właściwości genetycznych rośliny bobowatej i jej symbionta, gatunku i typu odmiany, wielkości plonu, odczynu gleby oraz od czynników środowiska i prowadzonych zabiegów agrotechnicznych. Dane przedstawione w tabeli 3, pokazują ilość azotu wiązanego w częściach nadziemnych, wybranych roślin bobowatych.

Tabela 3

Zakresy oraz średnie ilości N<sub>2</sub> związanego przez wybrane rośliny bobowate

Roślina	%Nd <sub>fa</sub> *	N związany w części nadziemnej (kg·ha <sup>-1</sup> )	
		zakres	średnia
Soja	53	0-450	175
Groch	68	4-244	150
Bobik	80	12-330	151
Fasola	40	0-165	65
Łubin wąskolistny	65	19-327	165
Lucerna	70	50-460	180

\*% N pochodzącego z powietrza

Źródło: Martyniuk, 2008 (13), zmodyfikowane

Również Trawczyński (27) zestawił ilość azotu wiązanego przez bakterie brodawkowe w symbiozie z różnymi roślinami bobowatymi (Tab. 4). Dane te pokazują jakie ilości azotu uzyskanego w procesie symbiotycznego wiązania N<sub>2</sub> są lokowane w częściach nadziemnych lub w nasionach roślin bobowatych lub dostarczane do gleby w postaci resztek poźniwnych. Spośród tej grupy roślin najwięcej azotu pochodzącego z tego procesu pozostawiają w glebie bobowate drobnonasienne tj. lucerna i koniczyna. Wymienione rośliny mają bardzo sprawny proces biologicznego wiązania N<sub>2</sub> ponieważ ich masa nadziemna jest kilkakrotnie w sezonie koszona lub wypasana i musi być odbudowana, a pomimo tego w każdej tonie s. m. wiąże około 20 kg azotu.

Tabela 4.

Ilość azotu związanego przez bakterie brodawkowe roślin bobowatych (na podstawie różnych źródeł)

Roślina	Rodzaj plonu	Ilość N związanego symbiotycznie	
		W 1 t s. m. cz. nadziemnych lub nasion (kg)	W resztkach poźniwnych (kg·ha <sup>-1</sup> )
Lucerna	siano	21	112
Koniczyna	siano	18	65
Wyka, peluszka, seradela	poplon	14	18
Bobik, wyka, groch	nasiona	31*	12
Łubiny	nasiona	43*	17
Soja	nasiona	36*	13

\*wraz z odpowiednim plonem ubocznym

Źródło: Trawczyński, 2010 (27), zmodyfikowane

Zdaniem Walerowskiej (28) korzystną cechą roślin strączkowych jest fakt, że wiążą znacznie więcej azotu niż odprowadzają z plonem. Na przykład ilość azotu biologicznie związanego przez łubin żółty wynosi około 140, a przez łubin wąskolistny około  $70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , co odpowiada 400 i 200 kg saletry amonowej. Z tych ilości z pola łubinu żółtego i wąskolistnego wynoszone jest odpowiednio około 100 (73%) i 59 (84%)  $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Globalny wkład azotu związanego biologicznie w systemy rolnicze jest ogromny. Herridge i in. (9) oszacowali wielkość tego składnika powstałego w wyniku symbiozy głównych roślin strączkowych z bakteriami *Rhizobium*. Wynosi ona  $2,95 \cdot 10^9$   $\text{kg N}$  rocznie dla roślin strączkowych i  $18,5 \cdot 10^9$   $\text{kg N}$  dla oleistych roślin strączkowych (Tab. 5). Z danych tych wynika, że dominującym w świecie gatunkiem roślin strączkowych jest soja, która zajmuje 50% globalnej powierzchni roślin strączkowych i stanowi 68% ich produkcji. Spośród tych roślin stosunkowo duży udział w wiązaniu  $N_2$  mają fasola i groch, które są uprawiane w naszej strefie klimatycznej. Zebrane dane wskazują na wielki udział roślin strączkowych w produkcji światowych zasobów azotu, który jest włączony w obieg tego składnika w rolnictwie. Generalne szacunki wskazują, że ilość  $N_2$  związanego przez mikroorganizmy około 4 – krotnie przewyższa ilość azotu wyprodukowanego metodami przemysłowymi (12), co pokazuje ogromne możliwości tej grupy roślin. Według Łyszcz i Gałązki (12) proces biologicznego wiązania azotu jest w środowisku naturalnym jedną z najlepszych metod wprowadzania do gleby zredukowanych związków azotowych dostępnych dla roślin.

Tabela 5

Szacunkowe ilości N wiązane rocznie przez główne rośliny strączkowe i oleiste strączkowe (wg FAO dla roku 2005)

Roślina strączkowa	Powierzchnia (Mha)	Plon nasion (Tg)	N w roślinach (Tg)	%Ndfa	N związany (Tg)
Fasola zwyczajna	25,1	18,1	1,45	40	0,58
Wspięga	9,2	4,6	0,37	63	0,23
Cieciorka	10,4	8,4	0,96	63	0,60
Groch	6,6	11,3	0,90	63	0,57
Soczewica	4,1	4,1	0,33	63	0,21
Bobik	2,7	4,3	0,38	75	0,29
Inne strączkowe	11,4	9,4	0,75	63	0,47
Strączkowe razem	69,7	60,2	4,14	57	2,95
Orzech ziemny	23,4	37,6	3,03	68	2,06
Soja	93,4	214,8	24,17	68	16,44
Razem oleiste	116,7	252,4	27,20	68	18,50
Ogółem strączkowe	186,4	312,6	32,34	66	21,45

Źródło: Herridge i in., 2008 (9), zmodyfikowane

## Wiązanie azotu atmosferycznego przez rośliny bobowate uprawiane w mieszankach

Uprawa mieszana jest odwieczną, szeroko rozpowszechnioną praktyką w rolnictwie, która nabiera szczególnie pozytywnego znaczenia w odniesieniu do mieszanek zbożowo-strączkowych. Mieszanki te są coraz bardziej docenianym rodzajem uprawy dzięki zdolności łagodzenia niekorzystnych skutków nadmiernego udziału zbóż w płodozmianie oraz dzięki temu, że stanowią dobry przedplon dla roślin następczych (15). Ten typ uprawy powoduje zwiększenie zawartości białka w ziarnie komponenta zbożowego, wzrost plonu białka ogólnego w biomasie oraz wzrost zawartości białka ogólnego w plonie nasion mieszanki. Podgórska-Lesiak i in. (19) prowadzili doświadczenie polowe, w którym uprawiali groch w mieszankach z jęczmieniem (Tab. 6). Obserwowano wyraźnie dodatni wpływ uprawy jęczmienia z grochem na zawartość azotu w ziarnie jęczmienia oraz na wzrost pobrania azotu przez mieszankę jęczmienia z grochem.

Również badania prowadzone przez Sobkowicza i in. (23) wykazały, że jęczmień uprawiany w mieszance z grochem odznaczał się średnio o 30 g·kg<sup>-1</sup> s.m. większą zawartością białka w ziarnie niż uprawiany w siewie czystym. Było to następstwem pozyskiwania przez roślinę strączkową azotu atmosferycznego wiązane go przez bakterie brodawkowe i tym samym jej słabszej konkurencji z jęczmieniem o azot glebowy oraz możliwości przekazywania roślinom jęczmienia azotu związanego symbiotycznie.

Tabela 6

Pobranie azotu przez rośliny jęczmienia i grochu w zależności od nawożenia azotem i uprawy – faza dojrzałości pełnej

Obiekt	Pobranie N z plonem suchej masy roślin (g·m <sup>-2</sup> )				Pobranie N z plonem ziarna i nasion (kg·ha <sup>-1</sup> )			
	Nawożenie N (kg·ha <sup>-1</sup> )			Średnio	Nawożenie N (kg·ha <sup>-1</sup> )			Średnio
	0	30	60		0	30	60	
Jęczmień	7,4	8,3	11,1	8,9	44	55	75	58
Groch o. Wiato	15,7	19,9	19,9	18,5	78	86	93	86
Groch o. Fidelia	13,1	16,0	16,5	15,2	67	71	78	72
Jęczmień + Wiato	17,7	20,9	17,1	18,6	96	108	103	102
Jęczmień + Fidelia	18,0	20,9	19,1	19,3	91	102	101	98
Średnio	14,4	17,2	16,7	-	75	84	90	-

Źródło: Podgórska-Lesiak i in., 2011 (19), zmodyfikowane

Buraczyńska i Ceglarek (5) badali wartość przedplonową resztek poźniwnych i słomy po uprawie pszenicy jarej i grochu oraz ich mieszanek o różnym udziale obu komponentów. Na tej podstawie wykazali, że najwięcej resztek poźniwnych i słomy pozostawiła mieszanka pszenicy z grochem o udziale komponentów 75+25% oraz sama pszenica. Jednak ilość azotu w słomie i resztkach pszenicy wynosiła odpowiednio: 30,65 oraz 22,27 kg·ha<sup>-1</sup> i była mniejsza niż w innych kombinacjach



(Tab. 7). Natomiast wraz ze wzrostem udziału grochu w mieszance ilość azotu w tych częściach roślin zwiększała się. Wyjątek stanowił obiekt z samym grochem, w którym resztki poźniwne miały najniższą, a słoma najwyższą ilość tego składnika. Średnia ilość azotu pozostawionego w resztkach poźniwnych i słomie mieszanki pszenicy z grochem wynosiła odpowiednio 23,07 i 39,55  $kg \cdot ha^{-1}$ , co dało łącznie 62,62  $kg N \cdot ha^{-1}$ . Niższa jego ilość w resztkach poźniwnych, w tym w korzeniach dojrzałych roślin grochu, wynika prawdopodobnie z translokacji tego składnika do rozwijających się nasion oraz z wcześniejszego rozpadu brodawek korzeniowych, które są głównym miejscem biologicznego wiązania  $N_2$ .

Tabela 7

Łączna ilość azotu w resztkach poźniwnych i słomie pszenicy jarej, grochu siewnego oraz ich mieszanek

Udział komponentów w mieszance (%)		Ilość azotu ( $kg \cdot ha^{-1}$ )		
Pszenvica jara	Groch siewny	Resztki	Słoma	Razem
100	0	22,27	30,65	52,92
75	25	24,00	36,20	60,20
50	50	24,10	39,89	63,98
25	75	23,46	43,82	67,28
0	100	21,54	47,20	68,74
Średnia		23,07	39,55	62,62

Źródło: Buraczyńska i Ceglarek, 2011 (5), zmodyfikowane

### Losy azotu związanego symbiotycznie przez rośliny bobowate

Jon amonowy wytworzony w procesie symbiotycznego wiązania jest w komórce roślinnej szybko wbudowywany do aminokwasów glutaminy lub glutaminianu i transportowany poza brodawki w postaci związków amidowych, takich jak asparagina i glutamina (u grochu, lucerny i koniczyny) lub związków ureidowych, jak np. alantoina u soi (13). Większość związanego azotu jest wykorzystywana przez same rośliny do ich wzrostu oraz rozwoju organów wegetatywnych i nasion. Część z tej puli azotu dostaje się natomiast do gleby w formie: wydzielin korzeniowych oraz w przyoranej słomie i resztkach poźniwnych.

Uprawa roślin bobowatych w mieszankach jest oparta m. in. na założeniu, że rośliny bobowate po zaspokojeniu własnych potrzeb względem azotu mogą umożliwić zaopatrzenie w ten składnik gatunkom roślin żyjących w sąsiedztwie. Badania wykazały, że N jest przenoszony ze strączkowych do traw w czasie wegetacji, chociaż N może być także przenoszony z traw do strączkowych co pokazuje, że podziemny transfer azotu jest procesem dynamicznym i dwukierunkowym (18). Proces ten może wystąpić ponieważ rośliny tracą do gleby różne składniki zawierające N z tkanek nadziemnych i podziemnych, do których zalicza się wydzieliny korzeniowe, zamierające korzenie i wymycie z liści. Azot dostarczony tą drogą przez rośliny może być ponownie pobrany przez roślinę, która go utraciła lub przez roślinę sąsiedzką. Jednak zdaniem Paynel i in. (17) oraz Pirhofer-Walzl i in. (18), azot

w mieszankach roślinnych może być przekazywany także innymi drogami. Po pierwsze, transport azotu pomiędzy rośliną strączkową a trawą może wystąpić bezpośrednio przez grzyby mykoryzowe łączące system korzeniowy obu gatunków roślin. Po drugie może to nastąpić pośrednio przez uwalnianie substancji organicznych do gleby podczas wegetacji (ryzodepozycja) i następnie pobranie uwolnionego azotu przez roślinę rosnącą w mieszance. Uwalnianie N do gleby może być spowodowane rozpadem martwych (nadziemnych i podziemnych) tkanek roślinnych i procesem obiegu tego składnika lub wydzielaniem azotu przez korzenie. Brophy i Heichel (4) stwierdzili, że zwiększone wydzielanie azotu do strefy korzeniowej następuje w wyniku stresu związanego ze zbiorem części nadziemnej rośliny oraz z deficytem wody w glebie. Ponadto zdaniem w/w autorów szybka mineralizacja azotu wydzielonego w formie białek, amidów i szczątków komórek może mieć udział w uruchomieniu nowego transferu azotu. Szacowanie ilości uwalnianego azotu jest doświadczalnie bardzo trudne ze względu na to, że N-azotanowy i N-amonowy może być ponownie sorbowany przez korzenie rośliny bobowatej. Z tego powodu ta, nieokreślona ilość azotu nie jest wykrywana w przeciekach z wazonów (4). Należy zaznaczyć, że proces wydzielania N wiąże się z wydatkowaniem energii przez rośliny bobowate, ponieważ zarówno wiązanie azotu, jak i jego wydzielanie wiąże się ze stratą energii dla tych roślin.

Uważa się, że w roślinach starszych głównym źródłem przemieszczania N pomiędzy rośliną bobowatą a trawą jest obieg azotu w brodawkach korzeniowych i rozłogach. Natomiast w roślinach młodych, główną drogą przekazywania azotu są wydzieliny korzeniowe rośliny bobowatej, z których jest on pobierany przez roślinę żyjącą w jej sąsiedztwie (17). Wykazano, że głównymi składnikami wydzielin korzeniowych roślin strączkowych jest N-amonowy, N-azotanowy i aminokwasy. Uważa się, że wydzielanie tych składników następuje w wyniku biernej dyfuzji przypisanej gradientowi koncentracji z korzenia do gleby. Brophy i Heichel (4) stwierdzili, że uwalnianie azotu na ogół wzrasta wraz z postępem ontogenezy. W przypadku koniczyny i soi wynosi ono średnio 4,5 i 10,4% całkowitej ilości N związanego symbiotycznie przez te rośliny. Badania prowadzone przez Paynel i in. (17) pozwoliły na oszacowanie transferu N z koniczyny białej do życicy trwałej w ciągu roku, który kształtuje się pomiędzy 11 a 113 kg N·ha<sup>-1</sup> ze średnią 70 kg N·ha<sup>-1</sup>. Te bardzo zróżnicowane wyniki są przypisywane oddziaływaniu licznych czynników biotycznych i abiotycznych, w tym nawożeniu azotem mineralnym i gnojowicą (17, 18, 26).

Przy jednoetapowym zbiorze z powierzchni pola wynoszone są tylko nasiona, natomiast pozostała słoma i inne części traktowane są jako resztki pozbiorowe i trafiają do gleby. W warunkach eksperymentu przeprowadzonego przez Wysokińskiego i in. (29) blisko połowa azotu pobranego przez łubin, czyli 57,6 kg·ha<sup>-1</sup>, trafiła z powrotem do gleby wraz z resztkami pozbiorowymi. Po ich mineralizacji pula ta będzie stanowiła źródło azotu dla roślin następczych. Autorzy są zdania (29), że ponieważ w tej ilości N, wprowadzonego z resztkami do gleby, aż 43 kg·ha<sup>-1</sup> pochodziło

z biologicznej redukcji  $N_2$  w związku z tym planowane nawożenie rośliny następczej mineralnymi nawozami azotowymi powinno być zmniejszone między innymi o ilość tego makroelementu pozostawioną przez łubin żółty na polu uprawnym. Natomiast po zbiorze łubinu żółtego i łubinu wąskolistnego w resztkach poźniwnych trafia do gleby odpowiednio 27 i 16 % azotu związanego biologicznie co odpowiada odpowiednio 40 i 13  $kg\ N \cdot ha^{-1}$  (29). Zdaniem Garg i Geetanjali (8) azot pochodzący z biologicznego wiązania jest nie tylko możliwy do użycia przez rośliny ale też jest mniej podatny na ulatnianie, denitryfikację i wymywanie z gleby.

Z kolei w przypadku zabierania z pola słomy roślin bobowatych sytuacja jest nieco inna. Wysokinski i in. (30) stwierdzili, że w fazie pełnej dojrzałości grochu około 27,3% całkowitej ilości zakumulowanego azotu była zgromadzona w organach, które najczęściej stanowią resztki poźniwne i po przyoraniu pozostają w glebie. Zdaniem Kozaka i Koteckiego (11) nie są to jednak ilości małe, bo przy średniej zawartości azotu w resztkach poźniwnych i słomie na poziomie 19 i 13  $g\ N \cdot kg^{-1}$  s.m. na powierzchnię 1 ha wnosi się do gleby ok. 70  $kg\ N$ .

### **Mineralizacja resztek i azot działający po uprawie bobowatych**

Azot zakumulowany w organach roślin bobowatych, które pozostają na polu po ich zbiorze nie jest bezpośrednio dostępny dla rośliny następczej. Aby można go było traktować jako składnik pokarmowy przyorana masa roślinna musi przejść proces mineralizacji. Według Szczepaniaka i in. (25) najważniejszym elementem oceny wartości przedplonowej przyoranych resztek roślinnych jest szybkość ich mineralizacji, która decyduje o tempie uwalniania składników (w tym głównie N) i ich dostępności dla roślin następczych. Znajomość szybkości mineralizacji resztek roślinnych pozostawionych przez przedplon jest warunkiem koniecznym do opracowania optymalnej technologii nawożenia. Przyjmuje się, że o szybkości rozkładu przyoranej biomasy decyduje zawartość w niej azotu, stosunek C:N, udział w niej organów zielonych i zawartość w niej ligniny. Szczepaniak i in. (25) przeprowadzili symulacyjny bilans azotu w aspekcie potencjalnej mineralizacji resztek roślinnych, który wykazał, że w stanowisku po mieszankach motylkowato-trawiastych zawartość azotu na wiosnę kształtowała się na poziomie 42  $kg\ ha^{-1}$ . Natomiast całkowita mineralizacja azotu w okresie od początku strzelania w źdźbło do fazy dojrzałości pełnej pszenicy ozimej, jako rośliny następczej, wynosiła w stanowisku nie nawożonym (tj. po mieszance) 113  $kg\ N \cdot ha^{-1}$ , a w stanowisku nawożonym azotem w dawce 60  $kg \cdot ha^{-1}$  miała wielkość 107  $kg\ N \cdot ha^{-1}$ . W okresie wzrostu wegetatywnego pszenicy średnio około 82% azotu uległo mineralizacji biorąc pod uwagę wszystkie obiekty przedplonowe. Dlatego zdaniem autorów pracy (23) w stanowiskach po mieszankach motylkowato-trawiastych należy spodziewać się bezpośredniego uwalniania azotu do gleby.

Uzyskane wyniki badań naukowych należy jednak dostosować do praktyki rolniczej i przełożyć na konkretne liczby, odnoszące się do potrzeb nawozowych uprawianych roślin oraz dawek nawozów mineralnych. Punktem wyjścia jest założenie, które mówi, że w zrównoważonej gospodarce nawozowej podstawowym narzędziem jest bilans składników (10). Po stronie przychodowej bilansu sporządzanego dla potrzeb nawożenia należy uwzględnić ilość składników pozostawionych w postaci przyoranych produktów ubocznych, w tym także po sprzęcie roślin bobowatych. Pozostawione resztki poźniwne tych roślin są źródłem azotu dla rośliny następczej ale ich oszacowanie jest jednym z najtrudniejszych elementów bilansu (10). Dla potrzeb systemu doradztwa nawozowego przyjęto, że ilość azotu pochodzącego z mineralizacji resztek poźniwnych roślin bobowatych jest równa 25-30% (co odpowiada wartości 0,3 zamieszczonej w tabeli 9) ilości azotu zakumulowanego przez te rośliny w masie nadziemnej. Masę tę szacuje się mnożąc uzyskany plon rośliny bobowatej lub jej mieszanki z powierzchni 1 ha przez pobranie azotu przez te rośliny posługując się danymi z tabeli 8. Jednak działanie nawozowe azotu zawartego w resztkach roślin bobowatych może być inne niż działanie azotu z nawozów mineralnych.

Tabela 8

Pobranie azotu z plonami roślin uprawnych (kg·ha<sup>-1</sup>)

Roślina	Plon		
	główny	uboczny	główny i uboczny
Strączkowe			
Bobik	39,8	13,4	54,2
Grochy	34,3	16,8	48,6
Łubiny	55,0	12,0	67,0
Soja	54,0	10,0	68,0
Mieszanki zbożowo-strączkowe	25,4	11,4	35,3
Pastewne			
Koniczyna na zieloną masę	5,1		5,1
Lucerna na zieloną masę	6,1		6,1
Koniczyna z trawami (z.m.)	4,8		4,8
Lucerna z trawami (z.m.)	5,2		5,2
Strączkowo-zbożowe (z.m.)	4,8		4,8
Inne bobowate (z.m.)	4,8		4,8
Seradela	4,5		4,5

z.m. – zielona masa

Źródło: Jadczyżyn, 2013 (10), zmodyfikowane

W celu ujednoczenia działania nawozowego azotu zakumulowanego w masie roślinnej i pochodzącego z nawozów mineralnych wprowadzono równoważnik nawozowy. Określa on w jakim stopniu składnik nawozów naturalnych i organicznych odpowiada działaniu składnika nawozów mineralnych. Ponieważ rozkład resztek poźniwnych bogatych w azot przebiega stosunkowo szybko przyjmuje się, że równoważnik nawozowy azotu z tego źródła wynosi tyle ile dla obornika, tj. 0,3.

Uwzględnienie równoważnika pozwala na obliczenie ilości „azotu działającego” czyli tej części azotu całkowitego w nawozach naturalnych i organicznych, która wykazuje takie samo działanie plonotwórcze jak określona ilość tego składnika w nawozach mineralnych. Sposób obliczania ilości azotu działającego dla słomy i resztek późniejszych roślin bobowatych przedstawia tabela 9.

Tabela 9

Równoważniki nawozowe azotu pochodzącego z przyoranych produktów ubocznych i obliczanie azotu działającego

Produkt uboczny	Równoważnik nawozowy N - $N_f$	Sposób obliczania ilości N działającego w produktach ubocznych
Słoma roślin bobowatych	0.2	Plon słomy · pobranie N w produktach ubocznych · $N_f$
Resztki późniejszych roślin bobowatych	0.3	Plon · pobranie N · 0.3 · $N_f$

0.3\* - ilość azotu z mineralizacji resztek późniejszych roślin bobowatych równa 25-30 % ilości N zakumulowanego w masie nadziemnej

Źródło: Jadczyzyn, 2013 (10), zmodyfikowane

W Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2018 r., w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (7) zamieszczono tabelę przedstawiającą ilość azotu działającego pozostającego po prawie roślin bobowatych (Tab. 10). Te ilości azotu działającego powinny być uwzględniane w planie nawozowym, co pozwoli na zmniejszenie dawek nawozów mineralnych stosowanych pod rośliny następcze.

Tabela 10

Ilość azotu działającego pozostającego po uprawie roślin bobowatych ( $kg \cdot ha^{-1}$ )

Rodzaj przedplonu	Bobowate w czystym siewie		Bobowate w mieszankach z trawami lub zbożami	
	Plon główny	Międzyplon	Plon główny	Międzyplon
Przyorane resztki późniewne	30	15	20	10
Przyorane całe rośliny na zielony nawóz	Łubin żółty - 74 Groch - 77 Seradela - 65 Pozostałe - 60	Koniczyna czerwona - 30 Koniczyna biała - 27 Seradela - 33 Pozostałe - 30	50	20

Źródło: Dziennik Ustaw RP, 2018 (7), zmodyfikowane

## Podsumowanie

Rośliny bobowate posiadają unikalną w świecie zdolność do symbiozy z bakteriami brodawkowymi *Rhizobium*, dzięki czemu mogą wiązać z powietrza azot, który wykorzystują w procesach własnego wzrostu i rozwoju. Ponieważ wiążą więcej azotu

niz same potrzebują część tego składnika mogą przekazywać roślinom rosnącym z nimi w uprawie mieszanej, część natomiast jest pozostawiana w glebie w formie resztek poźniwnych czy przyoranej słomy, która po przejściu procesu mineralizacji będzie udostępniana roślinie następczej. Efektywność wiązania azotu nie jest jednak stała i zależy od wielu czynników, w tym od właściwości genetycznych samej rośliny bobowatej, jej symbionta oraz od czynników agrotechnicznych i środowiskowych.

W dobie rosnącego zużycia mineralnych nawozów azotowych, których produkcja jest wysoce kosztowna i negatywnie oddziałuje na środowisko, a same nawozy mogą powodować niekorzystne zmiany w glebie i wodach gruntowych, uprawa roślin bobowatych stanowi proekologiczne podejście do poszukiwania źródeł azotu dla roślin. Może też spowodować korzystne zmiany w glebach uprawnych i szeroko rozumianym środowisku. Zwłaszcza, że w zalecanym obecnie systemie produkcji integrowanej należy uwzględniać składniki pochodzące z wszystkich źródeł, do których należy także azot wiązany symbiotycznie. Przytoczone w pracy wyniki badań wskazują na możliwość zmniejszenia wysokości dawek syntetycznych nawozów azotowych w przypadku uprawy roślin na stanowiskach po bobowatych uprawianych w siewie czystym i w mieszankach ze zbożami.

### Literatura

1. Adamczyk B., Godlewski M.: Różnorodność strategii pozyskiwania azotu przez rośliny. Kosmos, 2010, **102 (286-287)**: 211-222.
2. Armstrong E.L., Pate J.S., Unkovich M.J.: Nitrogen balance of field pea crops in South Western Australia studies with using the <sup>15</sup>N natural abundance technique. Aust. J. Plant Physiol. 1994, **21**: 533-549.
3. Błaszczyk M.K.: Mikrobiologia środowisk. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
4. Brophy L.S., Heichel G.H.: Nitrogen release from roots of alfalfa and soybean grown in sand culture. Plant Soil, 1989, **116**: 77-84.
5. Buraczyńska D., Ceglarek F.: Previous crop value of post-harvest residues and straw of spring wheat, field pea and their mixtures for winter triticale. Part I. Weight and chemical composition of post-harvest residues and straw. Acta Sci. Pol., Agricultura, 2011, **10(2)**: 3-18.
6. Czuba R., Gorlach E., Kalembasa S., Łoginow W., Mazur T.: Źródła azotu w glebie. W: Azot w glebach uprawnych. T. Mazur (red.), PWN, Warszawa, 1991: 20-54.
7. Dziennik Ustaw RP: Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2018 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”
8. Garg N., Geetanjali.: Symbiotic nitrogen fixation in legume nodules: process and signaling. A review. Agron. Sustain. Dev., 2007, **27**: 59-68.
9. Herridge D.F., Peoples M.B., Boddey R.M.: Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. Plant Soil, 2008, **31**: 1-18.
10. Jadczyzyn T.: Bilans podstawą zrównoważonego zarządzania składnikami pokarmowymi. W: Dobre praktyki rolnicze w nawożeniu użytków rolnych. J. Igras (red.), Radom, 2013: 6-14.
11. Kozak M., Kotecki A.: Następczy wpływ odmian grochu siewnego na rozwój i plonowanie pszenicy ozimej. Część II. Masa i skład mineralny resztek pozbiorowych grochu siewnego. Zesz. Nauk. UP Wrocław, 2006, 546, Rol. **89**: 149-158.
12. Łyszcz M., Gałązka A.: Proces biologicznego wiązania azotu atmosferycznego. W: Siedliskowe i agrotechniczne uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2016, **49(3)**: 59-70.
13. Martyniuk S.: Znaczenie procesu biologicznego wiązania azotu atmosferycznego w rolnictwie ekologicznym. J. Res. Appl. Agric. Eng. 2006, **53(4)**: 9-14.

14. Martyniuk S., Kozieł M., Gałązka A.: Response of pulses to seed or soil application of rhizobial inoculants. *Ecol. Chem. Eng. S.*, 2018, **25(2)**: 323-329.
15. Mazur Z., Wojtaś A., Mazur T.: Zrównoważone nawożenie w ochronie środowiska. W: *Ochrona i Inżynieria Środowiska – Zrównoważony Rozwój*. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 2004, **25**: 263-266.
16. Oleńska E.: Asocjacja symbiotyczna roślin bobowatych z ryzobiami. W: *Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Funkcjonowanie roślin i grzybów*. Środowisko-Eksperyment-Edukacja. A. Bajguz, I. Ciereszko (red.), Polskie Towarzystwo Botaniczne, 2015: 187-200.
17. Paynel F., Lesuffleur F., Bigot J., Diquelou S., Cliquet J-B.: A study of  $^{15}N$  transfer between legumes and grasses. *Agron. Sustain. Dev.* 2008, **28**: 281-290.
18. Pirhofer-Walzl K., Rasmussen J., Høgh-Jensen H., Eriksen J., Soegaard K., Rasmussen J.: Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighbouring plants in a multi-species grassland. *Plant Soil*, 2012, **350**: 71-84.
19. Podgórska-Lesiak M., Sobkowicz P., Lejman A.: Dynamika pobierania i wykorzystanie azotu w mieszankach jęczmienia jarego z grochem siewnym. *Fragm. Agron.*, 2011, **28(3)**: 100-111.
20. Podleśna A.: Źródła składników pokarmowych dla roślin i ich znaczenie w systemie nawożenia zrównoważonego. W: *Integrowana produkcja roślinna*. J. Podleśny (red.), Puławy 2007: 161-168.
21. Podleśna A.: Wpływ nawozów siarkowych na zróżnicowanie i aktywność mikroorganizmów glebowych. W: *Studia i Raporty IUNG-PIB „Nawożenie a środowisko”*, 2017, **53(7)**: 67-79.
22. Prusiński J., Kotecki A.: Współczesne problemy produkcji roślin motylkowatych. *Fragm. Agron.*, 2006, **23(3)**: 94-126.
23. Sobkowicz P., Tendziagolska E., Lejman A., Łagocka A.: Wpływ metod siewu jęczmienia w mieszance z grochem na plon białka. *Zesz. Nauk. UP Wroc.*, 2015, Rol. **CXII**, **611**: 65-76.
24. Sujkowska M.: Przebieg procesu infekcji w układzie symbiotycznym rośliny motylkowate-Rhizobium. *Wiad. Bot.*, 2009, **1-2**: 35-53.
25. Szczepaniak W., Diatta B.J., Kryszak J.: Dynamika mineralizacji azotu z resztek roślinnych mieszanek motylkowato-trawiających. *Nawozy i Nawożenie*, 2002, **4**, **1(10)**: 217-226.
26. Ta T.C., Faris M.A.: Species variation in the fixation and transfer of nitrogen from legumes and associated grasses. *Plant Soil*, 1987, **98**: 265-274.
27. Trawczyński C.: Bilans składników w ekologicznym systemie produkcji roślinnej na glebie lekkiej. *J. Res. Agric. Eng.*, 2010, **55(4)**: 166-168.
28. Walerowska M.: Przed nami rok strączkowych. <http://www.topagrar.pl/articles/straczkowe/przed-nami-rok-straczkowych/>
29. Wysokiński A., Faligowska A., Kalembsa D.: Ilość azotu biologicznie zredukowanego przez lubin żółty (*Lupinus luteus* L.) – wyniki wstępne. *Fragm. Agron.*, 2014, **31(1)**: 121-128.
30. Wysokiński A., Kalembsa S., Symanowicz B.: Dynamika gromadzenia azotu z różnych źródeł przez groch siewny (*Pisum sativum* L.). *Fragm. Agron.*, 2013, **30(2)**: 162-169.
31. Voisin A-S., Gueguen J., Huyghe Ch., Jenffroy M-H., Magrini M-B, Meynard J-M., Mougél Ch., Pellerin S., Pelzer E.: Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agron. Sustain. Dev.*, 2014, **34**: 361-380.
32. Zbierska J., Kupiec J.: Nadmiar azotu w produkcji rolnej w gospodarstwach indywidualnych na obszarze zlewni Samicy Strzeczewskiej. *Rocz. AR w Poznaniu*, 2004, **CCCLVII**: 573-580.

Adres do korespondencji:

dr hab. Anna Podleśna, prof. IUNG-PIB  
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia  
IUNG-PIB  
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy  
tel. 81 4786 835  
e-mail: ap@iung.pulawy.pl

