

ALICJA PECIO

Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Puławy

ZRÓŻNICOWANIE ZAWARTOŚCI BIAŁKA W ZIARNIE ODMIAN
JĘCZMIENIA BROWARNEGO ZALEŻNIE OD STANU ODŻYWIENIA
ROŚLIN AZOTEM

Variability of grain quality of malting barley cultivars depending on plant nitrogen nutrition status

ABSTRAKT: Celem badań było określenie zróżnicowania browarnych odmian jęczmienia jarego pod względem wykorzystania azotu nagromadzonego w organach wegetatywnych do tworzenia plonu ziarna i kształtowania jego jakości. Badania prowadzono w Zakładzie Doświadczalnym IUNG Grabów, woj. mazowieckie, w latach 2001–2003 na bazie ścisłego doświadczenia polowego założonego w układzie split-plot, w 4 powtórzeniach. Czynnikiem I rzędu były browarne odmiany jęczmienia jarego, charakteryzujące się zróżnicowanym potencjałem plonowania i różną wartością browarną: Brenda, Rudzik, Scarlett i Sezam, a czynnikiem II rzędu – dawki nawożenia azotem: 0, 20, 40, 60 i 80 kg N·ha⁻¹, stosowane w całości przedsięwzięcia. Powierzchnia poletka do zbioru wynosiła 28,8 m².

Największym plonem ziarna i najmniejszą zawartością białka w ziarnie cechowała się odmiana Scarlett, która lepiej niż pozostałe odmiany wykorzystywała azot do zaspokojenia swych potrzeb żywieniowych w okresie rozwoju wegetatywnego. Odmiana ta jako jedyna uzyskiwała optymalny stan odżywienia azotem w fazie kwitnienia przy nawożeniu w ilości 60 kg N·ha⁻¹, podczas gdy pozostałe odmiany dopiero przy dawce 80 kg N·ha⁻¹. Odmiana Scarlett wytwarzała najmniejszą masę i powierzchnię fotosyntetyczną liści i łodyg, ale wykazywała dużą zawartość chlorofilu i dużą aktywność fotosyntetyczną, charakteryzowała się również największą masą i najlepszym stanem odżywienia wegetatywnych części kłosa. Oznacza to, że inne odmiany, charakteryzujące się w fazie kwitnienia wartością NN**białko**=1, gromadziły w kłosie mniejsze ilości azotu. Kłosa odmiany Scarlett charakteryzowały się ponadto na ogół większą aktywnością fotosyntetyczną niż kłosa pozostałych odmian. Odmiana Scarlett zatem lepiej niż inne porównywane odmiany wykorzystuje azot do wykształcenia dorodnego ziarna, zawierającego procentowo najmniejszą ilość białka. W przypadku odmiany Scarlett można stosować mniejsze dawki azotu niż pod inne odmiany jęczmienia browarnego bez obawy zmniejszenia plonu ziarna i pogorszenia jego jakości.

słowa kluczowe; key words:

jęczmień browarny – *malting barley*, odmiany – *cultivars*, zawartość białka w ziarnie – *grain protein content*, indeks NNI – *Nitrogen Nutrition Index*, test SPAD – *SPAD test*, tempo fotosyntezy – *photosynthesis rate*

WSTĘP

Faza kwitnienia i okres późniejszy mają szczególne znaczenie w rozwoju roślin jęczmienia, gdyż odbywa się wtedy zawiązywanie ziarna oraz jego wypełnianie w wyniku procesów fotosyntezy i remobilizacji materiałów zapasowych zgromadzonych w organach wegetatywnych (1, 17). Z tego względu istotne jest zapewnienie roślinom warunków wzrostu i rozwoju gwarantujących osiągnięcie w fazie kwitnienia stanu odżywienia, który umożliwi właściwe wykształcenie ziarna (14). Specjalnego znaczenia nabiera tu zaopatrzenie w azot i nawożenie tym składnikiem, stosowane we wczesnych fazach rozwojowych (15). Jeżeli w fazie kwitnienia rośliny mają do dyspozycji zbyt dużo azotu, może to spowodować nadmierną jego akumulację w ziarnie, co wpływa na zmniejszenie wartości browarnej. Jeśli rośliny są niedożywione azotem, nie mają możliwości prawidłowego wykształcenia ziarna. Powoduje to również zwiększenie procentowej zawartości białka, a przez to również pogorszenie innych parametrów wartości browarnej. Dlatego też uzyskanie optymalnego stanu odżywienia azotem w fazie kwitnienia jest krytycznym punktem w nawożeniu jęczmienia browarnego. Stan zaopatrzenia roślin w N można ocenić za pomocą takich wskaźników jak indeks stanu odżywienia azotem NNI oraz zawartość chlorofilu w jednostkach SPAD.

Przy optymalnym stanie zaopatrzenia w azot odmiany jęczmienia różnią się zdolnością przemieszczania go do ziarna. Celem podjętych badań było określenie zróżnicowania browarnych odmian jęczmienia jarego pod względem pobrania azotu i jego przemieszczania z organów wegetatywnych do ziarna oraz kształtowania jakości plonu. Cel naukowy badań opiera się na założeniu, że dobrze odżywione rośliny jęczmienia w fazie kwitnienia charakteryzują się wartością $NNI=1$. Różnica pomiędzy odmianami polega na tym, że wartość taką są one w stanie osiągnąć przy odmiennym zaopatrzeniu roślin w azot. Odmiany, które charakteryzują się $NNI=1$ przy niższych dawkach azotu lepiej wykorzystują azot w okresie rozwoju wegetatywnego. Ponadto odmiany, które lepiej wykorzystują azot do produkcji ziarna lub pobierają go z gleby i transportują do ziarna w większych ilościach również silniej reagują na niedobór tego składnika. W warunkach słabej jego dostępności wytwarzają ziarno drobne, o dużej procentowej zawartości białka. Odmiany o wysokiej wartości browarnej są mniej wrażliwe na nawożenie azotem i nawet przy zastosowaniu dużych dawek nie zwiększają swych możliwości produkcyjnych (2).

MATERIAŁ I METODY

Rozwiązanie przedstawionego problemu odbywało się w dwóch etapach. Pierwsza część badań dotyczyła sprawdzenia hipotezy, że odmiany o zróżnicowanym potencjale plonowania i różnej wartości browarnej, niezależnie od warunków zaopatrzenia roślin w azot, osiągają w fazie kwitnienia wartość współczynnika $NNI=1$.

Drugi etap miał przynieść odpowiedź na pytanie, czy odmiany te po osiągnięciu wartości NNI=1 w fazie kwitnienia różnią się zdolnością odprowadzania azotu do ziarna.

A zatem metodyka badań nastawiona była na zróżnicowanie stanu zaopatrzenia roślin w azot w fazie kwitnienia. Zmienność tę uzyskano za pomocą klasycznej metody dawek nawozów mineralnych stosowanych przedsięwzięcie w ścisłym doświadczeniu połowym prowadzonym w Zakładzie Doświadczalnym Grabów w latach 2001–2003. Doświadczenie założone zostało na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego, o średniej zawartości dostępnego dla roślin fosforu i potasu, w układzie split-plot, w 4 powtórzeniach. Czynnikiem I rzędu były browarne odmiany jęczmienia jarego, charakteryzujące się zróżnicowanym potencjałem plonowania i różną wartością browarną: Brenda, Rudzik, Scarlett i Szam, a czynnikiem II rzędu – dawki nawożenia azotem: 0, 20, 40, 60 i 80 kg N·ha⁻¹, stosowane w całości przedsięwzięcie. Zawartość azotu mineralnego oznaczana w każdym roku wczesną wiosną przed zastosowaniem nawozów azotowych w profilu glebowym 0–60 cm wynosiła ok. 60 kg N·ha⁻¹. Jęczmień uprawiano w stanowisku po kukurydzy. Powierzchnia poletka do zbioru wynosiła 28,8 m².

Dane meteorologiczne w okresie wegetacji przedstawiono w tabeli 1. Jedynie w pierwszym roku badań (2001) warunki pogody sprzyjały wytworzeniu dużego plonu ziarna o optymalnej dla browarnictwa zawartości białka w ziarnie. W pozostałych latach były niekorzystne dla jęczmienia jarego i wpływały na ograniczenie plonu ziarna oraz znaczne zwiększenie zawartości białka w ziarnie.

Siew wykonano: 7.04.2001 r., 4.04.2002 r i 17.04.2003 r. W celu analizy wzrostu i rozwoju roślin, począwszy od fazy krzewienia (DC 25-30) do fazy dojrzałości mlecznej (DC 75) w odstępach 7–10-dniowych pobierano próbki roślin z 1 m² w dwóch miejscach na każdym poletku. Określano plon suchej masy w tonach z 1 ha oraz zawartość azotu ogólnego metodą Kjeldahla. W tych samych terminach wyko-

Tabela 1

Wybrane dane meteorologiczne w okresie wegetacji w ZD Grabów w latach badań
Meteorological data in the growing period in Experimental Station Grabów in studied years

Miesiąc Month	Średnia temperatura dzienna Mean daily temperature (°C)				Suma opadów; Total precipitation (mm)			
	2001	2002	2003	średnia wieloletnia long-term mean	2001	2002	2003	średnia wieloletnia long-term mean
Kwiecień; April	8,1	8,4	7,0	8,6	107,5	25,5	39,0	43
Maj; May	14,0	17,0	15,9	14,1	13,9	22,1	47,6	58
Czerwiec; June	15,2	17,4	17,8	17,4	67,4	104,4	35,4	76
Lipiec; July	20,3	21,0	20,5	18,8	206,4	84,9	35,4	92
Sierpień; August	19,1	19,8	19,2	17,7	97,1	105,0	41,2	79

nywano pomiary indeksu powierzchni liściowej LAI (za pomocą przyrządu LI-2000), wartości SPAD (Hydro N-tester ze skalą 0–800) i tempa fotosyntezy liści (LI-COR 6400 Photosynthesis System). Indeksy stanu odżywienia roślin azotem NNI obliczono według koncepcji Lemaira (cyt. za 6).

Indeks stanu odżywienia roślin azotem NNI (*Nitrogen Nutrition Index*) jest to liczba niemianowana wyrażająca stosunek aktualnej zawartości azotu w danej roślinie do zawartości krytycznej, wyznaczonej z tzw. krzywej rozcieńczenia azotu, zwanej też krzywą krytyczną (8). Krzywa ta opisuje zależność pomiędzy procentową zawartością azotu w roślinach optymalnie odżywionych tym składnikiem a plonem suchej masy całych nadziemnych części roślin w ich rozwoju ontogenetycznym (5, 6). W praktyce krzywą krytyczną wyznacza się dla roślin, które wydają maksymalny możliwy w danych warunkach do uzyskania plon. W doświadczeniach nawozowych jest to zwykle plon dla optymalnej dawki azotu (4). Kalibracja testu NNI polega w zasadzie na wyznaczeniu krzywej krytycznej. Zgodnie z koncepcją G r e e n w o o - d a (5) dla różnych gatunków roślin uprawianych w warunkach optymalnego zaopatrzenia w azot wartości współczynników równania regresji opisującego krzywą krytyczną są stałe, co świadczy o uniwersalności równania.

W badaniach własnych do obliczeń indeksów NNI dla jęczmienia browarnego wykorzystano dwie krzywe krytyczne wyznaczone we wcześniejszych badaniach (10). Dwie krzywe wyznaczono ze względu na to, że celem uprawy jęczmienia browarnego, oprócz dużego plonu, jest przede wszystkim uzyskanie ziarna o określonej zawartości białka. W pierwszym przypadku podstawą kalibracji testu była maksymalizacja plonu (NNI_{plon}), a w drugim – zawartość białka w ziarnie w granicach normy przyjętej w browarnictwie tj. 10,5–11,5% (NNI_{białko}), co jest warunkiem przydatności jęczmienia dla celów technologicznych. Wartość indeksu NNI_{plon} równa 1 świadczy o optymalnym stanie odżywienia roślin azotem z punktu widzenia maksymalnego plonu ziarna jęczmienia. Wartość NNI_{białko}=1 oznacza optymalny stan odżywienia azotem jęczmienia uprawianego z przeznaczeniem na cele browarne.

Test SPAD polega na oznaczaniu zieloności liścia albo zawartości chlorofilu za pomocą przyrządu optycznego zwanego N-Testerem. Kalibracji testu dla jęczmienia browarnego, tzn. wyznaczenia krytycznej wartości SPAD, odpowiadającej optymalnemu stanowi odżywienia roślin azotem, dokonano we wcześniejszych badaniach własnych (10) w oparciu o indeksy NNI. Przyjęto, że dla jęczmienia browarnego odmiany Rudzik krytyczna wartość SPAD, oceniana za pomocą N-Testera HYDRO (ze skalą 0–800) w okresie od pełni krzewienia (DC 30) do fazy wydłużania pochwy liściowej (DC 41), dla uzyskania maksymalnego plonu wynosi 474, a dla dopuszczalnej zawartości białka 465 jednostek.

Od fazy kłoszenia (DC 56-57) wykonywano pomiary tempa fotosyntezy kłosów oraz dynamiki wypełniania ziarna, które dostarczyły informacji potrzebnej do śledzenia warunków tworzenia plonu jęczmienia. Zbiór roślin przeprowadzono w kolejnych latach odpowiednio 4.08, 31.07 i 5.08. Określano plon ziarna z poletka i elementy struktury plonu: liczbę kłosów na 1 m², masę 1000 ziarn, liczbę ziarn w kłosie i plon ziarna z kłosa, a następnie zawartość białka w ziarnie.

Tabela 3

Wpływ elementów plonowania na różnice plonów browarnych odmian jęczmienia jarego powstałe na skutek zwiększenia dawki azotu z 0 do 80 kg N·ha⁻¹
 The effect of yield components on the differences in grain yield of malting cultivars of spring barley induced by increasing N doses from 0 to 80 kg N·ha⁻¹

Elementy plonowania Yield components	Odmiana; Cultivar				
	Brenda	Rudzik	Scarlett	Sezam	średnio; mean
Wkład elementów plonowania w różnice plonów; Contribution of yield components to difference yields (t·ha ⁻¹)					
Obsada kłosów Spikes per 1 m ²	0,8	1,8	1,0	1,1	1,1
Liczba ziaren w kłosie grains per 1 spike	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
Masa 1000 ziarn Weight of 1000 grains	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1
Suma; Sum	1,0	2,0	1,1	1,4	1,4
Wkład elementów plonowania w różnice względne plonów; Contribution of yield components to relative difference of yields (%)					
Obsada kłosów Spikes per 1 m ²	20,0	54,1	23,2	29,0	30,2
Liczba ziaren w kłosie Grains per 1 spike	10,1	9,3	6,5	10,7	8,8
Masa 1000 ziarn Weight of 1000 grains	-3,9	-2,3	-3,6	-4,2	-3,4
Suma; Sum	26,1	61,1	26,0	35,5	35,6
Udział elementów plonowania w zróżnicowaniu plonów; Individual contribution of yield components to difference of yields (%)					
Obsada kłosów Spikes per 1 m ²	76,5	88,6	89,0	81,7	84,8
Liczba ziaren w kłosie Grains per 1 spike	38,6	15,2	24,8	30,3	24,7
Masa 1000 ziarn Weight of 1000 grains	-15,1	-3,8	-13,8	-12,0	-9,6
Suma; Sum	100	100	100	100	100
Błąd oceny Error of estimation (%)	9,2	12,9	7,0	7,6	9,2

stosunku do pozostałych. Odmiany różniły się pod względem elementów struktury plonu. Odmiana Rudzik charakteryzowała się istotnie największą liczbą kłosów na 1 m² i jednocześnie najmniejszą ich produktywnością. Odmiana Brenda wytwarzała istotnie więcej ziarn w kłosie w porównaniu z odmianą Rudzik, przy czym masa 1000 ziarn obu odmian była podobna. Najdorodniejsze ziarno produkowała odmiana Sezam, nieco mniejsze odmiana Scarlett.

Jedynie w przypadku odmiany Rudzik stwierdzono istotny wzrost plonu ziarna na skutek zwiększenia dawki nawożenia azotem do 60 kg N·ha⁻¹ w stosunku do obiektów

bez nawożenia. Dalsze zwiększanie dawki nie powodowało wzrostu plonu ziarna. Średni z trzech lat badań przyrost plonu ziarna badanych odmian przy zwiększaniu dawki nawożenia azotem od 0 do 80 kg·ha⁻¹ wynosił 1,35 t·ha⁻¹, tj. niemal 36% (tab. 2). Największy przyrost plonu ziarna (ok. 2 t·ha⁻¹) stwierdzono u odmiany Rudzik. Spośród trzech elementów struktury plonu ziarna, wymienianych w literaturze jako podstawowe (13) największy, wynoszący średnio około 85%, udział we wzroście plonu ziarna wszystkich badanych odmian miała liczba kłosów na jednostce powierzchni, co odpowiadało przyrostowi plonu ziarna o 1,1 t·ha⁻¹, tj. o 30,2% (tab. 3). Zwiększenie plonu z pojedynczego kłosa przyczyniło się do wzrostu plonu ziarna o 0,2 t·ha⁻¹, czyli o 5,4%. Warunkowała je przede wszystkim liczba ziarn w kłosie, ponieważ MTZ zmniejszała się w miarę wzrostu poziomu nawożenia.

Zawartość białka w ziarnie badanych odmian przekraczała normę dla jęczmienia przeznaczonego na cele browarne (tab. 4). Było to skutkiem warunków pogodowych w okresie wegetacji, gdyż wszystkie lata badań, szczególnie rok 2002 i 2003, charakteryzowały się długimi okresami suszy. Średnia z trzech lat zawartość białka zwiększała się istotnie przy wzroście dawki azotu o każde 40 kg w zakresie od 0 do 80 kg N·ha⁻¹. Najmniejszą zawartością białka w ziarnie, niezależnie od dawki azotu, wyróżniała się odmiana Scarlett.

Tabela 4

Zawartość białka w ziarnie browarnych odmian jęczmienia jarego w latach 2001–2003 (%)
Grain protein content (%) of malting cultivars of spring barley in 2001–2003

Dawka N N dose (kg ha ⁻¹)	Odmiana; Cultivar				Średnio Mean	NIR LSD
	Brenda	Rudzik	Scarlett	Sezam		
0	11,7	11,6	11,3	11,9	11,6	r.n.
20	11,7	12,0	11,8	12,2	11,9	r.n.
40	12,8	13,0	12,6	13,1	12,9	r.n.
60	14,2	13,7	13,0	13,7	13,7	r.n.
80	15,1	14,4	14,0	14,4	14,5	r.n.
Średnio; Mean	13,1	12,9	12,6	13,0	12,9	r.n.
NIR; LSD	2,02	1,35	1,66	1,85	1,13	

Ocena stanu odżywienia roślin azotem w okresie wegetacji

Zależności pomiędzy plonem suchej masy, indeksem powierzchni liściowej LAI, procentową zawartością azotu, pobraniem azotu, indeksami stanu odżywienia roślin NNI i wartościami SPAD a wpływem czasu wyrażonym liczbą dni od daty siewu i wielkością dawek nawozów azotowych opisano modelem regresji dwuczynnikowej wielomianowej. Rachunek regresji przeprowadzono metodą step wise dla całego trzyletniego okresu badań. Wspólny model dla wszystkich analizowanych zmiennych

zależnych miał następującą postać:

$$Z = a + b t + c N + d t^2 + e N^2 + f tN$$

gdzie: Z – zmienna zależna w przyjętych jednostkach

t – upływ czasu, wyrażony liczbą dni od daty siewu

N – dawka nawozów azotowych w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

W tabeli 5 przedstawiono wartości istotnych współczynników regresji w modelach statystycznych opisujących nagromadzenie suchej masy i wskaźniki stanu odżywienia roślin jęczmienia azotem. Proces wzrostu badanych odmian scharakteryzowano łącznie, gdyż wartości współczynników regresji poszczególnych odmian były zbliżone. Przedstawione modele objaśniały od nieco ponad 45% do niemal 90% zmienności poszczególnych wskaźników.

Plon suchej masy roślin i wielkość powierzchni liściowej LAI zwiększały się w kolejnych fazach rozwojowych, a także pod wpływem zwiększających się dawek azotu. Procentowa zawartość azotu w suchej masie, pomimo zwiększającego się pobrania, ulegała zmniejszaniu w miarę nagromadzania plonu suchej masy roślin. Rośliny nawożone większymi dawkami azotu charakteryzowały się większą zawartością azotu ogólnego oraz większymi wartościami wskaźników NNIplon, NNIBiałko i SPAD.

Nawożenie azotem było zatem istotnym czynnikiem różnicującym ilość nagromadzonej suchej masy oraz stan odżywienia roślin jęczmienia w okresie wegetacji, określony za pomocą procentowej zawartości azotu w suchej masie i pobrania oraz wskaźników NNI i SPAD. Potwierdzają to dane zawarte w tabeli 6, w której przedstawiono wartości analizowanych wskaźników zależnie od dawki azotu średnio w całym okresie wegetacji.

Wskaźniki te w odniesieniu do poszczególnych odmian jęczmienia w fazie kwitnienia zamieszczono w tabeli 7. Stwierdzono, że odmiana Scarlett charakteryzowała się najmniejszym plonem suchej masy i najmniejszą powierzchnią asymilacyjną, o czym świadczy wartość wskaźnika LAI, a także największym pobraniem azotu oraz wartościami wskaźników NNIplon, NNIBiałko i SPAD.

W obiektach z małymi dawkami N rośliny jęczmienia wykazywały słaby stan odżywienia azotem, również pod względem optymalnej zawartości białka w ziarnie. W fazie kwitnienia jedynie odmiana Scarlett uzyskiwała optymalny stan odżywienia azotem ($\text{NNIBiałko}=1$) już przy dawce $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Pozostałe odmiany stan taki osiągały dopiero przy nawożeniu $80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Zgodnie z hipotezą badawczą świadczy to o tym, że odmiana Scarlett wykorzystywała azot w okresie rozwoju wegetatywnego lepiej niż pozostałe badane odmiany.

Odmiana Scarlett charakteryzowała się również lepszym wykorzystaniem światła i największą aktywnością fotosyntetyczną liści (tab. 8). Wytwarzając najmniejszą masę i powierzchnię asymilacyjną liści i łodyg, o dużej zawartości chlorofilu (tab. 7) dzięki dużej aktywności fotosyntetycznej (tab. 8) odmiana ta charakteryzowała się również największą masą i najlepszym stanem odżywienia N wegetatywnych części kłosa (tab. 7). Oznacza to, że inne odmiany, również charakteryzujące się w fazie kwitnienia

Tabela 5

Charakterystyka statystyczna modeli zmian wartości wskaźników wzrostu i stanu odżywienia o azotem roślin browarnych odmian jęczmienia jarego. Średnio w okresach wegetacji 2001–2003
 Mean of growing periods 2001–2003

Statistical parameters of the models of the plant growth and nitrogen nutrition status of malting spring barley varieties.

Współczynnik Coefficient	Sucha masa Dry matter (t ha ⁻¹)		LAI	% N w suchej masie % N in dry matter		Pobranie; Uptake (kg·ha ⁻¹)		NNIplon NNIyield		NNIbiałko NNIprotein		SPAD
	liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes		liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes	liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes	liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes	liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes	
a	-4,26	6,60	n.i.	6,96	-1,58	-47,9	105	1,22	n.i.	1,23	n.i.	n.i.
b	0,12	-0,28	n.i.	-0,15	0,03	2,18	-4,40	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	9,72
c	n.i.	n.i.	n.i.	0,01	n.i.	n.i.	-0,23	0,004	n.i.	0,004	n.i.	0,98
d	n.i.	0,003	0,0002	0,0009	n.i.	-0,01	0,04	0,00009	0,0002	0,00008	0,0003	-0,03
e	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
f	n.i.	0,0001	0,0002	-0,0001	n.i.	0,006	0,005	n.i.	0,0001	n.i.	0,0001	0,01
R ²	81,5	88,6	58,9	76,7	66,1	64,0	88,5	47,3	80,0	45,7	80,6	77,4

Tabela 6

Wskaźniki wzrostu i stanu odżywienia azotem roślin browarnych odmian jęczmienia jarego zależnie od dawki nawozów azotowych. Średnio w okresach wegetacji 2001–2003

Indices of plant growth and nitrogen nutrition status of malting spring barley varieties. Mean of growing periods 2001–2003

Dawka N N dose (kg·ha ⁻¹)	Sucha masa; Dry matter (t·ha ⁻¹)		LAI	%N w suchej masie %N in dry matter		Pobranie; Uptake (kg·ha ⁻¹)		NNIplon NNIyield		NNIbiałko NNIprotein		SPAD
	liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes		liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes	liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes	liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes	liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes	
0	2,85	2,33	1,35	1,64	1,53	39,5	35,5	0,65	0,60	0,70	0,65	459
20	3,10	2,51	1,56	1,77	1,59	45,4	39,3	0,72	0,64	0,77	0,69	490
40	3,32	2,54	1,73	1,92	1,68	53,0	41,7	0,79	0,67	0,86	0,73	517
60	3,54	2,66	1,89	2,08	1,77	61,3	45,9	0,88	0,72	0,95	0,78	544
80	3,63	2,68	2,07	2,23	1,85	68,2	48,3	0,95	0,75	1,03	0,81	565
Średnio Mean	3,29	2,54	1,72	1,93	1,68	53,5	42,1	0,80	0,68	0,86	0,71	515
NIR; LSD	0,148	r.n.	0,128	0,074	0,049	6,78	3,12	0,070	0,030	0,076	0,034	16,9

Tabela 7

Porównanie wskaźników stanu roślin odmian jęczmienia w fazie kwitnienia DC 52-57. Średnio w latach 2001–2003
The comparison indices of barley cultivar plant status during anthesis DC 52-57. Mean of 2001–2003

Wskaźniki Indices	Dawka N N dose kg ha ⁻¹	Odmiana: Cultivar							
		Brenda		Rudzik		Scarlett		Sezam	
		liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes	liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes	liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes	liście, łodygi leaves, stems	kłosa spikes
Płon suchej masy Dry matter yield (tha ⁻¹)	0	4,26	1,11	4,75	0,94	4,54	1,51	4,52	1,00
	20	4,93	1,31	4,38	0,84	4,55	1,50	4,76	1,17
	40	5,09	1,31	5,08	1,00	4,74	1,43	4,75	1,14
	60	5,21	1,25	5,34	1,19	5,18	1,61	5,20	1,26
	średnio mean	5,57	1,28	5,32	1,07	4,79	1,44	5,13	1,17
Indeks powierzchni liściowej LAI	0	1,99	-	1,83	-	1,68	-	2,02	-
	20	2,32	-	2,10	-	2,08	-	2,02	-
	40	2,49	-	2,33	-	2,03	-	2,29	-
	60	2,70	-	2,42	-	2,37	-	2,65	-
	średnio mean	2,94	-	2,78	-	2,57	-	2,92	-
Procentowa zawartość azotu w suchej masie Percent of nitrogen in dry matter	0	1,30	1,65	1,30	1,62	1,32	1,65	1,20	1,56
	20	1,27	1,67	1,39	1,67	1,32	1,70	1,42	1,59
	40	1,53	1,77	1,39	1,67	1,66	1,77	1,48	1,69
	60	1,59	1,86	1,56	1,84	1,63	1,86	1,51	1,80
	średnio mean	1,78	1,85	1,84	1,91	1,70	1,85	1,70	1,84
Pobranie azotu N uptake (kg·ha ⁻¹)	0	1,49	1,76	1,50	1,74	1,52	1,76	1,46	1,70
	20	55,8	18,6	65,3	15,2	61,9	25,7	55,0	15,9
	40	63,3	22,3	62,5	14,1	61,0	25,9	65,4	18,7
	60	77,7	23,3	71,2	16,3	78,5	25,4	69,9	19,0
	średnio mean	82,3	23,2	83,7	22,0	83,8	29,7	77,1	22,6
	80	97,1	23,4	97,4	20,3	81,3	26,5	85,8	21,3
	średnio mean	75,2	22,1	76,0	17,6	73,3	26,6	70,6	19,5

NNIplon NNIyield	0	0,65	0,49	0,68	0,48	0,68	0,59	0,61	0,49
	20	0,67	0,57	0,71	0,49	0,67	0,60	0,73	0,52
	40	0,81	0,59	0,73	0,51	0,83	0,62	0,77	0,54
	60	0,84	0,62	0,84	0,60	0,86	0,67	0,80	0,60
	80	0,95	0,61	0,99	0,60	0,88	0,65	0,90	0,60
	średnio	0,78	0,58	0,79	0,54	0,79	0,63	0,76	0,55
	mean	0,70	0,57	0,74	0,51	0,74	0,63	0,67	0,52
	20	0,73	0,60	0,77	0,52	0,73	0,64	0,79	0,55
	40	0,88	0,63	0,80	0,54	0,93	0,66	0,83	0,58
NNIbiałko NNIprotein	0	0,92	0,66	0,92	0,64	1,00	0,72	0,87	0,64
	20	1,05	0,65	1,08	0,64	1,00	0,69	0,98	0,64
	40	0,85	0,62	0,86	0,57	0,86	0,67	0,83	0,58
	60	0,85	0,62	0,86	0,57	0,86	0,67	0,83	0,58
	80	0,85	0,62	0,86	0,57	0,86	0,67	0,83	0,58
	średnio	0,85	0,62	0,86	0,57	0,86	0,67	0,83	0,58
	mean	0,85	0,62	0,86	0,57	0,86	0,67	0,83	0,58
	20	545	-	591	-	587	-	538	-
	40	570	-	613	-	628	-	574	-
Indeks SPAD	60	593	-	647	-	662	-	616	-
	80	615	-	680	-	696	-	640	-
	średnio	638	-	707	-	716	-	673	-
	mean	592	-	647	-	658	-	609	-

NIR pomiędzy odmianami dla: części wegetatywne kłosa
 plonu suchej masy r.n. 0,305
 LAI r.n. -
 % N w s.m. roślin r.n. r.n.
 Pobrania azotu r.n. 6,94
 NNIplon r.n. 0,057
 NNIbiałko r.n. 0,064
 SPAD 16,1

Tabela 8

Tempo fotosyntezy netto ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) liści browarnych odmian jęczmienia jarego
Średnio w latach 2001–2003
Leaf net photosynthesis rate ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) of malting cultivars of spring barley
Mean of 2001–2003

Dawka N N dose (kg ha^{-1})	Odmiana; Cultivar					
	Brenda	Rudzik	Scarlett	Sezam	średnio mean	NIR
0	18,8	19,8	19,3	20,1	19,5	r.n.
20	18,0	19,0	20,8	16,8	18,7	2,59
40	18,2	18,5	18,7	18,9	18,6	r.n.
60	17,9	17,9	19,0	17,7	18,1	r.n.
80	18,1	20,1	18,9	16,5	18,4	r.n.
Średnio; Mean	18,2	19,1	19,2	18,0	18,7	r.n.
NIR; LSD	r.n.	r.n.	r.n.	2,87	r.n.	

wartością $\text{NNIbiałko}=1$, przekazywały do kłosa mniejsze ilości azotu. Kłosa odmiany Scarlett charakteryzowały się ponadto największą aktywnością fotosyntetyczną (tab. 9).

Tabela 9

Tempo fotosyntezy netto ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) kłosów odmian jęczmienia jarego
Średnio w latach 2001–2003
Spike net photosynthesis rate ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) malting cultivars of spring barley
Mean of 2001–2003

Dawka N; N dose ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Odmiana; Cultivar					
	Brenda	Rudzik	Scarlett	Sezam	średnio mean	NIR
0	4,36	3,81	3,83	3,48	3,86	r.n.
20	4,04	4,13	4,59	4,01	4,19	r.n.
40	3,76	3,86	5,21	3,75	4,41	1,371
60	3,90	2,99	4,23	3,81	3,76	r.n.
80	4,13	4,21	4,29	3,16	3,95	r.n.
Średnio; Mean	4,04	3,81	4,41	3,65	3,99	0,602
NIR; LSD	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.		

DYSKUSJA

Plon ziarna jęczmienia oraz jego jakość zależą głównie od ilości wyprodukowanej biomasy w okresie wzrostu wegetatywnego i ilości asymilatów przemieszczonych do ziarna (15), pochodzących z zapasów zgromadzonych w liściach, łodygach i innych wegetatywnych częściach rośliny przed kwitnieniem lub z bieżącej asymilacji (11, 12).

Zapas węgla w wegetatywnych częściach roślin występuje w formie rozpuszczalnych w wodzie węglowodanów, a zapas azotu w formie aminokwasów i białek. Składniki te są potencjalnie dostępne w okresie nalewania ziarna (16).

W badaniach własnych proces wzrostu jęczmienia scharakteryzowano nagromadzeniem suchej masy roślin w okresie wegetacji oraz indeksem powierzchni liściowej LAI. Jako podstawowy wskaźnik stanu odżywienia roślin azotem przyjęto procentową zawartość składnika w nadziemnych częściach rośliny, a jako wskaźniki pochodne: pobranie azotu, wartości NNI i wartość SPAD.

Jak podaje Natr (9) wzrost roślin w okresie wegetacji oraz akumulacja biomasy w dużym stopniu są determinowane przez wielkość powierzchni asymilacyjnej i zawartość azotu, które łącznie decydują o absorpcji światła i aktywności fotosyntetycznej roślin. Znaczenie azotu w fotosyntezie polega na tym, że znaczna jego część w liściu znajduje się w enzymie Rubisco, który umożliwia włączenie CO₂ do trójfosforanów. A zatem większa zawartość azotu w roślinie oznacza więcej enzymu Rubisco i większe pobranie CO₂, czyli szybszą produkcję suchej masy. Przez okres około 7 dni licząc od daty kwitnienia biomasa roślin jęczmienia zwiększa się tylko o ok. 2% dziennie, przy czym asymilaty są gromadzone jako rezerwa dla wzrostu ziarna w osadkach kłosowych (7). Okres wzrostu ziarna zaczyna się po około 7 dniach od daty kwitnienia (1). Jest to tzw. faza realizacji plonu, która fenologicznie rozciąga się od fazy pełni kwitnienia do dojrzałości fizjologicznej ziarna. Następuje wtedy gromadzenie substancji zapasowych w ziarnie, które w warunkach bezstresowych zasilane jest głównie z bieżącej fotosyntezy (17, 18). Główną rolę w dostarczaniu asymilatów do kłosa (ok. 60% ogólnej ilości asymilatów) odgrywają dwa kolejne liście znajdujące się bezpośrednio poniżej liścia flagowego (17). Udział w ogólnej puli asymilatów pochodzących z organów innych niż liście może jednak dochodzić do ponad 40%, przy czym udział kłosów nie przekracza 28%. Pozostała część przypada na ości, których udział w puli dostarczanych asymilatów rośnie w miarę dojrzewania ziarna.

Asymilacja w okresie po kwitnieniu, jako źródło materiałów do wypełniania ziarna, zależy od wielkości powierzchni zdolnej do intercepcji światła. Gdy w okresie wypełniania ziarna warunki stresowe powodują zmniejszenie aktywności fotosyntetycznej, a zatem i ilości dostępnych węglowodanów do syntezy skrobi, następuje zwiększone przemieszczanie azotu z części wegetatywnych do ziarna, zmniejsza się plon ziarna, a zwiększa zawartość w nim azotu i białka (3). Podobnie, ograniczona dostępność azotu przed kwitnieniem, wynikająca w doświadczeniu z małej dawki N, powodowała mniejsze jego pobranie i ograniczenie plonu ziarna z jednostki powierzchni w wyniku zmniejszonej liczby ziarn w kłosie. W fazie wypełniania ziarna rośliny dysponowały zatem większą ilością azotu w przeliczeniu na pojedynczy ziarniak, co powodowało wzrost procentowej zawartości białka. Jest to zgodne z opisem wpływu stresowych warunków pogody na plon i zawartość białka w ziarnie jęczmienia przedstawionym przez Bertholdssona (2) i wyjaśnia dużą zawartość białka w ziarnie badanych odmian w warunkach małych dawek azotu.

Wybrane do badań browarne odmiany jęczmienia jarego: Brenda, Rudzik, Scarlett i Sezam nie różniły się istotnie plonem ziarna z jednostki powierzchni i zawartością

białka w ziarnie. W fazie kwitnienia wszystkie osiągały optymalny z punktu widzenia przydatności technologicznej stan odżywienia azotem ($NNI_{białko}=1$), ale przy różnym zaopatrzeniu w azot. Odmiany te mimo osiągnięcia wartości $NNI=1$ w fazie kwitnienia, charakteryzowały się niejednakową zawartością azotu w ziarnie.

Wyniki badań Przułji i Momicilovic (11, 12) oraz Ruiter i Brookink (14) wskazują na istotne zróżnicowanie odmian jęczmienia pod względem pobrania i zdolności wykorzystywania azotu z części wegetatywnych roślin w tworzeniu plonu. Niektórzy autorzy podają, że odmiany, które do wypełniania ziarna bardziej efektywnie wykorzystują bieżącą fotosyntezę, a w mniejszym stopniu korzystają z rezerw zgromadzonych przed kwitnieniem, są mniej wrażliwe na stresy związane z przebiegiem pogody w okresie wypełniania ziarna i są bardziej stabilne pod względem zawartości białka w ziarnie (3).

Największym plonem ziarna, najmniejszą zawartością białka w ziarnie i najlepszym wykorzystaniem azotu w okresie rozwoju wegetatywnego wyróżniała się odmiana Scarlett, która optymalny stan odżywienia azotem w fazie kwitnienia osiągała przy nawożeniu w dawce $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Pozostałe odmiany stan taki osiągały dopiero przy nawożeniu $80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Odmiana Scarlett wytwarzając w fazie kwitnienia najmniejszy plon suchej masy i najmniejszą powierzchnię asymilacyjną liści i łodyg, o dużej zawartości chlorofilu, dzięki dużej aktywności fotosyntetycznej charakteryzowała się również największym plonem suchej masy i najlepszym stanem odżywienia wegetatywnych części kłosa. Kłosa odmiany Scarlett wyróżniały się dużą aktywnością fotosyntetyczną, co umożliwiało wykształcanie dorodnego ziarna o stosunkowo małej zawartości białka.

Na podstawie dokonanej analizy wzrostu i rozwoju badanych odmian jęczmienia można sądzić, że przebieg procesów fizjologicznych i pokrój roślin odmiany Scarlett stwarzają najlepsze warunki do dobrego wykorzystywania azotu w celu wykształcania dorodnego ziarna, zawierającego procentowo małą ilość białka. W przypadku odmiany Scarlett istnieje więc możliwość stosowania mniejszych dawek azotu niż pod inne odmiany, bez obawy zmniejszenia plonu ziarna i pogorszenia jego jakości.

WNIOSKI

1. Browarne odmiany jęczmienia jarego: Brenda, Rudzik, Scarlett i Sezam, charakteryzujące się zróżnicowanym potencjałem plonowania i różną wartością browarną, pomimo osiągnięcia w fazie kwitnienia wartość indeksu $NNI_{białko}=1$. Odmiany te po osiągnięciu wartości $NNI=1$ w fazie kwitnienia różnią się zawartością azotu w ziarnie.

2. Spośród badanych odmian jęczmienia największym plonem ziarna i najmniejszą zawartością białka w ziarnie, a także najlepszym wykorzystaniem azotu w okresie rozwoju wegetatywnego wyróżniała się odmiana Scarlett, która optymalny stan odżywienia azotem w fazie kwitnienia osiągała przy nawożeniu w ilości $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Pozostałe odmiany stan taki osiągały dopiero przy dawce $80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$.

3. Odmiana Scarlett charakteryzowała się największym plonem suchej masy i najlepszym stanem odżywienia wegetatywnych części kłosa. Oznacza to, że inne odmiany, charakteryzujące się w fazie kwitnienia wartością $NNI_{białko}=1$, gromadziły w kłosie mniejsze ilości azotu. Kłosa odmiany Scarlett wyróżniały się ponadto większą aktywnością fotosyntetyczną, co umożliwiało wykształcanie dorodnego ziarna o stosunkowo małej zawartości białka.

4. W przypadku odmiany Scarlett istnieje możliwość stosowania mniejszych dawek azotu niż pod inne odmiany jęczmienia browarnego, bez obawy zmniejszenia plonu ziarna i pogorszenia jego jakości.

LITERATURA

1. B i n d r a b a n P.S.: Bridging the gap between plant physiology and breeding. Identifying traits to increase wheat yield potential using systems approaches. Ph.D. Thesis, Wageningen, The Netherlands, 1997.
2. Bertholdsson N.O.: Characterization of malting barley cultivars with more or less stable protein content under varying environmental conditions. *Eur. J. Agron.*, 1999, **10**: 1-8.
3. B u l m a n P., S m i t h D.L.: Post heading uptake, retranslocation and partitioning in spring barley. *Crop Sci.*, 1994, **34**: 977-984.
4. F o t y m a E., B e z d u s z n i a k D.: Wykorzystanie testu NNI i testu SPAD do oceny stanu odżywienia zbóż azotem. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*, 2000, **4**: 78-90.
5. G r e e n w o o d D.J., L e m a i r e G., G o s s e G., C r u s P., D r y c o t t A., N e e t e s o n J.: Decline in percentage N of C_3 i C_4 crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.*, 1990, **66**: 425-436.
6. J u s t e s E., M a r y B., M e y n a r d J.M., M a c h e t J.M., T h e l i e r - H u c h e L.: Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Ann. Bot.*, 1994, **74**: 397-407.
7. K i n i r y J.R.: Nonstructural carbohydrate utilization by wheat shaded during grain growth. *Agron. J.*, 1993, **85**: 844-849.
8. L e m a i r e G., G a s t a l F., S a l e t t e J.: Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. W: *Proceedings of the 16th International Grassland Congress*, Nice, France, 1993, 179-180.
9. N a t r L.: Grain yield formation. *Fragm. Agron.*, 1995, **2**: 84-93.
10. P e c i o A., F o t y m a E.: Kalibracja testów NNI i SPAD dla jarego jęczmienia browarnego. *Fragm. Agron.*, 2001, **3**: 171-172.
11. P r z u l j N., M o m c i l o v i c V.: Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley. I. Dry matter translocation. *Eur. J. Agron.*, 2001, **15**: 241-254.
12. P r z u l j N., M o m c i l o v i c V.: Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley. II. Nitrogen translocation. *Eur. J. Agron.*, 2001, **15**: 255-265.
13. R u d n i c k i F.: Wyznaczanie wpływu poszczególnych elementów plonowania na różnice plonów między obiektami doświadczalnymi. *Fragm. Agron.*, 2000, **3**: 53-65.
14. R u i t e r J.M., B r o o k i n g I.R.: Effect of sowing date and nitrogen on dry matter and nitrogen partitioning in malting barley. *New Zeland J. Crop Hortic. Sci.*, 1996, **24(1)**: 65-76.
15. R u i t e r J.M., H a s l e m o r e R.M.: Role of nitrogen and dry matter partitioning in determining the quality of malting barley. *New Zeland J. Crop Hortic. Sci.*, 1996, **24(1)**: 77-87.
16. S c h n y d e r H.: The role of carbohydrate storage and redistribution in the source-sink relations of wheat and barley during grain filling – a review. *Net Phytologist*, 1993, **123**: 233-245.

17. Shatilov I.S., Zamaraev A.G., Sharov A.F., Kornienko A.V.: Carbon dioxide gas exchange of barley during ontogenesis. *Izvestiya Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvennoi Akademii*, 1994, **3**: 3-13.
18. Triboi E., Triboi-Blondel A.M.: Productivity of grain or seed composition: a new approach to an old problem – invited paper. *Eur. J. Agron.*, 2002, **16**: 163-186.

VARIABILITY OF GRAIN PROTEIN CONTENT OF MALTING BARLEY CULTIVARS DEPENDING ON PLANT NITROGEN NUTRITION STATUS

Summary

The purpose of the study was to determine the differentiation of spring malting barley cultivars in utilization of nitrogen stored in vegetative parts of plants for realization of grain yield and its quality. The studies were conducted in Experimental Station of the Institute of Soil Science and Plant Cultivation at Grabow in 2001–2003 on the base of a field experiment set up according to split-plot design in 4 replications. The first factor was the malting barley cultivars: Brenda, Rudzik, Scarlett and Sezam, differing in grain yield potential and quality. The second factor was the nitrogen dose: 0, 20, 40, 60 i 80 kg N·ha⁻¹, applied before barley sowing. The plot area for harvest was 28,8 m².

Studied cultivars did not differ significantly for grain yield, although cultivar Scarlett tended to give a higher yield. They were differentiated for protein content. During anthesis they achieved the optimal nitrogen nutrition status $NNI_{protein}=1$ but under different nitrogen supply conditions. Thereafter different amount of nitrogen in the grain were accumulated by the cultivars. Among studied cultivars cultivar Scarlett signalized the biggest grain yield, the smallest grain protein content and the best ability of nitrogen utilization during vegetative growth. The cultivar, as the only one, accomplished the status of optimal nitrogen nutrition at anthesis on the nitrogen dose of 60 kg N·ha⁻¹. The other cultivars gained the status on the dose of 80 kg N·ha⁻¹. The cultivar Scarlett while producing the smallest dry matter yield and having the lowest photosynthetic area of leaves and stems of a high chlorophyll content, due to high photosynthesis rate was characterized also by the biggest dry matter yield and the best nitrogen nutrition status of vegetative parts of the spikes. Photosynthesis rate of the spikes was also higher than the one of the other cultivars. It means, that the other cultivars, which achieved during anthesis the status of nitrogen nutrition $NNI_{protein}=1$, transported smaller amounts of nitrogen to their spikes. Spikes of cultivar Scarlet were also distinguished with the highest photosynthesis rate. It allowed the production of fine grain characterized by relatively small protein content. In the case of cultivar Scarlet there is a possibility to apply a smaller nitrogen dose without a decrease of grain yield and its quality.

Praca wpłynęła do Redakcji 1 VI 2004 r.