

ALICJA PECIO¹**KRZYSZTOF KUBSIK**¹**ANDRZEJ BICHONSKI**²¹ Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Puławy² Małopolska Hodowla Roślin HBP Spółka z o.o. Polanowice

Przyczyny zmienności plonu i jakości ziarna jęczmienia jarego w obrębie pola produkcyjnego

The reasons of grain yield and quality variation in a production field of spring barley

Celem pracy była ocena zakresu zmienności plonu i zawartości białka w ziarnie jęczmienia jarego w obrębie pola produkcyjnego oraz określenie przyczyn tej zmienności. Badania prowadzono w Stacji Doświadczalnej IUNG Baborówko, woj. wielkopolskie w latach 1998–2003 na dużych polach produkcyjnych, gdzie wykorzystywane są metody rolnictwa precyzyjnego. Stwierdzono, że w obrębie pola produkcyjnego wielkość uzyskiwanego plonu ziarna jest determinowana w jednakowym stopniu przez warunki pogody i warunki glebowe. Natomiast zawartość białka w ziarnie zależy głównie od warunków pogody. Wskaźniki wzrostu roślin (liczba roślin na 1 m², plon suchej masy roślin, wartości LAI) oraz stanu odżywienia roślin azotem w okresie do kwitnienia jęczmienia mogą służyć do diagnozowania stanu łanu i prognozowania plonu ziarna. Wskaźniki stanu odżywienia roślin azotem w fazie kwitnienia są przydatne do diagnozowania i prognozowania zawartości białka w ziarnie jęczmienia.

Słowa kluczowe: diagnozowanie, jęczmień jary, plon ziarna, prognozowanie, zawartość białka w ziarnie, zmienność

The purpose of the study was estimation of spring barley grain yield and protein content variation on the area of production field and determination of the reasons for the variation. The studies were conducted in the Experimental Station Baborówko, Poland, in 1998–2003 on the fields where the methods of precision agriculture were used. It was found that the range of grain yield is determined by both weather and soil conditions and the range of protein content are dependent mainly on weather conditions. Canopy indices describing plant growth (plant number and dry matter yield, LAI values) and plant nitrogen nutrition status in the development stages until anthesis (N percentage in dry matter, NNI values for both maximal yield and optimal grain protein content, SPAD values) can be used for diagnosis of the crop status and prognosis of grain yield. The indices of plant nitrogen management during anthesis are useful for diagnosis and prognosis of grain protein content.

Key words: diagnosis, grain protein content, grain yield, prognosis, spring barley, variation

WSTĘP

Pola, szczególnie duże, na których uprawia się jęczmień, są z reguły zróżnicowane pod względem żyzności, odczynu, wilgotności, poziomu wody gruntowej i innych właściwości. Uzyskiwane z takich pól ziarno nie jest jednolite pod względem cech jakościowych, ponieważ każda roślina indywidualnie reaguje przebiegiem wzrostu, rozwoju i nagromadzania plonu ziarna na warunki, w których jest uprawiana. W rezultacie wielkość plonu ziarna pochodzącego z różnych części pola i jego przydatność do produkcji słodu i piwa są zróżnicowane (Burger i in., 1979). Przemysł otrzymuje, zatem partie ziarna niejednolite pod względem właściwości fizycznych (masa 1000 nasion MTZ, celność, grubość i barwa łuski), biologicznych (energia i zdolność kiełkowania) i chemicznych (głównie zawartość białka i skrobi). Sprawia to, że w wyniku nierównomiernego kiełkowania zróżnicowanych ziaren uzyskuje się słód o mniejszej ekstraktywności niż słód wyprodukowany z jednolitego, dorodnego ziarna.

Celem pracy była ocena zakresu zmienności plonu i zawartości białka w ziarnie jęczmienia jarego w obrębie pola produkcyjnego oraz określenie przyczyn tej zmienności.

MATERIAŁ I METODY

Jęczmień jary uprawiano na polach produkcyjnych Stacji Doświadczalnej IUNG w Baborówku, woj. Wielkopolskie, w kolejnych latach okresu 1998-2003 na polach o powierzchni odpowiednio 7,4, 8,8, 16,2, 10,7, 16 16,3 ha. W celu uzyskania zróżnicowanego zaopatrzenia roślin w azot w doświadczeniu wykorzystano naturalne zróżnicowanie żyzności gleby w obrębie pola. Na rośliny uprawiane w trójpolewym zmianowaniu: rzepak, pszenica i jęczmień jary oddziaływały, zatem jedynie dwa rodzaje zmienności: warunków glebowych i pogody. Dla każdego z pól wykonano mapę glebowo-rolniczą w skali 1:5000 oraz założono siatkę geostatyczną, składającą się z kwadratów o boku 24 m w latach 1998 i 1999 oraz 36 m w pozostałych latach. W punktach przecięcia linii siatki znajdowały się punkty pomiarowe. Z dokonanej charakterystyki pól wynika, że wykazują one dużą zmienność pod względem zarówno fizycznych cech gleby, jak i ich właściwości agrochemicznych (Jadczyżyn, dane niepublikowane 2000).

Siew jęczmienia odmiany Maresi wykonano 30. 03. 1998 roku, odmiany Brenda 3. 04. 1999 i 20.03.2000 roku, a odmiany Prosa 3. 04. 2001, 3. 04. 2002 oraz 25. 03. 2003 roku. W czasie wegetacji określano wskaźniki wzrostu, rozwoju i plonowania tej rośliny, wykorzystując siatkę punktów pomiarowych. Po wschodach jęczmienia liczono ilość roślin na 1 m², następnie 3-krotnie w fazach DC 30-31 (krzewienie-strzelanie w źdźbło), DC 50-57 (kwitnienie) oraz DC 75-91 (dojrzewanie ziarna) dokonywano pomiarów indeksu powierzchni liści (LAI) i indeksu zieloności liścia (wartości SPAD) oraz pobierano próbki nadziemnych części roślin z powierzchni 1 m². W próbkach roślin oznaczano procent i plon suchej masy (SM) oraz procent i ilość pobranego azotu. W okresie pełnej dojrzałości roślin określano plon ziarna i słomy z 1 m², elementy struktury plonu (liczbę kłosów na 1 m², masę 1000 ziaren, liczbę ziaren w kłosie) oraz pobierano próbki ziarna do analizy na zawartość białka w ziarnie.

Zbiór końcowy przeprowadzono: 7.08.1998; 30.07.1999; 1.08.2000; 30.07.2001; 27.07. 2002; i 22.07. 2003 roku.

Indeks zieloności liścia (odczyty SPAD) określano za pomocą N-Testera HYDRO, model SPAD-502 (skala 0-800), a indeksy stanu odżywienia roślin azotem NNI obliczono według koncepcji Lemaira (za Justes i in., 1997). Dla jęczmienia browarnego zastosowano dwa wskaźniki NNI_{plon} i NNI_{białko}, skalibrowane we wcześniejszych badaniach własnych (Pecio i Fotyma, 2001). 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%. Wtedy też jęczmień jest oceniany jako dobry 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.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zróżnicowanie plonów i zawartości białka w ziarnie jęczmienia

W okresie 6 lat eksperymentu (640 punktów pomiarowych) plon ziarna jęczmienia wahał się od 1,0 do 7,5 t·ha⁻¹. Zawartość białka w ziarnie zmieniała się od zbyt niskiej dla browarnictwa (8,5%) do zbyt wysokiej (19,1%). Wartości współczynników zmienności dla plonu ziarna były większe niż dla zawartości białka w ziarnie (tab. 1).

Tabela 1

Charakterystyka statystyczna plonu i zawartości białka w ziarnie jęczmienia jarego
Statistical characteristics of spring barley grain yield and protein content

Rok Year	Plon ziarna Grain yield (t·ha ⁻¹)			Zawartość białka w ziarnie Grain protein content (%)		
	średnia mean	odchylenie standardowe standard deviation	współczynnik zmienności coefficient of variation	średnia mean	odchylenie standardowe standard deviation	współczynnik zmienności coefficient of variation
1998	4,68	0,82	17,6	11,8	1,5	12,5
1999	3,78	0,95	25,3	9,9	0,5	4,7
2000	3,58	1,00	28,2	13,6	0,6	4,3
2001	4,49	0,11	24,3	10,7	0,71	6,63
2002	3,79	1,08	28,5	11,6	0,72	6,88
2003	3,07	0,54	17,6	15,7	2,17	13,8

W celu porównania badanych pól wykonano analizę porównawczą wariancji plonów i zawartości białka pomiędzy 6 polami, na których uprawiano jęczmień w kolejnych latach badań od roku 1998–2003 (tab. 2). Przyjmuje się, że jeśli wyznaczony przedział ufności obejmuje wartość = 1, oznacza to brak istotnych różnic pomiędzy wariancjami prób na poziomie istotności 95%. Podane w tabelach zakresy przedziałów ufności wskazują na istotne zróżnicowanie zmienności plonów ziarna pomiędzy około połową pól oraz na istotne zróżnicowanie zmienności zawartości białka w ziarnie większością lat, z wyjątkiem różnicy pomiędzy rokiem 2001 a latami 1999 i 2000. Pośrednio można, zatem

sądzić, że o zakresie zmienności plonów decydowały zarówno warunki pogody, jak i właściwości gleby, natomiast zakres zmienności zawartości białka uzależniony jest przede wszystkim od przebiegu pogody.

Tabela 2

Porównanie wariancji plonu ziarna i zawartości białka w ziarnie
Comparison of variances of spring barley grain yield and protein content

Porównywane lata Compared years	Iloraz wariancji Ratio of variances	
	plon ziarna grain yield	zawartość białka w ziarnie grain protein content
1998 i 1999	0,75	9,71*
1998 i 2000	0,67*	6,38*
1998 i 2001	0,58*	6,76*
1998 i 2002	0,57*	3,42*
1998 i 2003	1,78*	0,46*
1999 i 2000	0,90	0,66*
1999 i 2001	0,79	0,70
1999 i 2002	0,79	0,35*
1999 i 2003	2,40*	0,05*
2000 i 2001	0,87	1,06
2000 i 2002	0,88	0,54*
2000 i 2003	2,66*	0,07*
2001 i 2002	1,00	0,51*
2001 i 2003	3,05*	0,07*
2002 i 2003	3,03*	0,14*

* Istotna różnica pomiędzy wariancjami prób na poziomie istotności $\alpha = 0,05$

* Significant difference between variances on the significance level $\alpha = 0.05$

Rodzaj gleby wpływa na plon ziarna i zawartość białka w ziarnie jęczmienia przede wszystkim poprzez zróżnicowaną dostępność azotu. W doświadczeniach przeprowadzonych przez Muller (1988) na glebie lessowej, wielkość i termin stosowania nawozów azotowych nie miały wpływu na wielkość plonu ziarna, natomiast zawartość białka w ziarnie była zawsze zbyt wysoka jak na cele browarne (12,1%–15,2%). Na glebie brunatnej o składzie piasku gliniastego i małej zawartości azotu zróżnicowane dawki nawozów azotowych (90 i 120 kg·ha⁻¹) powodowały zarówno zróżnicowanie plonu ziarna (4,70 i 6,17 t·ha⁻¹) jak i zawartości białka w ziarnie (10,6 i 12,0%). Na glinie ciężkiej o większej zawartości azotu, plony wahały się od 3,12 t·ha⁻¹ bez nawożenia azotem do 4,95 t·ha⁻¹ przy nawożeniu dawką azotu 120 kg·ha⁻¹. Zawartość białka w ziarnie wynosiła odpowiednio 10,0 i 12,8%.

Zmienność wskaźników stanu łanu

Jęczmień, z uwagi na słabo rozwinięty system korzeniowy, jest szczególnie wrażliwy na właściwy dobór gleby do jego uprawy (Słaboński, 1976). Roślina ta wymaga gleb zasobnych w przyswajalne składniki pokarmowe i o uregulowanych stosunkach wodno-powietrznych. Warunki takie sprzyjają dobremu krzewieniu roślin i wytwarzaniu kolejnych korzeni przybyszowych. Dobrze rozkrzewione rośliny jęczmienia charakteryzują się większą produktywnością pędu głównego, ponieważ pędy boczne są źródłem jego zasilania w składniki pokarmowe (Lauer, 1990; Pecio, 1995).

Dysponując dużą liczbą wskaźników wzrostu i rozwoju łanu jęczmienia, wykazujących dużą zmienność w obrębie pól, przeprowadzono analizę dyskryminacji ($n = 640$), traktując wskaźniki łanowe jako zmienne objaśniające. Do wskaźników łanowych włączono również elementy struktury plonu. Jako funkcje klasyfikujące zbiór danych wejściowych przyjęto 4 kompleksy glebowe: pszenney dobry, żytni bardzo dobry, żytni dobry i żytni słaby. Obliczenia wykonano dla sześciu lat (z sześciu pól) badań łącznie, co umożliwiło korzystne poszerzenie zakresu zmienności.

Spośród 20 wskaźników opisujących łan jęczmienia, za pomocą analizy krokowej postępującej (step-wise) wydzielono 6 wskaźników, które powodowały zmienność łanu jęczmienia (tab. 3). Były to plon ziarna i liczba kłosów na 1 m^2 , wskaźniki wzrostu roślin: plon suchej masy i wielkość powierzchni liściowej określona wskaźnikiem LAI w okresie krzewienie-kwitnienie oraz wskaźniki stanu odżywienia roślin azotem: SPAD i NNIbiałko w okresie kwitnienie-dojrzwanie. Oznacza to, że warunki glebowe oddziaływały na zmienność łanu poprzez zróżnicowanie wzrostu roślin i stanu ich odżywienia azotem. W miarę pogarszania warunków glebowych od kompleksu pszennego dobrego do kompleksu żytniego słabego zmniejszał się plon ziarna, a także pogarszały się wskaźniki wzrostu roślin i wskaźniki stanu ich odżywienia azotem.

Tabela 3

Charakterystyka wskaźników łanu jęczmienia na kompleksach glebowych
Characteristics of barley canopy indices on soil complexes

Kompleks glebowy Soil complex	Żytni słaby Rye poor		Żytni dobry Rye good		Żytni bardzo dobry Rye very good		Pszenny dobry Wheat good	
Liczba punktów pomiarowych Number of measurement points	116		147		230		147	
Zmienna Variable	średnia — mean (odchylenie standardowe — standard deviation)							
Plon ziarna Grain yield (t ha ⁻¹)	3,16	(0,18)	3,67	(0,19)	3,94	(0,20)	4,91	(0,22)
Liczba kłosów na 1 m ² Spikes per 1m ²	395	(19,9)	338	(18,4)	402	(20,1)	341	(18,5)
Plon SM roślin (1)* DM yield 1 (g m ⁻²)	63,5	(7,97)	82,1	(9,06)	80,0	(8,94)	101	(10,0)
LAI (2)	2,14	(1,46)	2,44	(1,56)	2,59	(1,61)	2,53	(1,59)
SPAD (2)	491	(22,2)	518	(22,8)	527	(23,0)	574	(24,0)
NNI białko (3) — NNI protein 3	0,65	(0,81)	0,80	(0,89)	0,75	(0,86)	0,84	(0,92)

* (1) — Okres krzewienie-strzelanie w źdźbło; Tillering-shooting stage DC 30-31

(2) — Faza kwitnienia; Anthesis DC 50-57,

(3) — Okres dojrzewania; Maturity stage DC 75-91

LAI — Indeks Powierzchni Liściowej; Leaf Area Index

SM — Sucha masa; DM — Dry matter

SPAD — Indeks zawartości chlorofilu w jednostkach; SPAD; Chlorophyll content index in SPAD units

Analiza podstawowych elementów struktury plonu w przedziałach klasowych plonu ziarna i zawartości białka w ziarnie wykazała, że optymalna dla przemysłu browarniczego zawartość białka w ziarnie związana była z dużą obsadą kłosów na jednostce powierzchni i dużą masą 1000 ziaren oraz umiarkowaną liczbą ziaren w kłosie (tab. 4). Duża obsada

kłosów i duża masa 1000 ziaren determinowały również wysoki poziom plonowania jęczmienia.

Tabela 4

Charakterystyka elementów struktury plonu decydujących o wielkości plonu ziarna i zawartości białka w ziarnie (n = 640)

Characteristics of yield components effecting grain yield and protein content

Elementy struktury plonu Yield components	Plon ziarna (t ha ⁻¹) Grain yield				Zawartość białka (%) Grain protein content		
	<3,00	3,00-4,00	4,01-5,00	>5,00	<10,5	10,5-11,5	>11,5
Liczba punktów pomiar Number of measurement points	121	218	188	113	166	152	322
średnia — mean (odchylenie standardowe — standard deviation)							
Liczba kłosów na 1 m ² Spikes per 1 m ²	375 (89,2)	445 (65,0)	527 (70,5)	580 (48,7)	538 (80,3)	486 (100)	419 (80,3)
Liczba ziaren w kłosie Grains per spike	25,8 (11,0)	25,0 (5,25)	22,7 (4,32)	21,9 (2,38)	19,3 (5,60)	24,1 (5,54)	27,0 (6,33)
Masa 1000 ziaren Weight of 1000 grains	40,7 (3,36)	41,7 (3,33)	42,5 (3,42)	44,9 (3,77)	42,1 (3,30)	44,3 (3,68)	41,1 (3,41)

Tabela 5

Charakterystyka zmiennych niezależnych decydujących o wielkości plonu ziarna

Characteristics of independent variables effecting grain yield

Plon ziarna Grain yield (t ha ⁻¹)	<3,00	3,00-4,00	4,01-5,00	>5,00
Liczba punktów pomiarowych Number of measurement points	121	218	188	113
Zmienna Variable	średnia — mean (odchylenie standardowe — standard deviation)			
Kompleks glebowy — Soil complex	48,6 (6,97)	57,1 (7,56)	67,4 (8,21)	71,3 (8,45)
Liczba roślin na 1 m ² — Plants per 1 m ²	262 (16,2)	277 (16,7)	285 (16,9)	288 (17,0)
LAI (1)*	1,10 (1,05)	1,27 (1,13)	1,57 (1,25)	1,39 (1,18)
Plon SM roślin (2) — DM yield (2) (g·m ⁻²)	300 (17,3)	343 (18,5)	409 (20,2)	415 (20,4)
SPAD (2)	494 (22,2)	511 (22,6)	544 (23,3)	578 (24,0)
Plon SM roślin (3) — DM yield (3) (g·m ⁻²)	325 (18,0)	427 (20,7)	603 (24,5)	590 (24,3)
% N w SM roślin (3) — N % in plant DM 3	1,17 (1,08)	1,29 (1,13)	1,44 (1,20)	1,47 (1,21)

* (1) — Okres krzewienie-strzelanie w źdźbło; Tillering-shooting stage DC 30-31

(2) — Faza kwitnienia; Anthesis DC 50-57,

(3) — Okres dojrzewania; Maturity stage DC 75-91

LAI — Indeks Powierzchni Liściowej; Leaf Area Index

SM — Sucha masa; DM — Dry matter

SPAD — Indeks zawartości chlorofilu w jednostkach SPAD; Chlorophyll content index in SPAD units

W celu dyskryminacji między grupami plonu ziarna i zawartości białka przyjęto 20 zmiennych objaśniających. Na zmienne te składały się wskaźniki stanu łanu i dodatkowo wskaźnik waloryzacji gleby, wyrażony w punktach odpowiadających kompleksom glebowym. Poszczególnym kompleksom odpowiadają następujące wartości wskaźników waloryzacyjnych: kompleks 2 = 80 punktów, kompleks 4 = 70 punktów, kompleks 5 = 52 punkty, kompleks 6 = 30 punktów. Jako funkcje klasyfikujące zbiór zmiennych

objaśniających przyjęto 4 grupy plonu ziarna (tab. 5) oraz 3 grupy zawartości białka w ziarnie (tab. 6). Stosując selekcję metodą krokową postępującą (step-wise) wykazano, że spośród 20 zmiennych objaśniających tylko 7 zmiennych (wskaźników) miało istotny wpływ na wielkość plonu ziarna. Były to kompleksy glebowe opisane punktami waloryzacyjnymi i liczba roślin na jednostce powierzchni oraz wielkość powierzchni liściowej, określona wskaźnikiem LAI w okresie krzewienie-strzelanie w źdźbło, a także plon suchej masy i wskaźniki stanu odżywienia roślin azotem: odpowiednio SPAD i procentowa zawartość N w suchej masie w okresach kłoszenia i dojrzewania (tab. 5).

Tabela 6

Charakterystyka zmiennych niezależnych w grupach o zróżnicowanej zawartości białka w ziarnie
Characteristics of independent variables effecting grain protein content

Zawartość białka Grain protein content(%)	<10,5	10,5-11,5	>11,5
Liczba punktów pomiarowych Number of measurement points	166	152	322
Zmienna Variable	średnia — mean (odchylenie standardowe — standard deviation)		
LAI (1)*	1,11 (1,05)	1,38 (1,17)	1,46 (1,21)
% N w SM roślin (1) — N % in plant DM (1)	3,33 (1,83)	3,67 (1,91)	3,30 (1,82)
LAI (2)	2,03 (1,43)	2,47 (1,57)	2,67 (1,64)
% N w SM roślin (2) — N % in plant DM (2)	1,80 (1,34)	1,96 (1,40)	2,26 (1,50)
SPAD (2)	503 (22,4)	551 (23,5)	532 (23,1)
Plon SM roślin (3) — DM yield (3) (g m ⁻²)	554 (23,5)	530 (23,0)	435 (20,8)

* (1) — Okres krzewienie-strzelanie w źdźbło; Tillering-shooting stage DC 30-31

(2) — Faza kwitnienia; Anthesis DC 50-57,

(3) — Okres dojrzewania; Maturity stage DC 75-91

LAI — Indeks Powierzchni Liściowej; Leaf Area Index

SM — Sucha masa; DM — Dry matter

SPAD — Indeks zawartości chlorofilu w jednostkach SPAD; Chlorophyll content index in SPAD units

Spółród 20 zmiennych objaśniających 6 zmiennych (wskaźników) miało istotny wpływ na zawartość białka w ziarnie (tab. 6). Była to wielkość powierzchni liściowej opisana wskaźnikiem LAI oraz wskaźniki stanu odżywienia roślin azotem (% N w suchej masie, SPAD) w okresie krzewienie-kwitnienie, a także plon suchej masy roślin w okresie dojrzewania. Stwierdzono, że połowa (322) próbek ziarna charakteryzowała się zbyt wysoką dla browarnictwa zawartością białka w ziarnie. Najmniej próbek ziarna, tj. niecała jedna czwarta (152) mieściła się w przedziale zawartości białka wymaganej w przemyśle browarniczym.

Model prognostyczny plonu i zawartości białka w ziarnie

Próby prognozowania plonów i zawartości białka w ziarnie jęczmienia podjęto na podstawie przeprowadzonej analizy czynnikowej. Analiza czynnikowa pozwoliła na pogrupowanie cech łanu w okresie wegetacji i wyznaczenie 4 czynników, które łącznie wyjaśniały 80,8% zmienności zbioru danych rzeczywistych (tab. 7). W skład czynnika 1 wchodziły wskaźniki wzrostu roślin jęczmienia (liczba roślin na jednostce powierzchni, plon suchej masy i wartości LAI). Na czynnik 2 składały się wskaźniki stanu odżywienia roślin azotem w okresie dojrzewania ziarna (% N w suchej masie roślin, wartości NNI z punktu widzenia maksymalnego plonu oraz optymalnej zawartości białka w ziarnie).

Czynniki 3 i 4 to wskaźniki stanu odżywienia roślin azotem odpowiednio w fazie kwitnienia i okresie krzewienie-strzelanie w źdźbło jęczmienia.

Tabela 7

Macierz ładunków czynnikowych
Factor loading matrix

Zmienna Variable	Czynnik 1 Factor 1	Czynnik 2 Factor 2	Czynnik 3 Factor 3	Czynnik 4 Factor 4
Procent wyjaśnionej zmienności Percentage of explained variation	30,81	19,54	17,07	13,40
Liczba roślin na 1 m ² — Plants per 1 m ²	0,51	-0,012	-0,08	0,43
Plon SM roślin 1* — DM yield 1	0,91	0,26	0,13	-0,06
Plon SM roślin 2 — DM yield 2	0,83	-0,24	-0,18	0,02
Plon SM roślin 3 — DM yield 3	0,82	0,25	-0,19	0,06
LAI 1	0,77	-0,00	0,09	-0,14
LAI 2	0,75	-0,14	0,17	0,22
% azotu w SM 1 — % N in DM 1	-0,51	-0,22	-0,09	0,77
% azotu w SM 2 — % N in DM 2	-0,09	0,23	0,95	-0,04
% azotu w SM 3 — % N in DM 3	-0,01	0,92	0,27	-0,01
SPAD 1	-0,50	-0,19	-0,02	0,60
SPAD 2	0,08	0,13	0,57	0,05
NNI plon 1 — NNI yield 1	0,06	0,06	0,00	0,99
NNI plon 2 — NNI yield 2	0,06	0,16	0,95	-0,02
NNI plon 3 — NNI yield 3	0,27	0,93	0,17	0,02
NNI białko 1 — NNI protein 1	0,10	0,08	0,01	0,98
NNI białko 2 — NNI protein 2	0,07	0,15	0,95	-0,02
NNI białko 3 — NNI protein 3	0,29	0,94	0,16	0,02

* (1) — Okres krzewienie-strzelanie w źdźbło; Tillering-shooting stage DC 30-31

(2) — Faza kwitnienia; Anthesis DC 50-57,

(3) — Okres dojrzewania; Maturity stage DC 75-91

LAI — Indeks Powierzchni Liściowej; Leaf Area Index

SM — Sucha masa; DM — Dry matter

SPAD — Indeks zawartości chlorofilu w jednostkach SPAD; Chlorophyll content index in SPAD units

Wyznaczone czynniki wprowadzono jako zmienne niezależne do analizy regresji. Zastosowanie rachunku regresji wielokrotnej metodą step-wise pozwoliło opisać zależność plonu ziarna i zawartości białka w ziarnie od tych czynników za pomocą funkcji o ogólnej postaci: $Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3$. Wartości parametrów równania regresji podano w tabeli 8. Błąd estymacji dla plonu ziarna wynosił 78,9, a dla zawartości białka 1,12, liczebność próby wynosiła $n = 640$.

Dla plonu ziarna istotny związek regresyjny stwierdzono z czynnikami 1, 3, i 4. Czynniki 1 wyjaśniał 30,8% zmienności i obejmował wskaźniki wzrostu roślin (plon suchej masy i wartości LAI). Pozostałe istotne czynniki (3 i 4) wyjaśniały łącznie 30,5% zmienności. Obejmowały one wskaźniki stanu odżywienia roślin azotem odpowiednio w fazie kwitnienia i okresie krzewienie-strzelanie w źdźbło jęczmienia.

W modelu prognostycznym dla zawartości białka w ziarnie istotne były czynniki 3 i 4. Większość zmienności wyjaśniona była przez czynnik 3, który obejmował wskaźniki stanu odżywienia roślin azotem w fazie kwitnienia. Współczynnik regresji dla tego czynnika miał wartość dodatnią, co świadczy o tym, że zawartość białka w ziarnie wzrasta w miarę poprawy stanu odżywienia roślin azotem w fazie kwitnienia roślin. Wartość współczynnika

regresji dla czynnika 4, na który składały się wskaźniki stanu odżywienia roślin w wczesnej fazie rozwoju (okres krzewienie-strzelanie w źdźbło) była bliska zeru. Świadczy to o małym wpływie zaopatrzenia roślin w azot w tej fazie na zawartość białka w ziarnie i może sugerować określoną strategię nawożenia azotem w jednej dawce przedsiewnej.

Tabela 8

Współczynniki regresji wielokrotnej dla plonu ziarna i zawartości białka w ziarnie
Coefficients of multiple regressions for grain yield and protein content

Parametr Parameter	Wartości współczynników regresji Regression coefficients values of					
	plonu ziarna grain yield			zawartości białka w ziarnie grain protein content		
	wartość estimation	błąd standardowy standard error	poziom istotności P-value	wartość estimation	błąd standardowy standard error	poziom istotności P-value
Stała — Constant	404	3,73	0,00	11,4	0,05	0,00
Czynnik 1 — Factor 1	9,75	1,77	0,00	-0,03	0,03	0,22
Czynnik 2 — Factor 2	2,42	1,47	0,10	-0,04	0,02	0,09
Czynnik 3 — Factor 3	-4,53	1,35	0,00	0,30	0,02	0,00
Czynnik 4 — Factor 4	5,93	1,13	0,00	-0,06	0,02	0,00
Współczynnik determinacji R ² Coefficient of determination R ²	47,5%			46,6%		

Czynnik 2, który obejmował wskaźniki stanu odżywienia roślin w okresie dojrzewania ziarna, nie miał istotnego znaczenia w przewidywaniu plonu ziarna ani też zawartości białka w ziarnie.

WNIOSKI

1. Plon i jakość ziarna jęczmienia wykazują dużą zmienność w obrębie pól produkcyjnych, co wynika ze zróżnicowania warunków glebowych.
2. Pogarszające się warunki glebowe oddziałują ujemnie na nagromadzanie masy i wielkość powierzchni asymilacyjnej oraz na pobieranie i przetwarzanie azotu, a w konsekwencji na wielkość plonu i jakość ziarna.
3. Do diagnozowania przyczyn zmienności i prognozowania wielkości plonu ziarna mogą służyć łanowe wskaźniki wzrostu roślin (liczba i masa roślin z jednostki powierzchni oraz wartość LAI) oraz wskaźniki stanu zaopatrzenia roślin w azot w okresie do fazy kwitnienia, natomiast do diagnozowania i prognozowania zawartości białka w ziarnie można wykorzystać wskaźniki stanu odżywienia roślin azotem w fazie kwitnienia.

LITERATURA

- Burger W. C., Wesenberg D. M., Carden J. E., Pawlisch P. E. 1979. Protein content and composition of Karl and related barleys. *Crop Sci.* 19: 235 — 238.
- Justes E., Jeuffroy M. H., Mary B. 1997. Wheat, barley and *durum* wheat. In: *Diagnosis of nitrogen status in crops*. Ed. Lemaire G. Springer Verlag: 73 — 91.
- Lauer J. G., Partridge J. R. 1990. Planting date and nitrogen rate effect on spring malting barley. *Agron. J.* 82 (6): 1083 — 1088.

- Muller S. 1988. N uptake, yield and quality of malting barley in relation to inorganic soil nitrogen and N fertilization. *Landwirtschaftliche Forschung*. 41 (1-2): 99 — 108.
- Pecio A. Studia nad modelem rośliny i ładu jęczmienia jarego. IUNG Puławy, 1995, R (235): 1 — 84.
- Pecio A., Fotyma E. 2001. Calibration of NNI and SPAD tests for malting spring barley. *Fragm. Agron.* 3: 161 — 172.
- Słaboński A. 1976. Jęczmień jary i ozimy. PWRiL, Warszawa.