

**WPLYW ODMIANY I ODŻYWIENIA ROŚLIN AZOTEM
NA CECHY PŁONOTWÓRCZE PSZENICY OZIMEJ
W DOŚWIADCZENIU WAZONOWYM
CZEŚĆ II.
WPLYW ODŻYWIENIA ROŚLIN AZOTEM NA SKŁADOWE PŁONU**

JAN ROZBICKI¹, GRZEGORZ SOBCZYŃSKI

*Katedra Agronomii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa*

Synopsis. W doświadczeniu wazonowym, przeprowadzonym w latach 2012/2013 w fitotronie i w szklarni Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, oceniono kształtowanie się cech plonotwórczych 5 odmian pszenicy ozimej w warunkach zróżnicowanego nawożenia roślin azotem, a także określono reakcję komponentów plonu na zmienny poziom odżywienia roślin azotem. Tempo wzrostu i rozwoju roślin odmian: Alcazar, Figura, Jenga, Kohelia i Naridana oraz współczynnik krzewienia produkcyjnego były zależne od odmiany, a ich reakcja na zwiększone dawki nawożenia N w kształtowaniu tych cech była nierównoległa. Liczba ziaren z jednostki powierzchni (z wazonu) była dodatnio skorelowana ze stopniem odżywienia roślin azotem, a zmienność tej składowej zależna była od liczby kłosów na jednostce powierzchni. Korzystny poziom odżywienia roślin azotem wykazywał słaby związek z liczbą ziaren z kłosów pędu głównego oraz wpływał ujemnie na masę tysiąca ziaren.

Słowa kluczowe: pszenica ozima, doświadczenie wazonowe, nawożenie N, składowe plonu

WSTĘP

W prognozie długoterminowej rozwoju rolnictwa oczekiwany jest znaczny wzrost produkcji zbóż, aby zapewnić światowe bezpieczeństwo żywnościowe do 2050 roku [Alexandratos i Bruinsma 2012]. Produkcja zbóż powinna wzrosnąć w pierwszej połowie XXI wieku o ok. 50% i osiągnąć poziom 3 mld ton, nie licząc produkcji ryżu. Jednocześnie średnioroczny przyrost produkcji np. ziarna pszenicy w okresie 1997–2007 wynosił 0,54% [Reynolds i in. 2009], obecnie wynosi 0,90%, a do 2050 roku powinien osiągnąć poziom 1,52% (wzrost o 38%) [Ray i in. 2015]. W sytuacji kiedy powierzchnia zasiewów zbóż może wzrosnąć tylko marginalnie, przyszła zwiększona produkcja musi być osiągnięta przez wzrost plonu ziarna [Reynolds i in. 2009].

Kluczowym determinantem wydajności roślin i zapewnienia wzrostu ilościowego produkcji żywności, jest adekwatne do potrzeb nawożenie roślin azotem (N) [Hatfield i Walthall 2015]. Nawożenie N wpływa korzystnie na wzrost i rozwój roślin, produkcję suchej masy roślin z jednostki powierzchni, w tym suchej masy kłosów podczas kwitnienia [Ferrante i in. 2010, Prystupa i in. 2004]. W efekcie rosnącego nawożenia N zwiększa się liczba ziaren na jednostce powierzchni (syntetyczna składowa plonu składająca się z liczby kłosów i liczby ziaren w kłosie) [Ferrante i in. 2012, Kołodziej i in., 1997, Peltonen-Sanino i in. 2007].

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address:* jan_rozbicki@sggw.pl

Sinclair i Jamieson [2006] w oparciu o analizę dostępnej literatury, stwierdzili, że dominującą część zmienności liczby ziaren na jednostce powierzchni i plonu ziarna, jest powodowana przez zmienność akumulacji suchej masy, a szczególnie azotu. Optymalizacja dawek nawożenia azotem i dostępności azotu we wczesnych fazach wzrostu i rozwoju roślin skutkowałą zwiększoną liczbą ziaren na jednostce powierzchni, co wiązało się, w strefie klimatu umiarkowanego, ze wzrostem liczby kłosów na jednostce powierzchni [Golba i in. 2013, Peltonen-Sanino i in. 2007], a w środowiskach regionu Morza Śródziemnego dodatnia reakcja plonu była konsekwencją zmienności liczby ziaren w kłosie [Ferrante i in. 2012].

Okresem krytycznym uwarunkowania liczby ziaren na jednostce powierzchni i plonu ziarna pszenicy jest faza strzelania w źdźbło i kłoszenia, a szczególnie okres bezpośrednio poprzedzający kwitnienie [Fischer 2011, Miralles i Slafer 2007]. W warunkach klimatycznych Polski dla zbóż ozimych istotny jest również okres zimowania roślin i zdarzenia, które mogą wpływać na obsadę roślin i kłosów.

W badaniach prowadzonych w naszym kraju w doświadczeniach Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO), intensywność technologii uprawy, w tym poziom nawożenia azotem wpływały na sposób uwarunkowania plonu ziarna. W technologii niskonakładowej wszystkie trzy komponenty plonu: liczba kłosów na 1m², liczba ziaren w kłosie i MTZ miały podobny udział w determinacji plonu, natomiast w technologii wysokonakładowej (między innymi zwiększona dawka N) liczba kłosów na 1m² znacznie silniej wpływała na plon ziarna niż MTZ. Ujawniono też różnice między odmianowe w uwarunkowaniu plonu ziarna z jednostki powierzchni [Golba i in. 2013].

Celem badań była ocena cech plonotwórczych 5 odmian pszenicy ozimej istotnie różniących się tempem wzrostu i rozwoju oraz liczbą pędów potencjalnie produkcyjnych, określenie reakcji komponentów plonu na zmienny poziom nawożenia azotem i odżywienia roślin tym składnikiem, a także sprawdzenie związków zachodzących między ilością azotu zakumulowanego w pełni fazy kwitnienia roślin z liczbą ziaren w kłosie, w doświadczeniu wazonowym.

MATERIAŁ I METODY

W latach 2011/2012 (doświadczenie 1) oraz 2012/2013 (doświadczenie 2) przeprowadzono dwa doświadczenia wazonowe w fitotronie i szklarni Wydziału Rolnictwa i Biologii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Przedmiotem badań doświadczenia 2, które jest podstawą II części opracowania, było pięć odmian pszenicy ozimej: Alcazar, Figura, Jenga, Kohelia i Naridana wybranych z grup odmian podobnych do siebie wydzielonych metodą Warda w doświadczeniu 1 [Sobczyński i in. 2016], różniących się istotnie pod względem cech plonotwórczych i tempa wzrostu i rozwoju roślin. Drugim czynnikiem doświadczenia było nawożenie azotem, tak zaplanowane aby uzyskać rośliny o różnym stopniu odżywienia azotem (skrajnie: od głodu azotowego do odżywienia luksusowego). Zastosowano pięć poziomów nawożenia: dla poziomu N0 – brak nawożenia, N1 – 0,25 g N·wazon⁻¹, N2 – łącznie 0,5 g N·wazon⁻¹, N3 – łącznie 0,75 g N·wazon⁻¹, N4 – łącznie 0,95 g N·wazon⁻¹. Każdą odmianę wysiano w trzech powtórzeniach dla każdego poziomu nawożenia. Pierwszą dawkę nawozu zastosowano kiedy rośliny weszły w fazę krzewienia (GS 13), w ilości 0,25 g dla wszystkich kombinacji nawożenia. Drugą dawkę nawożenia zastosowano na początku fazy strzelania w źdźbło (GS 31), dla poziomu N2 i N3 w ilości 0,25 g, a dla poziomu N4 0,35 g. Trzecie i ostatnie nawożenie miało miejsce na początku fazy kłoszenia (GS 49), dla poziomu N3 w ilości 0,25 g i dla poziomu N4 w ilości 0,35 g.

W doświadczeniu, stosowano tę samą metodykę badań jak w doświadczeniu 1 [Sobczyński i in. 2016], tj. do pełni krzewienia roślin badania prowadzono w fitotronie, następnie rośliny

przeniesiono do chłodni, a po okresie wernalizacji kontynuowano badania w szklarni. Dodatkowo poza zaprawieniem ziarniaków przeciwko zgorzeli grzybowej siewek, w GS 31–32 dokonano oprysku przeciw mączniakowi prawdziwemu (*Erysiphe graminis*), który wykonano w dniu 3 kwietnia 2013 r., preparatem Topsin M 500.

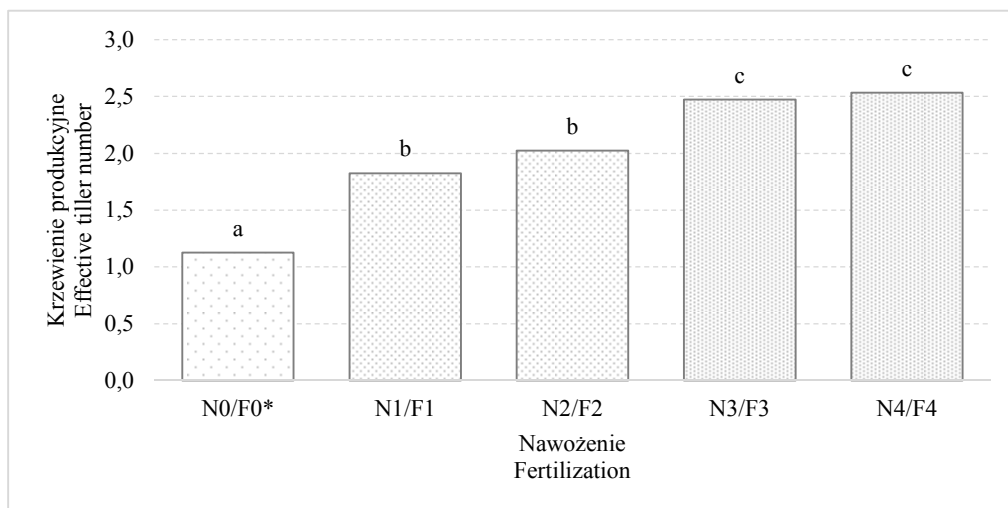
Wykonano badania i obserwacje: tempa wzrostu i rozwoju każdej rośliny zgodnie ze skalą dziesiętną Zadoks'a i in. [1974] od wschodów do fazy kwitnienia. W fazie kwitnienia (GS 65) wykonano odczyty SPAD (Soil Plant Analysis Development) z użyciem chlorofilometru produkcji Konica Minolta SPAD 502. Oznaczenia polegały na wykonaniu na liściach po 20 pomiarów dla roślin rosnących w każdym wazonie (w zależności od odmiany, stadium od 60 do 64), a następnie wyliczono średnią wartość arytmetyczną odczytów SPAD. Określono plon suchej masy roślin z wazonu metodą wagową oraz oznaczono zawartość N w próbkach po zmineralizowaniu roślin – metodą Kjeldahla. Wyniki analiz przeliczono na zawartość poszczególnych składników w suchej masie próbek. Na podstawie zawartości azotu w plonie suchej masy obliczono indeks odżywienia roślin azotem (NNI – Nitrogen Nutrition Index) korzystając z równania $NNI = Nt/Nc$, gdzie Nt oznacza zawartość azotu w plonie suchej masy, a Nc ($4,8 \cdot s.m.^{-0,34}$) oznacza krytyczną zawartość azotu niezbędną do niezaburzonego wzrostu i rozwoju roślin [Lemaire i Gastal 1997]. W okresie dojrzałości pełnej (GS 92) oznaczono plon ziarna z kłosa pędu głównego, liczbę ziaren w kłosie, MTZ oraz krzewistość produkcyjną.

Ocenę statystyczną wyników przeprowadzono z wykorzystaniem programu Statistica 12.0 oraz arkusza kalkulacyjnego Excel pakietu MS Office.

WYNIKI I DYSKUSJA

W pierwszej części pracy [Sobczyński i in. 2016] przedstawiono porównanie tempa wzrostu i rozwoju roślin, krzewienia ogólnego i potencjalnie produkcyjnego oraz zróżnicowania stadium rozwojowego kłosów dla 25 odmian pszenicy ozimej. Biorąc pod uwagę badane cechy, wydzielono 5 grup odmian podobnych do siebie względem analizowanych cech, z których wytypowano następujące odmiany: Alcazar, Figura, Jenga, Kohelia i Naridana. Kryterium wyбору odmian z wydzielonych grup były: podobieństwo do średniej cech danej grupy i znaczący udział w repartycji odmian w Polsce.

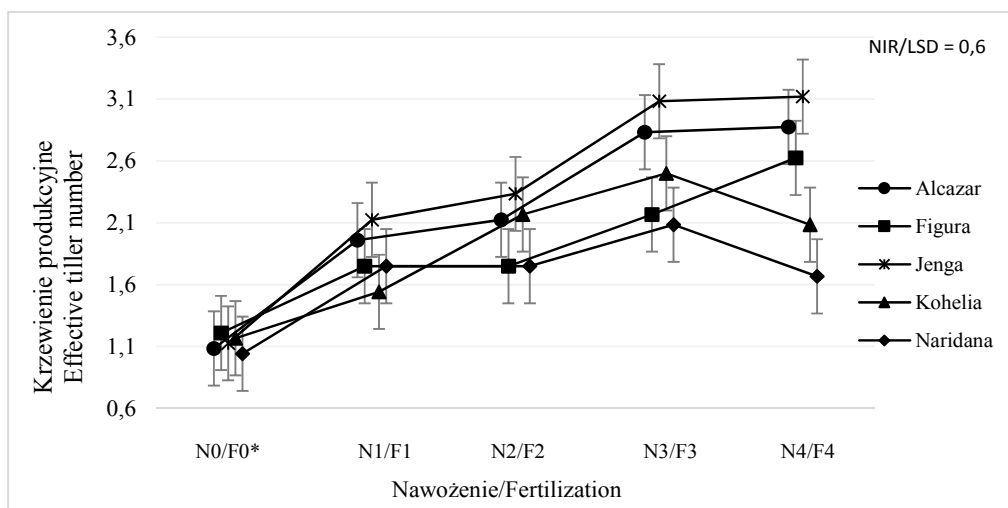
W badaniach potwierdzono, powszechnie znaną z literatury [Pisarek i in. 2013, Podolska 2009, Podolska i Wyzińska 2011] i wykorzystywaną przez producentów rolnych reakcję zwiększonego krzewienia się roślin pszenicy wskutek nawożenia azotem we wczesnych fazach rozwojowych. Zwiększenie dawki nawożenia N, średnio dla badanych odmian, powodowało wzrost liczby pędów produkcyjnych na roślinie z 1,1 pędu do ponad 2,5 pędu przy największej dawce N (rys. 1). Stwierdzono przy tym nierównoległą reakcję odmian na rosnące dawki N, odmiany Jenga i Alcazar po zastosowaniu największej dawki N wytworzyły odpowiednio 3,1 i 2,8 pędu produkcyjnego, a odmiana Naridana niepełne 1,7 pędu na roślinie (rys. 2). Obserwowana zmienność współczynnika krzewienia produkcyjnego jest zależna od genotypu (obserwowana jako różnice fenotypowe dla odmian), ale również reakcja odmian na nawożenie azotem jest charakterystyczna dla danej odmiany, co potwierdzają wcześniejsze prace [Dreccer i in. 2012, Duggan i in. 2005, Jarecki i Bobrecka-Jamro 2012, Podolska i Wyzińska 2011]. W trakcie badania przeprowadzonego w fazie kwitnienia, odmiany silnie krzewiące się: Jenga i Alcazar były w stadium 60 (początek kwitnienia), gdy odmiany wczesne: Naridana i Figura zbliżały się do pełni kwitnienia (rys. 3). Rosnące dawki nawożenia N opóźniały osiągnięcie kolejnych stadiów rozwojowych (rys. 4), co jest znaną reakcją roślin na nawożenie azotem [Podolska i Wyzińska 2011]. Tym samym można uznać, że również tempo wzrostu i rozwoju roślin, w reakcji odmian na dawki nawożenia N, jest specyficzne dla poszczególnych genotypów.



* – N0/F1 – brak nawożenia/control; N1/F1 – 0,25 g N-wazon⁻¹/N·pot⁻¹; N2/F2 – łącznie 0,5 g N-wazon⁻¹/total N·pot⁻¹; N3/F3 – łącznie 0,75 g N-wazon⁻¹/total N·pot⁻¹; N4/F4 – łącznie 0,95 g N-wazon⁻¹/total N·pot⁻¹

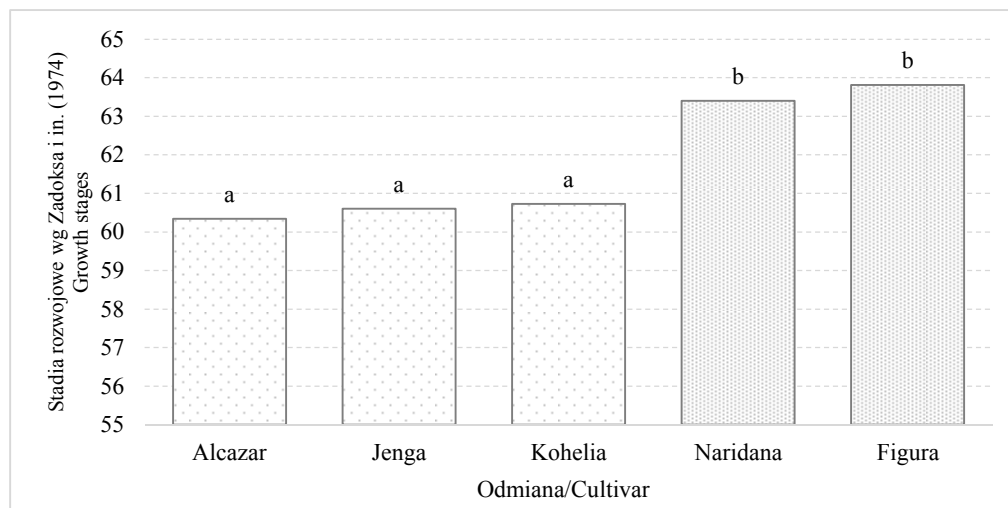
Rys. 1. Krzewienie produkcyjne w zależności od poziomu nawożenia azotem oraz podział na grupy jednorodne za pomocą metody Tukey'a (HSD) przy poziomie istotności $\alpha=0,05$

Fig. 1. Effective tiller number depending on nitrogen fertilization level and division into homogeneous groups using the Tukey's method with significance level $\alpha = 0.05$



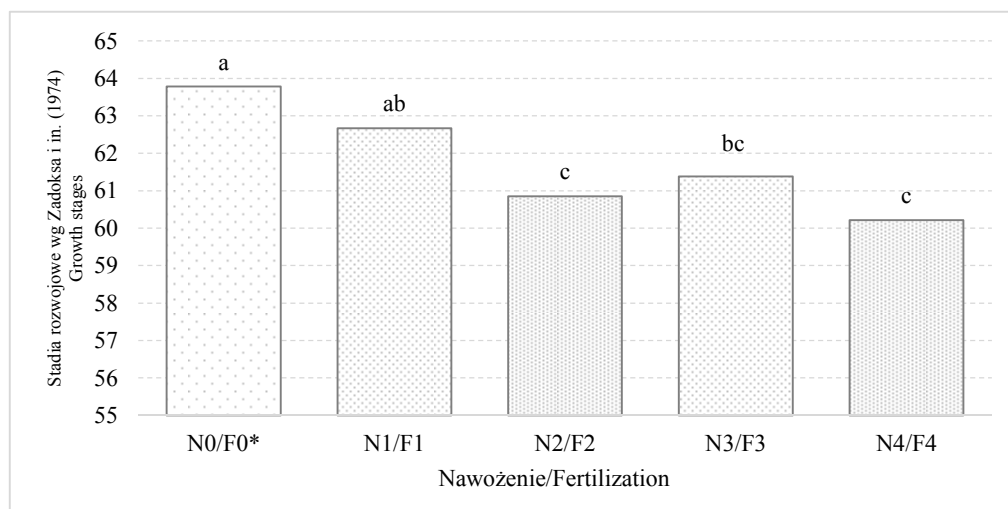
* – oznaczenia jak na rys. 1. – explanations on Fig. 1

Rys. 2. Krzewienie produkcyjne poszczególnych odmian w zależności od poziomu nawożenia azotem
Fig. 2. Effective tillering of individual cultivars depending on different nitrogen fertilization



Rys. 3. Wzrost i rozwój odmian (średnio dla nawożenia) w trakcie kwitnienia oraz ich podział na grupy jednorodnie za pomocą metody Tukey'a (HSD) przy poziomie istotności $\alpha=0,05$

Fig. 3. Growth and development of cultivars average through fertilization level during flowering and their division into homogeneous groups using the Tukey's method with significance level $\alpha = 0.05$

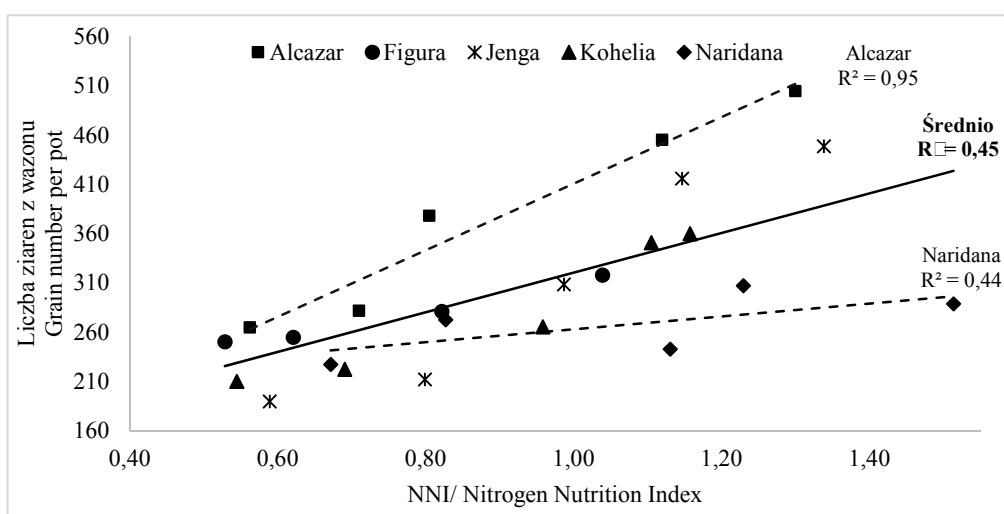


* – oznaczenia jak na rys. 1 – explanations on Fig. 1

Rys. 4. Tempo wzrostu i rozwoju roślin w zależności od poziomu nawożenia azotem oraz podział na grupy jednorodnie za pomocą metody Tukeya (HSD) przy poziomie istotności $\alpha=0,05$

Fig. 4. The rate of plant growth and development depending on fertilization level and division into homogeneous groups using the Tukey's method with significance level $\alpha = 0.05$

Liczba ziaren z wazonu (rys. 5), średnio dla badanych odmian (linia ciągła pogrubiona) wykazywała dodatnią korelację ze stopniem odżywienia roślin azotem. Jednak reakcja odmian była zróżnicowana, najsilniej na optymalny (NNI 0,9–1,0) i luksusowy (NNI >1,0) poziom odżywienia azotem zareagowała odmiana Alcazar. Wytworzyła ona największą liczbę ziaren na jednostce powierzchni. Natomiast reakcja odmiany Naridana była dużo słabsza, liczba ziaren



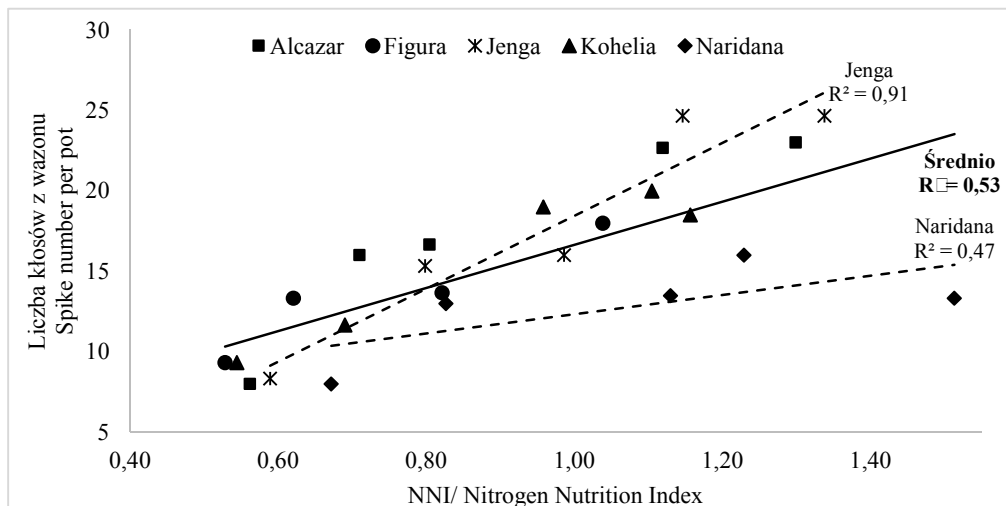
linia ciągła – średnio dla odmian/solid line – mean for cultivars

linia przerywana – skrajne reakcje wybranych odmian/dotted line – extreme reactions of selected cultivars

Rys. 5. Zależność liczby ziaren z wazonu od stopnia odżywienia roślin azotem
Fig. 5. Dependence of the number of grains from pot and the level of nitrogen nutrition index

z wazonu w obiektach o zwiększonej dostępności azotu była nieznacznie większa, niż na poziomie N0, świadczą o tym współczynniki determinacji, odpowiednio $R^2 = 0,95$ oraz $R^2 = 0,44$. Pozostałe odmiany reagowały w sposób pośredni, zbliżony do średniej dla badanych odmian. Jak dowiedziono w badaniach nad składowymi plonu w strefie klimatu umiarkowanego, liczba ziaren z jednostki powierzchni jest przede wszystkim zależna od liczby kłosów na jednostce powierzchni [Golba i in. 2013, Peltonen-Sanino i in. 2007, Rozbicki i Mądry, 1998], na którą można efektywnie oddziaływać nawożeniem azotem [Pisarek i in. 2013, Podolska 2009, Podolska i Wyzińska 2011]. Z porównywanych odmian na rosnący poziom odżywienia roślin azotem, zwiększeniem liczby kłosów (rys. 6) najsilniej reagowały odmiany Jenga i Alcazar, a najsłabiej odmian Naridana.

Dane literaturowe wskazują, że liczba ziaren w kłosie podlega głównie zmienności genotypowej [Slafer i in. 2014], ale też jest zależna od odżywienia roślin azotem w końcowym okresie fazy strzelania w źdźbło i dostępności wody. Potwierdzają to prace [Ferrante i in. 2010; Ferrante i in. 2012], gdzie dodatnia reakcja plonu ziarna na rosnące dawki azotu, była głównie skutkiem zwiększenia liczby ziaren w kłosie. Przy czym inicjacja kwiatów w kłosie dla obiektów nawo-



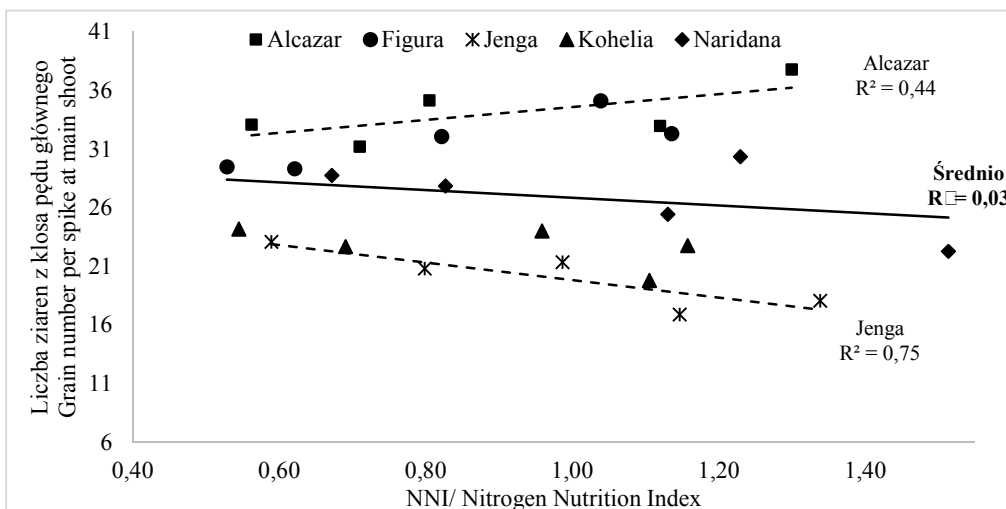
linia ciągła – średnio dla odmian/solid line – mean for cultivars

linia przerywana – skrajne reakcje wybranych odmian/dotted line – extreme reactions of selected cultivars

Rys. 6. Zależność liczby kłosów z wazonu od stopnia odżywienia roślin azotem
Fig. 6. Dependence of the spike number from pot and the level of nitrogen nutrition index

zowych była na podobnym poziomie, ale decydująca była większa przeżywalność kwiatów w obiektach nawożonych większymi dawkami azotu, tym samym liczba płodnych kwiatów w kłosie konsekwentnie zwiększała się w rezultacie większej przeżywalności zawiązków kwiatów [Ferrante i in. 2010]. Według Gonzales i in. [2005] w kłosku, dwa kwiaty bazalne (F1 i F2) często rozwijają się normalnie, osiągając stadium kwiatów płodnych podczas kwitnienia, w większości kłosków w kłosie i w większości warunków środowiska. Następne zawiązki kwiatów wytworzone wyżej w kłosku – kwiaty dystalne (distal position) mogą rozwijać się normalnie i osiągnąć płodność lub obumierać podczas rozwoju kłosa, zależnie od warunków środowiska i pozycji kłosa w kłosie. Większa przeżywalność kwiatów dotyczy kłosków umieszczonych w środkowej części długości kłosa. Ferrante i in. [2012] wykazali, że poprawiona płodność kłosa w warunkach wysokiego nawożenia N, w drugiej serii badań, wynikała zarówno z produkcji większej liczby płodnych kwiatów w fazie kwitnienia, jak i zmniejszonej obumieralności płodnych kwiatów dystalnych (F3 i F4). Potwierdza to tezę, że przeżywalność kwiatów jest głównym determinantem liczby ziaren w kłosie oraz liczby ziaren na jednostce powierzchni w warunkach środowiskowych Morza Śródziemnego, a proces ten jest regulowany dostępnością zasobów środowiska [Ferrante i in. 2010].

W przeprowadzonym doświadczeniu własnym dla weryfikacji hipotezy, że liczba ziaren w kłosie jest zależna od odżywienia roślin azotem w okresie bezpośrednio poprzedzającym kwitnienie roślin, biorąc pod uwagę różnice między odmianowe w krzewieniu produkcyjnym roślin, analizę liczby ziaren w kłosie i MTZ przeprowadzono dla kłosów pędu głównego (rys. 7 i 8). Liczba ziaren z kłosa pędu głównego, średnio dla odmian wykazywała bardzo słaby (nieistotny) związek z poziomem odżywienia roślin azotem. Jednak wynika to z faktu, że reakcja odmian na ten czynnik była nierównoległa, odmiany Alcazar i Figura reagowały wzrostem liczby ziaren w kłosie pod wpływem rosnącego odżywienia roślin, natomiast odmiana Jenga, prze-

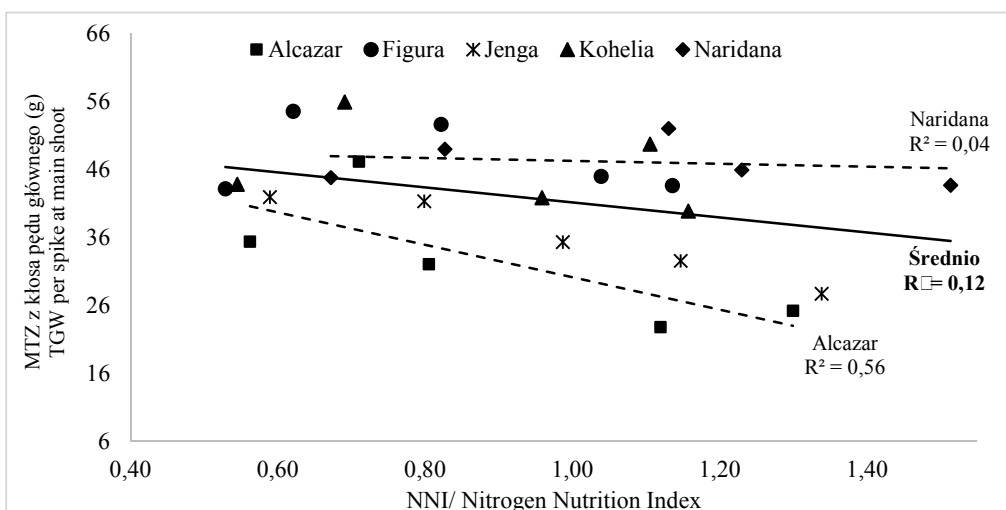


linia ciągła – średnio dla odmian/solid line – mean for cultivars

linia przerywana – skrajne reakcje wybranych odmian/dotted line – extreme reactions of selected cultivars

Rys. 7. Zależność liczby ziaren z kłosa pędu głównego od stopnia odżywienia roślin azotem

Fig. 7. Dependence of the grain number per spike from main shoot and the level of nitrogen nutrition index



linia ciągła – średnio dla odmian/solid line – mean for cultivars

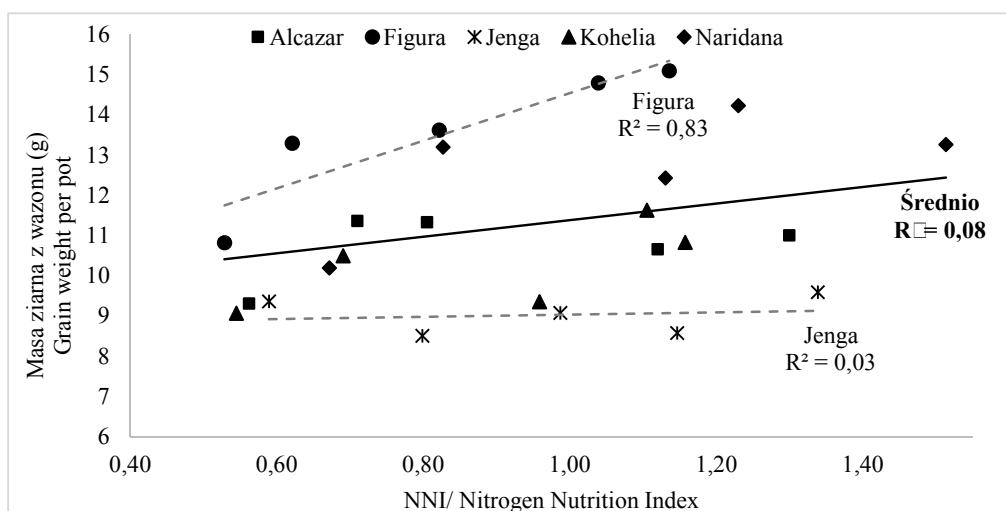
linia przerywana – skrajne reakcje wybranych odmian/dotted line – extreme reactions of selected cultivars

Rys. 8. Zależność masy tysiąca ziaren z kłosa pędu głównego od stopnia odżywienia roślin azotem

Fig. 8. Dependence of thousand grain weight from main shoot spike and the level of nitrogen nutrition index

ciwnie zmniejszała liczbę ziaren w kłosie, a pozostałe odmiany nie wykazywały wyraźnej reakcji. Tym samym obserwacje Fischera [1993], który uzyskał bardzo wysoką korelację między ilością azotu zakumulowanego w stadium 65 z liczbą ziaren w kłosie, ma wyraźny aspekt odmianowy. Podobny kierunek zmian wykazywała MTZ z kłosów pędu głównego, co jest potwierdzeniem wcześniejszych wyników badań uzyskanych w doświadczeniach polowych [Kozdój i in. 1997, Pisarek i in. 2013, Podolska i Wyzińska 2011]. Wśród badanych odmian istotne zmniejszenie MTZ pod wpływem rosnących dawek azotu dotyczyło tylko odmiany Alcazar.

W efekcie zmian w komponentów plonu, masa ziarna z wazonu średnio dla odmian wykazywała tendencję wzrostu oraz była istotnie zależna dla odmiany Figura (rys. 9). Z trudnych do wyjaśnienia przyczyn odmiana Jenga wykazała tendencję obniżenia masy ziarna z wazonu wraz z rosnącym poziomem odżywienia N, co wynikało z dużej liczby kłosów dalszych kategorii, które nie zawiązały ziarniaków lub/i wielkości ziarniaków z tych kłosów, która była na bardzo niskim poziomie (ziarno poślednie).



linia ciągła – średnio dla odmian/solid line – mean for cultivars

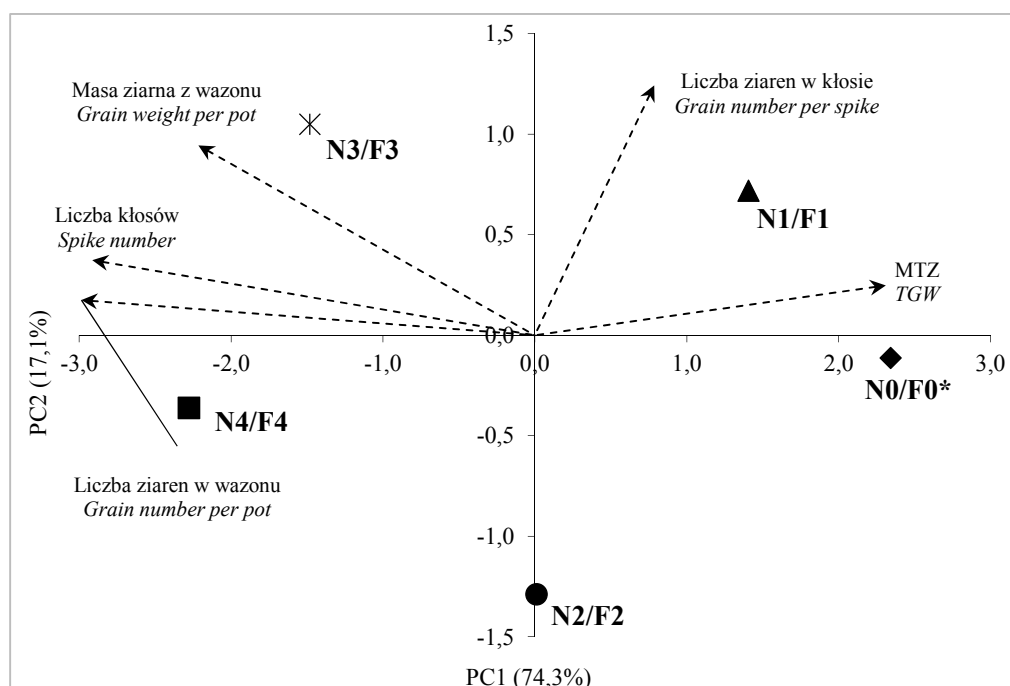
linia przerywana – skrajne reakcje wybranych odmian/dotted line – extreme reactions of selected cultivars

Rys. 9. Zależność masy ziarna z wazonu od stopnia odżywienia roślin azotem
Fig. 9. Dependence of grain weight per pot and the level of nitrogen nutrition index

Aby ocenić zależności występujące między badanymi cechami i scharakteryzować wieloczynnikową zmienność badanych obiektów, przeprowadzono analizę składowych głównych (PCA) (tab. 1, rys. 10). Procent całkowitej zmienności danych eksperymentalnych złożonych z masy ziarna z wazonu i jej komponentów dla poziomów nawożenia azotem, wyjaśniony przez PC1 (pierwsza składowa główna) i PC2 (druga składowa główna) wynosił odpowiednio 74,3% i 17,1%. PC1 była silnie negatywnie skorelowana z liczbą kłosów i liczbą ziaren z wazonu (odpowiednio -0,97, -0,99), podczas gdy PC2 była skorelowana dodatnio ze średnią liczbą ziaren w kłosie (0,83). Oznacza to, że rosnące dawki nawożenia N wpływały silnie na wzrost liczby

Tabela 1. Współrzędne czynnikowe zmiennych, na podstawie korelacji
 Table 1. Coordinates of variable factors based on the correlation

Cecha – Feature	PC1	PC2	PC3	PC4
Liczba kłosów – Spike number	-0,97	0,12	-0,21	0,06
Liczba ziaren w kłosie – Grain number per spike	0,52	0,83	0,20	0,01
MTZ – TGW	0,86	0,09	-0,51	-0,01
Masa ziarna z wazonu – Grain weight per pot	-0,89	0,38	-0,27	-0,03
Liczba ziaren z wazonu – Grain number per pot	-0,99	0,06	0,11	-0,03
Procent wyjaśnionej zmienności – Explained variation	74,3	17,1	8,5	0,1



* – oznaczenia jak na rys. 1. – explanations on Fig. 1

Rys. 10. Analiza składowych głównych dla 5 cech oraz wartości pierwszej (PC1) i drugiej (PC2) składowej głównej dla poziomu nawożenia

Fig. 10. Biplot of loadings for the examined traits and values of PC1 and PC2 for the fertilization level

ziaren z wazonu, ze względu na przyrost liczby kłosów w wazonie, oba wektory dla tych cech były skorelowane z N3 i N4. Wektor masy ziarna z wazonu był dość silnie i negatywnie skorelowany (-0,89) z PC1, a wektory średniej liczby ziaren w kłosie wykazywały dodatnią korelację z PC1 i PC2, natomiast wektor MTZ wykazywał dodatnią korelację z PC1. Odpowiednio oba te wektory były skorelowane z dawką N1 i N0, co oznacza, że największe wartości liczby ziaren w kłosie pędu głównego uzyskano dla dawki N1, a MTZ dla dawki N0.

WNIOSKI

1. Reakcja odmian na zwiększone dawki nawożenia N jest nierównoległa, rośliny odmian Alcazar i Jenga krzewią się bardziej intensywnie (2,8 i 3,1 pędu produkcyjnego na roślinie) niż odmiany Naridana i Kohelia (1,7 i 2,1 pędu produkcyjnego na roślinie).
2. Wykazano dodatnią korelację liczby ziaren z jednostki powierzchni (z wazonu) ze stopniem odżywienia roślin azotem, silną korelację dla odmiany Alcazar, słabą dla odmiany Naridana. Zmienność tej składowej zależna jest od liczby kłosów na jednostce powierzchni.
3. Liczba ziaren z kłosów pędu głównego wykazuje słaby związek z poziomem odżywienia roślin azotem, tendencja zwiększenia tej składowej wystąpiła u odmian Alcazar i Figura.
4. Korzystny poziom odżywienia roślin azotem wpływał ujemnie na masę tysiąca ziaren.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy publikacji składają podziękowanie studentom kierunku rolnictwo: Piotrowi Czepkowi i Rafałowi Olejniczakowi, za udział w realizacji doświadczenia oraz pani Jolancie Mroczek za wykonanie oznaczenia zawartości azotu w materiale roślinnym.

PIŚMIENNICTWO

- Aleksandratos N., Bruinsma J. 2012. World agriculture towards 2030/2050, the 2012 revision. ESA Working paper 12-03, Jun 2012. Rome: Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO) (www.fao.org)
- Dreccer M.F., Chapman S.C., Rattey A.R., Neal J., Song Y., Christopher J.T., Reynolds M. 2013. Developmental and growth controls of tillering and water-soluble carbohydrate accumulation in contrasting wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes: can we dissect them? *J. Exp. Bot.* 64: 143–160.
- Duggan B.L., Richards R.A., van Herwaarden A.F., Fettell N.A. 2005. Agronomic evaluation of tiller inhibition gene (tin) in wheat. I Effect on yield, yield components, and grain protein. *Aust. J. Agric. Res.* 56: 169–178.
- Ferrante A., Savin R., Slafer G.A. 2010. Floret development of durum wheat in response to nitrogen availability. *J. Exp. Bot.* 8: 1–9.
- Ferrante A., Savin R., Slafer G.A. 2012. Floret development and grain setting differences between modern durum wheats under contrasting nitrogen availability. *J. Exp. Bot.* 16: 1–16.
- Fischer R. A. 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. *Field Crops Res.* 33: 57–80.
- Fischer R.A. 2011. Wheat physiology: a review of recent developments. *Crop Pasture Sci.* 62: 95–114.
- Golba J., Rozbicki J., Gozdowski D., Sas D., Mądry W., Piechociński M., Kurzyńska L., Studnicki M., Derejko A. 2013. Adjusting yield components under different levels of N application in winter wheat. *Int. J. Plant Prod.* 7(1): 139–150

- Gonzalez F.G., Slafer G.A., Miralles D.J. 2005. Floret development and survival in wheat plants exposed to contrasting photoperiod and radiation environments during stem elongation. *Funct. Plant Biol.* 32: 189–197.
- Hatfield J.L., Walthall C.L. 2015. Meeting global food needs: realizing the potential via Genetics x Environment x Management interactions. *Agron. J.* 107: 1215–1226.
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2012. Wpływ zróżnicowanych dawek azotu na plonowanie pszenicy jarej. *Biul. IHAR* 265: 3–10.
- Kozdój J., Rozbicki J., Mądry W. 1997. Rozwój kłosa pędu głównego oraz udział kłosów z pędów głównych i bocznych w plonie ziarna pszenżyta ozimego (*X Triticosecale* Wittmack) na tle wybranych czynników agrotechnicznych. II. Nawożenie azotem. *Biul. IHAR* 203:83–96.
- Lemaire G., Gastal F. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. In: *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Lemaire G. (eds.). Springer Verlag, 3–45.
- Miralles D.J., Slafer G.A. 2007. Sink limitation to yield in wheat: how could it be reduced? *J. Agric. Sci.* 145: 139–149.
- Peltonen-Sainio P., Kangas A., Salo Y., Jauhiainen L. 2007. Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: Evidence based on 30 years of multi-location trials. *Field Crop Res.* 100: 179–188.
- Pisarek M., Rozbicki J., Samborski S., Wawryło B., Golba J. 2013. Wpływ wybranych siedmiu czynników agrotechnicznych na produktywność pszenicy ozimej w warunkach dużego udziału zbóż w zmianowaniu. Część II. Plon ziarna i składowe plonu. *Fragm. Agron.* 30(1): 113–120.
- Podolska G. 2009. Reakcja odmian pszenicy ozimej na nawożenie azotem w doświadczeniach wazonowych. *Biul. IHAR*, 253: 83–91.
- Podolska G., Wyzińska M. 2011. Reakcja nowych odmian pszenicy ozimej na nawożenie azotem w doświadczeniach wazonowych. *Pol. J. Agron.* 5: 43–48.
- Prystupa P., Savin R., Slafer G.A. 2004. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to NxP fertilization in barley. *Field Crop Res.* 118: 273–281.
- Ray D.K., Gerber J.S., MacDonald G.K., West P.C. 2015. Climate variations explains a third of global yield variability. *Nature Comm.* 6: 5989.
- Reynolds M., Foulkes M.J., Slafer G.A., Berry P., Parry M.A.J., Snape J.W., Angus W.J. 2009. Raising yield potential in wheat. *J. Exp. Bot.* 60: 1899–1919.
- Rozbicki J., Mądry W. 1998. Determination of winter triticale grain yield by its components and selected botanical and agricultural traits under varying cultivation and weather conditions. *Biul. IHAR* 205/206: 195–204.
- Sinclair T.R., Jamieson P.D. 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. *Field Crop Res.* 98: 60–67.
- Slafer G.A., Savin R., Sadras V.O. 2014. Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crop Res.* 157: 71–83.
- Sobczyński G., Rozbicki J., Kozdój J., Golba J. 2016. Wpływ odmiany i odżywienia roślin azotem na cechy plonotwórcze pszenicy ozimej w doświadczeniu wazonowym. Część I. Zaawansowanie wzrostu i rozwoju, krzewienie oraz zróżnicowanie rozwoju kłosa pędu głównego. *Fragm. Agron.* 33(3): 92–106.
- Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak G.F. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415–421.

J. ROZBICKI, G. SOB CZYŃSKI

**INFLUENCE OF CULTIVAR AND NITROGEN NUTRITIONAL STATUS ON WINTER
WHEAT YIELD-FORMING TRAITS IN POT EXPERIMENT
PART II. IMPACT OF NITROGEN NUTRITION STATUS ON YIELD COMPONENTS**

Summary

In the pot experiment conducted in the growth chamber and greenhouse of the Faculty of Agriculture and Biology, Warsaw University of Life Sciences in 2012/2013, the formation of 5 winter wheat cultivars yield components under different nitrogen fertilization and response of yield components to the variable level of the nitrogen nutritional status of plants were evaluated. The rate of growth and development and coefficient of productive tillering of cultivars Alcazar, Figura, Jenga, Kohelia and Naridana were dependent on the genotype, and their reaction to the increased doses of N fertilization in the formation of these features was not parallel. Jenga and Alcazar cultivars under the higher doses of N form a significantly larger number of shoots while Figura and Naridana cultivars develop faster and reached the flowering stage earlier than the other. The number of grains per unit area (the pot) was positively correlated with nitrogen nutritional status of wheat, expressed as NNI (Nitrogen Nutritional Index), and the variability of this component was dependent on the changes in the number of spikes per unit area. Favorable level of NNI showed a weak association with the number of grains per spike of the main shoot and negatively influence the thousand grains weight (TGW). Alcazar and Figura cultivars showed a trend to increase the number of grains per spike in the conditions of a favorable level of NNI.

Key words: winter wheat, pot experiment, N fertilization, yield components

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 26.07.2016

Do cytowania – *For citation*

Rozbicki J., Sobczyński G. 2016. Wpływ odmiany i odżywienia roślin azotem na cechy plonotwórcze pszenicy ozimej w doświadczeniu wazonowym. Część II. Wpływ odżywienia roślin azotem na składowe plonu. *Fragm. Agron.* 33(4): 110–122.