

**TERESA ORACKA****JANUSZ KOZDÓJ<sup>1</sup>****JAN CIEPŁY**

Zakład Biochemii i Fizjologii Roślin

<sup>1</sup> Zakład Biotechnologii i Cytogenetyki Roślin

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie

## Ocena zmienności genotypowej pszenicy jarej w efektywności pobierania i wykorzystania azotu i fosforu

### Część I. Doświadczenie polowe

#### **The evaluation of variability of uptake and utilization efficiency of nitrogen and phosphorus in spring wheat**

##### **Part I. Field experiment**

Rody i odmiany pszenicy jarej pochodzące z doświadczeń wstępnych roku 2001, badane w doświadczeniu polowym, różniły się istotnie pod względem masy ziarna, akumulacji i wykorzystania azotu i fosforu. Większość badanych rodów pszenicy jarej o wysokiej masie ziarna osiągnęły wysokie wartości: indeksu plonowania rolniczego (HI), indeksu plonowania dla azotu (NHI) i fosforu (PHI) oraz zakumulowanego azotu w ziarnie. Rody pszenicy jarej: KOC 1477/98, KOC 2361/98, CJ 179/98, RAH 1796 o wysokiej efektywności wykorzystania azotu i fosforu miały także wysokie wartości większości analizowanych cech. Rody: HEC 1428/98, KOC 2003/98, KOC 2245/98, KOC 2249/98 i KOC 3845/98 odznaczały się wysokimi wartościami efektywności wykorzystania zarówno azotu jak i fosforu. Rody RAH 2070/98 i KOC 3530/97 odznaczały się wysoką efektywnością wykorzystania azotu, a rody CJ 396/98, HEC 1957/98 - wysoką efektywnością wykorzystania fosforu. Jednocześnie rody te charakteryzowały się średnimi wartościami: suchej masy rośliny i ziarna, zakumulowanego azotu i fosforu w ziarnie, średnią lub niską ilością zakumulowanego azotu i fosforu w roślinie. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wyselekcjonowania rodów pszenicy jarej charakteryzujących się wysokim i stabilnym plonem oraz wysoką efektywnością wykorzystania składników mineralnych.

**Słowa kluczowe:** pszenica jara, zmienność genotypowa, azot, fosfor, efektywność wykorzystania, masa rośliny, masa ziarna

Grain yield, nitrogen and phosphorus accumulation and utilization efficiency varied considerably among spring wheat cultivars and strains grown in a field experiment. The majority of highest yielding strains had high harvest index (HI), nitrogen and phosphorus harvest index (NHI, PHI), also high amount of accumulated nitrogen in grain. The lines KOC 1477/98, KOC 2361/98, CJ 179/98, RAH 1796 showing high utilization efficiency of nitrogen and phosphorus were characterized also by high

values of other tested traits. The HEC 1428/98, KOC 2003/98, KOC 2245/98, KOC 2249/98 and KOC 3845/98 showed high utilization efficiency for both nitrogen and phosphorus. The RAH 2070/98 and KOC 3530/97 had high utilization efficiency of nitrogen, the CJ 396/98, HEC 1957/98 –high utilization efficiency of phosphorus. The strains were characterized by average values of plant and grain dry matter, the same was nitrogen and phosphorus accumulation in grain, accumulation of these elements in plant was average or low. We conclude that there is a possibility of selection of spring wheat lines that integrate high grain yield with high mineral nutrients utilization.

**Key words:** spring wheat, genetic variability, nitrogen, phosphorus utilization efficiency

## WSTĘP

Proces adaptacji roślin uprawnych do zmieniających się warunków środowiska następował dzięki systematycznie prowadzonym programom hodowlanym i selekcji odmian pod względem wysokiego potencjału plonowania. W konsekwencji uzyskiwany wzrost plonów dokonywał się w efekcie kombinacji zabiegów agrotechnicznych stwarzających lepsze warunki dla wzrostu roślin (system „high input”) i odmian lepiej dostosowanych do tychże warunków (Ceccarelli, 1996). Selekcja odmian wykazujących wzrost plonu i współczynnika plonowania rolniczego (HI) ze wzrostem nawożenia mineralnego, szczególnie azotowego, była głównym celem programów hodowlanych pszenicy. Uzyskiwany wzrost plonu roślin wynikał ze zwiększonej akumulacji asymilatów w ziarnie, z jednoczesną redukcją wysokości roślin i zmiany w strukturze łanu (Drzazga i Spiss, 2001; Sinclair, 1998).

Z danych literaturowych wynika, że modyfikacja środowiska rolniczego dostosowana dla potrzeb nowych odmian o wzrastającym potencjale plonowania jest nie do utrzymania w dłuższym okresie (Poutala i in., 1994). Rośliny zbożowe wykorzystują mniej niż 50% azotu, około 10% fosforu i około 40% potasu z nawozów mineralnych (Baligar i in., 2001). Dane literaturowe wskazują na istnienie zróżnicowania odmianowego pod względem efektywności wykorzystania azotu, fosforu i potasu (Baligar i in., 2001; Ciepły i Oracka, 1990; 2000). Identyfikacja odmian zbóż odznaczających się wysoką efektywnością pobierania i wykorzystania głównie azotu i fosforu oraz włączenie ich do programów hodowlanych może przyczynić się do wzrostu efektywności wykorzystania zastosowanego nawożenia mineralnego.

Celem pracy było określenie zmienności genotypowej w produkcji biomasy i ziarna oraz akumulacji i efektywności wykorzystania azotu i fosforu przez nowe rody pszenicy jarej wyhodowane w kilku polskich ośrodkach hodowli.

## MATERIAŁ I METODY

Materiałem doświadczalnym było 39 rodów i 3 odmiany pszenicy jarej (tab. 1) z doświadczeń wstępnych z 2001 roku. Materiał do badań pochodził z polskich ośrodków hodowli: z Radzikowa (7 rodów oznaczonych symbolem RAH), ze Smolic (4 rody oznaczone symbolem SMH), z Choryni (5 rodów, oznaczone symbolem CJ), z Henrykowa (7 rodów oznaczonych symbolem HEC), z Kobierzyc (16 rodów oznaczonych symbolem KOC).

Tabela 1

**Lista odmian i rodów pszenicy jarej z doświadczenia wstępnego 2001 roku**  
**List of cultivars and strains of spring wheat of preliminary experiment in the year 2001**

| Nr rodu<br>No. of strain | Nazwa rodu<br>Name of strain | Pochodzenie<br>Source |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------|
| 1                        | RAH 172598                   | IHAR — Radzików       |
| 2                        | RAH 172698                   |                       |
| 3                        | RAH 186598                   |                       |
| 4                        | RAH 207098                   |                       |
| 5                        | RAH 215798                   |                       |
| 6                        | RAH 1796                     |                       |
| 7                        | RAH 85398                    |                       |
| 8                        | SMH 16                       | SHR — Smolice         |
| 9                        | SMH 21                       |                       |
| 10                       | SMH 37                       |                       |
| 11                       | SMH 39                       |                       |
| 12                       | CJ 59/98                     | SHR — Choryń          |
| 13                       | CJ 176/98                    |                       |
| 14                       | CJ 179/98                    |                       |
| 15                       | CJ 396/98                    |                       |
| 16                       | CJ 406/98                    |                       |
| 17                       | HEC 4482/96                  | SHR — Henryków        |
| 18                       | HEC 2288/97                  |                       |
| 19                       | HEC 2678/97                  |                       |
| 20                       | HEC 3343/97                  |                       |
| 21                       | HEC 3496/97                  |                       |
| 22                       | HEC 1428/98                  |                       |
| 23                       | HEC 1975/98                  |                       |
| 24                       | KOC 2611/97                  | SHR — Kobierzyce      |
| 25                       | KOC 2932/97                  |                       |
| 26                       | KOC 3530/97                  |                       |
| 27                       | KOC 1477/98                  |                       |
| 28                       | KOC 2003/98                  |                       |
| 29                       | KOC 2061/98                  |                       |
| 30                       | KOC 2245/98                  |                       |
| 31                       | KOC 2249/98                  |                       |
| 32                       | KOC 2361/98                  |                       |
| 33                       | KOC 2454/98                  |                       |
| 34                       | KOC 2970/98                  |                       |
| 35                       | KOC 2990/98                  |                       |
| 36                       | KOC 3845/98                  |                       |
| 37                       | KOC 4206/98                  |                       |
| 38                       | KOC 4621/98                  |                       |
| 39                       | KOC 4958/98                  |                       |
| 40                       | Jasna                        |                       |
| 41                       | Opatka                       |                       |
| 42                       | Torka                        | SHR — Strzelce        |

W doświadczeniu polowym (przeprowadzonym przez Zakład Genetyki i Hodowli Roślin IHAR w Radzikowie) w fazie dojrzałości pełnej zbierano rośliny z trzech środkowych rzędów o długości 0,5 m. Określano: suchą masę roślin i ziarna oraz liczbę kłosów (przeliczając wyniki na 1m<sup>2</sup>), liczbę i masę ziarniaków w kłosie oraz liczbę

kłosków płodnych i sterylnych (z 15 kłosów). Podczas wegetacji roślin określano stadium rozwojowe roślin wg skali Zadoksa (Zadoks i in., 1974).

W poszczególnych częściach rośliny oznaczano koncentrację azotu (metodą Kjeldahla) i fosforu (metodą kolorymetryczną). Obliczano:

- akumulację azotu (na podstawie koncentracji azotu i masy rośliny),
- akumulację fosforu (na podstawie koncentracji fosforu i masy rośliny),
- współczynnik plonowania rolniczego, HI (stosunek masy ziarna do masy rośliny),
- współczynnik plonowania dla azotu, NHI (stosunek ilości azotu zakumulowanego w ziarnie do ilości azotu zakumulowanego w roślinie),
- współczynnik plonowania dla fosforu, PHI (stosunek ilości fosforu zakumulowanego w ziarnie do ilości fosforu zakumulowanego w roślinie),
- efektywność wykorzystania azotu dla biomasy,  $NUE_1$  (stosunek masy rośliny do ilości zakumulowanego azotu w roślinie),
- efektywność wykorzystania azotu dla ziarna,  $NUE_2$  (stosunek masy ziarna do ilości zakumulowanego azotu w roślinie),
- efektywność wykorzystania fosforu dla biomasy,  $PUE_1$  (stosunek masy rośliny do ilości zakumulowanego fosforu w roślinie),
- efektywność wykorzystania fosforu dla ziarna,  $PUE_2$  (stosunek masy ziarna do ilości zakumulowanego fosforu w roślinie).

Otrzymane wyniki obliczono metodą analizy wariancji, wartości średnie dla każdej cechy porównywano testem t Tukeya. Podziału rodów na grupy jednorodne dokonano procedurą testu t Tukeya.

## WYNIKI

Stwierdzono istotne genotypowe zróżnicowanie pod względem wszystkich analizowanych cech (tab. 2).

Wysokie wartości współczynników zmienności (tab. 3) stwierdzono dla ilości zakumulowanego azotu i fosforu w ziarnie (CV — 15%), niższe — dla suchej masy roślin, długości kłosa i efektywności wykorzystania azotu dla biomasy (CV — 7%). Najmniejszą zmienność obserwowano w ogólnej liczbie kłosków i w liczbie kłosków płodnych w kłosie (CV — 3% i 4%).

Badane rody podzielono arbitralnie na trzy grupy „a”, „b” i „c”. Do grupy „a” zaliczono 10 rodów o najwyższych wartościach danej cechy, do grupy „c” — 10 rodów o najniższych wartościach danej cechy. Pozostałe 22 rody odznaczające się wartościami pośrednimi zaliczono do grupy „b”.

Większość rodów o najwyższej masie ziarna (tab. 4) odznaczała się najwyższymi wartościami takich cech jak: suchą masą rośliny (7 rodów), ilością zakumulowanego azotu w ziarnie (7 rodów), współczynnikiem plonowania rolniczego (7 rodów) oraz współczynnikiem plonowania dla azotu i fosforu (6 rodów). Wśród rodów o najwyższej masie ziarna, rody CJ 179/98 (14)\*, KOC 1477/98 (27) i KOC 2361/98 (32) odznaczały się

\* Numer w nawiasie odpowiada numerowi rodu i odmiany z tabeli 1

jednocześnie najwyższą efektywnością wykorzystania azotu i fosforu dla ziarna (tab. 4). Ród KOC 2970/98 (34) także o najwyższej masie ziarna charakteryzował się niską efektywnością wykorzystania fosforu dla biomasy i ziarna (tab. 4).

Tabela 2

**Analiza wariancji badanych cech**  
**Analysis of variance for the investigated characters**

| Cechy<br>Traits                                                                                                                                 | Średni kwadrat<br>MS | F (df 1,2)<br>41,126<br>F value |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Liczba kłosów·m <sup>-2</sup> (LKL)<br>Number of ears·m <sup>-2</sup>                                                                           | 102,26               | 168**                           |
| Sucha masa ziarna (g·m <sup>-2</sup> ) (SMZ)<br>Dry matter of grain (g·m <sup>-2</sup> )                                                        | 64,30                | 159**                           |
| Sucha masa rośliny (g·m <sup>-2</sup> ) (SMR)<br>Dry matter of plant (g·m <sup>-2</sup> )                                                       | 210,42               | 135**                           |
| Akumulacja azotu w ziarnie (g·m <sup>-2</sup> ) (NZ)<br>Nitrogen content in grain (g·m <sup>-2</sup> )                                          | 0,0302               | 238**                           |
| Akumulacja fosforu w ziarnie (g·m <sup>-2</sup> ) (PZ)<br>Phosphorus content in grain (g·m <sup>-2</sup> )                                      | 0,0014               | 221**                           |
| Akumulacja azotu w roślinie (g·m <sup>-2</sup> ) (NR)<br>Nitrogen content in plant (g·m <sup>-2</sup> )                                         | 0,0286               | 304**                           |
| Akumulacja fosforu w roślinie (g·m <sup>-2</sup> ) (PR)<br>Phosphorus content in plant (g·m <sup>-2</sup> )                                     | 0,0012               | 342**                           |
| Indeks plonowania rolniczego (HI)<br>Harvest index                                                                                              | 0,0001               | 70**                            |
| Indeks plonowania azotu (NHI)<br>Nitrogen harvest index                                                                                         | 0,0001               | 208**                           |
| Indeks plonowania fosforu (PHI)<br>Phosphorus harvest index                                                                                     | 0,0001               | 251**                           |
| Efektywność wykorzystania azotu dla biomasy (g·g <sup>-1</sup> ) (NUE1)<br>Nitrogen utilization efficiency for biomass (g·g <sup>-1</sup> )     | 0,47                 | 268**                           |
| Efektywność wykorzystania azotu dla ziarna (g·g <sup>-1</sup> ) (NUE2)<br>Nitrogen utilization efficiency for grain (g·g <sup>-1</sup> )        | 0,14                 | 249**                           |
| Efektywność wykorzystania fosforu dla biomasy (g·g <sup>-1</sup> ) (PUE1)<br>Phosphorus utilization efficiency for biomass (g·g <sup>-1</sup> ) | 11,84                | 478**                           |
| Efektywność wykorzystania fosforu dla ziarna (g·g <sup>-1</sup> ) (PUE2)<br>Phosphorus utilization efficiency for grain (g·g <sup>-1</sup> )    | 3,22                 | 434**                           |
| Masa 1 ziarniaka (mg) (M1Z)<br>Weight of single grain                                                                                           | 42,62                | 10,43**                         |
| Masa ziarniaków/kłos (g) (MZKL)<br>Grain weight/spike                                                                                           | 0,05325              | 2,71**                          |
| Liczba ziarniaków/kłos (LZKL)<br>No. of grains per spike                                                                                        | 58,74                | 3,27**                          |
| Ogólna liczba kłosek w kłosie (LKL)<br>Total no. of spikelets per spike                                                                         | 1,58                 | 8,03**                          |
| Liczba kłosek płodnych w kłosie (LPKL)<br>No. of fertile spikelets per spike                                                                    | 1,90                 | 7,28**                          |
| Długość kłosa (cm) (DLKL)<br>Spike length                                                                                                       | 1,66                 | 4,52**                          |

\*\* Różnice istotne przy  $\alpha < 0,05$

\*\* Significant differences at  $\alpha < 0.05$

Tabela 3

**Zakres zmienności badanych cech**  
**Range of variability of the tested traits**

| Cechy<br>Traits                                                                                                                                       | Średnie<br>Mean | Min.<br>Min. | Maks.<br>Max. | Współczynnik<br>zmienności.<br>Coefficient of<br>variation | NIR Tukey<br>LSD Tukey |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|---------------|------------------------------------------------------------|------------------------|
| Liczba kłosów·m <sup>-2</sup> (LKŁ)<br>Number of ears·m <sup>-2</sup>                                                                                 | 547,1           | 401,3        | 685,3         | 12                                                         | 27,97                  |
| Sucha masa ziarna (g·m <sup>-2</sup> ) (SMZ)<br>Dry matter of grain (g·m <sup>-2</sup> )                                                              | 406             | 292          | 512           | 12                                                         | 22,18                  |
| Sucha masa rośliny (g·m <sup>-2</sup> ) (SMR)<br>Dry matter of plant (g·m <sup>-2</sup> )                                                             | 1144            | 989          | 1317          | 7                                                          | 40,12                  |
| Akumulacja azotu w ziarnie (g·m <sup>-2</sup> ) (NZ)<br>Nitrogen content in grain (g·m <sup>-2</sup> )                                                | 8,7             | 6,7          | 14,2          | 15                                                         | 0,480                  |
| Akumulacja fosforu w ziarnie (g·m <sup>-2</sup> ) (PZ)<br>Phosphorus content in grain (g·m <sup>-2</sup> )                                            | 1,9             | 1,4          | 2,5           | 15                                                         | 0,103                  |
| Akumulacja azotu w roślinie (g·m <sup>-2</sup> ) (NR)<br>Nitrogen content in plant (g·m <sup>-2</sup> )                                               | 13,9            | 10,7         | 18,2          | 11                                                         | 0,468                  |
| Akumulacja fosforu w roślinie (g·m <sup>-2</sup> ) (PR)<br>Phosphorus content in plant (g·m <sup>-2</sup> )                                           | 2,9             | 2,2          | 3,6           | 11                                                         | 0,097                  |
| Indeks plonowania rolniczego (HI)<br>Harvest index                                                                                                    | 0,4             | 0,3          | 0,4           | 9                                                          | 0,020                  |
| Indeks plonowania azotu (NHI)<br>Nitrogen harvest index                                                                                               | 0,6             | 0,5          | 0,8           | 9                                                          | 0,022                  |
| Indeks plonowania fosforu (PHI)<br>Phosphorus harvest index                                                                                           | 0,6             | 0,5          | 0,8           | 10                                                         | 0,023                  |
| Efektywność wykorzystania azotu dla biomasy<br>(g·g <sup>-1</sup> ) (NUE1)<br>Nitrogen utilization efficiency for biomass<br>(g·g <sup>-1</sup> )     | 82,5            | 70,1         | 95,9          | 7                                                          | 1,890                  |
| Efektywność wykorzystania azotu dla ziarna<br>(g·g <sup>-1</sup> ) (NUE2)<br>Nitrogen utilization efficiency for grain (g·g <sup>-1</sup> )           | 29,2            | 22,4         | 37,0          | 10                                                         | 1,044                  |
| Efektywność wykorzystania fosforu dla<br>biomasy (g·g <sup>-1</sup> ) (PUE1)<br>Phosphorus utilization efficiency for biomass<br>(g·g <sup>-1</sup> ) | 396,6           | 316,1        | 489,6         | 9                                                          | 9,516                  |
| Efektywność wykorzystania fosforu dla ziarna<br>(g·g <sup>-1</sup> ) (PUE2)<br>Phosphorus utilization efficiency for grain (g·<br>g <sup>-1</sup> )   | 140,5           | 102,6        | 188,7         | 13                                                         | 4,960                  |
| Masa 1 ziarniaka (mg) (M1Z)<br>Weight of single grain                                                                                                 | 33,10           | 26,48        | 40,43         | 10                                                         | 5,733                  |
| Masa ziarniaków/kłos (g) (MZKL)<br>Grain weight/spike                                                                                                 | 1,3             | 1,1          | 1,6           | 9                                                          | 0,398                  |
| Liczba ziam/kłos (LZKL)<br>No. of grains per spike                                                                                                    | 40,1            | 33,2         | 47,6          | 10                                                         | 12,032                 |
| Ogólna liczba kłosek w kłosie (LKL)<br>Total no. of spikelets per spike                                                                               | 19,5            | 18,2         | 21,0          | 3                                                          | 1,257                  |
| Liczba kłosek płodnych w kłosie (LPKL)<br>No. of fertile spikelets per spike                                                                          | 16,5            | 15,1         | 18,1          | 4                                                          | 1,450                  |
| Długość kłosa (cm) (DLKL)<br>Spike length                                                                                                             | 9,0             | 8,0          | 10,6          | 7                                                          | 1,718                  |

Tabela 4

Podział rodów na grupy o najwyższych (a), średnich (b) i najniższych (c) wartościach cech  
Distribution of the strains to groups of highest (a), average (b) and lowest (c) values of the traits

| Nr No. | LKŁ | SMZ | SMR | NZ | PZ | NR | PR | HI | NHI | PHI | NUE1 | PUE1 | NUE2 | PUE2 | DLKL | LKL | LZKL | M1Z | MZKL |
|--------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|------|-----|------|
| 6      | a   | a   | a   | a  | a  | b  | b  | a  | a   | a   | b    | b    | a    | b    | c    | c   | b    | a   | a    |
| 14     | b   | a   | b   | a  | b  | b  | c  | b  | a   | a   | b    | a    | a    | a    | a    | b   | b    | b   | b    |
| 17     | a   | a   | a   | a  | a  | a  | a  | a  | a   | a   | c    | b    | b    | b    | b    | b   | b    | b   | b    |
| 20     | a   | a   | a   | b  | a  | a  | a  | b  | b   | b   | b    | b    | b    | b    | b    | b   | c    | a   | b    |
| 27     | a   | a   | a   | a  | b  | a  | b  | a  | a   | a   | a    | a    | a    | a    | b    | b   | b    | b   | a    |
| 29     | b   | a   | b   | a  | b  | a  | b  | a  | b   | b   | c    | b    | b    | b    | a    | a   | b    | a   | a    |
| 32     | c   | a   | a   | a  | b  | b  | b  | a  | a   | a   | c    | b    | a    | a    | b    | b   | b    | a   | b    |
| 34     | c   | a   | b   | b  | a  | b  | a  | a  | b   | c   | b    | c    | b    | c    | a    | a   | a    | b   | a    |
| 39     | b   | a   | a   | b  | b  | b  | a  | b  | b   | b   | b    | c    | b    | b    | c    | b   | b    | a   | a    |
| 42     | b   | a   | a   | a  | a  | a  | a  | a  | a   | a   | b    | c    | a    | b    | a    | a   | b    | a   | b    |
| 3      | b   | b   | c   | b  | b  | b  | c  | b  | b   | b   | c    | b    | b    | b    | b    | c   | c    | b   | b    |
| 4      | b   | b   | c   | b  | a  | c  | a  | a  | b   | b   | b    | c    | a    | c    | a    | a   | b    | b   | b    |
| 5      | c   | b   | a   | b  | a  | b  | a  | b  | b   | b   | b    | b    | b    | b    | a    | a   | b    | b   | b    |
| 8      | b   | b   | b   | b  | b  | a  | a  | b  | c   | b   | c    | c    | c    | b    | a    | a   | a    | c   | b    |
| 9      | c   | b   | b   | c  | c  | a  | b  | b  | c   | c   | c    | b    | c    | b    | a    | b   | a    | c   | b    |
| 10     | c   | b   | a   | a  | b  | a  | a  | b  | c   | c   | c    | c    | c    | c    | b    | b   | a    | b   | a    |
| 12     | b   | b   | b   | a  | b  | a  | b  | b  | b   | b   | b    | b    | b    | b    | c    | b   | c    | b   | c    |
| 13     | b   | b   | b   | b  | b  | b  | b  | a  | b   | a   | b    | b    | b    | b    | b    | c   | b    | b   | b    |
| 16     | b   | b   | b   | b  | b  | c  | b  | b  | b   | b   | b    | b    | b    | b    | b    | b   | b    | b   | b    |
| 18     | b   | b   | b   | b  | b  | c  | b  | b  | b   | b   | b    | b    | b    | b    | b    | b   | b    | b   | b    |
| 19     | c   | b   | b   | a  | a  | a  | b  | b  | b   | a   | c    | b    | b    | b    | a    | a   | a    | b   | a    |
| 21     | b   | b   | b   | b  | b  | b  | b  | a  | b   | b   | b    | b    | b    | b    | b    | c   | b    | c   | c    |
| 22     | b   | b   | b   | b  | c  | c  | c  | b  | a   | b   | a    | a    | a    | a    | c    | b   | b    | b   | b    |
| 23     | c   | b   | c   | b  | c  | b  | c  | b  | b   | b   | b    | a    | b    | a    | b    | c   | a    | c   | b    |
| 26     | b   | b   | b   | b  | b  | b  | b  | b  | b   | b   | a    | b    | a    | b    | b    | b   | c    | b   | b    |
| 28     | a   | b   | a   | b  | b  | b  | c  | b  | b   | b   | a    | a    | b    | a    | b    | b   | b    | b   | b    |
| 30     | b   | b   | c   | c  | c  | c  | c  | a  | b   | b   | a    | a    | a    | a    | c    | c   | b    | c   | c    |
| 31     | a   | b   | b   | c  | c  | c  | c  | b  | c   | c   | a    | a    | b    | a    | c    | c   | b    | c   | c    |
| 33     | a   | b   | b   | b  | b  | b  | b  | b  | b   | b   | b    | b    | b    | b    | c    | a   | b    | b   | a    |
| 36     | b   | b   | b   | b  | b  | b  | b  | a  | a   | a   | a    | a    | a    | a    | c    | c   | c    | a   | c    |
| 37     | b   | b   | b   | b  | a  | b  | a  | b  | b   | b   | b    | c    | b    | b    | c    | c   | c    | a   | b    |
| 38     | b   | b   | a   | b  | b  | b  | b  | c  | c   | b   | b    | b    | b    | c    | b    | b   | a    | c   | b    |
| 1      | b   | c   | b   | b  | b  | b  | b  | c  | b   | b   | b    | c    | c    | c    | b    | b   | b    | b   | c    |
| 2      | a   | c   | c   | c  | c  | b  | b  | c  | c   | c   | b    | c    | c    | c    | c    | b   | b    | b   | c    |
| 7      | b   | c   | c   | c  | b  | c  | c  | c  | b   | b   | a    | b    | b    | b    | a    | b   | c    | a   | b    |
| 11     | c   | c   | c   | c  | c  | b  | b  | c  | c   | c   | c    | b    | c    | b    | b    | b   | a    | b   | a    |
| 15     | c   | c   | c   | b  | b  | c  | c  | b  | a   | a   | b    | a    | b    | a    | b    | b   | c    | b   | b    |
| 24     | b   | c   | b   | c  | c  | b  | b  | c  | c   | c   | c    | b    | c    | c    | c    | b   | c    | a   | b    |
| 25     | a   | c   | b   | c  | c  | c  | c  | c  | b   | c   | a    | a    | c    | b    | b    | b   | b    | c   | c    |
| 35     | b   | c   | c   | c  | c  | b  | b  | c  | c   | c   | b    | b    | c    | c    | b    | a   | a    | c   | c    |
| 40     | a   | c   | b   | b  | b  | b  | b  | c  | b   | b   | b    | b    | c    | c    | b    | c   | c    | c   | c    |
| 41     | c   | c   | c   | c  | b  | c  | b  | c  | c   | c   | a    | c    | b    | c    | b    | a   | a    | b   | a    |

Oznaczenia cech jak w tabeli 2

Denotations of traits as in table 2

Wysoka masa ziarna rodów RAH 1796 (6), KOC 2061/98 (29) i KOC 4958/98 (39) była spowodowana m.in. wysoką masą jednego ziarniaka i wysoką masą ziarna z kłosa. Ród KOC 2970/89 (34) o wysokiej masie ziarna charakteryzował się najwyższą masą ziarniaków z kłosa spowodowaną największą, w tej grupie rodów, liczbą ziarniaków

w kłosie o najniższej masie jednostkowej (tab. 4). Rody o najniższej masie ziarna (tab. 4) odznaczały się najniższymi wartościami cech: suchą masą rośliny (6 rodów), ilością zakumulowanego azotu w ziarnie (7 rodów), współczynnikiem plonowania rolniczego (9 rodów), współczynnikiem plonowania dla azotu (5 rodów) i fosforu (6 rodów), efektywnością wykorzystania azotu (7 rodów) i fosforu (6 rodów) wyliczoną dla masy ziarna. Niska masa ziarna z kłosa odmiany Jasna (40) i rodów KOC 2990/98 (35), KOC 2932/97 (25) była spowodowana niską masą jednego ziarniaka i małą liczbą ziarniaków w kłosie.

Pozostałe, 22 rody o średniej masie ziarna charakteryzowały się zarówno wysokimi, przeciętnymi jak i niskimi wartościami analizowanych cech. Rody: HEC 1428/98 (22), KOC 2003/98 (28), KOC 2245/98 (30) i KOC 3845/98 (36) odznaczały się wysoką, a rody: SMH 16 (8), SMH 21 (9), SMH 37 (10) – niską efektywnością wykorzystania azotu i fosforu. W tej grupie były rody o wysokiej (SMH 37, HEC 2678/97) jak i o niskiej (CJ 59/98, KOC 3845/98) masie ziarna z kłosa i liczbie ziarniaków w kłosie (tab. 4).

Długość trwania fazy wegetatywnej roślin (od siewu do kłoszenia) oraz rozwoju ziarniaka (od pylenia do pełnej dojrzałości) była w małym stopniu zróżnicowana genotypowo i wynosiła od 77 do 84 dni (średnio 80 dni) i od 35 do 42 dni (średnio 39 dni). Wysokoplonujące rody HEC 4482/96 (17), HEC 3343/97 (20), KOC 1477/98 (27), KOC 2361/98 (32) odznaczały się stosunkowo krótszym okresem trwania fazy wegetatywnej (77 dni) i dłuższym okresem fazy rozwoju ziarniaków (42 dni). Niskoplonujący ród KOC 2611/97 (24) charakteryzował się najdłuższym okresem trwania fazy wegetatywnej (84 dni) i najkrótszym okresem rozwoju ziarniaków (35 dni).

Tabela 5

**Współczynniki korelacji pomiędzy badanymi cechami**  
**The correlations coefficient between the of tested traits**

| Cechy<br>Traits | Cechy<br>Traits |      |      |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|-----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | LKŁ             | SMZ  | SMR  | NZ    | PZ    | NR    | PR    | HI   | NHI  | PHI  | NUE1 | PUE1 | NUE2 | PUE2 |
| LKŁ             | 1,00            |      |      |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |
| SMZ             | ns              | 1,00 |      |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |
| SMR             | 0,33            | 0,75 | 1,00 |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |
| NZ              | ns              | 0,82 | 0,63 | 1,00  |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |
| PZ              | ns              | 0,74 | 0,57 | 0,78  | 1,00  |       |       |      |      |      |      |      |      |      |
| NR              | ns              | 0,64 | 0,76 | 0,76  | 0,59  | 1,00  |       |      |      |      |      |      |      |      |
| PR              | ns              | 0,43 | 0,57 | 0,46  | 0,72  | 0,70  | 1,00  |      |      |      |      |      |      |      |
| HI              | ns              | 0,81 | 0,22 | 0,63  | 0,58  | 0,26  | ns    | 1,00 |      |      |      |      |      |      |
| NHI             | ns              | 0,59 | ns   | 0,71  | 0,57  | ns    | ns    | 0,71 | 1,00 |      |      |      |      |      |
| PHI             | ns              | 0,60 | 0,19 | 0,62  | 0,65  | ns    | ns    | 0,70 | 0,88 | 1,00 |      |      |      |      |
| NUE1            | ns              | ns   | ns   | -0,46 | -0,31 | -0,71 | -0,49 | ns   | ns   | ns   | 1,00 |      |      |      |
| PUE1            | ns              | ns   | ns   | ns    | -0,44 | -0,28 | -0,76 | ns   | ns   | ns   | 0,55 | 1,00 |      |      |
| NUE2            | ns              | 0,57 | ns   | 0,21  | 0,27  | -0,26 | -0,23 | 0,74 | 0,62 | 0,64 | 0,55 | 0,42 | 1,00 |      |
| PUE2            | ns              | 0,58 | 0,20 | 0,35  | ns    | ns    | -0,48 | 0,68 | 0,59 | 0,59 | 0,31 | 0,77 | 0,78 | 1,00 |

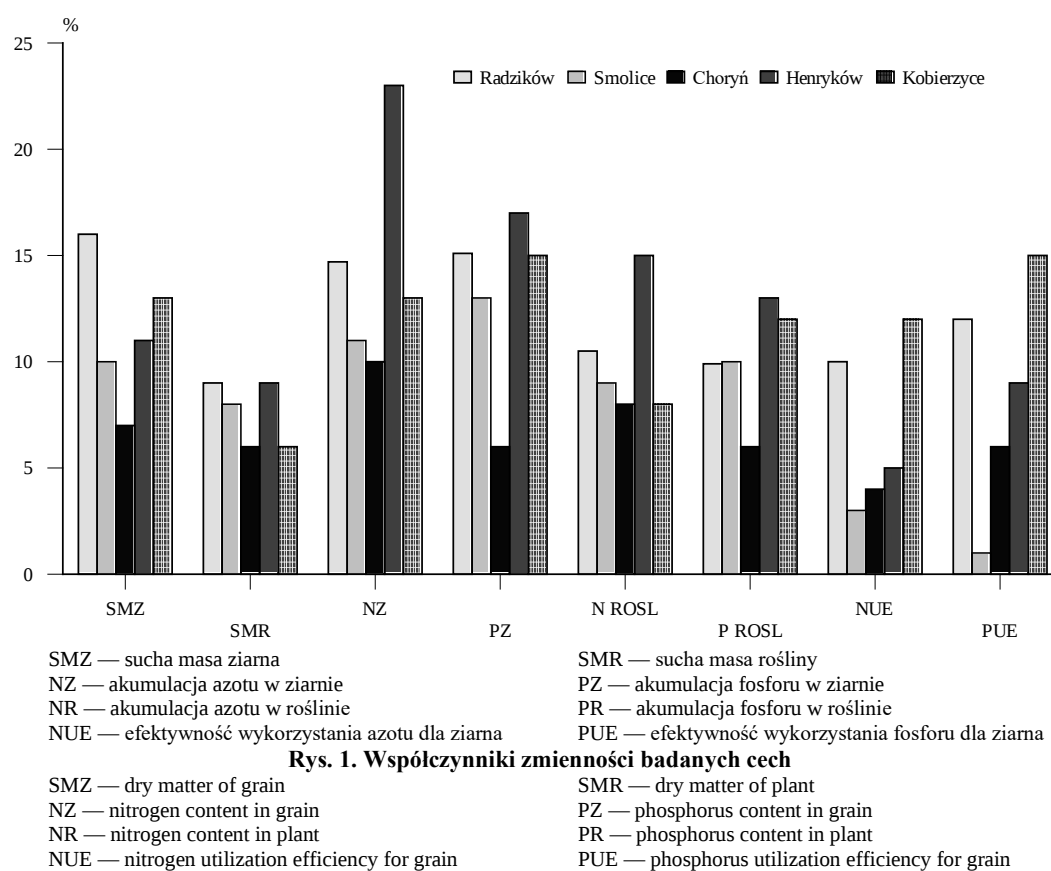
Oznaczenia cech jak w tabeli 2; Denotations of traits as in Table 2

ns — Korelacje nie istotne; Correlation not significant

Współczynniki korelacji między suchą masą ziarna a ilością zakumulowanego azotu w ziarnie i w roślinie, współczynnikiem plonowania rolniczego, współczynnikiem plonowania dla azotu (NHI) i dla fosforu (PHI) były istotne. Nie stwierdzono zależności

między suchą masą ziarna a efektywnością wykorzystania azotu i fosforu dla biomasy (tab. 5).

Zakres zmienności genotypowej poszczególnych cech był zależny od miejsca wyhodowania rodów (rys. 1). Największą zmienność stwierdzono w ilości zakumulowanego azotu w ziarnie — od 10% (Choryń) do 23% (Henryków), masie ziarna — od 7% (Choryń) do 16% (Radzików), ilości zakumulowanego fosforu w ziarnie — od 6% (Choryń) do 17% (Henryków). Małą zmienność stwierdzono np. w suchej masie roślin — od 6% (Choryń) do 9% (Henryków i Radzików). Rody pochodzące z Henrykowa i Kobierzyc odznaczały się większą, a rody z Choryni — mniejszą zmiennością dla większości badanych cech. W strukturze morfologicznej kłosa (CV od 1 do 8%) i elementach plonotwórczych kłosa (CV od 2 do 12%) stwierdzono małą zmienność pomiędzy rodami, niezależnie od miejsca ich wyhodowania.



Rys. 1. Współczynniki zmienności badanych cech

Fig. 1. The coefficients of the variability of investigated parameters

Tabela 6

**Podział badanych rodów na grupy jednorodne wyliczone testem Tukeya (przy  $\alpha = 0,05$ )**  
**Distribution of the tested strains onto homogeneous groups, acc. to Tukey test (at  $\alpha = 0.05$ )**

| Cechy<br>Traits                                                                                                                                 | Pochodzenie rodów<br>Origin of strains |         |        |          |            |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------|--------|----------|------------|----------------------|
|                                                                                                                                                 | Radzików                               | Smolice | Choryń | Henryków | Kobierzyce | odmiany<br>varieties |
| Liczba kłosów·m <sup>-2</sup> (LKŁ)<br>Number of ears/m <sup>-2</sup>                                                                           | A                                      | B       | AB     | AB       | A          | AB                   |
| Sucha masa ziarna (g·m <sup>-2</sup> ) (SMZ)<br>Dry matter of grain (g·m <sup>-2</sup> )                                                        | B                                      | AB      | AB     | A        | AB         | AB                   |
| Sucha masa rośliny (g·m <sup>-2</sup> ) (SMR)<br>Dry matter of plant (g·m <sup>-2</sup> )                                                       | B                                      | A       | AB     | AB       | A          | AB                   |
| Akumulacja azotu w ziarnie (g·m <sup>-2</sup> ) (NZ)<br>Nitrogen content in grain (g·m <sup>-2</sup> )                                          | B                                      | B       | AB     | A        | B          | AB                   |
| Akumulacja fosforu w ziarnie (g·m <sup>-2</sup> ) (PZ)<br>Phosphorus content in grain (g·m <sup>-2</sup> )                                      | A                                      | A       | A      | A        | A          | A                    |
| Akumulacja azotu w roślinie (g·m <sup>-2</sup> ) (NR)<br>Nitrogen content in plant (g·m <sup>-2</sup> )                                         | C                                      | A       | BC     | AB       | BC         | BC                   |
| Akumulacja fosforu w roślinie (g·m <sup>-2</sup> ) (PR)<br>Phosphorus content in plant (g·m <sup>-2</sup> )                                     | AB                                     | A       | C      | BC       | BC         | A                    |
| Indeks plonowania rolniczego (HI)<br>Harvest index                                                                                              | AB                                     | B       | AB     | A        | AB         | AB                   |
| Indeks plonowania azotu (NHI)<br>Nitrogen harvest index                                                                                         | AB                                     | C       | A      | A        | B          | B                    |
| Indeks plonowania fosforu (PHI)<br>Phosphorus harvest index                                                                                     | AB                                     | C       | A      | A        | B          | B                    |
| Efektywność wykorzystania azotu dla biomasy (g·g <sup>-1</sup> ) (NUE1)<br>Nitrogen utilization efficiency for biomass (g·g <sup>-1</sup> )     | AB                                     | C       | AB     | B        | A          | AB                   |
| Efektywność wykorzystania azotu dla ziarna (g·g <sup>-1</sup> ) (NUE2)<br>Nitrogen utilization efficiency for grain (g·g <sup>-1</sup> )        | A                                      | B       | A      | A        | A          | A                    |
| Efektywność wykorzystania fosforu dla biomasy (g·g <sup>-1</sup> ) (PUE1)<br>Phosphorus utilization efficiency for biomass (g·g <sup>-1</sup> ) | B                                      | B       | A      | A        | A          | B                    |
| Efektywność wykorzystania fosforu dla ziarna (g·g <sup>-1</sup> ) (PUE2)<br>Phosphorus utilization efficiency for grain (g·g <sup>-1</sup> )    | B                                      | B       | A      | A        | A          | B                    |
| Masa 1 ziarniaka (mg) (M1Z)<br>Weight of single grain                                                                                           | A                                      | B       | AB     | AB       | AB         | AB                   |
| Masa ziarniaków/kłos (g) (MZKL)<br>Grain weight/spike                                                                                           | A                                      | A       | A      | A        | A          | A                    |
| Liczba ziarniaków/kłos (LZKL)<br>No. of grains per spike                                                                                        | B                                      | A       | B      | AB       | B          | AB                   |
| Ogólna liczba kłosek w kłosie (LKL)<br>Total No. of spikelets per spike                                                                         | A                                      | A       | A      | A        | A          | A                    |
| Liczba kłosek płodnych w kłosie (LPKL)<br>No. of fertile spikelets per spike                                                                    | B                                      | A       | B      | B        | B          | AB                   |
| Długość kłosa (cm) (DLKL)<br>Spike length                                                                                                       | AB                                     | A       | AB     | AB       | B          | A                    |

Podział badanych rodów na grupy jednorodne procedurą t-Tukeya (tab. 6) wykazał brak różnicowania między rodami pochodzącymi z poszczególnych stacji hodowli dla takich cech jak: ilość zakumulowanego fosforu w ziarnie, masa ziarna z kłosa, liczba kłosków w kłosie. Większe zróżnicowanie stwierdzono dla ilości zakumulowanego azotu i fosforu w roślinie, współczynnika plonowania dla azotu i fosforu. Natomiast pozostałe cechy były mało zróżnicowane.

Wartość rodów (określanych daną cechą) wyhodowanych w Choryni, Henrykowie i Kobierzycach była wyższa niż rodów z Radzikowa i Smolic. Rody pochodzące ze Smolic miały stosunkową wysoką suchą masę roślin i najniższą efektywność wykorzystania azotu i indeksu plonowania rolniczego. Większość rodów z Kobierzyc odznaczała się wysokimi wartościami efektywności wykorzystania azotu i fosforu, masą rośliny i ziarna (tab. 4 i tab. 6).

## DYSKUSJA

Z przeprowadzonych badań wynika, że rody i odmiany pszenicy jarej pochodzące z doświadczeń wstępnych roku 2001 różniły się istotnie pod względem masy ziarna, akumulacji i wykorzystania azotu i fosforu. Zmienność w plonie ziarna, akumulacji i efektywności wykorzystania azotu i fosforu wśród współczesnych odmian zbóż, a zwłaszcza pszenicy, została potwierdzona w wielu doświadczeniach (El Bassam, 1998; Gahoonia i in., 1999; Le Gouis i in., 1996, 2000; Oracka i in., 2000; Singh i Arona, 2001). Zmienność genotypową stwierdzono także wśród 24 odmian jęczmienia jarego w plonie ziarna, suchej masie rośliny i efektywności pobierania (ilość P/roślinę) i wykorzystania fosforu (masa ziarna na jednostkę pobranego P) (Romer i Schenk, 1998).

W przeprowadzonym doświadczeniu polowym większość badanych rodów pszenicy jarej o wysokiej masie ziarna miało wysokie wartości indeksu plonowania rolniczego (HI), indeksu plonowania dla azotu (NHI) i fosforu (PHI), zakumulowanego azotu w ziarnie. Wykazano istotne zależności między masą ziarna a indeksem plonowania rolniczego ( $r = 0,81$ ), indeksem plonowania dla azotu ( $r = 0,59$ ) i fosforu ( $r = 0,60$ ).

Głównym celem w programach hodowlanych pszenicy jest selekcja linii reagujących wzrostem plonu ziarna i indeksu plonowania rolniczego na wzrastające dawki nawożenia azotowego. U tak wyselekcjonowanych linii wzrost plonu roślin wynikał ze zwiększonej akumulacji asymilatów w ziarnie z jednoczesną redukcją wysokości roślin i zmianą w strukturze łanu (Drzazga i Spiss, 2001; Sinclair, 1998). Niektórzy badacze (Przulj i Momcilovic, 2001; Ehdaie i Waines, 2001) wykazali korelację między indeksem plonowania rolniczego (HI) a indeksem plonowania dla azotu (NHI). W naszym doświadczeniu wartość wyliczonego współczynnika korelacji dla tej zależności była istotna ( $r = 0,71$ ). Zdaniem Ehdaie i Waines, (2001) uzyskany u pszenicy wzrost indeksu plonowania rolniczego (HI) o 1% był związany ze wzrostem indeksu plonowania dla azotu (NHI) o 0,84%. Cytowani autorzy wnioskują, że wzrost indeksu plonowania dla azotu (NHI) osiągnięty w programach hodowlanych był opóźniony w stosunku do indeksu plonowania rolniczego (HI).

Liczne wyniki badań sugerują, że dokonana selekcja odmian na wysoki potencjał plonowania była także (pośrednią) selekcją na efektywność pobierania i wykorzystania składników mineralnych. Wzrost plonu odmian pszenicy wyhodowanych w latach 1900 – 1994 był spowodowany wzrostem liczby ziaren na jednostkę powierzchni, indeksu plonowania rolniczego i akumulacji azotu w ziarnie (Guarda i in., 2003). Sinclair (1998) przytacza wyniki badań porównawczych dotyczących wzrostu plonu odmian jęczmienia, pszenicy i ryżu wyhodowanych od pierwszych lat XX wieku do lat dziewięćdziesiątych i stwierdza, że ze wzrostem plonu ziarna wzrastał indeks plonowania i akumulacja azotu w roślinie i ziarnie. Jednocześnie konkluduje, że kluczem do wzrostu plonu w XX wieku była selekcja roślin, które odznaczały się dodatnią reakcją na zastosowany azot, większą jego akumulacją i większym wykorzystaniem tego pierwiastka dla produkcji ziarna. Zdaniem Sinclair i Vadez (2002) wzrost plonu ziarna jest związany ze zwiększoną akumulacją azotu i fosforu w ziarniakach. Wzrostu plonu ziarna odmian uprawianych na glebach ubogich w składniki mineralne można uzyskać przez wytworzenie odmian o zwiększonej zdolności akumulacji azotu i fosforu w ziarnie (Sinclair i Vadez, 2002). W doświadczeniu z 180 odmianami ryżu w środowisku o niskiej dostępności azotu stwierdzono wysoką korelację między plonem ziarna a akumulacją azotu w roślinie (Tirol-Padre i in., 1966).

Z przeprowadzonych własnych badań wynika, że spośród analizowanych rodów pszenicy jarej RAH 1796, HEC 4482/96 o wysokiej masie ziarna odznaczały się także wysoką akumulacją azotu i fosforu w ziarnie. Stwierdzono istotną korelację między masą ziarna a akumulacją azotu i fosforu w ziarnie ( $r = 0,82$  i  $0,74$ ), między suchą masą roślin a akumulacją azotu i fosforu w roślinie ( $r = 0,76$  i  $0,57$ ). Akumulacja suchej masy rośliny jest w dużym stopniu zależna od akumulacji składników mineralnych, a rośliny o wysokim plonie biologicznym charakteryzują się wysoką zdolnością do ich pobierania podczas dojrzewania (Osaki i in., 1997).

W badaniach przeprowadzonych na kilkudziesięciu odmianach ryżu stwierdzono istotną korelację między długością okresu wegetacji a zmiennością genotypową w pobieraniu azotu (Tirol-Padre i in., 1966). Genotypy pszenżyta ozimego o wysokiej efektywności pobierania i wykorzystania składników mineralnych odznaczały się krótszym okresem wegetatywnego wzrostu i dłuższym okresem fazy dojrzewania ziarniaków (Kozdój i in., 1998; Ciepły i in., 1999). W przeprowadzonym naszym doświadczeniu niektóre wysokoplonujące rody pszenicy jarej (HEC 4482/96, HEC 3343/97, KOC 1477/98, KOC 2361/98) odznaczały się stosunkowo krótszym okresem trwania fazy wegetatywnej i dłuższym okresem rozwoju ziarniaków. W obrębie niskoplonujących rodów, KOC 2611/97 charakteryzował się najdłuższym okresem trwania fazy wegetatywnej i najkrótszym okresem rozwoju ziarniaków.

Uzyskane wyniki wskazują, że nieliczne rody pszenicy jarej takie jak: KOC 1477/98, KOC 2361/98, CJ 179/98, RAH 1796 osiągnęły wysokie wartości większości analizowanych cech, w tym efektywności wykorzystania azotu i fosforu. Wyżej wymienione rody przewyższały wzorcowe odmiany: Jasna, Opatka i Torka. Także inne rody: HEC 1428/98, KOC 2003/98, KOC 2245/98, KOC 2249/98 i KOC 3845/98 osiągnęły wysokie wartości efektywności wykorzystania azotu i fosforu.

Rody RAH 2070/98 i KOC 3530/97 odznaczały się wysoką efektywnością wykorzystania azotu, a rody CJ 396/98, HEC 1957/98 — fosforu. Rody te osiągnęły średnie wartości suchej masy rośliny i ziarna, zakumulowanego azotu i fosforu w ziarnie. Dane literaturowe wskazują, że różnice między odmianami pszenicy w efektywności zużycia fosforu wynikały między innymi ze struktury plonu; w warunkach niskiego nawożenia P odmiany z dużą liczbą ziaren w kłosie (uznanego za głównego komponentu plonu) plonowały wyżej niż odmiany z dużą liczbą kłosów w roślinie (Horst i in., 1993).

Wyniki uzyskane w przeprowadzonym doświadczeniu wskazują na możliwość wyselekcjonowania rodów pszenicy jarej odznaczających się zarówno wysokim i stabilnym plonem oraz wysoką efektywnością wykorzystania składników mineralnych. W obrębie badanych genotypów rody KOC 1477/98, KOC 2361/98, CJ 179/98, RAH 1796 osiągnęły wysokie wartości wyżej wymienionych cech.

#### LITERATURA

- Baligar, V. C., Fageria N. K., He Z. L. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32 (7/8): 921 — 950.
- Ceccarelli S. 1996. Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica* 92: 203 — 214.
- Cieplý J., Oracka T. 1999: Możliwości hodowli zbóż efektywniej wykorzystujących składniki mineralne. *Biul. IHAR* 211: 13 — 21.
- Cieplý J., Oracka T. 2000: Dry matter accumulation and nitrogen and phosphorus uptake in winter triticale genotypes differing by mineral elements utilization efficiency. *Plant Breeding and Seed Sci.* 44/1: 3 — 13.
- Drzazga T., Spiss L. 2001. Postęp genetyczny w plonowaniu pszenicy jarej w Polsce. *Biul. IHAR* 218/219: 195 — 201.
- Ehdaie B., Waines J. G. 2001. Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat. *Field Crops Res.* 73: 47 — 61.
- EL Bassam N. 1998. A concept of selection for „low input” wheat varieties. *Euphytica*. 100: 95 — 100.
- Gahoonia T. S., Nielsen N. E., Lyshede O. L. 1999. Phosphorus (P) acquisition of cereal cultivars in the field at three levels of P fertilization. *Plant Soil* 211: 269 — 281.
- Guarda G., Padovan S., Delogu G. 2003. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *Europ. J. Agron.* (in press).
- Horst W. J., Abdou M., Wiesler F. 1993. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. *Plant Soil.* 155/156: 293 — 296.
- Kozdój J., Cieplý J., Oracka T. 1998. Spike morphogenesis of winter triticale (*X Triticosecale* Wittmack) genotypes differing in nutrient utilisation efficiency. *Plant Breeding and Seed Sci.* 44/1: 23 — 36
- Le Gouis J., Beghin D., Heumez E., Pluchard P. 2000. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilisation efficiencies in winter wheat. *Europ. J. Agron.* 12: 163 — 173.
- Oracka T., Cieplý J., Kozdój J. 2000. Genetic variability in N, P, K utilization efficiency in spring wheat at different concentration of nutrient solutions. *Plant Breed. Seed Sci.* 41 (1): 15 — 25.
- Osaki M., Shinano T., Matsumoto M., Zheng T., Tadano T. 1997. A root-shoot interaction hypothesis for high productivity of field crops. W: *Plant nutrition for sustainable food production and environment*. Ando T. et al. (eds.): 669 — 674.
- Poutala R. T., Kouppamakai J., Korva J., Varis E. 1994. The performance of ecological, integrated and conventional nutrient management in cereal cropping in Finland. *Field Crops Res.* 37: 3 — 10.
- Przulj N., Momcilovic V. 2001. Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley. II. Nitrogen translocation. *Eur. J. Agron.* 15: 255 — 265.
- Romer W., Schenk H. 1998. Influence of genotype on phosphate uptake and utilization efficiencies in spring barley. *Europ. J. Agron.* 8: 215 — 224.

- Sinclair T. R. 1998. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. *Crop Sci.* 38: 638 — 643.
- Sinclair T. R., Vadez V. 2002. Physiological traits for crop yield improvement in low N and P environments. *Plant Soil* 245: 1 — 15.
- Singh V. P., Arona A. 2001. Intraspecific variation in nitrogen utilization efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agron. Crop Sci.* 186: 239 — 244.
- Tirol-Padre A., Ladha J.K., Singh U., Laureles E., Punzalan G., Akita S. 2002. Grain yield performance of rice genotypes at suboptimal levels of soil N as affected by N uptake and utilization efficiency. *Field Crops Res.* 46: 127 — 143.
- Zadoks J. C., Chang T. T., Konzak C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *EUCARPIA Bulletin* 7: 42 — 52.