

TERESA ORACKA
JANUSZ KOZDÓJ¹
JAN CIEPŁY

Zakład Biochemii i Fizjologii Roślin

¹ 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 II. Doświadczenie fitotronowe

The evaluation of variability of uptake and utilization efficiency of nitrogen and phosphorus in spring wheat Part II. Water culture experiment

W doświadczeniu fitotronowym (kultura wodna, 0,5 standardowego stężenia pożywki Hoaglanda nr 2) badano 39 rodów i 3 odmiany pszenicy jarej z doświadczeń wstępnych z 2001 roku. Stwierdzono zróżnicowanie genotypowe pod względem analizowanych cech. Wartości współczynników zmienności dla większości badanych cech były wysokie (z wyjątkiem efektywności wykorzystania azotu i fosforu). Na podstawie analizy wartości najważniejszych cech można dokonać wyboru genotypów pszenicy jarej odznaczających się wysokimi wartościami cech: efektywność pobierania i wykorzystania azotu i/lub fosforu, masa rośliny i korzeni. Rody: RAH 1796, KOC 2249/98, KOC 3845/98 badane w doświadczeniu fitotronowym i polowym charakteryzowały się wysokimi wartościami wyżej wymienionych cech. Wyniki uzyskane w doświadczeniu fitotronowym i polowym wskazują na możliwość dokonania kompleksowej oceny szerokiego zestawu nowych rodów pszenicy jarej. Tak dokonana ocena pozwala na wybór rodów o wysokiej efektywności pobierania i wykorzystania składników mineralnych i wysokim plonie ziarna.

Słowa kluczowe: pszenica jara, zmienność genotypowa, azot, fosfor, efektywność wykorzystania, efektywność pobierania

Plants of 39 strains and 3 cultivars of spring wheat were grown hydroponically until shooting phase at low level of mineral elements (0.5 concentrated Hoagland medium solution), in a growth chamber. Dry matter, N and P content of plant organs, number and mass of seminal and adventitious roots, number of spikelets per spike and the main spike development stage were determined. Indices of N and P accumulation and utilization efficiency were calculated. Statistically significant differences between the wheat genotypes have been stated for all the investigated characteristics. A wide variability in dry matter of above ground part and roots, nitrogen and phosphorus contents was found among the wheat strains and cultivars. Nitrogen and phosphorus utilization efficiency showed the lowest coefficients of

variability. Basing on analysis of important traits, there is a possibility of selection of spring wheat lines with high efficiency of nitrogen and phosphorus uptake and utilization together with high dry mass of plants and roots. The RAH 1796, KOC 2249/98, KOC 3845/98 examined in water culture experiment and field experiments, showed high values of these traits. The joint results of phytotron and field experiments enabled complex evaluation of wheat strains and selection of breeding material.

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

WSTĘP

W pierwszej części pracy stwierdzono istotne zróżnicowanie genotypowe pszenicy jarej w masie ziarna, akumulacji i wykorzystaniu azotu i fosforu (doświadczenie polowe, standardowy poziom nawożenia mineralnego). Z własnych prac i doniesień literaturowych wynika, że zakres zmienności cech jest wyższy w warunkach stresowych w porównaniu do warunków (standardowych) nie stresowych (Ciepły i Oracka, 1996; Oracka i in., 2000; Gaahonia i in., 1999).

Celem podjętych badań było oszacowanie zmienności genotypowej pszenicy jarej, rosnącej przy obniżonym poziomie zawartości składników mineralnych w pożywce, pod względem masy nadziemnej i korzeni oraz akumulacji i efektywności wykorzystania azotu i fosforu.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem doświadczalnym było 39 rodów i 3 odmiany pszenicy jarej z doświadczeń wstępnych z 2001 roku (tab. 1).

Doświadczenie prowadzono w kontrolowanych warunkach (komora fitotronowa) w kulturze wodnej przy obniżonej koncentracji równej 0,5 stężenia pożywki Hoaglanda nr 2. Warunki wegetacji roślin w komorze fitotronowej przedstawiono poniżej:

dni doświadczenia	temperatura dzień/noc (°C)	długość dnia/nocy (h)	natężenie światła ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
1–18	15/10	16/8	350
19–35	20/15	16/8	350

W fazie strzelania w źdźbło (DC 30–31 wg skali Zadoksa) dokonano zbioru roślin (7 roślin \times 4 powtórzenia) określając: suchą masę poszczególnych organów rośliny (105°C), liczbę i masę korzeni zarodkowych i przybyszowych, stadium organogenezy kłosa pędu głównego (wg Nátrovej i Jokeša, 1993), liczbę kłosek w kłosie. Wyniki badań dotyczące stadium organogenezy kłosa pędu głównego i jego cech morfologicznych zostały przedstawione w innej pracy (Kozdój i in., 2003). W poszczególnych częściach rośliny określano koncentrację azotu (metodą Kjeldahla) i fosforu (metodą kolorymetryczną). Obliczano:

- akumulację azotu i fosforu (na podstawie koncentracji pierwiastków i masy),
- efektywność wykorzystania azotu dla biomasy (NUE_1); masa rośliny/iłość, zakumulowanego N w roślinie,

— efektywność wykorzystania fosforu dla biomasy (PUE_1); masa rośliny/iłość zakumulowanego P 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.

Tabela 1

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

Nr rodu — No. of strain	Nazwa rodu — Name of strain	Pochodzenie — Source
1	RAH 172598	
2	RAH 172698	
3	RAH 186598	
4	RAH 207098	IHAR — Radzików
5	RAH 215798	
6	RAH 1796	
7	RAH 85398	
8	SMH 16	
9	SMH 21	
10	SMH 37	SHR — Smolice
11	SMH 39	
12	CJ 59/98	
13	CJ 176/98	
14	CJ 179/98	SHR — Choryń
15	CJ 396/98	
16	CJ 406/98	
17	HEC 4482/96	
18	HEC 2288/97	
19	HEC 2678/97	
20	HEC 3343/97	SHR — Henryków
21	HEC 3496/97	
22	HEC 1428/98	
23	HEC 1975/98	
24	KOC 2611/97	
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	SHR — Kobierzyce
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

WYNIKI

Badane rody i odmiany pszenicy jarej różniły się istotnie pod względem analizowanych cech (tab. 2).

Tabela 2

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

Cechy Traits	Średni kwadrat MS	F df1,2) 41,126 F value
Liczba korzeni przybyszowych na roślinę (LKP) No. of adventitious roots (plant ⁻¹)	0,3859	37,8**
Sucha masa nadziemna (g-rośl. ⁻¹) (SMNADZ) Dry matter of above-ground part (g-plant ⁻¹)	0,0002	101,8**
Sucha masa korzeni zarodkowych (g-rośl. ⁻¹) (SMKZ) Dry matter of seminal roots (g-plant ⁻¹)	0,0000	26,8**
Sucha masa korzeni przybyszowych (g-rośl. ⁻¹) (SMKP) Dry matter of adventitious roots (g-plant ⁻¹)	0,0000	35,5**
Sucha masa korzeni (g-rośl. ⁻¹) (SMK) Dry matter of roots (g-plant ⁻¹)	0,0000	54,0**
Sucha masa rośliny (g-rośl. ⁻¹) (SMR) Dry matter of plant (g-plant ⁻¹)	0,0002	121,8**
Akumulacja azotu w nadziemnej części rośliny (mg-rośl. ⁻¹) (ZNNADZ) Nitrogen content in above ground part of plant (mg-plant ⁻¹)	0,2691	95,9**
Akumulacja azotu w korzeniach (mg-rośl. ⁻¹) (ZNK) Nitrogen content in roots (mg-plant ⁻¹)	0,0245	56,6**
Akumulacja azotu w roślinie (mg-rośl. ⁻¹) (ZNR) Nitrogen content in plant (mg-plant ⁻¹)	0,3155	114,8**
Akumulacja fosforu w nadziemnej części rośliny (mg-rośl. ⁻¹) (ZPNADZ) Phosphorus content in above ground part of plant (mg-plant ⁻¹)	0,0134	114,2**
Akumulacja fosforu w korzeniach (mg-rośl. ⁻¹) (ZPK) Phosphorus content in roots (mg-plant ⁻¹)	0,0022	49,0**
Akumulacja fosforu w roślinie (mg-rośl. ⁻¹) (ZPR) Phosphorus content in plant (mg-plant ⁻¹)	0,0173	131,6**
Efektywność wykorzystania azotu (mg-mg ⁻¹) (NUE) Nitrogen utilization efficiency (mg-mg ⁻¹)	0,0018	1255,8**
Efektywność wykorzystania fosforu (mg-mg ⁻¹) (PUE) Phosphorus utilization efficiency (mg-mg ⁻¹)	0,1375	912,9**
Stadium rozwojowe rośliny (wg Zadoksa) Stage of plant development (acc. to Zadoks)	0,4039	30,43**
Stadium rozwojowe kłosa (wg Natrova i Jokes) Stage of spike development (acc. to Natrova and Jokes)	5,1097	13,99**
Długość kłosa (cm) Spike length (cm)	0,5549	19,09**
Szerokość kłosa (mm) Spike width (mm)	0,0875	18,45**
Liczba kłosek w kłosie No. of spikelets per spike	15,9686	10,23**
Liczba kłosów z kłosem terminalnym No. of spikes with terminal spikelet	0,6857	84,20**

** Różnice istotne przy $\alpha < 0,05$; Significant at differences $\alpha < 0.05$

Zakres zmienności badanych cech
Range of variability of the tested traits

Cechy Traits	Średnie Mean	Min. Min.	Maks. Max.	Współczynnik Zmienności Coefficient of variation	NIR Tukey LSD Tukey
Liczba korzeni przybyszowych na roślinę (LKP) No. of adventitious roots (plant ⁻¹)	7,4	3,8	10,9	26	1,72
Sucha masa nadziemna (g-rośl. ⁻¹) (SMNADZ) Dry matter of above-ground part (g plant ⁻¹)	0,371	0,241	0,536	18	0,037
Sucha masa korzeni zarodkowych (g-rośl. ⁻¹) (SMKZ) Dry matter of seminal roots (g plant ⁻¹)	0,057	0,037	0,074	15	0,009
Sucha masa korzeni przybyszowych (g-rośl. ⁻¹) (SMKP) Dry matter of adventitious roots (g plant ⁻¹)	0,036	0,019	0,051	25	0,008
Sucha masa korzeni (g-rośl. ⁻¹) (SMK) Dry matter of roots (g plant ⁻¹)	0,093	0,060	0,125	16	0,011
Sucha masa rośliny (g-rośl. ⁻¹) (SMR) Dry matter of plant (g plant ⁻¹)	0,464	0,301	0,662	17	0,040
Akumulacja azotu w nadziemnej części rośliny (mg-rośl. ⁻¹) (ZNNADZ) Nitrogen content in above ground part of plant (mg plant ⁻¹)	14,5	9,5	21,7	18	1,43
Akumulacja azotu w korzeniach (mg-rośl. ⁻¹) (ZNK) Nitrogen content in roots (mg plant ⁻¹)	3,6	2,3	4,7	16	0,43
Akumulacja azotu w roślinie (mg-rośl. ⁻¹) (ZNR) Nitrogen content in plant (mg plant ⁻¹)	18,1	11,8	26,4	17	1,55
Akumulacja fosforu w nadziemnej części rośliny (mg-rośl. ⁻¹) (ZPNADZ) Phosphorus content in above-ground part of plant (mg plant ⁻¹)	3,2	2,0	4,8	19	0,32
Akumulacja fosforu w korzeniach (mg-rośl. ⁻¹) (ZPK) Phosphorus content in roots (mg plant ⁻¹)	1,1	0,7	1,4	15	0,13
Akumulacja fosforu w roślinie (mg-rośl. ⁻¹) (ZPR) Phosphorus content in plant (mg plant ⁻¹)	4,2	2,7	6,2	18	0,36
Efektywność wykorzystania azotu (mg-mg ⁻¹) (NUE) Nitrogen utilization efficiency (mg-mg ⁻¹)	25,6	24,1	27,4	3	0,12
Efektywność wykorzystania fosforu (mg-mg ⁻¹) (PUE) Phosphorus utilization efficiency (mg-mg ⁻¹)	109,5	99,0	121,9	5	1,03
Stadium rozwojowe rośliny (wg Zadoksa) Stage of plant development (acc. To Zadoks)	30,2	30	31	1	0,33
Stadium rozwojowe kłosa (wg Natrova i Jokes) Stage of spike development (acc. to Natrova and Jokes)	29,5	26,2	31,4	4	1,71
Długość kłosa (cm) Spike length (cm)	2,0	1,1	2,8	18	0,48
Szerokość kłosa (mm) Spike width (mm)	0,7	0,3	1,0	20	0,20
Liczba kłosek w kłosie No. of spikelets per spike	20,3	23,8	13,1	10	3,54
Liczba kłosów z kłosem terminalnym No. of spikes with terminal spikelet	0,3	0	1,0	-	0,26

Największy zakres zmienności stwierdzono w liczbie i masie korzeni przybyszowych (CV — 26%), a najniższy w efektywności wykorzystania azotu i fosforu (CV — 3 i 5%).

W obrębie badanych rodów zaobserwowano małą zmienność w stadium rozwoju kłosa pędu głównego (CV — 4%), większą w jego strukturze morfologicznej (CV — 10–20%) (tab. 3).

Tabela 4

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

Nr No.:	LKP	SM NADZ	SMKZ	SMKP	SMK	SMR	ZN NADZ	ZNK	ZNR	ZP NADZ	ZPK	ZPR	NUE	PUE
6	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	c	b
9	a	a	b	b	b	a	a	b	a	a	b	a	c	c
18	b	a	b	b	b	a	a	a	a	b	a	b	c	b
31	a	a	b	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	b
36	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a
37	b	a	b	a	a	a	b	a	a	b	a	b	a	a
39	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	b	a	b	a
40	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	b	c
41	b	a	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	a
42	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	b
1	b	b	c	b	b	b	b	b	b	b	b	b	c	b
2	a	b	c	b	b	b	a	b	b	a	c	b	b	b
4	b	b	a	c	b	b	b	b	b	a	b	a	b	c
5	b	b	a	b	b	b	b	b	b	b	a	b	a	b
7	a	b	b	a	b	b	b	b	b	b	a	a	c	c
13	b	b	b	b	b	b	b	c	b	b	c	b	b	b
15	b	b	b	a	a	b	b	b	b	b	b	b	c	b
17	a	b	b	b	b	b	b	b	b	b	a	b	b	b
19	b	b	b	b	b	b	a	b	b	b	b	b	b	b
20	a	b	a	b	a	b	b	a	b	a	a	a	b	b
21	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	a	b
22	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	a
24	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	c	c
26	b	c	a	c	b	b	c	b	c	c	b	c	a	b
27	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
28	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	a	b
29	b	b	a	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	c
30	b	b	b	b	b	b	c	b	b	b	b	b	a	b
32	c	b	c	c	c	b	b	c	b	b	c	c	b	a
33	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	a
34	c	b	b	c	c	b	b	c	c	b	c	b	a	c
38	c	b	a	b	b	b	a	b	b	c	b	b	b	a
3	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b
8	b	c	c	b	c	c	b	c	b	b	c	b	c	c
10	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	b
11	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	a
12	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	b
14	c	b	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	b	a
16	b	c	b	b	b	c	c	b	c	c	b	c	b	b
23	c	c	b	b	c	c	c	b	c	c	b	c	c	b
25	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	b	c
35	c	c	b	b	b	c	c	b	b	b	b	b	b	c

Oznaczenia cech jak w tabeli 2

Denotations of traits as in table 2

Badane rody podzielono arbitralnie na trzy grupy: „a”, „b” i „c” (tab. 4). Do grupy „a” zaliczono 10 rodów o najwyższych, a do grupy „c” — 10 rodów o najniższych wartościach badanych cech. Pozostałe 22 rody odznaczające się wartościami pośrednimi zaliczono do grupy „b”.

Większość rodów o najwyższej suchej masie rośliny (grupa „a”) odznaczała się najwyższymi wartościami takich cech jak: suchą masą części nadziemnej (10 rodów), suchą masą korzeni (8 rodów), akumulacją azotu w części nadziemnej (7 rodów) i w korzeniach (9 rodów), akumulacją fosforu w części nadziemnej (7 rodów) i w korzeniach (6 rodów) (tab. 4).

W tej samej grupie rodów, efektywność wykorzystania azotu przez rody: KOC 2249/98 (31)*, KOC 3845/98 (36), KOC 4206/98 (37) i Torka (42) była wysoka w przeciwieństwie do rodów RAH 1796 (6), SMH 21 (9) i HEC 2288/97 (18). Wysoką efektywność wykorzystania fosforu obserwowano w rodach: KOC 3845/98 (36), KOC 4206/98 (37), KOC 4958/98 (39) i Opatka (41), a niską w rodach: SMH 21 (9) i Jasna (40).

Rody o niskiej masie rośliny (grupa „c”) miały także najniższe wartości takich cech jak: sucha masa części nadziemnej (9 rodów), sucha masa korzeni (8 rodów), ilość zakumulowanego azotu i fosforu w poszczególnych częściach rośliny (6–8 rodów). W obrębie tej grupy, siedem rodów miało współczynniki efektywności wykorzystania azotu na poziomie wartości średnich. Efektywność wykorzystania fosforu przez rośliny była od wysokiej (SMH 39 i CJ 179/98) do niskiej (SMH 16, KOC 2932/97, KOC 2960/98).

Tabela 5

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

Cechy Traits	LKP	SM NADZ	SM KZ	SM KP	SMK	SMR	ZN NADZ	ZNK	ZNR	ZP NADZ	ZPK	ZPR	NUE	PUE
LKP	1,00													
SM NADZ	0,76	1,00												
SMKZ	0,40	0,65	1,00											
SMKP	0,80	0,76	0,47	1,00										
SMK	0,70	0,82	0,86	0,86	1,00									
SMR	0,77	0,99	0,70	0,80	0,88	1,00								
ZNNADZ	0,78	0,98	0,57	0,78	0,79	0,97	1,00							
ZNK	0,65	0,80	0,87	0,80	0,98	0,86	0,76	1,00						
ZNR	0,79	0,98	0,65	0,81	0,85	0,99	0,99	0,83	1,00					
ZPNADZ	0,77	0,95	0,62	0,72	0,78	0,95	0,95	0,75	0,95	1,00				
ZPK	0,69	0,77	0,84	0,78	0,94	0,82	0,74	0,93	0,80	0,78	1,00			
ZPR	0,78	0,95	0,70	0,76	0,85	0,96	0,94	0,82	0,95	0,99	0,86	1,00		
NUE	ns	ns	0,47	ns	0,31	ns	ns	0,35	ns	ns	ns	ns	1,00	
PUE	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1,00

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

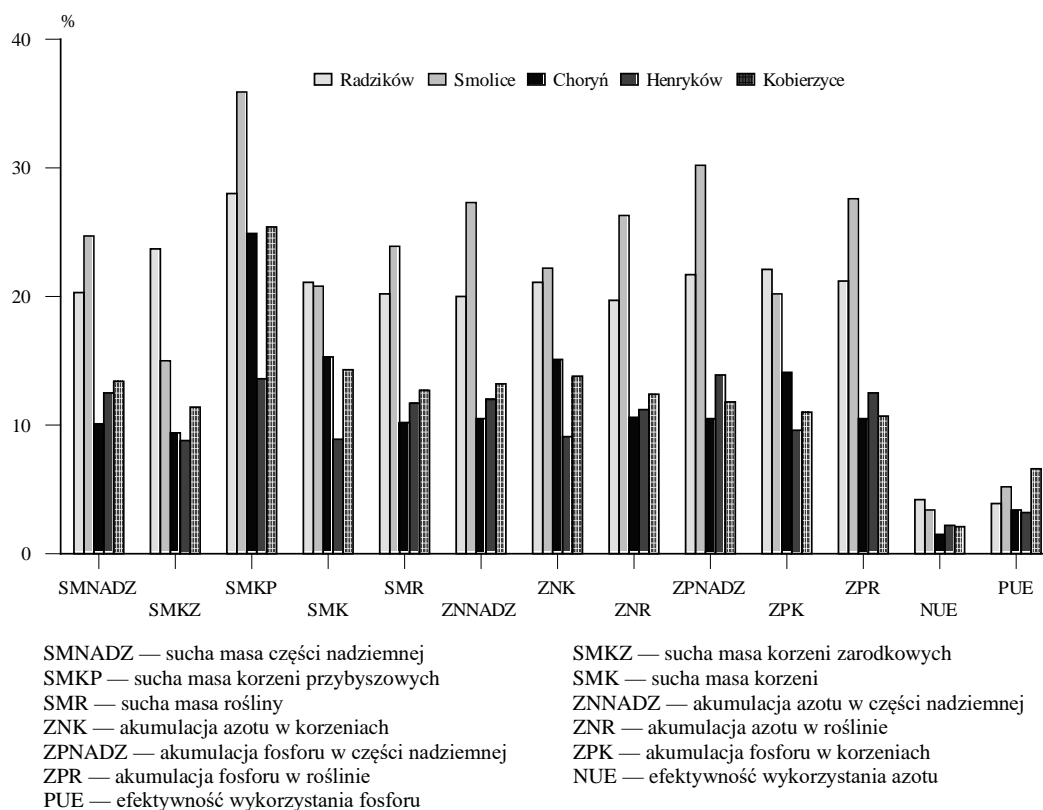
ns — Korelacja nie istotna; Correlation not significant

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

Pozostałe, 22rody o średniej masie roślin, charakteryzowały się średnimi wartościami poszczególnych cech. Wysoką efektywność wykorzystania azotu stwierdzono u rodów: HEC 3496/97 (21), KOC 3530/97 (26), KOC 2003/98 (28), KOC 2245/98 (30), KOC 2970/98 (34). Także wysoką efektywność wykorzystania fosforu stwierdzono u rodów: HEC 1428/98 (22), KOC 2361/98 (32), KOC 2454/98 (33) i KOC 4621/98 (38) (tab. 4).

Wartości współczynników korelacji dla badanych cech, z wyjątkiem efektywności wykorzystania azotu i fosforu, były istotne i wysokie (tab. 5).

Zakres zmienności genotypowej poszczególnych cech był zależny od miejsca wyhodowania rodów (rys. 1).



Rys. 1. Współczynniki zmienności badanych cech

SMNADZ — dry matter of above-ground part
 SMKZ — dry matter of seminal roots
 SMKP — dry matter of adventitious roots
 SMK — dry matter of roots
 SMR — dry matter of plant
 ZNNADZ — nitrogen content in above ground part
 ZNK — nitrogen content in roots
 ZNR — nitrogen content in plant
 ZPNADZ — phosphorus content in above-ground part
 ZPK — phosphorus content in roots
 ZPR — phosphorus content in plant
 PUE — phosphorus utilization efficiency

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

Najwyższą zmienność stwierdzono dla masy korzeni przybyszowych od 14% (Henryków) do 36% (Smolice), a najniższą dla efektywności wykorzystania azotu od 1% (Choryń) do 4% (Radzików) i fosforu od 3% (Choryń, Henryków) do 7% (Kobierzyce).

Tabela 6

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

Cechy Traits	Pochodzenie rodów Source of strains					Odmiany Varieties
	Radzików	Smolice	Choryń	Henryków	Kobierzyce	
Liczba korzeni przybyszowych na roślinę No. of adventitious roots (plant ⁻¹)	B	DC	BCD	BC	D	A
Sucha masa nadziemna (g-rośl. ⁻¹) Dry matter of above ground part (g-plant ⁻¹)	B	C	C	B	D	A
Sucha masa korzeni zarodkowych (g-rośl. ⁻¹) Dry matter of seminal roots (g-plant ⁻¹)	BC	D	CD	AB	AB	A
Sucha masa korzeni przybyszowych (g-rośl. ⁻¹) Dry matter of adventitious roots (g-plant ⁻¹)	B	B	B	B	B	A
Sucha masa korzeni (g-rośl. ⁻¹) Dry matter of roots (g-plant ⁻¹)	BC	D	CD	B	BC	A
Sucha masa rośliny (g-rośl. ⁻¹) Dry matter of plant (g-plant ⁻¹)	B	C	C	B	B	A
Akumulacja azotu w nadziemnej części rośliny (mg-rośl. ⁻¹) Nitrogen content in above-ground part of plant (mg-plant ⁻¹)	B	C	C	BC	CD	A
Akumulacja azotu w korzeniach (mg-rośl. ⁻¹) Nitrogen content in roots (mg-plant ⁻¹)	BC	D	CD	AB	B	A
Akumulacja azotu w roślinie (mg-rośl. ⁻¹) Nitrogen content in plant (mg-plant ⁻¹)	B	D	CD	B	BC	A
Akumulacja fosforu w nadziemnej części rośliny (mg-rośl. ⁻¹) Phosphorus content in above-ground part of plant (mg-plant ⁻¹)	B	D	D	BCD	C	A
Akumulacja fosforu w korzeniach (mg-rośl. ⁻¹) Phosphorus content in roots (mg-plant ⁻¹)	ABC	D	CD	AB	B	A
Akumulacja fosforu w roślinie (mg-rośl. ⁻¹) Phosphorus content in plant (mg-plant ⁻¹)	B	C	C	B	B	A
Efektywność wykorzystania azotu (mg-mg ⁻¹) Nitrogen utilization efficiency (mg-mg ⁻¹)	C	C	BC	BC	A	AB
Efektywność wykorzystania fosforu (mg-mg ⁻¹) Phosphorus utilization efficiency (mg-mg ⁻¹)	A	A	A	A	A	A
Stadium rozwojowe rośliny Stage of plant development	A	A	A	A	A	A
Stadium rozwojowe kłosa Stage of spike development	A	A	A	A	A	A
Długość kłosa (cm) Spike length (cm)	B	AB	B	AB	A	AB
Szerokość kłosa (mm) Spike width (mm)	B	AB	AB	AB	A	AB
Liczba kłosek w kłosie No. of spikelets per spike	B	B	B	AB	AB	A
Liczba kłosów z kłosem terminalnym No. of spikes with terminal spikelet	B	AB	B	B	A	AB

W przypadku stadium rozwojowego kłosa pędu głównego oraz liczby kłosek w kłosie stwierdzono małą zmienność pomiędzy rodami, niezależnie od miejsca ich pochodzenia. Najwyższą zmienność dla większości badanych cech obserwowano dla rodów pochodzących ze Smolic, a najniższą dla rodów pochodzących z Choryni i z Henrykowa.

Podział badanych rodów na grupy jednorodne procedurą t-Tukeya wykazał brak różnicowania między rodami pochodzącymi z poszczególnych stacji hodowli dla takich cech jak: efektywność wykorzystania fosforu, stadium rozwojowe rośliny i kłosa (tab. 6).

Małe zróżnicowanie między rodami pochodzącymi z różnych stacji hodowlanych stwierdzono w cechach morfologicznych kłosa (długość i szerokość kłosa, liczba kłosek, liczba kłosów z wytworzonym kłoskiem terminalnym).

W obrębie testowanych rodów szczególną uwagę zwrócono na rody odznaczające się wysoką akumulacją i efektywnością wykorzystania azotu i fosforu oraz masą rośliny (tab. 4 i tab. 6). Wartość rodów (określanych daną cechą) wyhodowanych w Henrykowie i Koberzynie, a także w Radzikowie jest przeciętnie wyższa niż rodów ze Smolic i Choryni. Z Koberzynie pochodziła większość rodów odznaczających się wysokimi wartościami badanych cech (tab. 4 i tab. 6).

DYSKUSJA

Wyniki badań własnych wskazują, że ilość składników mineralnych w podłożu (pożywka *versus* pole) wpływała na wartości bezwzględne analizowanych cech. W doświadczeniu fitotronowym rośliny rosły w kulturze wodnej przy obniżonej koncentracji pierwiastków w pożywce (0,5 stężenia pożywki Hoaglanda), a w doświadczeniu polowym przy standardowym poziomie nawożenia NPK. W doświadczeniu fitotronowym uzyskano wyższe wartości współczynników zmienności dla większości badanych cech (z wyjątkiem efektywności wykorzystania azotu i fosforu) niż w doświadczeniu polowym. Uzyskane w tej pracy wyniki potwierdzają wcześniejsze obserwacje dotyczące wpływu stresu, którym jest m.in. niski poziom nawożenia mineralnego na ujawnianie się większych różnic odmianowych w plonie oraz w akumulacji pierwiastków w roślinie (Ciepły i Oracka, 1996, Oracka i in., 2000; Gahoonia i in., 1999).

Uszeregowanie rodów i odmian pszenicy jarej w fazie dojrzałości pełnej (na podstawie masy ziarna) nie było całkowicie zgodne z rankingiem dokonany w fazie strzelania w źdźbło (na podstawie suchej masy rośliny). Dane literaturowe wskazują na różną reakcję genotypów pszenicy i innych zbóż na zróżnicowane dawki nawożenia azotem i fosforem (Ceccarelli, 1996; Ciepły i Oracka, 1994; Fageria i Baligar 1999; Le Gouis i Pluchard, 1996).

Dwa parametry: efektywność pobierania składników mineralnych i efektywność wykorzystania pobranych składników mineralnych przez rośliny określają efektywność pokarmową składników mineralnych (Górny, 1995). Postęp genetyczny w efektywności zużycia azotu u pszenicy może być wyjaśniony różnym udziałem efektywności pobierania i efektywności wykorzystania tego pierwiastka w zależności od czasu wyhodowania

odmiany i poziomu nawożenia (Ortiz-Monasterio i in., 1997). U odmian wyhodowanych w latach 1962–1985 udział efektywności pobierania azotu malał ze wzrostem dawki azotu z 100% (bez nawożenia N) do 33% (300 kg N ha^{-1}), przy równoczesnym wzroście udziału efektywności wykorzystania pobranego azotu (Ortiz-Monasterio i in., 1997). Wielu badaczy sugeruje, że w warunkach niskiego poziomu składników mineralnych w glebie efektywność pobierania ma większe znaczenie niż efektywność wykorzystania danego pierwiastka (Ortiz-Monasterio i in., 1997; Le Gouis i in., 2000; Manske i in., 2001; 2002; Singh i Arora, 2001).

W doświadczeniu polowym (standardowy poziom nawożenia mineralnego) uzyskano istotną korelację między suchą masą rośliny a ilością pobranego azotu ($r = 0,76$) i fosforu ($r = 0,57$). Większe wartości współczynników korelacji dla tej zależności ($r = 0,99$ i $r = 0,96$) otrzymano w doświadczeniu fitotronowym (stężenie pożywki 2-krotnie obniżone). Efektywność pobierania azotu przez rośliny rosnące w warunkach stałego poziomu azotu w podłożu może być wyliczona jako ilość zakumulowanego azotu w roślinie (Youngquist i in., 1992).

Wyniki naszych badań wskazują na istotną zależność między ilością zakumulowanego azotu i fosforu a suchą masą korzeni ($r=0,85$), co jest zgodne z danymi literaturowymi. Bertholdsson (1999) w badaniach polowych i w kulturze wodnej prowadzonych na jęczmieniu wykazał istotną rolę systemu korzeniowego w pobieraniu azotu, zwłaszcza w warunkach niskiego nawożenia tym pierwiastkiem. Z dotychczasowych prac wynika, że wielkość systemu korzeniowego (masa, długość, powierzchnia) i jego sposób rozprzestrzeniania się w glebie są dodatnio skorelowane z wysokością i stabilnością plonu oraz z efektywnością pobierania i wykorzystania składników mineralnych (Baligar i in., 2001; Ciepły i Oracka, 1997 a i b; Horst i in., 1993; Nakamura i in., 2002).

W przeprowadzonym doświadczeniu polowym niektóre rody np.: RAH 1796, KOC 2249/98, KOC 3845/98 odznaczały się wysoką efektywnością wykorzystania azotu i /lub fosforu. Jednocześnie rody te w doświadczeniu fitotronowym, miały dużą masę korzeni, zakumulowały dużo azotu i fosforu w nadziemnej części rośliny i korzeniach. Uzyskane wyniki wskazują, że rody te w warunkach niskiego poziomu nawożenia mineralnego mogą odznaczać się wysoką efektywnością pobierania i wykorzystania (azotu i/lub fosforu). Zmienność pomiędzy 24 odmianami jęczmienia jarego w plonie ziarna, suchej masie roślin i efektywności pobierania (ilość P/roślinę) i wykorzystania fosforu (ilość ziarna na jednostkę pobranego P) stwierdzili Romer i Schenk (1998). Niski plon niektórych odmian jęczmienia był związany z niską efektywnością pobierania i średnią wykorzystania fosforu, a wysoki plon – z dużą efektywnością pobierania i średnią wykorzystania lub średnią efektywnością pobierania i wysoką wykorzystania fosforu. Romer i Schenk (1998) wskazują na możliwość wzrostu plonu ziarna poprzez hodowlę odmian o wysokiej efektywności pobierania i wykorzystania fosforu. Cytowani autorzy wyliczyli, że rośliny o najwyższej efektywności pobierania i wykorzystania tego pierwiastka mogłyby osiągnąć o 27% wyższy plon od średniego plonu z wszystkich badanych odmian.

Wyniki badań z dwu doświadczeń polowego i fitotronowego obejmujące taki sam zestaw genotypów (nowych linii) pszenicy jarej (niezależnie od miejsca wyhodowania danej linii) wskazują na zróżnicowaną genotypowo zmienność analizowanych cech. Na

podstawie analizy wartości najważniejszych cech można dokonać wyboru genotypów odznaczających się wysokimi wartościami efektywności pobierania i wykorzystania pierwiastka (azotu i/lub fosforu), plonu ziarna, współczynnika plonowania rolniczego, współczynnika plonowania dla azotu i dla fosforu. Scharakteryzowane w tej pracyrody pszenicy jarej: RAH 1796, KOC 2249/98, KOC 3845/98 odznaczające się wysoką efektywnością pobierania i wykorzystania azotu i fosforu oraz wysokim i stabilnym plonem ziarna w warunkach niższego poziomu nawożenia mineralnego powinny być włączone do programu(ów) hodowlanych.

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.
- Bertholdsson N. O. 1999. Important selection criteria for high N-use efficiency in wheat and barley. Workshop on N-use efficiency Melle (Belgium), COST 814-Meeting 3–5 June 1999.
- Ceccarelli S. 1996. Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica* 92: 203 — 214.
- Cieply J., Oracka T. 1994. Response of winter triticale plants to different level of mineral elements in solution. *Zesz. Nauk. AR Szczecin Rol.* 162: 29 — 32.
- Cieply J., Oracka T. 1996. Nitrogen utilisation efficiency in winter triticale. *Plant Breed. Seed Sci.* 40 (1/ 2): 117 — 124.
- Cieply J., Oracka T. 1997 a. Uptake and root characters in relation to nutrient utilization efficiency in winter triticale genotypes. *J. Appl. Genet.* 38B: 213 — 217.
- Cieply J., Oracka T. 1997 b. Productivity and N,P,K utilization efficiency and root system characters in winter triticale plants at low level of mineral elements in solution. *Zesz. Nauk. AR Szczecin* 175: 73 — 77.
- Fageria N. K., Baligar V. C. 1999. Phosphorus-use efficiency in wheat genotypes. *J. Plant Nutr.* 22 (2): 331 — 340.
- 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.
- Górny A. G. 1995. Cechy korzeni w hodowli roślin o obniżonych wymaganiach pokarmowych. *Post. Nauk Rol.* 1: 67 — 91.
- Horst W. J., Abdou M., Wiesler F. 1993. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. *Plant Soil* 155/156: 293 — 296.
- Kozdój J., Oracka T., Cieply J. 2003. Analiza stadium organogenezy kłosa pędu głównego pszenicy jarej w fazie strzelania w źdźbło. *Biul. IHAR* 230: 81 — 94.
- Le Gouis J., Pluchard P. 1996. Genetic variation for nitrogen use efficiency in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*, 92 (1/ 2): 221 — 224.
- 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.
- Manske G. G. B., Ortiz-Monasterio J. I., van Ginkel R. M., Gonzalez R. M., Rajaram S., Molina E., Vlek P. L. G. 2000. Traits associated with improved P-uptake efficiency in CIMMYT's semi-dwarf spring bread wheat grown on an acid Andisol in Mexico. *Plant Soil* 221: 189 — 204.
- Manske G. G. B., Ortiz-Monasterio J. I., van Ginkel R. M., Rajaram S., Vlek P. L. G. 2002. Phosphorus use efficiency in tall, semi-dwarf and dwarf near-isogenic lines of spring wheat. *Euphytica* 125: 113 — 119.
- Nakamura T., Adu-Gyamfi J., Yamamoto A., Ishikawa S., Nakano H., Ito O. 2002. Varietal differences in root growth as related to nitrogen uptake by sorghum plants in low-nitrogen environment. *Plant and Soil* 245: 17 — 24.
- Nátrová Z., Jokeš M. 1993. A proposal for a decimal scale of the inflorescence development of wheat. *Rostl. Vyr.* 4:315 — 328.
- Oracka T., Cieply 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.

- Ortiz-Monasterio J. I., Sayre K. D., Rajaram S., McMahon M. 1997. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. *Crop Sci.* 37: 898 — 904.
- Romer W., Schenk H. 1998. Influence of genotype on phosphate uptake and utilization efficiencies in spring barley. *Europ. J. Agron.* 8:215 — 224.
- Singh V. P., Arona A. 2001. Intraspecific variation in nitrogen utilization efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agron. Crop Sci.* 186: 239 — 244.
- Zadoks J. C., Chang T. T., Konzak C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *EUCARPIA Bulletin* 7: 42 — 52.
- Youngquist J. B., Bramelcox P., Maranville J. W. 1992. Evaluation of alternative screening criteria for selecting nitrogen-use efficient genotypes in sorghum. *Crop Sci.* 32 (6): 1310 — 1313.