

SEBASTIAN GARCZYŃSKI
KATARZYNA SOKOŁOWSKA-GARCZYŃSKA
Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR
Oddział Małyszyn w Gorzowie Wielkopolskim

Tolerancja pszenicy twardej na niedobory azotu i fosforu w podłożu w fazie siewki i rośliny dojrzałej

The tolerance of durum wheat to nitrogen and phosphorus deficits in substratum in the seedling and maturity phases

W dwóch doświadczeniach czynnikowych badano wpływ genotypu i poziomu nawożenia na zmienność w efektywności wykorzystania wody, azotu i fosforu, całkowitej długości i głębokości penetracji podłoża przez system korzeniowy oraz tolerancji na obniżone nawożenie NPK. Badania przeprowadzono w fazie rozwoju wegetatywnego i generatywnego wśród dzikich, prymitywnych i uprawnych pszenic tetraploidalnych. Pomiary, dokonane w stadium 4 liścia oraz pełnej dojrzałości, wykazały genotypową specyficzność w odpowiedzi na niedobór składników pokarmowych. Ograniczona dostępność NPK spowodowała w fazie 4 liścia obniżenie indeksów efektywności wykorzystania azotu i fosforu. Natomiast w stadium pełnej dojrzałości skutkowało spadkiem indeksu efektywności wykorzystania fosforu w tworzeniu plonu ziarna oraz podwyższeniem indeksu efektywności wykorzystania fosforu w tworzeniu masy wegetatywnej. Uzyskane wyniki wskazują na pozytywną korelację pomiędzy całkowitą długością systemu korzeniowego i indeksem efektywności wykorzystania azotu w warunkach ograniczonego nawożenia w stadium młodocianym. Nie zaobserwowano żadnych zależności pomiędzy indeksem efektywności wykorzystania azotu i fosforu a tolerancją na stres. Wyniki sugerują kompleksowy wzór odpowiedzi pszenic na warunki ograniczonego nawożenia.

Słowa kluczowe: azot, efektywność wykorzystania, fosfor, pszenica tetraploidalna, tolerancja na stres, woda

Two factorial experiments were performed to evaluate genotype and nutrition effects on the variation in the water, nitrogen and phosphorus use efficiencies, total size and penetration depth of the root system and tolerance to reduced NPK nutrition. The investigation was performed at the vegetative and reproductive growth stages among wild, primitive and cultivated tetraploid wheats. Measurements performed at the 4-leaf and full maturity growth stages revealed genotypically specific responses to the nutrient shortages. The limited nutrient supply caused considerable reductions in indices of nitrogen and phosphorus use efficiencies at the 4-leaf growth stage. However, at maturity, there was a decrease of the index of phosphorus use efficiency for grain yield and increase of the index of phosphorus use efficiency for vegetative mass formation. The obtained results suggest a positive correlation between total size of the root system and index of nitrogen use efficiency under reduced nutrition at the juvenile

growth stage. However, no close associations were noticed between indices of nitrogen and phosphorus use efficiencies and stress tolerance. The results indicated complex pattern of wheat's response to limitation of nutrients.

Key words: nitrogen, phosphorus, stress tolerance, tetraploid wheat, use efficiency, water

WSTĘP

Pszenica twarda (*Triticum durum* Desf.) jest często uprawiana w rejonach o ograniczonej dostępności wody i składników pokarmowych. Podstawowe cele programów hodowlanych dotyczących tego gatunku to poprawa jakości i wartości technologicznej ziarna oraz wzrost odporności na choroby. Wielu ekspertów sądzi, że kolejnym kryterium hodowlanym powinna być selekcja w kierunku poprawy efektywności wykorzystania zasobów gleby oraz lepszej adaptacji roślin do specyficznych warunków środowiska (Fabriani i Lintas, 1988). W obrębie pszenic tetraploidalnych poznano dużą liczbę odmian botanicznych i uprawnych, różniących się zarówno cechami morfologicznymi, jak i gospodarczymi. Brakuje jednak informacji dotyczących źródeł odporności na niekorzystne warunki glebowo-klimatyczne.

Celem podjętych badań było określenie:

- efektywności wykorzystania azotu, fosforu i wody przez formy naturalne (*T. dicoccoides*), prymitywne (*T. dicoccum*) i uprawne (*T. durum*) pszenic tetraploidalnych w warunkach niedoboru składników pokarmowych NPK w fazie siewki i rośliny dojrzałej;
- zakresu zmienności badanych form pszenicy tetraploidalnej pod względem tolerancji na niedobory azotu i fosforu w/w fazach rozwoju;
- korelacji między efektywnością wykorzystania składników pokarmowych i wody przez rośliny oraz wielkością ich systemu korzeniowego.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badań stanowiły różniące się pochodzeniem odmiany i linie jarej pszenicy twardej *T. durum* wraz z ich dzikim przodkiem *T. dicoccoides* oraz jego prymitywną formą hodowaną *T. dicoccum* (tab. 1) Zostały one udostępnione autorom przez IHAR Radzików, AR Lublin oraz IGR PAN w Poznaniu, gdzie wykonano również wszystkie prace doświadczalne.

Doświadczenie 1

Wybrane formy pszenicy tetraploidalnej badano w dwuczynnikowym doświadczeniu wazonowym [wazon 9 dm³, ziemia piaszczysto-gliniasta: torf (1:1), pH = 6,8] w układzie kompletnie zrandomizowanym (10 genotypów, 3 powtórzenia, 2 poziomy nawożenia NPK). Doświadczenie przeprowadzono w szklarni fitotronowej w warunkach częściowo kontrolowanych (fotoperiod: 12–18,5 h, temperatura: 9–30/4–17°C dzień/noc, wilgotność podłoża: 70% ppw utrzymywana na stałym poziomie w trakcie całego okresu wegetacji poprzez codzienne ważenie wazonów na wadze laboratoryjnej, monitorowanie ilości wytranspirowanej wody i uzupełnienie ubytku wagi wodą dejonizowaną). Odpowiednią ilość energii fotosyntetycznie czynnej PAR uzyskano przez zastosowanie 400 W lamp

sodowych i rtęciowych, zapewniających $400\text{--}800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$. W celu wyeliminowania niekontrolowanego ubytku wody w formie parowania powierzchniowego powierzchnię podłoża przykryto 2 cm warstwą perlitu. Zastosowano dwa poziomy nawożenia roślin w formie roztworów wodnych łatwo rozpuszczalnych soli: wysoki (215 N: 125 P: 210 K $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ podłoża); obniżony (150 N: 100 P: 140 K $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ podłoża). Pozostałe niezbędne pierwiastki dodano do roztworów do uzyskania wartości optymalnych.

Doświadczenie 2

W celu zbadania systemu korzeniowego roślin założono dwuczynnikowe doświadczenie wazonowe [wazony 50 cm wysokości, pojemność $1,9 \text{ dm}^3$, piasek: wermikulit (2:1)] w układzie kompletnie zrandomizowanym (7 genotypów, 3 powtórzenia, 2 poziomy nawożenia NPK). Doświadczenie przeprowadzono w szklarni fitotronowej (rośliny zebrano po 27 dniach; w fazie 4 liścia) w warunkach ściśle kontrolowanych (fotoperiod: 12–13 godzin, temperatura: 11–14/9–11°C dzień/noc). Zastosowano dwa poziomy nawożenia mineralnego stosując zmodyfikowaną pożywkę Long-Ashton. Kombinację kontrolną podlewano pożywką zapewniającą optymalny rozwój roślin (10,0 mM N w postaci NO_3^- , 1,33 mM P, 2,0 mM K, 4,0 mM Ca, 1,5 mM Mg, 1,5 mM S, 1,33 mM Na, 0,1 mM Fe w postaci Fe-EDTA oraz mikroelementy). W kombinacji stresowej ograniczono stężenia podstawowych składników pokarmowych do 1/6 N, 1/10 P, 1/6 K w stosunku do kontroli. Pomiaru całkowitej długości systemu korzeniowego (cdk) i głębokości penetracji profilu podłoża przez korzenie (gp) dokonano za pomocą aparatury Delta-T Image Analysis System (Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK).

Pomiar ilości wytranspirowanej wody (WT, dm^3) oraz suchej masy części wegetatywnych (WEG, g) i generatywnych (GEN, g) roślin pozwolił na ocenę efektywności wykorzystania wody (WUE, $\text{mg}\cdot\text{mol}^{-1}$) w tworzeniu masy wegetatywnej ($\text{WUE}_{\text{weg}} = \text{WEG}^{-1}\cdot\text{WT}$) i plonu ziarna ($\text{WUE}_{\text{gen}} = \text{GEN}^{-1}\cdot\text{WT}$). Efektywność wykorzystania azotu i fosforu szacowano za pomocą indeksów efektywności wykorzystania (NUE , $\text{g}^2\cdot\text{g}^{-1}\text{N}$; PUE , $\text{g}^2\cdot\text{g}^{-1}\text{P}$) na podstawie metody Siddiqi i Glassa (1981). Indeksy efektywności wykorzystania zostały zastosowane w celu zwrócenia szczególnej uwagi na genotypy efektywne i jednocześnie wysoko plonujące. Obliczenia przeprowadzono zarówno w stosunku do plonu ziarna ($\text{NUE}_{\text{gen}} = \text{GEN}^2\cdot\text{N}^{-1}$, $\text{PUE}_{\text{gen}} = \text{GEN}^2\cdot\text{P}^{-1}$), jak i dla masy wegetatywnej roślin ($\text{NUE}_{\text{weg}} = \text{WEG}^2\cdot\text{N}^{-1}$, $\text{PUE}_{\text{weg}} = \text{WEG}^2\cdot\text{P}^{-1}$). Na podstawie suchej masy generatywnej i wegetatywnej roślin poddanych stresowi i roślin kontrolnych wyliczono indeksy poziomu tolerancji na stres ograniczonego nawożenia (T). Obliczenia przeprowadzono dla masy wegetatywnej (T_{weg}) i plonu ziarna (T_{gen}). Indeksy tolerancji zostały oszacowane dla każdego genotypu zmodyfikowaną metodą Fischera i Maurera (1978) według wzoru:

$$T = \left(\frac{Li/Hi}{D} \right)$$

gdzie Li i Hi są plonami suchej masy generatywnej lub wegetatywnej w warunkach stresu (Li) i w warunkach kontrolnych (Hi), natomiast

$$D = \left(\frac{\bar{x}L}{\bar{x}H} \right)$$

jest miarą intensywności stresu zastosowanego w doświadczeniu, który oszacowano na podstawie średnich ogólnych dla wszystkich genotypów. Wyniki doświadczenia opracowano za pomocą pakietu statystycznego MSTAT-C (Michigan State University).

Tabela 1

Typ i pochodzenie badanych genotypów
Type and origin of the examined genotypes

Genotyp Genotype	Skrót nazwy Short name*	Typ Type	Pochodzenie Origin	Kolekcja; Collection
<i>T. dicoccoides</i>	ddes	dziki; wild	Hiszpania; Spain	IGR PAN, Poznań
<i>T. dicocum</i>	dcum	prymitywny; primitive	Hiszpania; Spain	IGR PAN, Poznań
Flodur	flod	odmiana uprawna; cultivar	Francja; France	IHAR, Radzików
Almocreve	alm	odmiana uprawna; cultivar	Portugalia; Portugal	IHAR, Radzików
LGR 17/773/90/1	LGR	linia hodowlana; breeding line	Polska; Poland	AR, Lublin
Jakob	jak	odmiana uprawna; cultivar	Niemcy; Germany	IHAR, Radzików
Langdon	ldn	odmiana uprawna; cultivar	USA	IGR PAN, Poznań
Kyle	kyle	odmiana uprawna; cultivar	Kanada; Canada	IHAR, Radzików
Elektra	elek	odmiana uprawna; cultivar	Grecja; Greece	IHAR, Radzików
Enduro	end	odmiana uprawna; cultivar	Niemcy; Germany	IHAR, Radzików

* - Skrótów nazw stosowane na rys. 1, rys. 2, rys. 3, rys. 4, rys. 5; Used also in the figures 1–5

WYNIKI I DYSKUSJA

Efektywność wykorzystania wody i makroelementów NPK oraz adaptacja do niekorzystnych warunków środowiska, jako cechy związane z szeregiem morfologiczno-fizjologicznych właściwości, posiadają złożone podłoże genetyczne. Wysoka efektywność wykorzystania wody i soli mineralnych w tworzeniu plonu, znaczne rozmiary systemu korzeniowego oraz jego fizjologiczna sprawność, traktowane są jako wyznaczniki zadowalającego potencjału plonowania roślin w mniej korzystnych warunkach siedliskowych (Górny i Garczyński, 2002). Istnieje wiele doniesień na temat genotypowego zróżnicowania efektywności wykorzystania azotu, fosforu i potasu przez pszenicę, jęczmień, kukurydzę i pszenżyto (Memon i in., 1985; Pan i in., 1985; Ciepły i Oracka, 1996; Gouis i in., 2000). Zaobserwowano również znaczne odmianowe różnice w wielkościach systemów korzeniowych.

W badaniach autorów genotypy pszenicy reprezentowały szeroką zmienność genetyczną w zakresie wszystkich analizowanych cech zarówno w stadium młodocianym (tab. 2), jak i w późniejszym okresie rozwoju (tab. 3). Jedynie dla całkowitej długości systemu korzeniowego zróżnicowanie to podlegało istotnym efektom interakcji genotyp-poziom nawożenia. Dla pozostałych cech reakcja badanych genotypów pszenicy na obniżone nawożenie nie okazała się specyficzna. Wpływ obniżonego nawożenia spowodował większe zmiany analizowanych cech roślin w stadium młodocianym niż, w fazie rośliny dojrzałej. Zastosowane warunki stresowe spowodowały w fazie 4 liścia spadek masy vegetatywnej o 41%, indeksu efektywności wykorzystania azotu o 31% i fosforu o 11%

oraz wzrost całkowitej długości systemu korzeniowego o 54% i głębokości penetracji profilu podłoża o 8%. Zwiększenie wielkości systemu korzeniowego w warunkach obniżonego nawożenia jako efekt zmian w dystrybucji asymilatów pomiędzy częścią nadziemną i korzeniami roślin pod wpływem stresu znajduje potwierdzenie w doniesieniach wielu autorów (Robinson, 1994; Rzepka-Plevneš i in., 1997). Odmiany reagujące plastycznie w warunkach niedoboru określonego składnika pokarmowego poprzez stworzenie odpowiednio silnie rozbudowanego systemu korzeniowego wydają się być najbardziej pożądane w gospodarce o obniżonych nakładach na środki produkcji. Podobnie w warunkach suszy wskazuje się na duże znaczenie selekcji w kierunku wytworzenia odpowiednio rozbudowanego i fizjologicznie sprawnego systemu korzeniowego.

W stadium pełnej dojrzałości roślin w warunkach zastosowanego stresu zaobserwowano ograniczenie masy wegetatywnej o 16% i plonu o 17% oraz spadek indeksu efektywności wykorzystania fosforu w tworzeniu plonu ziarna o 13% i wzrost indeksu efektywności wykorzystania fosforu w tworzeniu masy wegetatywnej o 44%. Zastosowane warunki stresowe nie wpłynęły istotnie na efektywność wykorzystania wody i indeks efektywności wykorzystania azotu, zarówno w stosunku do masy wegetatywnej, jak i plonu ziarna.

Tabela 2

Średni wpływ genotypu i poziomu nawożenia na zmienność suchej masy wegetatywnej (WEG), indeksów efektywności wykorzystania azotu (NUE) i fosforu (PUE), całkowitej długości (cdk) i głębokości penetracji (gp) podłoża przez system korzeniowy oraz indeksu tolerancji obniżonego nawożenia (T) w fazie 4 liścia

Mean genotypic and nutrition effects on the variation in vegetative dry matter (WEG), indices of nitrogen (NUE) and phosphorus (PUE) use efficiencies, total size (cdk) and penetration depth (gp) of the root system and index of tolerance to nutrient shortage (T) at the 4-leaf stage

Źródło zmienności Variation source	WEG (g)	NUE (kg ² ·kg ⁻¹ N)	PUE (kg ² ·kg ⁻¹ P)	cdk (cm)	gp (cm)	T
<i>T. dicoccoides</i>	0,381	8,49	56,9	2075	51,8	0,92
Flodur	0,410	9,35	45,5	2460	54,2	0,93
Almocreve	0,319	7,72	41,8	2398	50,7	1,00
LGR 17/773/90/1	0,405	9,08	56,5	2841	51,0	1,01
Jakob	0,406	8,86	45,1	2459	52,7	1,07
Langdon	0,448	10,44	61,0	3053	52,5	0,99
Kyle	0,403	8,91	49,0	2674	53,2	1,09
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	0,019	1,20	6,8	347	1,9	—
Nawożenie — Fertilization						
Wysokie NPK — High NPK	0,497	10,62	53,7	2024	50,2	—
Niskie NPK — Low NPK	0,295	7,34	47,9	3107	54,3	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	0,036	0,64	3,7	185	1,0	—

Odmiany charakteryzujące się najmniejszym spadkiem plonu w zastosowanych warunkach stresowych jednocześnie najniżej plonowały w analizowanej grupie roślin. Niemiecka odmiana pszenicy twardej Jakob okazała się najbardziej tolerancyjna na obniżone nawożenie, zarówno w stadium młodocianym, jak i w pełnej dojrzałości. Równocześnie uzyskano dla niej najniższy plon ziarna oraz była odmianą mało efektywnie wykorzystującą azot i fosfor, zwłaszcza w stadium pełnej dojrzałości (tab. 2, 3).

Tabela 3

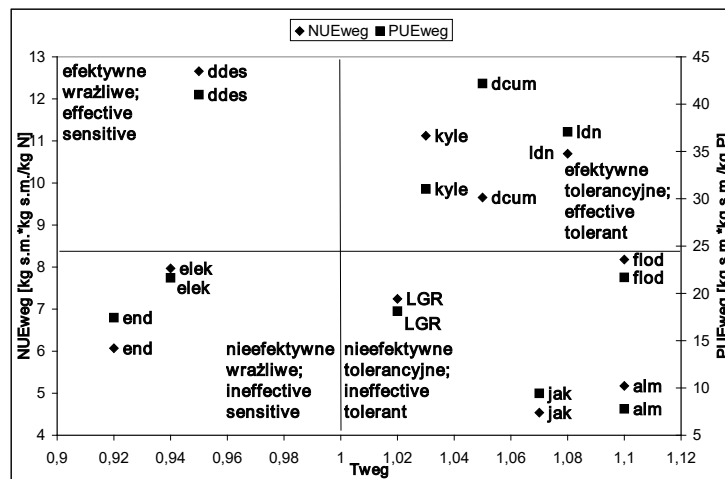
Średni wpływ genotypu i poziomu nawożenia na zmienność suchej masy vegetatywnej (WEG), plonu ziarna (GEN), efektywności wykorzystania wody (WUE), indeksów efektywności wykorzystania azotu (NUEweg; NUEgen) i fosforu (PUEweg; PUEgen) w tworzeniu masy vegetatywnej i plonu ziarna oraz indeksy tolerancji obniżonego nawożenia dla masy vegetatywnej (Tweg) i plonu ziarna (Tgen)

Mean genotypic and nutrition effects on the variation in vegetative dry mater (WEG) and grain yield (GEN), water use efficiency (WUE), indices of nitrogen (NUEweg; NUEgen) and phosphorus (PUEweg; PUEgen) use efficiencies in the vegetative and grain mass formation and vegetative (Tweg) and generative (Tgen) indices of tolerance to nutrient shortage

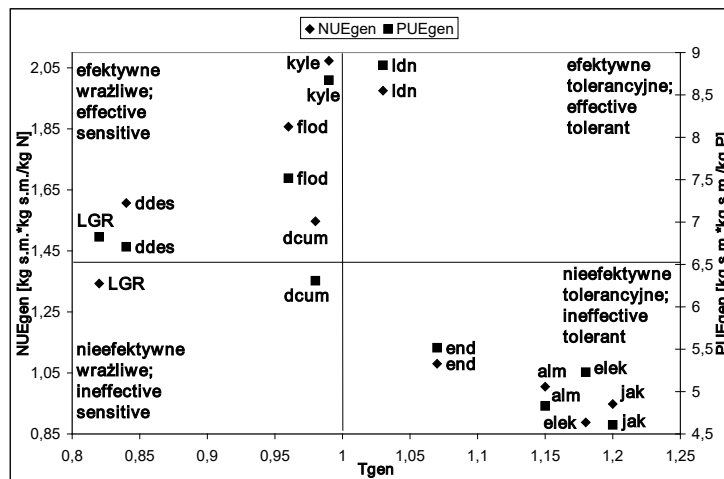
Źródło zmienności Variation source	WEG g	GEN g	WUEweg mg·mol ⁻¹	WUEgen mg·mol ⁻¹	NUEweg kg ² ·kg ⁻¹ N	NUEgen kg ² ·kg ⁻¹ N	PUEweg kg ² ·kg ⁻¹ P	PUEgen kg ² ·kg ⁻¹ P	Tweg	Tgen
<i>T. dicoccoides</i>	68,4	37,0	38,5	20,7	12,66	1,607	41,0	6,71	0,95	0,84
<i>T. dicoccum</i>	56,4	35,1	36,1	22,2	9,66	1,547	42,2	6,31	1,05	0,98
Flodur	47,0	39,8	31,4	26,4	8,18	1,857	21,7	7,52	1,10	0,96
Almocreve	35,3	25,9	26,7	19,6	5,17	1,005	7,8	4,83	1,10	1,15
LGR 17/773/90/1	44,1	35,3	31,2	24,6	7,24	1,343	18,1	6,83	1,02	0,82
Jakob	39,5	25,2	32,2	20,8	4,54	0,948	9,4	4,61	1,07	1,20
Langdon	56,7	42,9	37,4	28,3	10,70	1,975	37,1	8,85	1,08	1,03
Kyle	54,3	44,5	35,8	29,4	11,13	2,073	31,0	8,68	1,03	0,99
Elektra	51,0	26,8	38,1	20,1	7,97	0,888	21,6	5,23	0,94	1,18
Enduro	43,5	28,2	29,4	19,1	6,07	1,080	17,4	5,52	0,92	1,07
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	4,1	5,5	1,7	2,7	1,33	0,279	6,9	1,40	—	—
Nawożenie — Fertilization										
Wysokie NPK High NPK	54,0	37,3	33,7	23,2	8,58	1,438	20,3	6,96	—	—
Niskie NPK Low NPK	45,3	30,8	33,7	23,0	8,08	1,427	29,2	6,05	—	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	1,8	2,5	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	3,1	0,63	—	—

r.n. — Różnice nieistotne, Differences not significant

Sugeruje to przynajmniej częściowo niezależny sposób dziedziczenia się efektywności i tolerancji i związaną z tym możliwość poszukiwania rekombinantów łączących w sobie obie pożądane cechy. Odpowiedź roślin na ograniczone nawożenie może się różnić w poszczególnych fazach rozwoju. Dziki gatunek *T. dicoccoides* oraz kanadyjska odmiana Kyle w stadium pełnej dojrzałości najefektywniej wykorzystywały azot w tworzeniu masy vegetatywnej. Natomiast na etapie siewki odmiany te charakteryzowały się jedynie umiarkowaną efektywnością. Amerykańska odmiana Langdon jako jedyna była genotypem zarówno tolerancyjnym jak i efektywnie wykorzystującym azot i fosfor w tworzeniu plonu ziarna (rys. 2). Ponadto odmiana ta w stadium 4 liścia posiadała najlepiej rozwinięty system korzeniowy oraz charakteryzowała się najwyższą efektywnością wykorzystania azotu i fosforu (tab. 2). Obie odmiany z Ameryki Północnej oraz *T. dicoccum* okazały się w stadium pełnej dojrzałości tolerancyjne oraz efektywnie wykorzystujące azot i fosfor w tworzeniu masy vegetatywnej roślin (rys. 1). Wysoka efektywność i tolerancja odmian Langdon i Kyle powiązane były z najwyższym plonem spośród analizowanej grupy roślin (tab. 3).



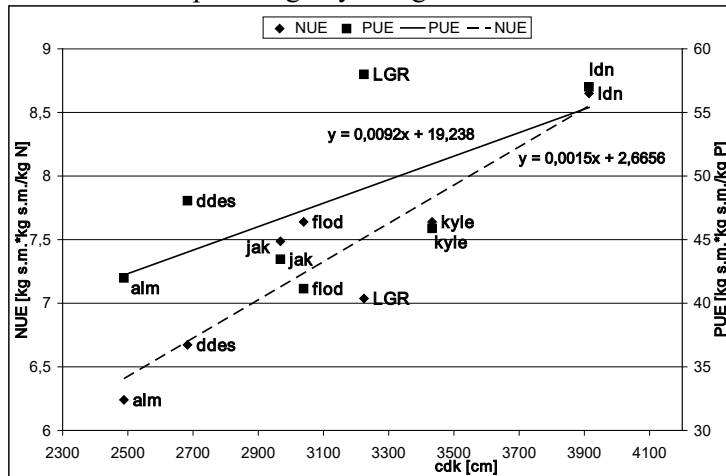
Rys. 1. Zależność pomiędzy tolerancją na obniżone nawożenie (T_{gen}) a indeksami efektywności wykorzystania azotu (NUE_{gen}) i fosforu (PUE_{gen}) w tworzeniu plonu ziarna
 Fig. 1. Relationships between tolerance to low nutrition (T_{gen}) and indices of nitrogen (NUE_{gen}) and phosphorus (PUE_{gen}) use efficiencies for the grain mass formation



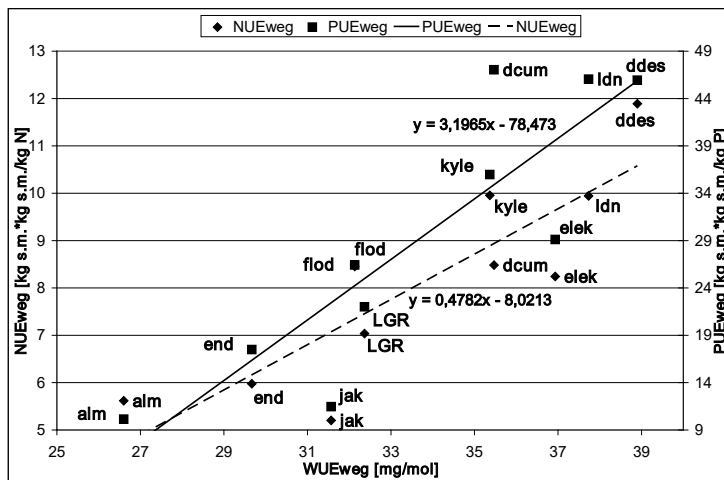
Rys. 2. Zależność pomiędzy tolerancją na obniżone nawożenie (T_{gen}) a indeksami efektywności wykorzystania azotu (NUE_{gen}) i fosforu (PUE_{gen}) w tworzeniu masy wegetatywnej
 Fig. 2. Relationships between tolerance to low nutrition (T_{gen}) and indices of nitrogen (NUE_{gen}) and phosphorus (PUE_{gen}) use efficiencies for the vegetative mass formation

Zróznicowanie genotypowe w efektywności wykorzystania azotu i fosforu jest spowodowane między innymi różnicami w wielkości systemu korzeniowego (Polle, Konzak, 1990, Sattelmacher i in., 1994). W doświadczeniu autorów stwierdzono istotną pozytywną współzależność ($P = 0,01$) pomiędzy całkowitą długością systemu korzeniowego młodocianych roślin a indeksem efektywności wykorzystania azotu w warunkach obniżonego nawożenia (rys. 3). Korelacja ta istnieje tylko w zastosowanych warunkach

stresowych, co wskazuje na modyfikujący wpływ środowiska na zaobserwowane zależności. Jednakże poza genetycznymi różnicami w morfologii systemu korzeniowego efektywność wykorzystania składników pokarmowych przez rośliny jest również warunkowana szybkością wzrostu, efektywnością pobierania i transportu składników oraz dystrybucją pierwiastków do poszczególnych organów.

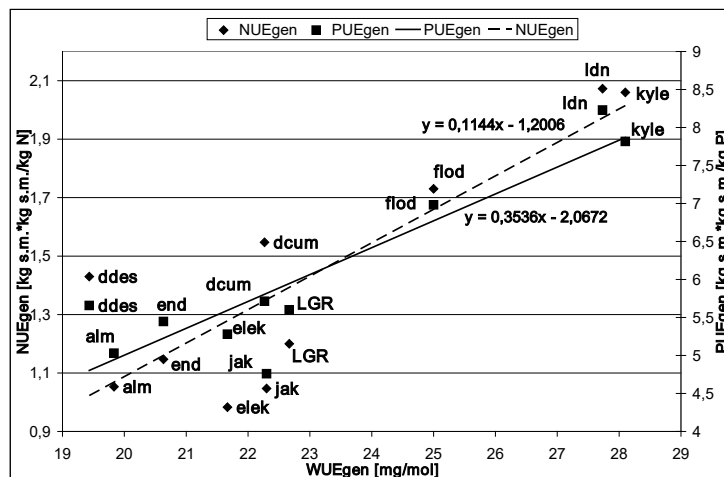


Rys. 3. Zależność pomiędzy całkowitą długością systemu korzeniowego (cdk) a indeksami efektywności wykorzystania azotu (NUE) i fosforu (PUE) w warunkach obniżonego nawożenia w stadium 4 liścia
 Fig. 3. Relationship between total root length (cdk) and indices of nitrogen (NUE) and phosphorus (PUE) use efficiencies in the conditions of nutrient shortage at the 4-leaf stage



Rys. 4. Zależność pomiędzy efektywnością wykorzystania wody (WUEweg) a indeksami efektywności wykorzystania azotu (NUEweg) i fosforu (PUEweg) w tworzeniu masy roślinnej w warunkach obniżonego nawożenia
 Fig. 4. Relationship between water use efficiency (WUEweg) and indices of nitrogen (NUEweg) and phosphorus (PUEweg) use efficiencies for the vegetative mass formation under reduced nutrition

Wyniki badań wskazują na ścisły pozytywny związek ($P = 0,01$) pomiędzy efektywnością wykorzystania wody a indeksem efektywności wykorzystania azotu i fosforu (rys. 4, 5). W zastosowanych warunkach stresowych zależność ta staje się jeszcze bardziej istotna. W obu doświadczeniach, podobnie jak w literaturze dotyczącej prac nad owsem i jęczmieniem (Górny i Szołkowska, 1996; Górny, 2001), nie zaobserwowano istotnych zależności pomiędzy tolerancją na obniżone zaopatrzenie w składniki pokarmowe, a efektywnością wykorzystania azotu, fosforu i wody.



Rys. 5. Zależność pomiędzy efektywnością wykorzystania wody (WUEgen) a indeksami efektywności wykorzystania azotu (NUEgen) i fosforu (PUEgen) w tworzeniu plonu ziarna w warunkach obniżonego nawożenia

Fig. 5. Relationship between water use efficiency (WUEgen) and indices of nitrogen (NUEgen) and phosphorus (PUEgen) use efficiencies for the grain mass formation under reduced nutrition

WNIOSKI

1. Szeroka genotypowa zmienność w obrębie pszenic tetraploidalnych w efektywności wykorzystania składników pokarmowych i wody oraz tolerancji na stres, wskazuje na możliwą selekcję w kierunku wyhodowania genotypów lepiej zaadaptowanych do warunków obniżonego nawożenia.
2. Nie znaleziono żadnych zależności pomiędzy tolerancją na stres niedoboru składników pokarmowych i cechami warunkującymi efektywne wykorzystanie azotu, fosforu i wody. W związku z tym można wnioskować, że nie istnieje żadna pojedyncza cecha lub mechanizm, który by przesądzał o kompleksowej adaptacji pszenicy twardej do warunków ograniczonego nawożenia. Programy selekcyjno-hodowlane nakierowane na znalezienie form o obniżonych wymaganiach glebowych powinny obejmować kompleks cech morfologiczno-fizjologicznych zarówno części nadziemnej, jak i systemu korzeniowego.

3. Odmiany Langdon i Kyle, charakteryzujące się wysoką efektywnością wykorzystania składników pokarmowych, zwłaszcza w warunkach stresowych i ponadprzeciętną tolerancją na warunki obniżonego nawożenia, mogą stanowić materiał do krzyżowań z nowoczesnymi, dobrze plonującymi odmianami.
4. Wysoce istotna pozytywna korelacja pomiędzy efektywnością wykorzystania wody a indeksami efektywności wykorzystania azotu i fosforu (zwłaszcza w warunkach obniżonego nawożenia) wskazuje na możliwą jednoczesną selekcję na efektywne wykorzystanie tych podstawowych zasobów gleby

LITERATURA

- Cieplý J., Oracka T. 1996. Nitrogen utilisation efficiency in winter triticale. *Plant Breed. Seed Sci.* 40, 1/2: 117 — 130.
- Fabriani G., Lintas G. (ed). 1988. Durum wheat: chemistry and technology. Am. Ass. of Cereal Chemists. Inc. St. Paul, Minnesota, USA.
- Fischer A., Maurer R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Austr. J. Agric. Res.* 29: 897 — 912.
- Gouis Le J., Béghin D., Heumez E., Pluchard P. 2000. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. *Eur. J. Agron.* 12: 163 — 173.
- Górny A. G. 2001. Variation in utilization efficiency and tolerance to reduced water and nitrogen supply among wild and cultivated barleys. *Euphytica* 117: 59 — 66.
- Górny A., Garczyński S. 2002. Water use efficiency and response to nutrient shortage in mature plants of *Aegilops* and *Triticum* species. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 481: 303 — 313.
- Górny A., Szołkowska A. 1996. Effects of selection for more vigorous seminal roots in two cross populations of oat (*Avena sativa* L.). *J. Appl. Genet.* 37, 4: 331 — 344.
- Memon A. R., Siddigi M. Y., Glass A. D. M. 1985. Efficiency of K⁺ utilization by barley varieties: activation of pyruvate kinase. *Jour. Exper. Botany* 36, 162: 79 — 90.
- Pan W. L., Jackson W. A., Moll R. H. 1985. Nitrate uptake and partitioning by corn (*Zea mays* L.) root systems and associated morphological differences among genotypes and stages of root development. *J. Exper. Botany* 36, 170: 1341 — 1351.
- Polle E. A., Konzak C. F. 1990. Genetic and breeding of cereals for acid soils and nutrient efficiency. In: *Crops as Enhancers of Nutrient Use*. Baligar V. C., Duncan R. R. (red.). Academic, San Diego, USA.
- Robinson D. 1994. The response of plants to non-uniform supplies of nutrients. *New Phytologist* 127: 635 — 674.
- Rzepka-Plevneš D., Marciniak H., Śmiech M. 1997. Ocena tolerancyjności linii wsobnych żyta (*S. cereale* L.) na niedobory pokarmowe testem *in vitro*. *Biul. IHAR* 203: 137 — 146.
- Sattelmacher B., Horst WJ, Becker HC. 1994. Factors that contribute to genetic variation for nutrient efficiency of crop plants. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 157: 215 — 224.
- Siddiqi M., Glass A. 1981. Utilization index: A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutr.* 4: 289 — 302.