

ANDRZEJ G. GÓRNY  
*Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu*

## SYSTEM KORZENIOWY ZBÓŻ JAKO OBIEKT BADAŃ GENETYCZNO-HODOWLANYCH

System korzeniowy odgrywa decydującą rolę w rozwoju i plonowaniu pędu. Nasza wiedza o zmienności genetycznej systemu korzeniowego i mechanizmach dziedziczenia jego cech jest jednak bardzo ograniczona. Na temat dziedziczenia cech pędu wiemy nieporównywalnie więcej, ponieważ genetycy i hodowcy zwracają swoją uwagę przede wszystkim na część nadziemną, bezpośrednio związaną z plonem. Ocena materiałów hodowlanych pod względem cech systemu korzeniowego nie jest stosowana, do czego przyczyniają się trudności metodyczne, czaso- i pracochłonność takich badań oraz fakt, że system korzeniowy ma bezpośrednią wartość ekonomiczną tylko u niewielu gatunków uprawnych.

Hodowcy zbóż napotykają często w swej pracy na swoistą barierę, hamującą postęp, a związaną z ograniczonym zakresem zmienności cech. Postęp w selekcji nowych, wysokoplennych odmian uprawnych jest w tej sytuacji uwarunkowany zastosowaniem nowych metod badawczych. Coraz powszechniejszy jest pogląd o tym, że zwrócenie większej uwagi na system korzeniowy roślin może ułatwić przekroczenie wspomnianej bariery. Ostatnie kilkanaście lat to okres rosnącego zainteresowania zmiennością systemu korzeniowego roślin uprawnych, a szczególnie roślin zbożowych. Przodujące ośrodki ZSRR, Indii, Kanady, USA i wielu innych krajów, prowadzą badania, których celem jest poznanie zmienności genetycznej systemu korzeniowego i jej wykorzystanie w praktyce. Również w Polsce, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin koordynuje od kilku lat takie badania. Wyniki tych prac są zachęcające, w literaturze światowej pojawiają się nawet opinie o powstawaniu nowego kierunku hodowlanego, który można by określić mianem „hodowli korzeniowej”. Być może, że są to opinie jeszcze przedwczesne i bardzo optymistyczne, nie ulega jednak wątpliwości, że problem genetyki i selekcji systemu korzeniowego roślin zasługuje już dzisiaj na naszą uwagę.

### *System korzeniowy a zmienność środowiska*

Synteza związków organicznych, absorbcja wody i soli mineralnych oraz wzajemna wymiana tych związków między częścią nadziemną

a systemem korzeniowym — to podstawowe procesy życiowe rośliny. Taka współzależność pędu i systemu korzeniowego sprawia, że szczególne rozpoznanie i wyjaśnienie zjawisk zachodzących w części nadziemnej powinno być prowadzone wówczas, gdy brane są również pod uwagę zjawiska zachodzące w systemie korzeniowym. Współzależność ta podlega jednak pewnym wahaniom — jest regulowana i modyfikowana przez mechanizmy genetyczne i środowiskowe.

Jest rzeczą zrozumiałą, że inne czynniki środowiska będą miały bezpośredni wpływ na rozwój pędu, a inne na rozwój systemu korzeniowego. Większość z nich będzie miała również pośredni wpływ na te organy. Na przykład, przy zmniejszonej intensywności światła (zacienienie), jego czerwonej barwie lub w wyższych temperaturach otoczenia, a więc w warunkach raczej sprzyjających wegetatywnemu wzrostowi pędu, rozwój korzeni będzie słabszy, penetracja gleby — wolniejsza, zdolności konkurencyjne i odporność systemu korzeniowego na suszę będą osłabione a stosunek pęd — system korzeniowy wzrośnie [12, 48, 62]. Im silniejszy więc będzie ujemny wpływ środowiska na system korzeniowy, tym wyższy będzie stosunek masy pęd — system korzeniowy. Stosunek ten jest najczęściej używanym miernikiem zależności między tymi częściami rośliny.

Głównym zadaniem systemu korzeniowego jest absorpcja wody i soli mineralnych z gleby. Rozwój i właściwości fizjologiczne systemu korzeniowego mogą być zatem modyfikowane przede wszystkim przez czynniki glebowe, które można podzielić na trzy główne grupy:

- czynniki chemiczne, związane ze składem chemicznym i kwasowością gleb, poziomem ich nawożenia itp.;
- czynniki fizyczne, związane z typem gleb, ich strukturą, zbitością, techniką uprawy itp.;
- czynniki biologiczne, związane z działalnością flory i fauny glebowej, chorobami itp.;

Podanie powszechnej zasady, definiującej wpływ środowiska naturalnego na rozwój i funkcje systemu korzeniowego oraz współzależność pęd — system korzeniowy, jest praktycznie niemożliwe. Zmienność czynników środowiska i różnorodność ich kombinacji powodują, że interakcja lub korelacja systemu korzeniowego ze środowiskiem to zjawisko niezwykle złożone, trudne w interpretacji i nadal słabo poznane. Omówimy zatem krótko tylko najważniejsze z tych czynników. Dokładniejsze dane na ten temat można znaleźć w książkach Russela [62], Torreya i Clarksona [70] oraz Whittingtona [75].

Poziom nawożenia jest jednym z ważniejszych czynników determinujących rozwój systemu korzeniowego. Przy rosnących dawkach azotu stymulowany jest nie tylko rozwój pędu, ale również rozwój systemu

korzeniowego, przy czym efekt ten występuje zwłaszcza w wierzchnich warstwach gleby. W jej głębszych partiach obserwować można pewną redukcję rozwoju korzeni. Jeśli zawartość fosforu i wody w glebie jest wówczas dostateczna, to stosunek pęd — system korzeniowy wzrośnie, natomiast wobec ich braku — zmaleje. Reakcja systemu korzeniowego na niski poziom nawożenia fosforem i potasem polega najczęściej na wzroście liczby korzeni bocznych, a ogólnie niski poziom nawożenia powoduje, że wykształcany jest ekstensywny typ systemu korzeniowego, zapewniający roślinie większą tolerancję braku soli mineralnych. Rozkład systemu korzeniowego i wykorzystanie substancji pokarmowych są częściowo uzależnione od sposobu i głębokości rozmieszczenia nawozów w glebie. Jeszcze innym czynnikiem jest poziom kwasowości gleby — powszechnie znane jest szkodliwe działanie toksycznych stężeń glinu i manganu na rozwój i funkcjonowanie systemu korzeniowego w glebach kwaśnych.

Wilgotność gleby ma również zasadniczy wpływ na sposób rozwoju systemu korzeniowego i jego aktywność fizjologiczną. Niedostatek wody w glebie wywołuje na ogół silniejszy rozwój systemu korzeniowego, a stosunek pęd — system korzeniowy maleje. W sytuacji tej obserwujemy przede wszystkim silniejszy wzrost korzeni bocznych oraz szybszą i głębszą penetrację gleby. W przypadku zbyt dużych ilości wody i braku tlenu w glebie, następuje wyraźna redukcja systemu korzeniowego.

Temperatura gleby oraz rozkład temperatur w poszczególnych jej warstwach to również ważne czynniki. Ich rola w regulacji i modyfikacji procesów fizjologicznych może być szczególnie istotna. Danych na ten temat jest jednak niewiele. Optymalna temperatura dla systemu korzeniowego jest znacznie niższa niż dla pędu, dlatego też niższe temperatury otoczenia będą zawsze silniej stymulować rozwój systemu korzeniowego i powodować spadek stosunku pęd — system korzeniowy.

Istotny wpływ na rozwój systemu korzeniowego zbóż ma typ gleby oraz technika jej uprawy. Odpowiednia struktura i porowatość gleby będą sprzyjać rozwojowi i aktywności fizjologicznej korzeni. Rozwój korzeni w odleżałej i zbitej glebie będzie silnie ograniczony, ich elongacja będzie wolniejsza, penetracja gleby — płytsza, chociaż gęstość systemu korzeniowego wzrośnie. Podobny efekt wystąpi w przypadku płytkiej uprawy gleby.

Z przytoczonych danych wynika, że rozwój systemu korzeniowego i współzależność pęd — system korzeniowy to kompleks wielu zjawisk, często wzajemnie na siebie zachodzących i modyfikowanych przez różnorodne czynniki. Złożoność tych procesów w warunkach naturalnych sprawia, że zmienność środowiskowa cech systemu korzeniowego jest duża i tym większa, im silniej zróżnicowane jest środowisko. Utrudnia



to w zasadniczy sposób badanie zmienności genetycznej tych cech. Jeszcze do niedawna niektórzy badacze uważali, że wpływ środowiska na zmienność cech korzeniowych jest tak duży, a rola genotypu tak mała, że selekcja na te cechy jest niemożliwa [28, 58, 62]. Przeciwnie temu są poglądy większości, która zakłada istotność zmienności genetycznej oraz wskazuje na możliwość wykorzystania cech korzeniowych w selekcji.

Wydaje się, że główna trudność w tak ukierunkowanej selekcji wiąże się z pewną niedoskonałością metod służących do oceny zmienności genetycznej cech korzeniowych. Jest to szczególnie utrudnione w warunkach naturalnych. Jeśli tylko niektóre czynniki środowiska potrafimy ściśle kontrolować, a roli wielu z nich jeszcze nie znamy, to w badaniach genetyczno-hodowlanych, których celem jest oszacowanie genetycznych i środowiskowych komponentów wariancji cech, konieczne jest prowadzenie analiz wobec odpowiednio dobranych, a przy tym stałych warunków glebowo-klimatycznych. Zestaw ciągle niedoskonałych metod oraz pracochłonność tych badań powodują, że ilość czynników stosowanych i kombinowanych z sobą musi być ograniczona. Rozwiązanie metodycznej strony badań systemu korzeniowego wymaga więc jeszcze wielu opracowań. Większość stosowanych dzisiaj metod posiada pewne wady, które mogą uniemożliwić ich ewentualne wykorzystanie w selekcji. Są to często metody drogie i wymagające dużego nakładu pracy. Udoskonalenie tych metod przy współpracy ekologów, fizjologów i hodowców roślin, powinno przyczynić się do dalszego postępu badań w omawianej dziedzinie.

### *Zmienność genetyczna, dziedziczenie cech systemu korzeniowego i możliwości selekcji*

Zdaniem Zobela [78], aż 30% genomu roślinnego jest odpowiedzialne za wzrost i rozwój systemu korzeniowego. Tak duży udział materiału genetycznego, determinującego system korzeniowy, nie powinien być zaskoczeniem; szereg doniesień, wskazujących na bogate spektrum zmienności genetycznej wielu jego morfologicznych i fizjologicznych cech, jest potwierdzeniem słuszności założeń Zobela. Wieloletnie badania systemu korzeniowego zbóż pozwoliły na identyfikację cech podlegających istotnej zmienności genetycznej. W badaniach tych wielokrotnie wskazywano, że odmiany i genotypy różnią się między sobą długością, objętością i wagą systemu korzeniowego, głębokością penetracji i rozkładem korzeni w glebie, stopniem rozgałęzienia korzeni, liczbą włóśników korzeniowych, a często również tempem rozwoju i penetracji gleby [1, 9, 10, 11, 14, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 32, 38, 43, 44, 64, 68, 69, 71, 72, 74, 77]. Autorzy tych



badania niejednokrotnie sugerowali wykorzystanie tej zmienności w procesie selekcji.

Odmiany zbóż można podzielić na dwie grupy: odmiany wykształcające intensywny typ systemu korzeniowego (silny rozwój i rozgałęzienie korzeni w wierzchnich warstwach gleby, ale stosunkowo płytka penetracja gleby) i odmiany o ekstensywnym systemie korzeniowym (stosunkowo słaby rozwój korzeni w wierzchnich warstwach gleby, ale głęboka penetracja gleby). Wiele odmian wysoko plonujących to z reguły odmiany o intensywnym systemie korzeniowym, natomiast odmiany słabiej plonujące to odmiany o ekstensywnym systemie korzeniowym. Dokładna znajomość tej geometrii systemu korzeniowego zbóż stwarza cenną możliwość wcześniejszej i przynajmniej częściowej oceny materiałów hodowlanych pod względem ich przydatności do określonych warunków glebowo-klimatycznych. Selekcja odmian przystosowanych do uprawy w stanowiskach uboższych, słabiej nawożonych, o lżejszej glebie i obniżonej ilości opadów atmosferycznych powinna zmierzać do tworzenia odmian o systemie korzeniowym zbliżonym do typu ekstensywnego, taki bowiem system korzeniowy będzie dobrym gwarantem stabilności ich plonu [31, 64].

W latach sześćdziesiątych, szczególnie duży nacisk na badania systemu korzeniowego położyły kraje, w których głównym czynnikiem limitującym poziom plonowania zbóż jest woda. Prowadzi się je do dzisiaj, a zasadniczym ich celem jest dobór genotypów o systemie korzeniowym odpowiednio uformowanym, dostosowanym do tamtejszych suchych warunków glebowo-klimatycznych i zapewniającym utrzymanie ich plonności na wysokim poziomie. Typowym przykładem jest Kanada, posiadająca jeden z największych areałów uprawy zbóż na świecie. Niedostatek wody to główny problem w warunkach prerii kanadyjskiej. Jego rozwiązanie w dużym stopniu uzależniono od szczegółowego poznania zmienności systemu korzeniowego i jej znaczenia dla odporności odmian na suszę. Z badań tych wynika, że przewaga niektórych odmian, np. pszenicy, jest związana nie tylko z ekstensywnym typem ich systemu korzeniowego, ale także ze zwiększoną odpornością ich systemu korzeniowego na ruchy i spękania gleby spowodowane suszą [30, 31, 32]. Podobne prace, potwierdzające istnienie genetycznie uwarunkowanych różnic w rozkładzie systemu korzeniowego w glebie oraz skorelowanej z nimi odporności na suszę, zapoczątkowali kilkanaście lat temu badacze indyjscy [38, 64], a w kilku instytutach genetyczno-hodowlanych Związku Radzieckiego dąży się od dawna do tego, aby odmiany zbóż rejonizować również w zależności od typu systemu korzeniowego [9, 10, 66].

Przeprowadzone dotychczas badania wskazują, że rozkład systemu korzeniowego jest niezwykle ważną cechą rośliny i powinien być uwzględ-

niony w selekcji. Pozwala on bowiem przewidywać sposób w jaki roślina wykorzysta wodę i nawozy sztuczne, w różny sposób i na różnej głębokości umieszczone w glebie. Rozkład ten będzie decydował o stanie roślin i ich plonowaniu w warunkach uprawy na terenach narażonych na wymywanie substancji pokarmowych oraz na terenach, gdzie czynnikiem limitującym plon ziarna będzie poziom wody gruntowej. W selekcji roślin zbożowych można również wykorzystać wzór rozwoju korzeni w wierzchniej warstwie gleby, który jest jednym z czynników rzutujących na poziom wylegania tych gatunków [35, 36, 53, 55, 77].

Około 25% gleb światowych to gleby niedostatecznie nawożone, ubogie w sole mineralne. Spotkać je można także, choć znacznie rzadziej, w krajach o wysokiej kulturze rolnej. Duże znaczenie dla wzrostu światowej produkcji roślin zbożowych ma zatem problem związany z możliwością selekcji odmian lepiej znoszących niedostatek substancji pokarmowych w glebie lub odmian wydajniej je wykorzystujących. Liczne dane wskazują, że właściwie prowadzona selekcja, wykorzystująca zjawisko genetycznie uwarunkowanej i różnorodnej reakcji systemu korzeniowego na brak określonych pierwiastków w glebie oraz selekcja polegająca na doborze form o odpowiednio uformowanym, aktywniejszym i wydajniejszym systemie korzeniowym powinny ułatwić rozwiązanie tego problemu [14, 15, 16, 26, 47, 52, 67, 72]. Genetycznie uwarunkowaną i równie ważną właściwością systemu korzeniowego zbóż jest tolerancja toksycznych stężeń glinu i manganu w glebie. Szkodliwe działanie tych pierwiastków jest zjawiskiem powszechnym na glebach kwaśnych. Cecha ta, z uwagi na stosunkowo prosty schemat dziedziczenia, powinna być łatwa w selekcji [2, 3, 14, 17, 27, 41, 51].

Z przedstawionych danych wynika, że szereg cech i właściwości systemu korzeniowego zbóż podlega istotnej zmienności genetycznej. Wykorzystanie ich w selekcji jest jednak bardzo ograniczone. Hodowcy roślin zbożowych dysponują dzisiaj znikomą liczbą danych o sposobie dziedziczenia i odziedziczalności tych cech. Wiadomo, że tempo rozwoju systemu korzeniowego pszenicy, jego rozmiary i głębokość penetracji w stadium kłoszenia to cechy uwarunkowane głównie addytywnym działaniem genów, a więc przydatne dla selekcji [50]. Badania hydroponiczne Surmy i wsp. [68] dowiodły, że waga, objętość i powierzchnia korzeni jęczmienia jarego to również cechy podlegające zmienności addytywnej. Z naszych badań nad rozwojem zarodkowego systemu korzeniowego żyta ozimego i jęczmienia jarego wynika, że liczba korzeni, długość najdłuższego korzenia, całkowita długość i waga systemu korzeniowego są cechami o addytywnym schemacie dziedziczenia i dość wysokiej odziedziczalności [22, 23]. Dane te są zgodne z wynikami badań pszenicy jarej, które prowadził Kazemi i wsp. [39, 40].

Wobec tak niewielkiej liczby doniesień o mechanizmach dziedziczenia cech systemu korzeniowego zbóż, możliwości i korzyści związane z zastosowaniem tych cech w procesie selekcji bezpośredniej lub pośredniej to zagadnienie nadal otwarte, a wymagające szybkiego wyjaśnienia. Pogłębienie naszej wiedzy na ten temat jest warunkiem szerszego zastosowania cech korzeniowych w selekcji. Jak dotąd bowiem, przykładów takiego ich wykorzystania jest niewiele. Powodzeniem zakończyły się próby podjęte przez hodowców radzieckich. Kiriczenko [42, 43], selekcjonując na silny system korzeniowy we wczesnych stadiach rozwoju, uzyskał linie pszenicy, jęczmienia i kukurydzy, które plonowały lepiej o kilka q z ha od populacji wyjściowych. Morgun [50a] zastosował podobną technikę selekcji u kukurydzy, w wyniku czego plon ziarna wzrósł o ok. 13%. Pozytywne rezultaty otrzymał również Niefiedov [54] u pszenicy twardej, chociaż w tym przypadku wzrost plonu ziarna był znacznie wyższy i dochodził do 25—35%. Dane te potwierdzają, że selekcja na system korzeniowy może być bardzo efektywna.

#### *Zarodkowy i przybyszowy system korzeniowy zbóż oraz ich znaczenie*

System korzeniowy roślin zbożowych złożony jest z zarodkowego systemu korzeniowego i systemu korzeni przybyszowych (węzłowych). Liczba korzeni zarodkowych u tych gatunków waha się od 1 do 10, ale pszenica i owies wykształcają najczęściej 3—5, a żyto i jęczmień 5—7 korzeni zarodkowych. Korzenie te wykorzystują wodę i sole mineralne znacznie efektywniej, penetrują glebę wcześniej, szybciej i głębiej niż korzenie przybyszowe, są cieńsze i silniej rozgałęzione. W sprzyjających warunkach glebowych mogą osiągać dużą głębokość, nawet ponad 2 m [49]. Rozwój korzeni przybyszowych jest silniej uzależniony od środowiska, a ich liczba waha się od 15—20 w gęstym siewie do 120—140 przy rzadkiej rozstawie roślin. Jak wynika z naszych obserwacji żyta ozimego, owsa i jęczmienia jarego, odziedziczalność liczby korzeni przybyszowych na roślinie jest bardzo niska i osiąga wartość 0,10—0,20. Stabilniejszą cechą jest liczba korzeni wykształczanych przez jedno źdźbło (niepubl.).

Dyskusja nad tym, który z tych systemów korzeniowych ma większe znaczenie dla rozwoju i plonowania roślin zbożowych, trwa już od dłuższego czasu. Jednoznaczna odpowiedź na to pytanie jest jednak trudna, ponieważ decyduje o tym wiele czynników genetycznych jak i środowiskowych. Kilku badaczy potwierdziło, że rozmiary i sposób rozwoju przybyszowego systemu korzeniowego mogą mieć wpływ na poziom wylegania zbóż, plenność zbóż ozimych w warunkach suszy i ich zimotrwałość [35, 36, 45, 53, 62a, 71]. Częściej donoszono o istotnej roli zarodkowego systemu korzeniowego. Wielu autorów uważa, że rozwój tego sys-



temu korzeniowego może być jednym z głównych czynników warunkujących poziom odporności genotypów na suszę. Przykładem mogą być wyniki Akerberga [1], który analizował wpływ wiosennej suszy na plonowanie owsa i stwierdził, że obserwowane różnice w plenności odmian były silnie uzależnione od rozwoju ich systemu korzeniowego. Okazało się, że wysokoplonujące odmiany wykształcały silny i głęboko penetrujący zarodkowy system korzeniowy, podczas gdy odmiany nisko plonujące posiadały silniejszy przybyszowy system korzeniowy. Zbliżone rezultaty uzyskano w badaniach nad pszenicą jara i jęczmieniem jarym [11, 25, 33]. Fakty te mają podstawowe znaczenie. Sugerują, że zarodkowy system korzeniowy może być bardzo wygodnym kryterium w procesie selekcji form odpornych na suszę, szczególnie u zbóż jarych. Możliwość ta wymaga szerszego udokumentowania. Wyniki innych autorów, którzy opisywali pozytywne zależności między zarodkowym systemem korzeniowym a rozwojem, plonowaniem lub odpornością zbóż na wymarzenie oraz badania, w których selekcja stosowana na zarodkowy system korzeniowy pozwoliła uzyskać linie o znacznie wyższym plonie i polepszonych właściwościach biologiczno-rolniczych, w pełni ugruntowują przydatność tego systemu korzeniowego dla selekcji roślin zbożowych [16a, 22, 24, 34, 43, 44, 50a, 65, 69, 73]. Nie ulega wątpliwości, że zarodkowy system korzeniowy odgrywa niezwykle ważną, choć nie zawsze odpowiednio docenianą, rolę w życiu rośliny. Zdaniem Williamsa [76], zarodkowy system korzeniowy stanowi tylko 1—5% całkowitej wagi silnie rozwiniętego systemu korzeniowego. Ma to swoje odzwierciedlenie w dość powszechnym i częściowo nieprawdziwym poglądzie o stosunkowo niewielkim znaczeniu tego systemu korzeniowego zbóż, a dominującej roli korzeni przybyszowych. Sytuacja ta może mieć miejsce, ale tylko w określonych warunkach środowiska, a zwłaszcza przy szerokiej rozstawie roślin.

Udział korzeni zarodkowych i przybyszowych w całkowitej masie systemu korzeniowego zbóż jest zmienny i silnie uzależniony od wielu czynników. Tło genetyczne, wiek roślin i środowisko decydują o tych proporcjach. Genotypy o silnym systemie zarodkowym wykształcają zwykle słabiej rozwinięty system korzeni przybyszowych i odwrotnie [6]. Rola korzeni zarodkowych w początkowych stadiach rozwoju roślin jest oczywista. Ich rozwój i znaczenie w późniejszych stadiach wegetacji są zdeterminowane tempem i sposobem rozwoju korzeni przybyszowych, na co z kolei dość duży wpływ mają warunki środowiska.

Gęstość siewu może być jednym z zasadniczych czynników decydujących o przebiegu tej swoistej konkurencji korzeniowej i wzajemnych proporcjach między korzeniami zarodkowymi i przybyszowymi zbóż. W warunkach siewu produkcyjnego, a więc przy stosunkowo dużym za-

gęszczeniu roślin, wykształcany jest przede wszystkim pęd apikalny. Pędów bocznych często brak, a jeżeli są to jest ich niewiele. Jeżeli zatem zarodkowy system korzeniowy zaopatruje w wodę i sole mineralne głównie pęd apikalny, a pędy boczne zaopatrywane są przez korzenie przybyszowe, to słaby rozwój korzeni przybyszowych przy tak minimalnym rozkrzewieniu roślin powoduje, że znaczenie i rozmiary zarodkowego systemu korzeniowego wyraźnie wzrastają [48]. Najlepiej obrazują tę sytuację wyniki badań Pavlychenki [57], który wykazał, że udział korzeni zarodkowych w całkowitej długości systemu korzeniowego pszenicy dochodzi w siewie siewnikowym do 80%, podczas gdy przy bardzo rzadkiej rozstawie roślin wyraźnie maleje do 12%, oczywiście na korzyść systemu korzeni przybyszowych. Pewnym potwierdzeniem dla tych danych mogą być wyniki naszych badań nad żytem ozimym [24]. W doświadczeniach tych pozytywne zależności między rozwojem zarodkowego systemu korzeniowego i plennością genotypów były wyraźnie silniejsze w przypadku siewu siewnikowego niż w mikrodoświadczeniach o rozstawie roślin 15 × 12,5 cm. Podobne zjawisko obserwowaliśmy u jęczmienia jarego [22 i niepubl.].

Należy podkreślić, że wyżej wspomniane proporcje między zarodkowym i przybyszowym systemem korzeniowym zostały uwzględnione w powszechnie znanych, modelowych „ideotypach” roślin zbożowych [13]. Według tych modeli, „idealna” roślina zbożowa to roślina o silnym, skróconym, jednoźdźbłowym pędzie i systemie korzeniowym, który zbudowany jest przede wszystkim z bardzo efektywnych i silnie rozwiniętych korzeni zarodkowych. Mniejsze znaczenie przypisuje się korzeniom przybyszowym.

Jednym z ciągle wątpliwych i dyskusyjnych zagadnień, zarówno w tych modelach jak i w praktyce, jest problem zależności między rozmiarami pędu i systemu korzeniowego. Tendencja do skracania słomy, która wyraźnie zarysowała się w hodowli, ma niewątpliwie związek ze stosunkowo wysokim poziomem nawożenia i niebezpieczeństwem wylegania zbóż. Taki kierunek hodowli boryka się jednak z podstawowym pytaniem, czy skracanie słomy nie spowoduje jednoczesnego zmniejszenia rozmiarów systemu korzeniowego i jego efektywności.

#### *Zależność pęd — system korzeniowy i możliwość jej przelamywania*

Rozpowszechniony jest pogląd o tym, że między rozwojem pędu i systemu korzeniowego istnieje ścisła i niemal proporcjonalna zależność, którą kontroluje zsynchronizowany system genetyczny. Opisywano ją wielokrotnie między wzrostem, wagą, krzewieniem i wysokością pędu a liczbą korzeni, wagą i rozmiarami systemu korzeniowego zbóż. Wyniki szeregu

prac na ten temat sugerują, że stosunek pęd — system korzeniowy w stałych warunkach ekologicznych ma określoną wartość genetyczną, zmieniającą się w czasie wegetacji roślin. W początkowych stadiach rozwoju zbóż jego wartość waha się w granicach 1:1 i rośnie aż do stadium dojrzałości, gdzie osiąga wartość ok. 10:1 [4, 7, 29, 48, 60, 61, 72]. Wspomniano już o tym, że wartości te ulegają pewnym wahaniom nie tylko pod wpływem czynników genetycznych, ale i środowiskowych.

Istnieje jednak szereg doniesień świadczących o tym, że ścisła i nierozzerwalna współzależność między pędem i systemem korzeniowym nie jest zjawiskiem powszechnym i można ją przełamać. Wobec kierunku hodowli zmierzającego do skracania słomy zbóż, dane te nabierają szczególnego znaczenia poznawczego i praktycznego.

Karmacharya [37] analizował rozwój pędu i systemu korzeniowego kilku odmian pszenicy jarej i stwierdził, że jedna z odmian, krótkosłoma odmiana „Mex-26”, wykształcała bardzo bujny system korzeniowy. Była to odmiana otrzymana konwencjonalnymi metodami hodowlanymi, co wskazywało na istniejącą możliwość rekombinowania rozmiarów pędu i systemu korzeniowego oraz selekcji form o przełamanej zależności pęd — system korzeniowy. Do podobnego wniosku, aczkolwiek dotyczącego wyłącznie stadium siewki, skłaniały nas wyniki analiz w potomstwie  $M_3$  mutantów jęczmienia jarego i w pokoleniu  $F_2$  krzyżówek mutantów karłowatych z ich odmianą wyjściową. W tych rozszczepiających się pokoleniach występowały osobniki odtwarzające wszystkie możliwe typy zależności między rozmiarami pędu i systemu korzeniowego [19 i niepubl.].

Bardzo często zdarza się w pracy hodowlanej, że selekcji prowadzonej na interesującą nas cechę towarzyszy równoczesna, pośrednia selekcja na niepożądane w danym przypadku, a skorelowane z nią właściwości. Przykładem takiej sytuacji są rośliny zbożowe. Ich hodowcom szczególnie zależy na przełamaniu niekorzystnych tutaj, dodatnich korelacji pęd — korzeń. Stosunkowo niewielka liczba danych potwierdzających taką możliwość sugeruje, że korelacja ta ma podłoże genetyczne i jest najprawdopodobniej wynikiem silnego sprzężenia genów determinujących rozwój pędu i systemu korzeniowego. W tej sytuacji można krzyżować odpowiednio dobrane formy rodzicielskie i poszukiwać genotypy o osłabionej lub przełamanej zależności pęd — system korzeniowy, ale efektywniejszą w tym celu wydaje się być metoda sztucznego indukowania mutantów. Potwierdzają to liczne dane.

Już w 1969 roku Bagnara [5] wyselekcjonował po działaniu promieniowania jonizującego półkarłowe mutanty pszenicy twardej, których system korzeniowy nie odbiegał swoimi rozmiarami od systemu korzeniowego wysokich odmian wyjściowych. Opisywane przez Luptona [46] i O'Briena [56] półkarłowe formy pszenicy wykształcały dłuższy i eksten-



sywniejszy system korzeniowy niż formy wysokie. Cholick [8] również nie stwierdził żadnej istotnej zależności między wysokością roślin a głębokością penetracji systemu korzeniowego półkarłowych i wysokich form pszenicy ozimej. W badanym przez nas materiale mutacyjnym jęczmienia jarego, rozmiary pędu nie decydowały o rozmiarach systemu korzeniowego, i odwrotnie. Udało nam się wyselekcjonować mutanty o słabszym systemie korzeniowym i silnej części nadziemnej oraz mutanty o karłowym pędzie, a silnym i głębokim systemie korzeniowym [20, 25]. Podobny brak korelacji między karłowatością pędu jęczmienia jarego i rozmiarami systemu korzeniowego obserwowała Irvine [33].

Przytoczone dane wskazują, że wprowadzanie genów karłowatości do programów hodowlanych jest możliwe i nie zawsze musi być połączone z depresją systemu korzeniowego roślin. Uprzednia selekcja na system korzeniowy, przeprowadzona w materiałach niosących geny karłowatości, winna temu zapobiec. Mutageneza może odegrać ważną rolę w poznawaniu zjawiska zależności pęd — system korzeniowy oraz w tworzeniu genotypów o przełamanej zależności między wysokością roślin i rozmiarami systemu korzeniowego, a więc dobrze ukorzeniających się form krótkosłomych.

### Wnioski

1. Cechy i właściwości systemu korzeniowego zbóż podlegają istotnej zmienności genetycznej, a jej ukierunkowane wykorzystanie powinno przyczynić się do dalszego postępu hodowlanego.

2. Efektywne zastosowanie cech korzeniowych w procesie selekcji zbóż wymaga intensyfikacji badań nad sposobem dziedziczenia cech systemu korzeniowego i jego interakcją ze środowiskiem oraz udoskonalenia metod badawczych.

3. Rozmiary i rozkład systemu korzeniowego w glebie oraz jego właściwości fizjologiczne mogą być przydatne dla oceny i selekcji odmian przystosowanych do uprawy na terenach o niesprzyjających warunkach glebowo-klimatycznych (gleby lekkie, zakwaszone, uboższe w wodę i sole mineralne).

4. Zarodkowy system korzeniowy może mieć istotne znaczenie dla rozwoju i plonowania zbóż, zwłaszcza jarych, w warunkach siewu produkcyjnego i suszy glebowej. Jego rozmiary powinny być wygodnym kryterium w selekcji odmian odpornych na susz.

5. Istnieją szanse przełamania zależności pęd — system korzeniowy za pomocą metod mutacyjnych i rekombinacyjnych. Genotypy zbóż o skróconej słomie i silnym systemie korzeniowym są celem całkowicie realnym.

## LITERATURA

1. Akerberg E.: Z. Acker-u. Pflanzenbau 121, 29—48, 1964.
2. Anioł A., Kączkowski J.: Cereal Res. Comm. 7/2, 113—122, 1979.
3. Anioł A., Hill R. D.: Hodowla Roślin Aklim. Nasienn. 24/5, 669—676, 1980.
4. Aung L. H.: w: The plant root and its environment, Carsm E. W., Univ. Press VA, Charlottesville, VA, 29—61, 1974.
5. Bagnara D., Mosconi C., Scaroscia-Mugnozza G. T.: Riv. Agronomia III, 2/3, 2—7, 1969.
6. Borg A.: Sveriges Utsädesf. Tidskr, 79, 57—74, 1969.
7. Brouwer R.: Angewandte Botanik 41, 244—254, 1967.
8. Cholick F. A., Welsh J. R., Cole C. V.: Crop Sci. 17, 637—639, 1977.
9. Danilczuk P. V.: Naucz.-tehn. Biul. Vsies. Sel-gen. in-ta, Odessa 20, 79—84, 1972.
10. Danilczuk P. V., Jacenko G. K., Spatkovskaja V. N.: Dokl. Vsies. ord. Lenina Akad. S-h. nauk im. Lenina 8, 10—12, 1972.
11. Davaadorż G., Sinicyna S. M.: Naucz. Tr. Leningrad. S-h. in-ta 370, 20—26, 1979.
12. Dobben W. H. van.: Neth. J. Agric. Sci. 10, 377—389, 1962.
13. Donald C. M.: Euphytica 17, 385—403, 1968.
14. Duvick D. N., Kleese R. A., Frey N. M.: J. Plant Nutrition 4/2, 111—129, 1981.
15. Epstein E., Jeffries R. L.: Ann. Rev. Plant Physiol. 15, 169—184, 1964.
16. Epstein E.: w: Mineral nutrition of plants—principles and perspectives, Epstein E., John Wiley and Sons, New York, 325—344, 1972.
- 16a. Foltyn J.: Vedecke Prace Rostl. Vyr., Praha-Ruzyne 17, 251—255, 1971.
17. Foy C. D. i in.: Agronomy J. 57, 413—417, 1965.
18. Góral S.: Biuletyn IHAR 1/2, 101—103, 1971.
19. Górny A.: w: Mutageneza Roślin Wyższych, wyd. Uniw. Śląski, Katowice, 68—74, 1978.
20. Górny A.: Genetica Polonica 19/4, 447—456, 1978.
21. Górny A., Patyna H.: Biuletyn IHAR 143, 93—100, 1981.
22. Górny A. G., Patyna H.: Genetica Polonica 22/4, 419—428, 1981.
23. Górny A. G., Geigey H. H.: Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR 198, 445—454, 1982.
24. Górny A. G. i in.: Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR 198, 389—399, 1982.
25. Górny A. G., Rybiński W.: Cereal Res. Comm. 10/3—4, 223—229, 1982.
26. Hackett C.: New Phytol. 67, 287—300, 1968.
27. Hanson W. D., Kamprath E. J.: Agronomy J. 71, 581—586, 1979.
28. Hentrich W.: Der Züchter 36/1, 25—36, 1966.
29. Hockett E. A.: Abstr. West. Soc. Crop Sci. Nev. Agric. Exp. Sta. 13, 7, 1971.
30. Hurd E. A.: Agronomy J. 60, 201—205, 1968.
31. Hurd E. A.: Drought Inj. Resist. Crops, Crop Sci. Soc. Publ. 2, 677S, Madison, 77—88, 1971.
32. Hurd E. A.: Agric. Meteorology 14, 39—55, 1974.
33. Irvine R. B.: Abstr. Diss. and Masters Theses, 2039-B, 1978.
34. Janjatovic V., Andelic M., Borojevic S.: Savr. Poljopr. 16/7—8, 567—574, 1968.
35. Jeżowski S.: Genetica Polonica 19/4, 457—465, 1978.

36. Jeżowski S.: *Genetica Polonica* 22/2, 149—162, 1981.
37. Karmacharya B, L.: *Meld. Norges Landbruksh.* 52/8, 1—6, 1973.
38. Katyaj J. C., Subbiah B. V.: *Indian J. Agric. Sci.* 41, 786—790, 1971.
39. Kazemi H.: *Diss. Abstr. Intern. B*, 38/2, 448, 1977.
40. Kazemi H., Chapman S. R., McNeal H. F.: *Amer. Soc. Agron., Madison, Agron. Abstr.* 54, 1976.
41. Kerridge P. C., Kronstad W. E.: *Agronomy J.* 60, 710—711, 1968.
42. Kiriczenko F. G.: *Vestnik S-h. Nauki* 4, 3—6, 1963.
43. Kiriczenko F. G., Kostenko A. I.: *Vestnik S-h. Nauki* 8, 52—60, 1966.
44. Kirjan M. V.: *Selekcja i Semenov.* 2, 37—39, 1974.
45. Krasnova L. I., Mihareva N. N.: *Sb. naucz. rab. Saratov. s-h. in-ta* 69, 3—11, 1976.
46. Lupton F.G.H. i in.: *Ann. Appl. Biol.* 77, 129—144, 1974.
47. Lyness A. S.: *Plant Physiol.* 11, 665—688, 1936.
48. Mac Key J.: *Proc. 4th Int. Wheat Genet. Symp., Miss. Agr. Exp. Sta., Columbia*, 827—842, 1973.
49. Mac Key J.: *Proc. 5th Int. Wheat Genet. Symp., New Delhi 1978, Indian Soc. Genet. Plant Breed.* 2, 875—890, 1979.
50. Monyo J. H., Whittington W. J.: *J. Agric. Sci., Camb.* 74, 329—338, 1970.
- 50a. Morgun V. V.: *Selekcja i Semenov.* 6, 18—21, 1970.
51. Mugwira L. M., Elgawhary S. M., Patel K. I.: *Agronomy J.* 68, 782—787, 1976.
52. Myers W. M.: w: *Symposium of radioisotopes in the biosphere, Caldecott R.S. i Synder L. A., Univ. Minn., Minneapolis*, 201—226, 1960.
53. Nass H. G., Zuber M. S.: *Crop Sci.* 11, 655—658, 1971.
54. Niefiedov A. V.: *Selekcja i Semenov.* 6, 49, 1967.
55. Norden A. J.: *Agronomy J.* 56, 269—273, 1964.
56. O'Brien L.: *Crop Sci.* 18, 685—687, 1978.
57. Pavlychenko T. K.: *Ecology* 18, 62—79, 1937.
58. Philipp L.: *Z. Acker-u. Pflanzenbau* 97, 71—100, 1954.
59. Pinthus M. J.: *Crop Sci.* 7, 107—110, 1967.
60. Ruckenbauer P.: *Ber. Arb. Vereinig. österr. Pflanzenzüchter, Gumpenstein*, 203—215, 1966.
61. Ruckenbauer P.: *Z. Acker-u. Pflanzenbau* 130, 273—290, 1969.
62. Russel R. S.: *Plant root systems their function and interaction with the soil, McGraw-Hill Book Comp. (UK) Ltd., Berkshire*, 1977.
- 62a. Rybakova M. I., Naumkin V. N.: *Intensyfik. Zemled. Centr. R-e Ne-czern. Zony*, 70—77, 1976.
63. Shrinivas Subbiah B. V.: *J. Nuclear Agric. Biol.* 4/3, 65—67, 1975.
64. Singh N. P., Dastane N. G.: *Indian J. Agron.* XV/4, 346—349, 1970.
65. Smith L. H., Walworth E. H.: *J. Amer. Soc. Agron.* 18, 1113—1120, 1926.
66. Stankov N. Z.: *Selekcja i Semenov.* 33, 25—27, 1968.
67. Starzycki S., Gielo S., Sowa W.: *Hodowla Roślin Aklim. Nasienn.* 8/3, 255—264, 1964.
68. Surma M. i in.: *Genetica Polonica* 19/4, 437—445, 1978.
69. Szymańska L., Pawluk A.: *Hodowla Roślin Aklim. Nasienn.* 16/6, 497—538, 1972.
70. Torrey J. G., Clarkson D. T.: *The development and function of roots, Third Cabot Symp. Acad. Press Inc., London*, 1975.



71. Tandon J. P., Saini J. P.: Proc. 5th Int. Wheat Genet. Symp., New Delhi, 845—851, 1978.
72. Troughton A., Whittington W. J.: w: Root growth, W. J. Whittington, Butterworths, London, 296—314, 1969.
73. Vedrov N. G.: Naucz. Tr. Krasnojarsk. Naucz. isled. in-ta s-h. 6, 72—79, 1970.
74. Vedrov N. G.: Sib. Vestnik S-h. Nauki 6, 27—32, 1971.
75. Whittington W. J.: Root growth, Butterworths, London, 1969.
76. Williams R. D.: Ann. Bot. N. S. 26, 129—136, 1962.
77. Zenisceva L. S.: Genetika Slechteni 9 9/XLVI/2 2, 107—112, 1973.
78. Zobel R. W. w: The development and function of roots, J. G. Torrey i D. T. Clarkson, Acad. Press Inc., London, 261—275, 1975.