

ANETTA KUCZYŃSKA

MARIA SURMA

TADEUSZ ADAMSKI

PAWEŁ KRAJEWSKI

KRZYSZTOF MIKOŁAJCZAK

PIOTR OGRODOWICZ

MICHAŁ KEMPA

HANNA ĆWIEK-KUPCZYŃSKA

RENATA TRZECIAK

Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk, ul. Strzeszyńska 34, 60-479 Poznań

Kierownik Tematu: dr hab. Anetta Kuczyńska Instytut Genetyki Roślin PAN, ul. Strzeszyńska 34
60-479 Poznań, tel. 61 6550232, e-mail: akuc@igr.poznan.pl

Prace zostały wykonane w ramach badań podstawowych na rzecz postępu biologicznego w produkcji roślinnej na podstawie decyzji Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi nr HOR.hn.802.18.2018, Zadanie 106.

Wpływ stresu niedoboru wody na rozwój i architekturę systemu korzeniowego u jęczmienia (*Hordeum vulgare* L.)

Effects of drought on the development and architecture of barley root system

Słowa kluczowe: fenotypowanie, genotypowanie, obrazowanie korzeni, plonowanie, stres abiotyczny, susza, właściwości elektryczne systemu korzeniowego

CEL PODJĘTEGO TEMATU I PROWADZONYCH BADAŃ

Rośliny uprawne narażone są na wiele czynników stresowych, biotycznych i abiotycznych, wśród których niedobór wody jest jedną z głównych przyczyn obniżających produktywność (Anjum i in., 2011; Rahdari i Hoseini, 2012). Susza jest zjawiskiem ekstremalnym, jednak dość powszechnym i często pojawiającym się niemal na wszystkich kontynentach. W ostatnim stuleciu obserwuje się coraz większe przesuszenie środowiska przyrodniczego w Polsce. Średnie roczne opady atmosferyczne dla Polski wynoszą ok. 600 mm. Regionem najbardziej narażonym na występowanie suszy w Polsce jest Wielkopolska i Kujawy (średnie opady 450–550 mm), czyli tereny o intensywnej produkcji rolnej (GUS, 2012). Niedobór opadów w latach 1992, 2000, 2006, gdy dodatkowo wystąpiły wysokie temperatury, spowodował znaczne obniżenie

plonów. W 2008 roku aż 70% upraw objęte było zagrożeniem suszą, a w konsekwencji istotną stratą plonów (dane IUNG; <http://ies.jrc.ec.europa.eu>). Gospodarka wodna zależy nie tylko od ilości opadów, lecz również od temperatury. Podwyższenie temperatury oraz stałe ocieplenie klimatu (Szwed i in., 2010) wpływa na intensyfikację parowania obniżając zawartość wody w glebie i zwiększając prawdopodobieństwo pojawienia się suszy.

System korzeniowy odgrywa kluczową rolę w pobieraniu wody i składników odżywczych, a tym samym determinuje rozwój całej rośliny. Dobrze rozwinięty system korzeniowy może wpływać na wzrost produktywności roślin w zróżnicowanych warunkach środowiska. Z tego względu opracowanie nowych koncepcji analizowania fenotypu korzeni i poznanie zmian w ich architekturze w zmiennych warunkach środowiska nabiera coraz większego znaczenia. Dobrze rozwinięty i aktywnie pobierający składniki pokarmowe system korzeniowy powoduje lepsze odżywienie mineralne rośliny i zaopatrzenie jej w wodę, bardziej efektywne wykorzystanie nawozów, a szybszy rozwój systemu korzeniowego ogranicza straty plonu w warunkach stresu wodnego. W późniejszym okresie wegetacji rozwój systemu korzeniowego jest m.in. efektem kierowania związków węglowych do korzeni z zielonych części roślin (Manschadi i in., 2006). Zatem rośliny o lepiej rozwiniętej biomasy części zielonych mogą wykazywać większy potencjał rozwoju systemu korzeniowego. Stąd kluczowa jest analiza stosunku biomasy części nadziemnej do części podziemnej rośliny (ang. shoot/root ratio). Wskaźnik ten zależy od wielu czynników, w tym stresów abiotycznych, np. susza. Zdolność roślin do ograniczenia strat wody na drodze transpiracji jest powiązana ze stosunkiem biomasy części zielonej do biomasy systemu korzeniowego rośliny (Brouwer i de Wit, 1968; Troughton, 1978).

Celem badań jest zbadanie wpływu niedoboru wody na rozwój i architekturę systemu korzeniowego u jęczmienia. W tym celu wykorzystanych zostanie 150 różnych form jęczmienia jarego, to jest odmian, rodów lub linii o zróżnicowanym pochodzeniu, wybranych w porozumieniu z firmami hodowlanymi (Poznańska Hodowla Roślin Sp. z o.o., Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR, Małopolska Hodowla Roślin Sp. z o.o.).

Dla zrealizowania założonego celu wykonano:

- zastosowanie najnowszych technik obrazowania korzeni w warunkach kontrolnych oraz w warunkach deficytu wody na platformie do fenotypowania roślin wyposażonej w najnowsze urządzenia służące do ciągłego, nieinwazyjnego mierzenia parametrów korzeni;
- genotypowanie w oparciu o najnowsze metody sekwencjonowania nowej generacji — genotypowanie przez sekwencjonowanie (GBS);
- przeprowadzenie doświadczenia w warunkach polowych w celu określenia potencjału plonowania, zbadania rozwoju i architektury systemu korzeniowego badanych genotypów, a także ustalenia stosunku części nadziemnej do części podziemnej rośliny.

OPIS WYNIKÓW Z DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ (PIERWSZY ROK TRWANIA PROJEKTU)

Na podstawie danych literaturowych i własnych doświadczeń można założyć, że dane fenotypowe i genotypowe uzyskane z zastosowaniem najnowszych metod analizy fenomu i genomu pozwolą na określenie zmienności badanych genotypów pod względem rozwoju systemu korzeniowego w czasie trwania suszy oraz związku (korelacji) między parametrami systemu korzeniowego a cechami plonotwórczymi. Umożliwi to zidentyfikowanie regionów w genomie jęczmienia związanych z rozwojem systemu korzeniowego w warunkach optymalnego nawodnienia, jak i w stresie niedoboru wody, a także regionów warunkujących cechy plonotwórcze.

W badaniach przeprowadzona seria komplementarnych i skoordynowanych doświadczeń związanych z obrazowaniem korzeni pozwoli z jednej strony na opracowanie markerów związanych z systemem korzeniowym, z drugiej zaś na wytypowanie genotypów o korzeniach głębiej penetrujących podłoże i o większej zdolności pobierania wody z głębszych warstw gleby, stąd potencjalnie lepiej plonujących w suszy.

Pilotaż w pierwszym roku trwania projektu miał na celu ustalenie dokładnych warunków prowadzenia doświadczenia głównego zaplanowanego na rok 2019. Doświadczenie pilotażowe zostało przeprowadzone na poletkach doświadczalnych znajdujących się przy Instytucie Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu. Do doświadczenia pilotażowego wybrano losowo 50 odmian jęczmienia jarego. Opracowano metodykę analiz rozwoju i architektury systemu korzeniowego, a także ustalenia stosunku części nadziemnej do części podziemnej rośliny. Poza metodyką manualnych obserwacji biometrycznych korzeni wykorzystano mierniki pracujące z wykorzystaniem pomiaru pojemności elektrycznej (ang. electrical capacitance) umożliwiające ocenę systemu korzeniowego *in situ*. Momenty pomiaru pojemności elektrycznej zostały wybrane w oparciu o zmieniającą się wrażliwość rośliny wraz ze wzrostem i stadium rozwojowym.

Analizowano cechy korzeni podczas wegetacji, takie jak wielkość systemu korzeniowego *in situ* za pomocą przyrządu mierzącego pojemność elektryczną w czterech fazach: krzewienia (T1), strzelania w źdźbło (T2), kłoszenia (T3) i nalewania ziarna (T4), natomiast po zbiorze roślin mierzono długość i masę korzeni. Ponadto wykonano pomiary cech morfologicznych części nadziemnych: wysokość roślin, długość kłosa, liczba i masa ziarna z kłosa, masa ziarna z rośliny, masa 1000-ziaren. Zebrane dane posłużyły do obliczeń statystycznych, w ramach których przeprowadzono ocenę współczynnika korelacji między badanymi cechami. Wartości średnie dla cech związanych z systemem korzeniowym dla badanych 50 genotypów jęczmienia jarego w doświadczeniu pilotażowym wahały się w przedziałach: biomasa 0,13–1,02 g, długość korzeni 10,00–20,67 cm, pojemność elektryczna w fazie krzewienia 3,13–11,67, pojemność elektryczna w fazie strzelania w źdźbło 9,57–18,73, pojemność elektryczna w fazie kłoszenia 32,67–149,00 oraz pojemność elektryczna w fazie nalewania ziarna 75,00–205,00. Z kolei wartości średnie dla cech związanych z częścią nadziemną dla badanych 50 genotypów jęczmienia w doświadczeniu pilotażowym wahały się w prze-

działach: wysokość roślin 44,00–62,33 cm, długość kłosa 6,03–10,20, liczba ziaren z kłosa 14,17–23,37, masa ziarna z kłosa 0,64–1,19 g, masa ziarna z rośliny 3,11–7,76 g oraz masa 1000 ziaren 41,86–56,75 g.

Na podstawie współczynników korelacji w doświadczeniu pilotażowym między cechami związanymi z systemem korzeniowym a wyselekcjonowanymi cechami związanymi z częścią nadziemną roślin stwierdzono, że większość cech była ze sobą pozytywnie skorelowana na poziomie istotności $P < 0,01$. Nie wykazano korelacji pomiędzy długością korzeni a pomiarem pojemności elektrycznej w fazie T1, T3 oraz T4.

WNIOSKI Z DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ (PIERWSZY ROK TRWANIA PROJEKTU)

Ze względu na trudności metodologiczne związane z monitorowaniem wzrostu korzeni w glebie, istnieje ciągłe zainteresowanie wykorzystaniem i rozwojem prostych, szybkich metod *in situ* dostarczających informacji na temat rozwoju systemu korzeniowego bez uszkodzenia całej rośliny (Milchunas, 2012). Jedną z takich nieinwazyjnych technik opiera się na właściwościach elektrycznych systemu korzeniowego. Metoda elektryczności pierwotnej (C_R , ang. root electrical capacitance) została po raz pierwszy zastosowana przez Chloupek (1972), który wykorzystał w swoich badaniach miernik pojemności z niskim napięciem (1V) prądu przemiennego (1000 Hz prądu przemiennego). Chloupek stwierdził, że C_R mierzony między elektrodą uziemiającą (włożoną do gleby) a elektrodą roślinną (przymocowaną do rośliny) wykazuje dodatnią korelację z suchą masą korzenia (RDM, ang. root dry mass), długością korzenia (RL, ang. root length) i powierzchnią korzenia (RSA, ang. root surface area). Podobnie w doświadczeniu pilotażowym, prowadzonym w ramach prezentowanego projektu, stwierdzono pozytywną, istotną korelację między większością cech związanych z częścią nadziemną rośliny oraz cechami systemu korzeniowego potwierdzając, że ta nieinwazyjna metoda jest odpowiednia do powtarzalnej oceny rozwoju systemu korzeniowego w warunkach polowych, dodatkowo prowadzonej także w różnych stadiach rozwojowych rośliny.

Kormanek i in. (2016) stwierdzili, że powierzchnia i kształt elektrody gruntowej silnie wpłynęły na korelację między C_R a parametrami systemu korzeniowego. Niemniej jednak, przy przestrzeganiu stałej wysokości elektrody roślinnej nad powierzchnią podłoża, metoda adekwatnie szacuje rozmiar systemu korzeniowego (Postic i Doussan 2016). Dlatego istotne okazało się w doświadczeniu pilotażowym ustalenie stałej wysokości lokalizowania elektrody zarówno na roślinie, jak i jednakowego oraz o równej głębokości umieszczania drugiej elektrody w glebie. Ogromną zaletą metody pojemnościowej jest to, że skoro prąd elektryczny przepływa wyłącznie przez korzeń, C_R ma potencjał do oceny funkcjonalnego zasięgu korzenia (Cermák i in., 2006; Cseresnyés i in., 2016). W przeciwieństwie do innych, powszechnie stosowanych technik, metoda pojemnościowa mierzy aktywność korzenia, w tym również włósniki.

W warunkach polowych czasowe zmiany zawartości wody w glebie (SWC, ang. soil water content) uniemożliwiają w większości przypadków ciągłe monitorowanie rozwoju systemu korzeniowego. Z tego powodu rośliny uprawiane na polach mogą być porównywane tylko na podstawie C_R uzyskanego w określonym przedziale czasowym

z porównywalnym SWC. Przestrzegając tego metoda C_R została z powodzeniem zastosowana w doświadczeniach prowadzonych w warunkach polowych w celu zbadania cech korzeni jęczmienia i pszenicy (Nakhforoosh i in., 2014; Svacina i in., 2014, Hermanská i in., 2015) oraz scharakteryzowania różnic odmianowych w ich odporności na stres suszy, czy efektywności wykorzystania wody (Chloupek i in., 2010, Streda i in., 2012).

LITERATURA

- Anjum S., Xie X., Wang L., Saleem M., Man C., Lei W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *J. African Agri. Res.* 6 (9): 2026 — 2032.
- Brouwer R., De Wit C. T. 1968. A simulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences. In: *Root Growth. Proceedings of Fifteenth Easter School in Agricultural Science*, University of Nottingham, ed. Whittington W. J. London UK: Butterworths: 224 — 242.
- Cermák J., Ulrich R., Stanek Z., Koller J., Aubrecht L. 2006. Electrical measurement of tree root absorbing surfaces by the earth impedance method: 2. Verification based on allometric relationships and root severing experiments. *Tree Physiol.* 26: 1113 — 1121.
- Chloupek O. 1972. The relationship between electric capacitance and some other parameters of plant roots. *Biol. Plantarum* 14: 227 — 230.
- Chloupek O., Dostál V., Streda T., Psota V., Dvoráková O. 2010. Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant Breed.* 129: 630 — 636.
- Cseresnyés I., Rajkai K., Takács T. 2016. Indirect monitoring of root activity in soybean cultivars under contrasting moisture regimes by measuring electrical capacitance. *Acta Physiol. Plant.* 38: 121.
- Hermanská A., Streda T., Chloupek O. 2015. Improved wheat grain yield by a new method of root selection. *Agron. Sustain. Dev.* 35: 195 — 202.
- Kormanek M., Głab T., Klimek-Kopyra A. 2016. Modification of the tree root electrical capacitance method under laboratory conditions. *Tree Physiol.* 36: 121 — 127.
- Manschadi A. M., Christopher J., DeVoil P., Hammer G. L. 2006. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments. *Funct. Plant Biol.* 33: 823 — 837.
- Milchunas D. G. 2012. Biases and errors associated with different root production methods and their effects on field estimates of belowground net primary production. In: *Measuring Roots*, ed. S. Mancuso (Berlin: Springer Verlag): 303 — 339.
- Nakhforoosh A., Grausgruber H., Kaul H.-P., Bodner G. 2014. Wheat root diversity and root functional characterization. *Plant Soil* 380: 211 — 229.
- Postic F., Doussan C. 2016. Benchmarking electrical methods for rapid estimation of root biomass. *Plant Methods* 12:33.
- Rahdari P., Hoseini S. M. 2012. Drought Stress: A Review. *Intl. J. Agron. Plant Prod.* 3 (10): 443 — 446.
- Streda T., Dostál V., Horáková V., Chloupek O. 2012. Effective use of water by wheat varieties with different root system size in rain-fed experiments in Central Europe. *Agr. Water Manage.* 104: 203 — 209.
- Svacina P., Streda T., Chloupek O. 2014. Uncommon selection by root system size increases barley yield. *Agron. Sustain. Dev.* 34: 545 — 551.
- Szwed M., Karg G., Pińskwar I., Radziejewski M., Graczyk D., Kędziora A., Kundzewicz Z. W. 2010. Climate change and its effect on agriculture, water resources and human health sectors in Poland. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10:1725 — 1737.
- Troughton A. 1978. The influence of reproductive development upon the root system of perennial ryegrass and some effects upon herbage production. *J. Agric. Sci., Camb.* 91:427 — 431.

