

ZRÓŻNICOWANIE GENOTYPÓW ZIEMNIAKA POD WZGLĘDEM WIELKOŚCI SYSTEMU KORZENIOWEGO W POCZĄTKOWYM OKRESIE ROZWOJU ROŚLINY

DIVERSITY OF POTATO GENOTYPES IN TERMS OF THE ROOT SYSTEM SIZE IN THE INITIAL PERIOD OF PLANT DEVELOPMENT

dr Dominika Boguszewska-Mańkowska, dr hab. Krystyna Zarzyńska
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie
Oddział Jadwisin, Zakład Agronomii Ziemniaka; 05-140 Serock
e-mail: d.boguszewska-mankowska@ihar.edu.pl

Streszczenie

W pierwszym okresie rozwoju genotypy ziemniaka rosnące w idealnych warunkach wykazują niewielkie różnice dotyczące stosunku korzenie/kiełki. Różnice te zaczynają się mocniej zarysowywać między odmianami w warunkach stresu suszy. Na podstawie relacji korzenie/kiełki przy niedoborze wody można wytypować genotypy o cechach decydujących o ich większej tolerancyjności na suszę. Badania przeprowadzono w Zakładzie Agronomii Ziemniaka IHAR-PIB w Jadwisinie na roślinach ziemniaka w warunkach kontrolowanych. Ocenie poddano 10 genotypów z grupy bardzo wczesnych i wczesnych. Oceniano wpływ suszy glebowej na rozwój kielków i korzeni w początkowym okresie rozwoju roślin, tj. 21 dni od sadzenia. Określano masę części nadziemnej rośliny, masę korzeni, stosunek korzenie/kiełki (root/sprout) i udział korzeni w całej biomacie rośliny. Wykazano istotne zróżnicowanie odmian dotyczące badanych cech oraz wytypowano odmiany o najlepszych parametrach, decydujących o wyższej tolerancyjności na stres suszy.

Słowa kluczowe: kielki, korzenie, odmiana, susza, ziemniak

Abstract

In the first period of development, potato genotypes growing in ideal conditions show slight differences in the sprout/root ratio. These differences become more visible between varieties under drought stress conditions. Based on the root/sprout relationship in conditions of water deficiency, it is possible to select genotypes with features that make them more tolerant to drought, which was the aim of our research. The research was carried out at the Institute of Plant Breeding and Acclimatization-PIB at the Potato Agronomy Department in Jadwisin under controlled conditions on potato plants. 10 genotypes from the very early and early groups were assessed. The impact of soil drought on the development of sprouts and roots was assessed in the initial period of plant development, i.e. 21 days after planting. The mass of the above-ground part of the plant, the mass of roots, the root/sprout ratio and the share of roots in the total biomass of the plant were determined. Significant differences between varieties regarding the tested characteristics were demonstrated and varieties with the best parameters determining higher tolerance to drought stress were selected.

Keywords: cultivar, drought, potato sprouts, roots

Rola systemu korzeniowego rośliny w odporności na suszę glebową jest niezaprzeczalna. Badania nad systemem korzeniowym są trudne i pracochłonne, ale w ostatnim czasie nabrały większego znaczenia ze względu na niekorzystne zmiany klimatu, tj. występujące coraz częściej niedobory wody i wzrastające temperatury.

Ziemiak należy do roślin o płytkim systemie korzeniowym. Główna masa korzeni skoncentrowana jest w warstwie 30-40 cm, ale niektóre korzenie mogą osiągać długość do 10-20 km/m² powierzchni gleby. Występują bardzo duże różnice masy i długości korzeni między genotypami. Dotyczą one głównie grup wczesności. Odmiany późniejsze tworzą korzenie dłuższej i osiągają większą ich masę i głębokość niż genotypy wcześniejsze, ale zróżnicowanie dotyczy również tych samych grup wczesności. Różnice wielkości systemu korzeniowego ziemniaka zarysowują się najbardziej w początkowej fazie kwitnienia roślin, czyli wcześniej niż różnice dotyczące części nadziemnej rośliny (Iwama 2008).

Wiele badań potwierdza korelację między wielkością systemu korzeniowego ziemniaka a odpornością na suszę. Używając jako kryteria masę korzeni w warstwie ornej i plon bulw, w Japonii wyhodowano odmiany Konyu, które charakteryzowały się znacznie większą odpornością na suszę niż odmiany komercyjne.

Większe systemy korzeniowe w genotypach ziemniaka, szczególnie korzenie związane ze stolonami, tzw. korzenie stolonowe, prowadzą do lepszej zdolności radzenia sobie z suszą i pozwalają na utrzymanie stabil-

nego plonu w warunkach suszy (Wishart i in. 2013, 2014; Puértolas i in. 2014). Co ciekawe, genotypy z większymi systemami korzeniowymi osiągają również szybsze zwarcie łanu, co wydłuża czas trwania maksymalnego potencjału fotosyntetycznego i zmniejsza ilość wody traconej z gleby przez parowanie. Wiadomo, że stres związany z suszą zmniejsza masę systemu korzeniowego, co zostało potwierdzone w wielu badaniach, w tym w naszych wcześniejszych (Zarzyńska i in. 2017, Boguszewska-Mańkowska i in. 2020). Również ekstremalne ciepło prowadzi do zahamowania wzrostu korzeni (Rybczewska 2015, George i in. 2018, Boguszewska-Mańkowska i in. 2022).

Susza glebowa zmienia również morfologicznie system korzeniowy ziemniaka (Wishart i in. 2013, 2014), powodując zwiększoną boczną penetrację korzeni, wytwarzanie włóśników korzeniowych, które utrzymują kontakt korzeń-gleba w glebie kurczącej się podczas suszy (Schmidt i in. 2012, Haling i in. 2013).

Ciągle prowadzone są badania dotyczące sposobu adaptacji systemu korzeniowego rośliny do niekorzystnych warunków środowiska. Jak już wspomniano, badania nad systemem korzeniowym są bardzo czasochłonne, dlatego poszukuje się prostszych metod, pozwalających określić różnice wielkości i morfologii systemu korzeniowego np. na początkowym etapie rozwoju roślin.

Jak wynika z literatury i naszych obserwacji, w pierwszym okresie rozwoju genotypy ziemniaka rosnące w idealnych warunkach wykazują niewielkie różnice dotyczące stosunku korzenie/kiełki. Różnice w relacji: część podziemna (korzenie) a nadziemna

(kiełki) zaczynają się mocniej zarysowywać między odmianami w warunkach stresu suszy. W takich warunkach rośliny ziemniaka produkują relatywnie więcej korzeni a mniej masy nadziemnej, ale różnice odmianowe dotyczące stosunku korzenie/kiełki mogą być bardzo duże (Mukul i in. 2016). Na bazie tych zależności istnieje możliwość wytypowania już w początkowym okresie wzrostu genotypów, u których rozwój systemu korzeniowego w warunkach suszy jest lepszy w porównaniu z innymi.

Celem przeprowadzonych badań było porównanie wybranych genotypów ziemniaka pod względem zróżnicowania rozwoju części nadziemnej roślin i korzeni w warunkach pełnego zaopatrzenia w wodę i w suszy glebowej w początkowym okresie wzrostu i na tej podstawie wytypowanie genotypów o większej tolerancji na stres suszy.

Metoda badań

Badania przeprowadzono w Zakładzie Agromonii Ziemiaka IHAR-PIB w Jadwisinie na roślinach ziemniaka w warunkach kontrolowanych w komorach klimatyzowanych. Do badań wybrano 10 genotypów ziemniaka z grupy bardzo wczesnych i wczesnych.

Bulwy wyrównanej wielkości w liczbie 6 sztuk zostały wysadzone w doniczkach o średnicy 17,5 cm w podłożu glebowym i umieszczone w fitotronie w temperaturze 22/15°C (dzień /noc) i wilgotności względnej

powietrza wynoszącej ok. 70%. Połowa roślin była podlewana, tak aby utrzymać optymalną wilgotność gleby, tj. 65% polowej pojemności wodnej (kontrola), a druga połowa została poddana suszy glebowej (susza).

Po 3 rośliny z obu kombinacji były likwidowane po 21 dniach od posadzenia. Oznaczona została masa zarówno części nadziemnej, jak podziemnej rośliny oraz wyliczony został stosunek root/sprout (masa korzeni do masy kiełków), a także udział korzeni w całej biomacie rośliny. W efekcie wytypowano genotypy o wyróżniających się cechach korzeni w początkowym okresie rozwoju, co może być dobrym wskaźnikiem ich tolerancji na suszę. Badane odmiany: Denar, Piwonia, Surmia, Werbena, Tacja, Impresja (bardzo wczesne) oraz Hetman, Lawenda, Michalina, Bohun (wczesne).

Wyniki badań

Istotność zróżnicowania wyników. Przeprowadzona analiza wariancji wykazała istotność zróżnicowania większości badanych cech. Zróżnicowanie odmianowe dotyczyło wszystkich badanych parametrów z wyjątkiem masy korzeni. Zróżnicowane warunki wilgotnościowe gleby miały istotny wpływ na wszystkie badane cechy. Istotność współdziałania odmian i warunków wilgotnościowych udowodniono w przypadku masy nadziemnej roślin i udziału korzeni w całej biomacie rośliny (tab. 1).

Tabela 1

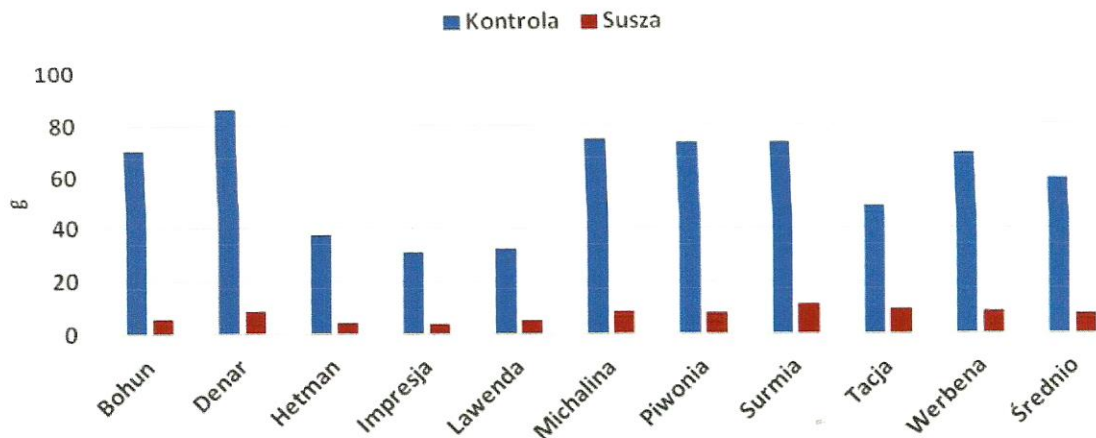
Istotność zróżnicowania badanych cech

| Badany czynnik | Masa nadziemna rośliny | Masa korzeni | Stosunek masy korzeni do masy nadziemnej | Udział korzeni w biomacie rośliny |
|----------------------|------------------------|--------------|------------------------------------------|-----------------------------------|
| Odmiana | * | - | ** | * |
| Kombinacja | ** | ** | * | * |
| Odmiana x kombinacja | * | - | - | * |

* istotność przy $\alpha \leq 0,05$ ** istotność przy $\alpha \leq 0,01$

Rozwój masy nadziemnej roślin w zależności od warunków wilgotnościowych gleby. Średnia masa części nadziemnej rośliny po 21 dniach od sadzenia w warunkach pełnego uwilgotnienia gleby wynosiła 59,5 g, zaś w warunkach suszy tylko 7,6 g. Wystąpiło bardzo duże zróżnicowanie odmianowe dotyczące tego parametru. W wa-

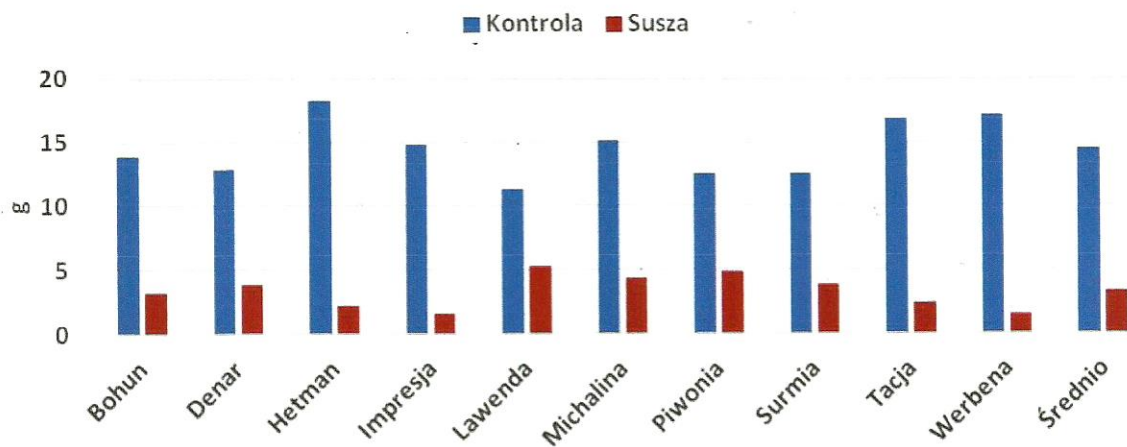
runkach kontrolnych największą masę nadziemną wytworzyły odmiany Denar, Michalina, Piwonia i Surmia, a najmniejszą – Impresja i Lawenda. W warunkach suszy glebowej największą masę nadziemną odnotowano u odmian Surmia i Tacja, a najmniejszą u odmian Impresja i Hetman (rys. 1).



Rys. 1. Masa nadziemna roślin w warunkach kontrolnych i w suszy glebowej

Rozwój systemu korzeniowego roślin w zależności od warunków wilgotnościowych gleby. Średnia masy korzeni w warunkach pełnego uwilgotnienia gleby wynosiła 14,5 g, a w warunkach suszy glebowej 3,3 g. Zakres zróżnicowania masy korzeni w warunkach kontrolnych kształtował się od

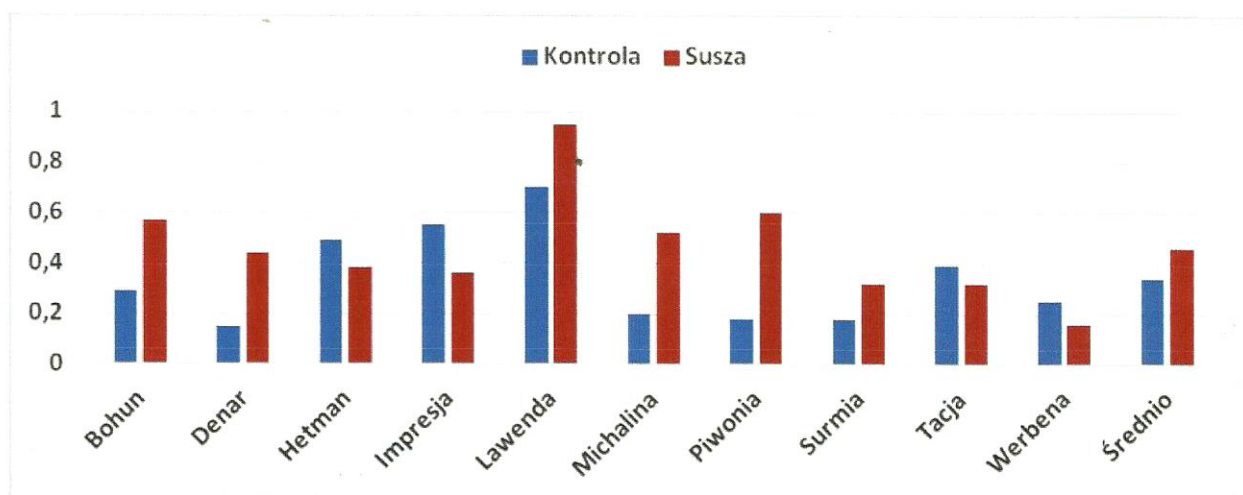
11,3 g u odmiany Lawenda do 18,3 g u odmiany Hetman. W warunkach suszy zakres ten był większy i wahał się od 1,5 u odmiany Werbena do 5,3 g u odmiany Lawenda. Dużym systemem korzeniowym w warunkach niedoboru wody charakteryzowały się również Piwonia i Michalina (rys. 2).



Rys. 2. Masa korzeni w warunkach kontrolnych i w suszy glebowej

Stosunek masy korzeni do masy nadziemnej rośliny w warunkach kontrolnych i w suszy glebowej. Wynosił on średnio dla odmian w warunkach pełnego uwilgotnienia gleby 0,34. W warunkach suszy glebowej był o 26% wyższy i wynosił 0,46. Odnotowano duże zróżnicowanie genotypów dotyczące

tej cechy zarówno w warunkach kontrolnych, jak i stresu suszy. Zakres tego zróżnicowania w warunkach kontrolnych kształtował się od 0,15 u odmiany Denar do 0,70 u odmiany Lawenda. W warunkach niedoboru wody zakres ten wynosił od 0,16 u odmiany Werbena do 0,95 u odmiany Lawenda (rys. 3).

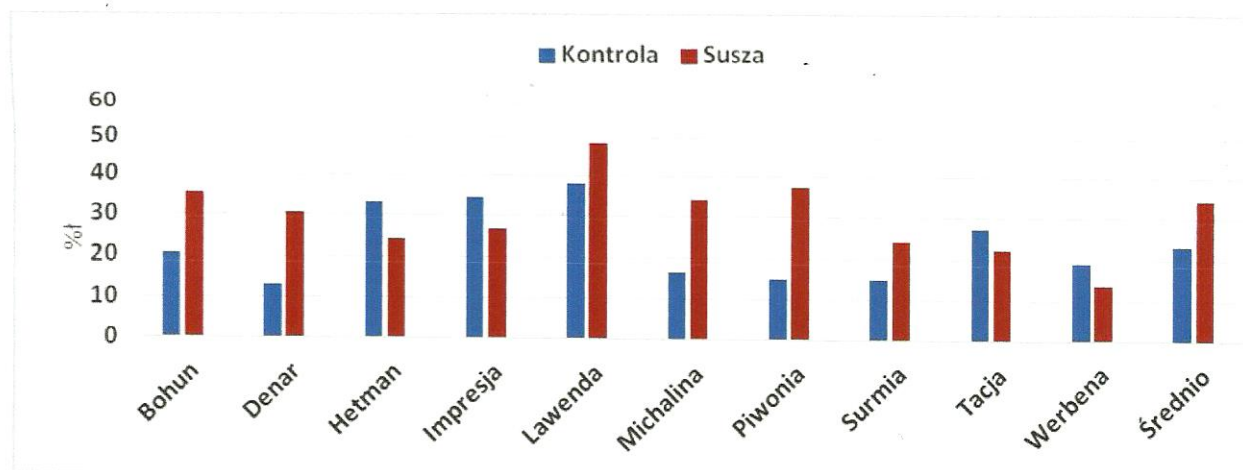


Rys. 3. Stosunek masy korzeni do masy nadziemnej rośliny w warunkach kontrolnych i w suszy glebowej

Udział korzeni w biomacie rośliny w warunkach kontrolnych i w suszy glebowej.

Udział korzeni w całej biomacie rośliny wynosił średnio dla odmian w warunkach kontrolnych 23,3%, a w warunkach suszy glebowej 34,5%. Przy pełnym uwilgotnieniu gleby największy udział korzeni w biomacie rośliny odnotowano u odmian Lawenda, Impresja i Hetman. Najmniejszy udział miały

Denar, Surmia i Piwonia. W warunkach suszy największy udział korzeni w biomacie odnotowano u odmian Lawenda, Piwonia i Bohun. Najmniejszą wartość tego wskaźnika w stresie suszy stwierdzono u odmiany Werbena. Zakres zmienności genotypów dotyczący tej cechy był szerszy w warunkach stresu suszy (rys. 4).



Rys. 4. Udział korzeni w biomacie rośliny w warunkach kontrolnych i w suszy glebowej

Dyskusja

Model klimatyczny przewiduje, że globalne ocieplenie spowoduje dalszą eskalację suszy w wyniku rosnącej ewapotranspiracji (Salinger i in. 2005, Cook i in. 2007), chociaż prawdopodobnie wystąpią duże różnice regionalne (Metz i in. 2007). Częstotliwość i intensywność występowania suszy glebowej ma wzrosnąć z 1 do 30% (Fischlin i in. 2007). Opracowany w Irlandii – za pomocą modeli symulacyjnych (w pakiecie DSSAT) –

wpływ zmian klimatycznych na produkcję ziemniaków wykazał oczekiwany stosunkowo równomierny wzrost temperatury w całym kraju o ok. 1,6°C do okresu klimatycznego 2075 (Holden i in. 2007), powodując poważną utratę plonów ziemniaka w większości kraju do 2055 r.

W północnych regionach, o umiarkowanym klimacie, wystąpi większa niejednorodność zjawisk pogodowych, przy czym w Europie Północnej będzie więcej opadów zimą i

znacząco mniej latem (Haverkort, Verhagen 2008), co istotnie wpłynie na produkcję roślinną. W ujęciu globalnym, w przypadku ziemniaków, susza zmniejszy potencjalne plony ziemniaków o 18-32% w prognozowanym okresie 2040-2069 (Hijmans 2003). Takie prognozy skłaniają do poszukiwania odmian o wyższej tolerancji na te niekorzystne warunki środowiska.

Ziemniak jest szczególnie wrażliwy zarówno na suszę (Monneveux i in. 2013), jak i upały (Levy, Veilleux 2007; Rykaczewska 2015). Podatność ziemniaka na suszę przypisuje się głównie niezdolności do pobierania wody z powodu płytkiego systemu korzeniowego i niezdolności mechanizmów fotosyntetycznych do regeneracji po stresie wodnym i cieplnym (Iwama, Yamaguchi 2006). Odmiany ziemniaka o większym systemie korzeniowym i rozbudowującym się na większą głębokość mają większe szanse pobierania wody i składników pokarmowych, a więc powinny być mniej wrażliwe na okresowe susze czy uprawę w mniej intensywnych systemach produkcji, jak np. system ekologiczny (Głuska 2004, Boguszewska-Mańkowska i in. 2022).

Z literatury wiadomo, że najbardziej wrażliwy na niedobór wody w rozwoju rośliny ziemniaka jest okres tuberyzacji, czyli tworzenia się bulw i gromadzenia plonu. Coraz częściej wskazuje się również na okres wegetatywnego rozwoju rośliny (Mukul i in. 2016).

Jak już podkreślano, susza glebowa wpływa na zahamowanie wzrostu zarówno części nadziemnej rośliny, jak i korzeni (George i in. 2017, Boguszewska-Mańkowska i in. 2020). Potwierdzają to również nasze badania, w których masa nadziemna rośliny w początkowym okresie rozwoju spadła pod wpływem suszy o 87%, a masa korzeni o 77%. Zastosowany stres suszy spowodował zachwianie relacji korzenie/masa nadziemna na korzyść masy korzeni. Stosunek masy korzeni do masy nadziemnej wynosił w kombinacji kontrolnej 0,34, a w kombinacji suszowej 0,46 (średnio dla odmian). Podobna sytuacja dotyczyła udziału korzeni w całej biomacie rośliny. W kombinacji kontrolnej udział korzeni wynosił 23,3%, a w kombinacji, gdzie zastosowano stres suszy – aż 34,5%.

Wyniki te świadczą o tym, że roślina w warunkach stresowych uruchamia mechanizm obronny, wytwarzając więcej korzeni niż w warunkach pełnego zaopatrzenia w wodę. Interesujące jest również duże zróżnicowanie reakcji odmian na kształtowanie się relacji korzenie/masa nadziemna w warunkach kontrolnych i stresowych. Należy zauważyć, że zakres zmienności odmianowej dotyczącej zarówno stosunku korzenie/kielki (root/sprout), jak i udziału korzeni w biomacie był szerszy w stresie suszy niż w warunkach kontrolnych. Uzyskane dane potwierdzają wcześniejsze informacje podawane w literaturze (Mukul i in. 2016).

Na podstawie uzyskanych danych można dokonać próby oszacowania tolerancji nowych odmian na stres suszy. W przypadku badanych genotypów najbardziej tolerancyjne wydają się Lawenda, Piwonia i Bohun. Podobnie z odmianami o najmniejszej tolerancji na suszę. Według naszych badań najmniej tolerancyjne wydają się Hetman i Tacja. Trzeba również zaznaczyć, że są to wstępne wyniki badań, które powinny być potwierdzone w warunkach polowych.

Podsumowując, należy podkreślić duże zróżnicowanie reakcji genotypów ziemniaka odnośnie do stresu suszy zastosowanego w okresie początkowego rozwoju rośliny, co daje możliwość oceny ich tolerancji na ten stres. Trzeba jednak pamiętać, aby w ocenie uwzględniać odmiany ze zbliżonej grupy wczesności.

Literatura

1. Boguszewska-Mańkowska D., Ruszczak B., Zarzyńska K. 2022. Classification of Potato Varieties Drought Stress Tolerance Using Supervised Learning. – Appl. Sci.12(4);
2. Boguszewska-Mańkowska D., Zarzyńska K., Nosalewicz A. 2020. Drought differentially affects root system size and architecture of potato cultivars with differing drought tolerance. – Am. J. Potato Res. 90/1: 54-62;
3. Boguszewska-Mańkowska D., Zarzyńska K., Wasilewska-Nascimento B. 2022. Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plant Shoot and Root Changes under Abiotic Stresses-Yield Response. – Plants 11, 3568, <https://doi.org/10.3390/plants11243568>;
4. Cook E. R., Seager R., Cane M. A., Stahle D. W. 2007. North American drought: reconstructions, causes, and consequences. – Earth Sci. Rev. 81: 93;134. 10.1016/j.earscirev.2006.12.002;
5. Fischlin A., Midgley G. F., Price J., Leemans R.,

- Gopal B., Turley C., Rounsevell M. D. A., Dube O. P., Tarazona J., Velichko A. A. 2007.** Ecosystems, their properties, goods, and services. [In:] Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., Hanson C. E. (Cambridge: Cambridge University Press): 211-272;
- 6. George T. S., Taylor M. A., Dodd I. C., White P. J. 2018.** Climate change and consequences for potato production: a review of tolerance to emerging abiotic stress. – *Potato Res.* 60: 239-268; **7. Haling R. E., Brown L. K., Bengough A. G., Young I. M., Hallett P. D., White P. J., George T. S. 2013.** Root hairs improve root penetration, root–soil contact, and phosphorus acquisition in soils of different strength. – *J. Exp. Bot.* 64: 3711-3721; **8. Haverkort A. J., Verhagen A. 2008.** Climate change and its repercussions for the potato supply chain. – *Potato Res.* 51: 223-237. 10.1007/s11540-008-9107-0; **9. Hijmans R. J. 2003.** The effect of climate change on global potato production. – *Am. J. Potato Res.* 80: 271-280; **10. Holden N., Brereton A., Fealy R., Sweeney J. 2003.** Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yields. – *Agric. For. Meteorol.* 116: 181-196. 10.1016/S0168-1923(03)00002-9; **11. Iwama K. 2008.** Physiology of the potato. New insights into root systems and repercussions for crop managements. – *Potato Res.* 51: 33-353; **12. Iwama F.L. K., Yamaguchi J. 2006.** Abiotic stresses. [In:] Handbook of Potato Production Improvement and Postharvest Management. Gopal J., Khurana S. M. (Eds.). Food Product Press, New York: 231-278. **13. Joshi M., Fogelman E., Belausov E., Ginzberg I. 2016.** Potato root system development and factors that determine its architecture. – *Plant Physiol. Oct.* 20:205:113-123. doi: 10.1016/j.jplph.2016.08.014; **14. Levy D., Veilleux R. E. 2007.** Adaptation of potato to high temperatures and salinity. A review. – *Am. J. Potato Res.* 84: 487-506; **15. Metz B., Davidson O., Bosch P., Dave R., Meyer L. 2007.** Mitigation of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press: 27-93; **16. Monneveux P., Ramierez D. A., Pino M-T. 2013.** Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.). Can we learn from drought tolerance research in cereals? – *Plant Sci.* 205-206: 76-86; **17. Puértolas J., Ballester C., Elphinstone E. D., Dodd I. C. 2014.** Two potato (*Solanum tuberosum*) varieties differ in drought tolerance due to differences in root growth at depth. – *Func. Plant Biol.* 41: 1107-1118; **18. Rykaczewska K. 2015.** The effect of high temperature occurring in subsequent stages of plant development on potato yield and tuber physiological defects. – *Am. J. Potato Res.* 92: 339-349; **19. Salinger M., Sivakumar M., Motha R. 2005.** Reducing vulnerability of agriculture and forestry to climate variability and change: workshop summary and recommendations. – *Clim. Change* 70: 341-362. 10.1007/s10584-005-5954-8; **20. Schmidt S., Bengough A. G., Gregory P. J., Grinev D. V., Otten W. 2012.** Estimating root–soil contact from 3D X-ray microtomographs. – *Eur. J. Soil Sci.* 63: 776-786; **21. Wishart J., George T. S., Brown L. K., Ramsay G., Bradshaw J. E., White P. J., Gregory P. J. 2013.** Measuring variation in potato roots in both field and glasshouse: the search for useful yield predictors and a simple screen for root traits. – *Plant Soil* 368: 231-249; **22. Wishart J., George T. S., Brown L. K., White P. J., Ramsay G., Jones H., Gregory P. J. 2014.** Field phenotyping of potato to assess root and shoot characteristics associated with drought tolerance. – *Plant Soil* 378: 351-363; **23. Zarzyńska K., Boguszewska-Mańkowska D., Nosalewicz A. 2017.** Differences in size and architecture of potato cultivars and their tolerance to drought stress – *Plant Soil Environ.* 63(4): 159-164. 10.17221/4/2017-PSE