

CZY ZIEMNIAKI MOGĄ ROSNAĆ W POWIETRZU?

CAN POTATOES GROW IN THE AIR?

dr Beata Wasilewska-Nascimento, mgr inż. Joanna Jankowska
dr Dominika Boguszewska-Mańkowska
IHAR-PIB Oddział w Jadwisinie, Zakład Agronomii Ziemniaka
e-mail: b.nascimento@ihar.edu.pl

Streszczenie

System aeroponiczny (uprawa bez gleby, w środowisku powietrznym) jest uważany za przyszłościową metodę uprawy roślin w aspekcie bezpieczeństwa żywności i zrównoważonego rozwoju. Komercyjna produkcja sadzeniaków ziemniaka w tej technologii rozwija się m.in. w Chinach i Indiach. W Polsce nie wprowadzono dotychczas aeroponiki do praktyki hodowlanej. Współczesne konstrukcje aeroponiczne do produkcji minibułw funkcjonują w warunkach kontrolowanych i składają się najczęściej z komory aeroponicznej, instalacji do podawania i gromadzenia pożywki oraz systemu wspomagającego i zabezpieczającego pracę zamgławiaczy. Taka produkcja zapewnia wysoki współczynnik rozmnażania, zbiór kilka razy w sezonie wegetacyjnym i materiał wolny od patogenów. Aeroponika umożliwia produkcję sadzeniaków na terenach nieprzydatnych rolniczo i w warunkach klimatycznych niesprzyjających tradycyjnej uprawie ziemniaków. Jest też testowana pod kątem wykorzystania w czasie załogowych lotów kosmicznych ze względu na przestrzenną elastyczność struktur aeroponicznych i znaczną oszczędność wody.

Słowa kluczowe: aeroponika, minibułwy, sadzeniaki, ziemniak

Abstract

The aeroponic system (cultivation without soil, in the air) is considered to be a forward-looking method of plant cultivation in terms of food safety and sustainable development. Commercial production of seed potatoes in this technology is developing, among others in China and India. In Poland, aeroponics has not yet been introduced to the breeding practice. Modern aeroponic constructions for the production of minitubers operate under controlled conditions. They usually consist of an aeroponic chamber, installations for feeding and collecting nutrients as well as a system supporting and protecting fogging devices. Such production ensures a high reproduction rate, harvest several times during the growing season and pathogen-free material. Aeroponics enables the multiplication of seed potatoes in areas unsuitable for agriculture and in climatic conditions not favorable for traditional potato cultivation. It is also tested for use during human-crewed space flights due to the spatial flexibility of aeroponic structures and significant water savings.

Keywords: aeroponics, minitubers, potato, seed potatoes

Od setek lat ziemniak (*Solanum tuberosum* L.) jest cennym źródłem węglowodanów i białka dla ludzi zamieszkujących różne strefy klimatyczne. Jest to roślina, której charakterystyczne podziemne jednoroczne organy spichrzowe, czyli bulwy, wykorzystywane są nie tylko do bezpośredniej konsumpcji, ale również jako surowiec paszowy oraz w przemyśle przetwórczym, m.in. do produkcji spirytusu i mączki ziemniaczanej (Nowacki 2012). Ziemniak jest również jedną z kilku roślin uprawnych badanych pod kątem przydatności do „podtrzymania życia” w specyficznych warunkach wypraw kosmicznych. Zaawan-

sowane badania wskazują, że w miarę potrzeby ziemniak może dostarczać żywność i tlen ludziom żyjącym na innych planetach (Wheeler 2006).

Bulwy ziemniaka są wykorzystywane na szeroką skalę do rozmnażania wegetatywnego. Stanowią szczególny materiał nasienne, który w przechowalnictwie jest mniej trwały niż ziarna. Rośliny rozmnażane wegetatywnie są podatne na choroby wywoływane przez wirusy, wiroidy, bakterie, grzyby czy też nicienie. Patogeny te akumulują się w glebie i w kolejnych pokoleniach rośliny, a więc bulwy mogą przenosić oraz gromadzić

choroby odglebowe (Struik, Wiersema 1999).

Wysoka jakość materiału nasiennego odgrywa zasadniczą rolę w łańcuchu produkcji ziemniaków. Kontrolowane rozmnażanie bulw w wyspecjalizowanych gospodarstwach hodowlanych oraz zastosowanie ustawodawstwa krajowego i międzynarodowych norm charakteryzujących system formalny sprzyjają produkcji sadzeniaków kwalifikowanych (Struik, Wiersema 1999; Hirpa i in. 2010). Jednak ich koszt dla użytkowników końcowych może być jednym z głównych problemów ekonomicznych w systemach formalnych wielu krajów. Taki materiał sadzeniakowy może stanowić od 30 do 70% całkowitych kosztów produkcji towarowej (Mateus-Rodriguez i in. 2013).

Wysoki koszt sadzeniaków oraz niedostateczna ich podaż na rynku kreują nieformalny system zaopatrzenia w sadzeniaki. Jest on popularny w wielu krajach i polega na wykorzystywaniu bulw z produkcji towarowej zebranych z pola w poprzednim sezonie wegetacyjnym. Rolnicy używają bulw pochodzących z własnych zbiorów, zapasów sąsiadów czy też lokalnych targowisk, przez co narażeni są na wysadzanie sadzeniaków słabej jakości, przyczyniających się do rozprzestrzeniania i akumulacji patogenów, co skutkuje niższym plonem, a także gorszą jakością bulw potomnych. Takie sadzeniaki, często w nieodpowiednim wieku fizjologicznym, pomieszane odmianowo, z mechanicznymi uszkodzeniami są nieraz przechowywane w nieodpowiednich warunkach. Zdarza się, że rolnicy używają odmian nieznanego pochodzenia. Brak wiedzy na temat optymalnych właściwości materiału kwalifikowanego, wykorzystania ulepszonych technologii i praktyk utrudnia zastosowanie nowych technologii w produkcji sadzeniaków (Kagongo i in. 2008, Hirpa i in. 2010).

Nieprzerwanie trwają prace badawcze nad doskonaleniem poszczególnych etapów w formalnym systemie produkcji zdrowego materiału nasiennego. Celem tych prac jest poprawa wigoru i jakości sadzeniaków. To z kolei zapewnia poprawę wydajności produkcji oraz zwiększa plony. Innowacyjna produkcja sadzeniaków ziemniaka wykorzystuje nowoczesne techniki biotechnologiczne i zwykle składa się z trzech etapów.

Pierwszy etap, czyli mikrorozmnażanie, opiera się na metodzie jednowęzłowych pędów wykorzystującej pobudzenie do rozwoju pąków bocznych (Michałowska i in. 2019). Jedną z najważniejszych zalet tej metody jest to, że otrzymane w sterylnych warunkach sadzonki in vitro są wolne od patogenów, zwłaszcza od wirusów. Takie mikrosadzonki są materiałem wyjściowym do produkcji zdrowego materiału sadzeniakowego, który ostatecznie trafi do rolników.

W aseptycznych warunkach laboratoryjnych z pędów ziemniaka, oprócz mikrosadzonek, można też otrzymać mikrobulwy, charakteryzujące się również wysokim poziomem czystości odmianowej i wysoką jakością fitosanitarną. Dzięki niewielkim rozmiarom można je z łatwością przechowywać i transportować, mogą być też produkowane w dowolnej porze roku.

Ze względu na wysoki koszt mikrorozmnażania, wymaganą zaawansowaną technologię i dobrze wyszkolony personel w wielu krajach rozwijających się promowane są tańsze rozwiązania w postaci mikrosadzonek pozyskiwanych z pojedynczych węzłów czy pączków liści w warunkach szklarniowych (Lutaladio i in. 2009).

Na drugim etapie z sadzonek in vitro otrzymanych w sterylnych warunkach laboratoryjnych lub z mikrobulw produkuje się minibulwy. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi (2013) minibulwy są wysokiej jakości przedbazowym elitarnym materiałem wyjściowym do produkcji sadzeniaków w kategoriach: elitarne stopnia B (bazowe) lub kwalifikowane. Produkuje się je najczęściej pod osłonami i przeważnie na stałych podłożach.

Po okresie spoczynku minibulw następuje **trzeci etap**, polegający na ich rozmnażaniu w warunkach polowych przez trzy pokolenia, aby wyprodukować dostatecznie dużą ilość materiału bazowego, który jest podstawą do produkcji kwalifikowanych sadzeniaków, sprzedawanych rolnikom w celu wykorzystania w produkcji towarowej (Mbiyu i in. 2012).

Namnażanie minibulw jest etapem krytycznym w produkcji sadzeniaków. Celem jest wytworzenie dużej ilości wysokiej jakości minibulw w stosunkowo krótkim czasie, przy niskich kosztach oraz w sposób przyjazny

dla środowiska (Mateus-Rodriguez i in. 2013).

Zdobycze biotechnologii pozwalają na zwiększanie ilości wysokiej jakości materiału produkowanego z wolnych od chorób sadzonek in vitro, dzięki czemu jest możliwe skrócenie schematu produkcji materiału nasiennego, który w przypadku ziemniaków jest jednym z najdłuższych wśród roślin uprawnych (Banadysev 2012).

Wszystkie znane technologie produkcji minibulw dzielą się na dwie kategorie: z wykorzystaniem podłoża i bez podłoża. Klasycznym sposobem jest produkcja minibulw w szklarniach, namiotach foliowych lub siatkowych na naturalnych glebach lub podłożach glebowych w wazonach (Banadysev 2012). Taka standardowa metoda rozmnażania w systemie formalnym, prowadzona in vivo, jest wieloletnim, nawet ponad 10-letnim, pracochłonnym procesem. Przy zastosowaniu tej metody współczynnik rozmnażania jest stosunkowo niski (Struik, Wiersema 1999), co utrudnia pokrycie zapotrzebowania na sadzeniaki wysokiej jakości. Poza tym metoda ta wymaga sterylizacji podłoża, a to podnosi koszty produkcji (Mbiyu i in. 2012, Otazu 2010).

Wprowadzane nowe rozwiązania technologiczne, tzw. bezglebowe, które zastępują konwencjonalną produkcję glebową, opierają się na wodnych roztworach składników mineralnych (hydroponika). Przykładem hydroponiki są: NFT (ang. nutrient film technique – cienkowiarskowa pożywka przepływowa) oraz DFT (ang. deep flow technique). W systemach NFT korzenie rosną bezpośrednio w płytce (2-3 mm), stale płynącej warstwie roztworu składników odżywczych. Systemy DFT wykorzystują duże zbiorniki, wypełnione roztworem pożywki, na których pływające płyty utrzymują rośliny pionowo, podczas gdy ich korzenie zwisają bezpośrednio w pożywce. W związku z tym, że korzenie zanurzone w roztworze wodnym cierpią z powodu niedostatecznej ilości tlenu, pojawiła się kolejna modyfikacja uprawy hydroponicznej. Soffer (1986) zaprojektował pierwsze urządzenie aerohydroponiczne jako alternatywę dla NFT, w którym dolna część korzeni jest zanurzona w pożywce, a górna część jest poddawana działaniu pożywki rozpylanej (Chang i in. 2012).

Do produkcji minibulw zastosowano również aeroponikę (od greckich słów „aer” powietrze i „ponos” praca), która bardzo dobrze sprawdziła się w kontrolowanych warunkach szklarniowych (Ritter i in. 2001). Początkowo proste urządzenia do aeroponiki były jedynie narzędziem badawczym. Użyte po raz pierwszy w latach 20. XX w. były wykorzystywane przez botaników do obserwacji struktury korzeni (Mbiyu i in. 2012). Współczesna aeroponika nadal jest cenionym narzędziem w pracach badawczych (Rykaczewska i in. 2018), ale oprócz tego została doceniona w produkcji niektórych warzyw i owoców. Uprawa aeroponiczna może zwiększyć plon poszczególnych upraw o 45-75% (NASA 2006). Technika ta jest wykorzystywana w wielu krajach do produkcji m.in. takich warzyw, jak: pomidor (*Solanum* sekcja *Lycopersicon* Mill.), pochryzn (*Dioscorea* L.), sałata (*Lactuca* L.) i niektóre warzywa liściaste (Gopinath i in. 2017).

Współczesne konstrukcje aeroponiczne do produkcji minibulw ziemniaka funkcjonują w warunkach kontrolowanych i składają się najczęściej z komory aeroponicznej, z instalacji do podawania i gromadzenia pożywki oraz systemu wspomagającego i zabezpieczającego pracę zamgławiaczy.

Komora aeroponiczna (fot. 1) przykryta jest blatem, w którym znajdują się otwory w różnych rozstawach, w zależności od potrzeb wykonywanych badań. Ukorzenione sadzonki in vitro są umieszczane w koszyczkach, np. z materiałem mineralnym takim jak wełna mineralna (fot. 2), w celu ustabilizowania sadzonki. Koszyczki są osadzone w otworach blatu. Część nadziemna rośliny rozwija się podobnie jak w uprawach glebowych, korzenie natomiast swobodnie zwisają w powietrzu w dolnej części zacienionej przez folię komory (fot. 3). Foliowe zasłony boczne blokują dostęp światła i umożliwiają bezinwazyjne zbiory minibulw w okresie tuberyzacji (Ritter i in. 2001, Rykaczewska 2016).

W skład instalacji do podawania i gromadzenia pożywki wchodzi zbiornik do przygotowania pożywki (fot. 4) oraz urządzenia umożliwiające doprowadzenie wody ze składnikami pokarmowymi do zamgławiaczy zainstalowanych w dolnej części komory aeroponicznej. Instalacja zamgławiająca w

komorze aeroponicznej jest zasilana za pomocą zestawu pompowo-filtracyjnego. Na instalacji PCV w równomiernych odstępach zainstalowane są dysze wytwarzające mgłę o różnej wielkości kropeł. Zamgławiacze działają w sposób przerywany lub ciągły, dostarczając nawóz do systemu korzeniowego. Pożywka, dostosowana do odmiany,

fazy rozwojowej i warunków lokalnych, dostarcza wszystkich niezbędnych składników pokarmowych. Skład pożywki stosowanej w produkcji minibułw ziemniaka podają m.in. Otazu (2010) oraz Tessema i inni (2017). Nadmiar pożywki, który spływa z korzeni, wraca do obiegu.



Fot. 1. Komora aeroponiczna. Widoczne są: stelaż do podtrzymywania części nadziemnej roślin, blat z otworami i foliowe zasłony boczne (fot. B. Wasilewska-Nascimento)



Fot. 2. Przykładowe koszyczki z wełną mineralną (fot. B. Wasilewska-Nascimento)



Fot. 3. Zaciemniona część komory aeroponicznej. Widoczne otwory w blacie i dysze zamgławiające (fot. B. Wasilewska-Nascimento)



Fot. 4. Zbiornik do przygotowywania pożywki o pojemności 1000 litrów wraz z instalacją (fot. D. Boguszevska-Mańkowska)

Prawidłową pracę konstrukcji aeroponicznej gwarantuje system wspomagający i zabezpieczający. W skład systemów najczęściej wchodzi: czujnik poziomu pożywki w zbiorniku, agregat prądowórczy, sterowniki czasowe regulujące dawkę i częstotliwość podawania pożywki oraz system powiadamiania o alarmach. Współczesna aeroponika dąży do wykorzystania mechanizmów kontroli i komunikacji opartych na metodach sztucznej inteligencji, umożliwiających auto-

matyczne sterowanie i monitorowanie pracy na odległość (Pala i in. 2014).

W niektórych rejonach technologia aeroponiczna stanowi integralną część procesu produkcji nasiennej ziemniaka. Boersig i Wagner (1988) pierwsi użyli aeroponiki do komercyjnej produkcji sadzeniaków (Chang i in. 2012). Pierwszy system aeroponicznej produkcji sadzeniaków w warunkach tropikalnych i subtropikalnych powstał w Korei w 1996 r. (Ritter i in. 2001).

Komercyjna produkcja sadzeniaków ziemniaka za pomocą aeroponiki rozwija się w państwach azjatyckich, takich jak Chiny i Indie (Gopinath i in. 2017). Według danych FAO (2019) zarówno Indie, jak i Chiny znacząco zwiększyły obszar uprawy ziemniaka w ciągu ostatnich 30 lat, odpowiednio o 162 i 123%. W tym samym okresie obszar jego uprawy w niektórych krajach europejskich sporo się zmniejszył. Przede wszystkim znaczne ograniczenie wykorzystania ziemniaków jako podstawowej paszy w żywieniu trzody chlewnej oraz jako surowca w przemyśle gorzelniczym i krochmalniczym doprowadziło do tego, że np. w Polsce obszar ten zmniejszył się o 83%.

W ostatnich latach redukcja powierzchni uprawy ziemniaka w Polsce wynika również z utrudnień eksportowych związanych z występowaniem na terenie kraju bakteriozy pierścieniowej ziemniaka wywoływanej przez bakterie *Clavibacter michiganensis* spp. *sepedonicus*. Mimo tego dane FAO (2019) wskazują, że Polska nadal jest liczącym się producentem ziemniaka, zajmując drugie miejsce w Unii Europejskiej i ósme na świecie pod względem jego produkcji (9 171 730 ton w 2017 r.).

W Polsce opracowano 4-letni program mający na celu wyeliminowanie bakteriozy pierścieniowej ziemniaka, co może wpłynąć na wzrost eksportu. Przewiduje się wprowadzenie obowiązku wysadzania sadzeniaków wolnych od bakterii. W związku z tym wzrosło zapotrzebowanie na kwalifikowany materiał sadzeniakowy. Szajner (2018) podaje, że produkcja kwalifikowanych sadzeniaków w Polsce pokrywa obecnie 18% całego zapotrzebowania na materiał nasienny. W gospodarstwach zajmujących się produkcją pojawi się potrzeba nowych rozwiązań technologicznych, pozwalających na wyprodukowanie dużych ilości zdrowych sadzeniaków w jak najkrótszym czasie. Wprowadzenie aeroponiki może pomóc sprostać tym zadaniom. Pomimo przeprowadzonych wstępnych badań (Rykaczewska 2016) w Polsce nie wprowadzono dotychczas aeroponiki do praktyki hodowlanej. W oddziale IHAR-PIB w Jadwisinie trwają prace nad kontynuacją dotychczasowych badań w zakresie włączenia uprawy aeroponicznej do produkcji ziemniaków.

Aeroponiczna produkcja minibulw zapewnia wysoki współczynnik rozmnażania, gdyż zbiory prowadzone są kilka razy w sezonie wegetacyjnym, w określonych odstępach czasowych, np. co 7, 10 lub 14 dni w doświadczeniach Farran i Mingo-Castel (2006). Dzięki temu można skrócić czas potrzebny do wyprodukowania odpowiedniej ilości kwalifikowanego materiału. Wyprodukowane minibulwy są zdrowe i wolne od patogenów glebowych. Redukcja ilości wysadzeń w polu zmniejsza ryzyko porażenia wirusami.

Niedostateczna jest jeszcze liczba wyników badań charakteryzujących minibulwy wyprodukowane w systemach aeroponicznych. Z doświadczeń Farran i Mingo-Castel (2006) wynika np., że plon takich minibulw może być niski i może mieć związek z małymi rozmiarami bulw potomnych.

Instalacje aeroponiczne umożliwiają produkcję sadzeniaków na terenach nieprzydatnych rolniczo. Mogą być odpowiedzią na szybko zachodzące zmiany klimatyczne i wzrastającą na niektórych obszarach suszę. Skorzystać na tym mogą również rejony o warunkach klimatycznych niesprzyjających uprawie ziemniaków.

Aeroponika gwarantuje oszczędność wody. Gopinath i inni (2017) zwrócili uwagę na to, że wykorzystanie wody użytej do produkcji aeroponicznej sięga prawie 99%. Zmniejszając zużycie środków ochrony roślin nawet do 100% i nawozów mineralnych do 60%, redukuje ich negatywny wpływ na środowisko (Lakhari i in. 2018).

Konstrukcja i instalacja urządzeń aeroponicznych do produkcji minibulw wymaga dużych nakładów finansowych w fazie uruchomienia. Mimo tego Lakhari i inni (2018) zaliczają ten system do ekonomicznie wydajnych. Zwrotu poniesionych kosztów można spodziewać się w ciągu kilku lat (Mohanty, Baruah 2019). Nadal jednak istnieje potrzeba zrozumienia ekonomii produkcji minibulw za pomocą aeroponiki (Kakuhenzire i in. 2017). Mimo że niektórzy autorzy zwracają uwagę na wysokie koszty infrastruktury i uruchomienia aeroponicznej produkcji sadzeniaków, technologia ta jest postrzegana jako ważna opcja również dla krajów rozwijających się (Mbiyu i in. 2012, Mateus-Rodriguez i in. 2013). W kalkulacji kosztów należy

wziąć pod uwagę dostosowanie jej do potrzeb i warunków lokalnych.

Aeroponika oferuje naukowcom nieinwazyjne metody badania systemu korzeniowego roślin podczas rozwoju, m.in. jego struktury oraz różnic odmianowych w rozwoju systemu korzeniowego. Umożliwia badanie reakcji na suszę, wysoką temperaturę i składniki odżywcze oraz mikroorganizmów korzeniowych (Mbiyu i in. 2012).

Aeroponiczna uprawa roślin jest testowana – przy finansowym wsparciu NASA – pod kątem wykorzystania w czasie załogowych lotów kosmicznych. Przestrzenna elastyczność struktur aeroponicznych oraz znaczne zmniejszenie ilości wody przewożonej podczas lotów kosmicznych zostały docenione w nowatorskich rozwiązaniach dla potrzeb mikrogravitacji w kapsułach kosmicznych (NASA 2006, Gwynn-Jones i in. 2018).

Literatura

- Banadysev S. 2012.** Tekhnologii proizvodstva miniklubney kartofelya: chto predpochest? – Agrarnoye obozreniye 6 (34): 20-21;
- Chang D. C., Park C. S., Kim S. Y., Le, Y. B. 2012.** Growth and tuberization of hydroponically grown potatoes. – Potato Res 55: 69-81;
- FAO 2019.** <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> [dostęp 10.10.2019];
- Farran I., Mingo-Castel A. M. 2006.** Potato minitubers production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. – Am. J. Potato Res. 83: 47-53;
- Gopinath P., Vethamoni P. I., Gomathi M. 2017.** Aeroponics soilless cultivation system for vegetable crops. – Chem. Sci. Rev. Lett. 6 (22): 838-849;
- Gwynn-Jones D., Dunne H., Donnison I., Robson P., Sanfratello G. M., Schlarb-Ridley B., Hughes K., Convey P. 2018.** Can the optimization of pop-up agriculture in remote communities help feed the world? – Glob. Food Secur. 18: 35-43;
- Hirpa A., Meuwissen M. P. M., Tesfaye A., Lommen W. J. M., Lansink A. O., Tsegaye A., Struik P. C. 2010.** Analysis of seed potato systems in Ethiopia. – Am. J. Potato Res. 87: 537-552;
- Kaguongo W., Gildemacher P., Demo P., Wagoire W., Kinyae P., Andrade J., Forbes G., Fuglie K., Thiele G. 2008.** Farmer practices and adoption of improved potato varieties in Kenya and Uganda. Social Sci. Working Paper 5. CIP, Lima, Peru;
- Kakuhenzire R., Tibanyendera D., Night Kashaija I., Lemaga B., Kimoone G., Kesiime V. E., Otazu V., Ortiz V., Barker I. 2017.** Improving minituber production from tissue-cultured potato plantlets with aeroponic technology in Uganda. – Int. J. Agric. Environ. Res. 3(5): 3948-3964;
- Lakshari I. A., Gao J., Syed T N., Chandio F. A., Buttar N. A. 2018.** Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. – J. Plant Interact. 13(1): 338-352;
- Lutaladio N., Ortiz O., Haverkort A., Caldiz D. 2009.** Sustainable potato production. Guidelines for developing countries. Rome (Italy). Food Agric. Org. 91 p. <http://www.fao.org/3/a-i1127e.pdf> [dostęp 10.10.2019];
- Mateus-Rodriguez J. R., Haan S. de, Andrade-Piedra J. L., Maldonado L., Hareau G., Barker I., Chuquillanqui C., Otazu V., Frisancho R., Bastos C., Pereira A. S., Medeiros C. A., Montesdeoca F., Benitez J. 2013.** Technical and economic analysis of aeroponic and other systems for potato mini-tuber production in Latin America. – Am. J. Potato Res. 90: 357-368;
- Mbiyu M. W., Muthoni J., Kabira J., Elmar G., Muchira C., Pwaiswai P., Ngaruiya J., Otieno S., Onditi J. 2012.** Use of aeroponics technique for potato (*Solanum tuberosum*) minitubers production in Kenya. – J. Hortic. For. 4(11): 172-177;
- Michałowska D., Przewodowska A., Piskorz J., Olejnik O. 2019.** Zastosowanie kultur tkankowych w mikrorozmnażaniu ziemniaka. – Ziemn. Pol. 3: 11-15;
- Mohanty S., Baruah S. 2019.** Apical rooted cuttings could revolutionize potato seed production in India. Outlook. <https://www.outlookindia.com/web-site/story/apical-rooted-cuttings-could-revolutionize-potato-seed-production-in-india/331839> [dostęp 10.10.2019];
- NASA Spinof 2006.** Progressive plant growing has business blooming. [In:] Environmental and Agricultural Resources. New York: NASA Spinof: 64-77;
- Nowacki W. 2012.** O kierunkach zmian w uprawie ziemniaka w Polsce. – Biul. IHAR 266: 21-35;
- Otazu V. 2010.** Manual on quality seed potato production using aeroponics. International Potato Center (CIP). <https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/005447.pdf> [dostęp 10.10.2019];
- Pala M., Mizenko L., Mach M., Reed T. 2014.** Aeroponic greenhouse as an autonomous system using intelligent space for agriculture robotics. Robot intelligence technology and applications 2. Advances in Intelligent Systems and Computing 274: 83-93;
- Ritter E., Angulo B., Riga P., Herran C., Relloso J., San Jose M. 2001.** Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. – Potato Res. 44: 127-135;
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 kwietnia 2013 r. w sprawie terminów składania wniosków o dokonanie oceny polowej materiału siewnego poszczególnych grup roślin lub gatunków roślin rolniczych i warzywnych oraz poszczególnych wymagań w zakresie wytwarzania i jakości materiału siewnego tych roślin (Dz. U. 2013. poz. 517).** <http://prawo.sejm.gov.pl>

- isap.nsf/download.xsp/WDU20130000517/O/D20130517.pdf [dostęp 16.10.2019]; **22. Rykaczewska K. 2016.** The potato minituber production from microtubers in aeroponic culture. – *Plant Soil Environ.* 5: 210-214; **23. Rykaczewska K., Zarzyńska K., Boguszevska-Mańkowska D. 2018.** Architecture of the root system of potato cultivars grown in aeroponics. – *Electron. J. Pol. Agric. Univ.* 21(1). <http://www.ejpau.media.pl/volume21/issue1/art-02.html> [dostęp 11.09.2019]; **24. Struik P. C., Wiersema S. G. 1999.** Seed potato technology. Wageningen; Wageningen Pers;
- 25. Szajner P. (red.) 2018.** Produkcja i podaż ziemniaków w Polsce. Analizy Rynkowe. Rynek ziemniaka 45: 12-20; **25. Tessema L., Chindi A., Giorgis G., Solomon A., Shunka E., Seid E. 2017.** Determination of nutrient solutions for potato (*Solanum tuberosum* L.) seed production under aeroponics production system. – *Open Agric.* 2: 155-159; **27. Wheeler R. M. 2006.** Potato and human exploration of space: Some observations from NASA-sponsored controlled environment studies. – *Potato Res.* 49: 67-90

