

METODY FIZYCZNE STYMULACJI SADZENIAKA – NOWE TECHNIKI W PRODUKCJI ZIEMNIAKÓW

prof. dr hab. Barbara Sawicka

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, e-mail: barbara.sawicka@up.lublin.pl

Biologiczny plon ziemniaka kształtują czynniki biotyczne i abiotyczne. **Czynniki biotyczne** to elementy środowiska występujące w wyniku oddziaływania żywych organizmów (mikroorganizmów, roślin, zwierząt, ludzi, drapieżników, pasożytów, szkodników) w sposób bezpośredni lub pośredni na inne żywe organizmy. Do tej grupy zalicza się również działalność człowieka (nawożenie, nawadnianie, ochrona roślin, zanieczyszczanie powietrza, zanieczyszczanie wód i gleb itp.). Wśród czynników szkodliwych natury biotycznej, zagrażających w istotny sposób funkcjonowaniu ekosystemów rolniczych, w tym ziemniaka, wyróżnia się następujące grupy organizmów: patogeniczne grzyby, bakterie, wirusy, wiroidy, owady, nicienie. Wykazują one tendencję do niekontrolowanego przez opór środowiska wzrostu populacji, co powoduje ogromne szkody w ekosystemach rolniczych (Cwalina-Ambroziak 2004). Przeciwdziałanie temu zjawisku polega m.in. na zapobieganiu występowaniu organizmów szkodliwych.

Czynniki abiotyczne dzielą się na dwie grupy: chemiczne i fizyczne. Do chemicz-

nych należą związki organiczne i nieorganiczne, do fizycznych zaś: grawitacja, magnetyzm, promieniowanie kosmiczne, warunki atmosferyczne (temperatura, ciśnienie, wilgotność, prędkość i kierunek wiatru, proporcja intensywności (liczby kwantów) światła czerwonego R do dalekiej czerwieni FR, anomalie pogodowe itp.). Należą tu też czynniki przyrody nieożywionej (np. właściwości gleby: wilgotnościowe, fizyczno-chemiczne; warunki fizjograficzne – wystawa, ekspozycja) charakterystyczne dla danego środowiska i działające na żyjące w nim organizmy, a jednocześnie podlegające ich wpływom. Zbyt silne odchylenia, np. temperatury powietrza, wilgotności, składu chemicznego wód, gleby, hamują rozwój organizmów, a zmiany tych czynników często są następstwem gospodarczej działalności człowieka (Jura, Krzanowska 1998). Z abiotycznych czynników chemicznych najważniejsze są:

- gazy, dym, pyły;
- metale ciężkie – najczęściej dostają się do organizmu człowieka z wodą i pożywieniem lub z lekami, ale czasami również przez układ oddechowy lub skórę, np. rtęć,

ólów, kadm, nikiel; pierwiastki radiogenne, np. cez (izotopy ^{134}Cs i ^{137}Cs), wchłaniane głównie drogą pokarmową;

- nawozy mineralne – przykładem szkodliwych związków w nich zawartych są azotany. Człowiek pobiera azotany i azotyny głównie z żywnością oraz wodą; są to związki silnie kancerogenne;
- pestycydy – stosowane w rolnictwie do walki z chorobami, szkodnikami i chwastami, zawierają syntetyczne związki organiczne i nieorganiczne. Są to: arkarycydy, baktericydy, fungicydy, herbicydy, insektycydy, moluscocydy, zoocydy;
- promieniowanie (cieplne, elektromagnetyczne, jonizujące, rentgenowskie);
- skażenia chemiczne, stężenia pyłków;
- toksyny (trucizny organiczne wytwarzane przez drobnoustroje, rośliny i zwierzęta);
- zasolenie gleby, wód (Jura, Krzanowska 1998).

Stymulacja przed sadzeniem

Materiał nasienny jest podstawowym środkiem w produkcji roślinnej. Jego wysoka jakość jest jednym z najważniejszych warunków uzyskania wysokiego i dobrego jakościowo plonu ziemniaków. Stąd też bardzo ważne jest jego przygotowanie, w tym uszlachetnianie przed sadzeniem. Do tradycyjnych sposobów przygotowania materiału sadzeniowego, jak sortowanie, frakcjonowanie bulw, zaprawianie ich przeciwko chorobom czy szkodnikom, pobudzanie bądź podkietkowanie, można obecnie dołączyć zabiegi chemiczne i fizyczne. Celem uszlachetniania materiału jest poprawa jego energii i siły kiełkowania oraz ograniczenie zmienności cech fizycznych, fizjologicznych i morfologicznych. Dzięki tym, dość skomplikowanym, technologiom lepszy wzrost i rozwój roślin jest zauważalny nawet w pokoleniu następnym (Pietruszewski 2003; Wójcik, Dziamba 2004; Marks, Jakubowski 2006; Jakubowski 2007, 2008).

Fizyczne zabiegi przed sadzeniem mają na celu poprawę zdolności i warunków kiełkowania, a w konsekwencji wzrost ilości i jakości plonu. Do czynników wykorzystywanych w uszlachetnianiu sadzeniaków należą: pole magnetyczne, pole elektryczne i elektromagnetyczne, promieniowanie jonizujące, promieniowanie długo- i krótkofalowe, świa-

tło lasera, ultradźwięki itp. Nie powodują one zmian w składzie chemicznym materiału, wpływając modyfikująco jedynie na procesy fizjologiczne. Nie powodują także zmian środowiskowych i ze względów ekologicznych wydają się lepsze od metod chemicznych (Chung i in. 2002; Pietruszewski 2003; Wójcik, Dziamba 2004; Sawicka, Dolatowski 2007).

Promieniowanie elektromagnetyczne.

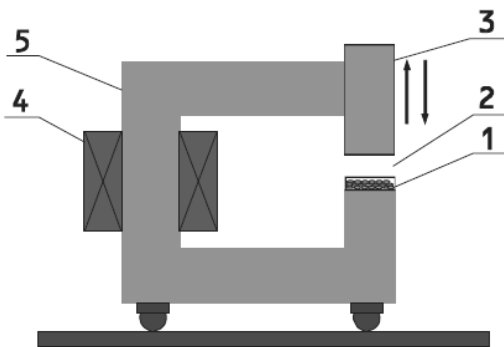
Termin ten odnosi się do poruszających się z prędkością światła fal elektromagnetycznych różnej długości. Nie wszystkie długości fal znajdują zastosowanie w teledetekcji. Zakres promieniowania użytecznego zaczyna się wraz z pasmem promieniowania widzialnego i rozciąga, poprzez bliską i średnią podczerwień, aż do podczerwieni termalnej i dalej do zakresu promieniowania mikrofalowego.

U podstaw teledetekcji leży założenie, że charakterystyki odbicia promieniowania (krzywe spektralne) poszczególnych obiektów wykazują różnice wystarczające, by dokonać ich rozróżnienia. Zróżnicowanie promieniowania można zwizualizować przy użyciu skali szarości. Jeśli jednak zastosuje się odpowiednie filtry, to samo promieniowanie można rozdzielić np. na trzy składowe: niebieską, zieloną i czerwoną. Wówczas obraz jest kolorowy, składa się z trzech obrazów odpowiadających trzem zakresom spektrum. Poszczególne obrazy, składające się na obraz wielospektralny, jak również zakresy promieniowania, w których zostały one zarejestrowane, noszą nazwę kanałów (Stašelis, Duchowski, Brazaityte 2003).

Rysunek 1 przedstawia stanowisko do przedsięwziętej magnetycznej biostymulacji nasion, w tym sadzeniaków ziemniaka na kilka dni przed sadzeniem. Indukcja stałego pola magnetycznego w wypadku np. nasion roślin strączkowych wynosi $f = 45 \text{ mT}$. Wyboru dawki i ekspozycji naświetlania dokonuje się na podstawie badań pilotażowych (Pietruszewski 2002; Podleśny 2004; Podleśny, Podleśna 2004; Podleśny, Pietruszewski 2007; Kornarzyński, Pietruszewski 2008).

Z badań Marksa i innych (2005) wynika, że działanie impulsowego pola elektrycznego na bulwy ziemniaka, ich ekspozycja w polu magnetycznym czy stosowanie promieni mikrofalowych redukuje rozwój i populację niektórych bakterii oraz grzybów charaktery-

stycznych dla chorób przechowalniczych ziemniaka i stymuluje ogólny rozwój rośliny potomnej. Marks i Szczówka (2010), stymulując sadzeniaki zmiennym polem magnetycznym przy użyciu solenoidu (cewka z rdzeniem powietrznym), stwierdzili, że zmienne pole magnetyczne działa hamująco na deformacje bulw wywołane czynnikami modyfikującymi oraz wpływa istotnie dodatnio na wartości współczynników kształtu bulw.



Rys. 1. Stanowisko do stymulacji nasion polem magnetycznym: 1 – pojemnik z materiałem rozmnożeniowym, 2 – regulowana szczelina elektromagnesu, 3 – ruchoma zwora, 4 – uzwojenia elektromagnesu, 5 – rdzeń elektromagnesu
Źródło: Kornarzyński, Pietruszewski 2008

Promieniowanie mikrofalowe. W badaniach Jakubowskiego (2007) rzeczywista dawka promieniowania w wysokości 8,1-18,5 J/g (co odpowiada wartościom 270-500 J i czasowi ekspozycji 2-7 s) zastosowana na sadzeniaki wczesnych odmian ziemniaka przed sadzeniem pozytywnie wpłynęła na przyrost biomasy nadziemnej i plon. Badania dowiodły, że promieniowanie mikrofalowe może działać stymulująco na określone procesy fizjologiczne wczesnych odmian. Przyjęte wielkości dawek promieniowania mikrofalowego i czas ekspozycji nie miały jednak istotnego wpływu na podatność bulw na uszkodzenia.

W innych badaniach Jakubowski (2008) stwierdził, że są również istotne zależności pomiędzy zawartością azotanów w bulwach wczesnych odmian i okresem ich przechowywania a wpływem promieniowania mikrofalowego. Bulwy poddane działaniu mikrofal w zakresie 11,5-107,6 J/g dawek jednostkowych zawierały mniej azotanów w porównaniu z próbkami kontrolnymi. Rośliny wyrosłe z sadzeniaków napromieniowanych dawkami mikrofal w zakresie 7,49-11,10 J/g wydały

istotnie wyższy plon spod krzaka w porównaniu z pozostałymi kombinacjami doświadczenia (Jakubowski 2011).

Promieniowanie mikrofalowe pobudza fizjologiczne procesy kiełkowania, a tym samym może przyspieszać wschody i stymulować układy adaptacyjne organizmów. Tego typu stymulacja jest procesem termicznym i w wypadku wysoko uwodnionego materiału biologicznego może dawać również efekt negatywny (Ahloowalia, Małuszyński 2001; Jakubowski 2007, 2008).

Światło lasera. Historia kondycjonowania roślin rolniczych laserem jest stosunkowo krótka. Po eksperymentalnym stwierdzeniu jego dobroczynnego wpływu na nasiona (Koper, Dygdała 1993) podjęto liczne próby użycia go do indukowania np. odporności rzepaku ozimego na najgroźniejszy patogen grzybowy, jakim jest *Phoma ligam* (Starzycki i in. 2005). Do naświetlania stosuje się najczęściej światło lasera He-Ne i urządzenie skonstruowane przez Kopera i Dygdałę (1993) do przedsięwziętej stymulacji laserowej materiału rozmnożeniowego, zarejestrowane jako patent UP RP nr 162598. Podczas swobodnego spadku nasion bądź sadzeniaków naświetla się je wiązką lasera He-Ne o mocy 40 mW przez określony, bardzo krótki, czas (np. 0,1 s).

W uprawie ziemniaków średni plon po poddaniu sadzeniaków działaniu lasera przed sadzeniem wzrósł o 41% dzięki zwiększeniu o 17,8% liczby bulw z pojedynczej rośliny oraz o 21,4% masy pojedynczej bulwy (Vasilevski i in. 1997). Efektem biostymulacji laserowej, poza zwiększonym plonowaniem, mogą być także: lepsze wschody, przyspieszone dojrzewanie, poprawa odporności roślin na stres wywołany zasoleniem roztworu hydroponicznego, większa odporność na choroby i niesprzyjające warunki środowiska, a także wyższa jakość biologiczna i przetwórcza plonów (Vasilevski i in. 1997; Wójcik, Dziamba 2004; Jakubiak 2010).

W badaniach Przewoźnego i Rybińskiego (1994) naświetlanie przez 15 i 20 min pąków kwiatowych ziemniaka, wykorzystywanych w kulturach pylnikowych (przy 14-godz. oświetleniu i temperaturze 24°C), dało w efekcie większy procent dzielących się mikrospor, większą liczbę pylników tworzących struktury

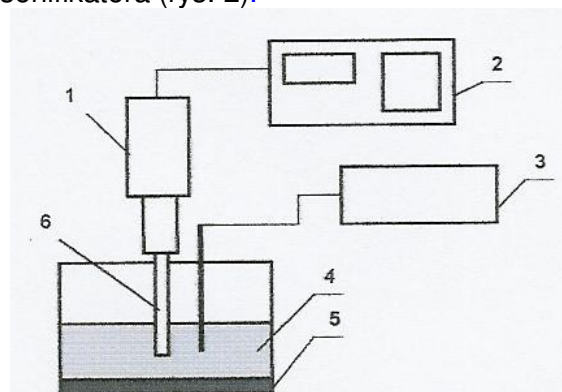
makroskopowe oraz więcej zregenerowanych roślin w porównaniu z obiektem kontrolnym. Dzięki stymulującemu działaniu światła lasera zostały zregenerowane nawet rośliny rodów „upartych”, które we wcześniejszych badaniach nie wykazywały żadnej pozytywnej reakcji androgenetycznej.

Ultradźwięki. Są to fale akustyczne, których częstotliwość jest zbyt wysoka, aby mógł je słyszeć człowiek. Za górną granicę słyszalnych częstotliwości uważa się ok. 20 kHz. Za umowną górną granicę ultradźwięków przyjmuje się częstotliwość 10 GHz. Od niej zaczyna się zakres hiperdźwięków (Wu 2007).

W technologii żywności wykorzystuje się przede wszystkim fale ultradźwiękowe o dużej mocy i małej częstotliwości (20-100 kHz). Jak do tej pory nie wykryto żadnych ubocznych, niekorzystnych skutków wykorzystywania ultradźwięków na skalę przemysłową. Obecność w środowisku drgań ultradźwiękowych, będących naturalnym fizycznym czynnikiem przyrody, nie stanowi żadnego zagrożenia dla organizmu ludzkiego. Przeciwnie, wszystko wskazuje na to, że ultradźwięki są bezpieczne zarówno dla pracowników zakładów przetwórczych zajmujących się produkcją żywności, jak i dla spożywających sonifikowaną żywność konsumentów (Li, Sun 2002; Kaczmarek, Lewicki 2005).

Ostatnio zauważa się stosowanie ultradźwięków w rolnictwie. W metodzie tej są wykorzystywane wibracje tzw. fal kawitacji wywoływanych w roztworze przez ultradźwięki. Fale ultradźwiękowe pozwalają na przeprowadzenie nieniszczących badań struktury produktu w zależności od określonego natężenia i częstotliwości, nie powodujących zmian jego właściwości fizycznych oraz chemicznych (Sawicka, Dolatowski 2007). Podczas zabiegu sonifikacji są wykorzystywane drgania mechaniczne o różnej częstotliwości (kHz) oraz pośrednictwo wody, która jest najlepszym ośrodkiem rozchodzenia się fali ultradźwiękowej. Ultradźwięki pobudzają rozwój roślin i podziały komórkowe, ale można ich użyć zarówno do aktywacji wewnątrzkomórkowych podziałów, jak i do ewentualnego wstrzymania wzrostu i wywołania inaktywacji (Sawicka, Dolatowski 2007; Wu 2007; Vilku i in. 2008; Sawicka, Pszczółkowski 2012). Najczęściej do sonifi-

kacji materiału rozmnożeniowego używa się sonifikatora (rys. 2).



Rys. 2. Schemat urządzenia do obróbki ultradźwiękowej: 1 – konwerter ultradźwiękowy, 2 – generator z watomierzem, 3 – termopara, 4 – rozpuszczalnik (woda), 5 – materiał sonifikowany, 6 – sonda ultradźwiękowa (Kobus 2007)

W badaniach Sawickiej i Dolatowskiego (2007) oraz Sawickiej i Pszczółkowskiego (2012) do sonifikacji immersyjnej sadzenia-ków używano urządzenia ultradźwiękowego wannowego, wyposażonego w 3 przetworniki ultradźwiękowe piezoelektryczne, przyklejone pod dnem zbiornika wykonanego z kwasoodpornej blachy stalowej. Sumaryczna moc akustyczna wynosiła ok. 200 W przy częstotliwości ok. 32 kHz. Sonifikacja odbywała się w środowisku wodnym o temperaturze ok. 15°C przez wstępnie określony czas. Sonifikacja bulw przed sadzeniem wpływa korzystnie na plon ogólny i handlowy, choć reakcje odmian na zastosowane długości ekspozycji ultradźwięków mogą być zróżnicowane. Zabieg ten oddziałuje dodatnio na większość cech jakości ziemniaka (skład chemiczny, ciemnienie miąższu surowych i gotowanych) oraz zdrowotność (mniejszy udział bulw porażonych parchem zwykłym i rizoktoniozą, mniejsze nasilenie objawów tych chorób na bulwach). Pod wpływem sonifikacji bulw przed sadzeniem odnotowano, po okresie przechowywania, wcześniejsze osiągnięcie odpowiedniego wieku fizjologicznego (Chung i in. 2002; Sawicka, Dolatowski 2007).

Zabieg ten można polecić rolnikom jako nowoczesną technologię z myślą, że w przyszłości jego wykorzystanie rozwinie się na szeroką skalę. W aspekcie potencjalnego wykorzystania sonifikacji, jako metody uszlachetniania sadzenia-ków nie tylko w nasien-

nictwie, ale i w produkcji towarowej ziemniaków, niezbędna jest ocena jej wpływu na aktywność białek i antyoksydantów. Konieczne są zatem dalsze prace nad doбором aparatu i warunków sonifikacji w celu uzyskania jak najlepszych efektów przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej aktywności enzymów, które mogą katalizować reakcje syntezy związków zapasowych, a zwłaszcza antyoksydantów.

Podsumowanie

Stosowanie metod fizycznych wpływa na przyrost biomasy stymulowanych gatunków roślin. Dodatni efekt oddziaływania pola elektrycznego, pola magnetycznego, światła lasera, promieniowania gamma, promieniowania mikrofalowego i ultradźwięków w postaci zwiększenia biomasy został potwierdzony w wielu badaniach prowadzonych przez naukowców od początku XXI wieku. Nie wszystkie ze stosowanych obecnie metod stymulacji rozwoju roślin są dopuszczone w rolnictwie ekologicznym. Stąd też celowe jest wykorzystanie proekologicznych, łatwych w stosowaniu, fizycznych metod zwiększających ilość i jakość plonu ziemniaka.

Literatura

- Ahloowalia B. S., Małuszyński M. 2001.** Induced mutations – a new paradigm in plant breeding. – *Euphytica* 118: 167-173;
- Chung M., Moon T., Kim H., Chun J. 2002.** Physicochemical Properties of Sonicated Munch Bean, Potato, and Rice Starches. – *Cereal Chemistry* 79 (5): 631-633;
- Cwalina-Ambroziak B. 2004.** Struktura zbiorowiska grzybów spod uprawy ziemniaka, ukształtowana pod wpływem niektórych czynników agrotechnicznych. – *Ann. UMCS E-59(3)*: 1213-1221;
- Jakubiak M. 2010.** Zastosowanie stymulacji laserowej wybranych gatunków roślin w celu zwiększenia ich przydatności dla rekultywacji terenów zasolonych. Rozpr. dokt. <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy2/10242/full10242.pdf>;
- Jakubowski T. 2007.** Wpływ mikrofalowej stymulacji sadzeniaków ziemniaka na wzrost i rozwój roślin potomnych. – *Inż. Rol.* 6(94): 49-56;
- Jakubowski T. 2008.** Zależność między promieniowaniem mikrofalowym a zawartością azotanów w bulwach ziemniaków w trakcie ich przechowywania. – *Acta Agrophys.* 11(2): 411-418;
- Jakubowski T. 2011.** Model plonowania roślin ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) wyrosłych z sadzeniaków napromienionych mikrofalami. – *Acta Agro-*
- phys. 17(2): 311-323;**
- Jura C., Krzanowska H., 1998.** Encyklopedia biologiczna. Red. Z. Otałęga. T. 4, 82. Agencja Publ. Wyd. Opres Kraków;
- Kaczmarek Ł., Lewicki P. 2005.** Zastosowanie technik ultradźwiękowych w przetwarzaniu żywności. – *Przem. Spoż.* 9: 34-36;
- Kobus Z. 2007.** Energetyczne aspekty sonifikacji suszu z marchwi. – *Inż. Rol.* 5(93): 213-222;
- Koper R., Dygdała Z. 1993.** Urządzenie do obróbki przedsewnej nasion promieniowaniem laserowym. Patent UP RP nr 162598;
- Kornarzyński K., Pietruszewski S. 2008.** Wpływ zmiennego pola magnetycznego na kiełkowanie nasion o niskiej zdolności kiełkowania. – *Acta Agrophys.* 11(2): 429-435;
- Li B., Sun D. 2002.** Effect of power ultrasound on freezing rate during immersion freezing of potatoes. – *J. Food Engin.* 5: 277-282;
- Marks N., Jakubowski T. 2006.** Wpływ promieniowania mikrofalowego na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka. – *Inż. Rol.* 6(81): 57-64;
- Marks N., Lipiec J., Jakubowski T. 2005.** Ocena przydatności metod fizycznych do zwalczania przechowalniczych chorób bulw ziemniaka. – *Inż. Rol.* 7(67): 169-175;
- Marks N., Sobol Z., Baran D. 2003.** Ocena mikrofalowej stymulacji bulw ziemniaka. – *Inż. Rol.* 11(53): 131-137;
- Marks R., Szecówka P. 2010.** Wpływ stymulacji sadzeniaków zmiennym polem magnetycznym na kształt bulw ziemniaka. – *Inż. Rol.* 5(123): 181-188;
- Pietruszewski S. 1998.** Stanowisko do przedsewnej biostymulacji nasion zmiennym polem magnetycznym. – *Inż. Rol.* 2(3): 31-36;
- Pietruszewski S. 2002.** Wpływ pól magnetycznych i elektrycznych na kiełkowanie nasion wybranych roślin uprawnych. – *Technica Agraria* 1(1): 75-81;
- Pietruszewski S. 2003.** Magnetyczna i elektryczna biostymulacja nasion roślin uprawnych. [W:] Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze. II Międzynar. Konf. Nauk. AGRO-LASER. Lublin, 8-10.09.2003 (maszyn.);
- Pietruszewski S. 2008.** Poprawa jakości materiału siewnego roślin uprawianych metodami fizycznymi. [W:] Nowe trendy w agrofizyce. Red. Dobrzański J., Grudas S., Nawrocki S., Rybczyński R. Wyd. Nauk. FRNA Lublin: 71-72;
- Podleśny J. 2004.** Wpływ stymulacji magnetycznej nasion na wzrost, rozwój i plonowanie roślin uprawnych. – *Acta Agrophys.* 4(2): 459-473;
- Podleśny J., Podleśna A. 2004.** Wpływ traktowania nasion polem magnetycznym na wzrost, rozwój i dynamikę gromadzenia masy bobiku (*Vicia faba minor*). – *Acta Agrophys.* 4(3): 787-801;
- Podleśny J., Pietruszewski S. 2007.** Wpływ stymulacji magnetycznej nasion na wzrost i plonowanie grochu siewnego uprawianego przy różnej wilgotności gleby. – *Inż. Rol.* 8(96): 207-212;
- Przewoźny T., Rybiński W. 1994.** Wykorzystanie światła lasera do stymulacji androge-

- nezy i indukowania mutacji u ziemniaka. – Pr. Ogródu Bot. PAN 5/6: 547-553; **26. Sawicka B., Dolatowski Z. 2007.** Zmienność ciemnienia miąższu bulw nowych odmian ziemniaka pod działaniem ultradźwięków. – Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 517: 639-649; **27. Sawicka B., Pszczółkowski P. 2012.** Wpływ ultradźwięków na cechy fizykochemiczne odmian ziemniaka. [W:] Ziemiak jako produkt żywnościowy, surowiec przemysłowy i pasza. Konf. nauk. Jugowice, 8-10.05.2012. UP Wroc.: 77; **28. Starzycki M., Rybiński W., Starzycka E., Pszczoła J. 2005.** Światło lasera jako fizyczny czynnik wspomagający odporność rzepaku ozimego na suchą zgniliznę roślin zapustnych. – Acta Agrophys. 2: 441-446; **29. Stašelis A., Duchowski P., Brazaityte A. 2003.** The impact of genetic fields on morphogenesis and physiological indices of tomato. [W:] Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze. II Międzynar. Konf. Nauk. AGRO-LASER. Lublin, 8-10.09.2003 (maszyn.); **30. Vasilevski G., Bosev D., Jevtic S., Lazic B. 1997.** Laser light as a biostimulator into the potato production. – Acta Hort. 462: 325-328; **31. Vilku K., Mawson R., Simons L., Bates D. 2008.** Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry – a review. – Int. Food Sci. Emerg. Technol. 9: 161-169; **32. Wójcik S., Dziamba S. 2004.** Wpływ promieniowania mikrofalowego na plonowanie i jakość technologiczną korzeni buraka cukrowego. – Acta Agrophys. 3(3): 623-630; **33. Wu J. 2007.** Shear stress in cells generated by ultrasound. – Prog. Biophys. Mol. Biol. 93: 363-373; **34. Wu J., Lin L. 2002.** Elicitor – like effects of low – energy ultrasound on plant cells: induction of plant Demesne responses and secondary metabolite production. – Appl. Microbiol. Biotech. 59: 51-57