

KONDYCJONOWANIE JAKO STRATEGIA USZLACHETNIANIA NASION

PRIMING AS A STRATEGY FOR IMPROVING SEED QUALITY

Szymon KUBALA, Łukasz WOJTYLA, Małgorzata GARNCZARSKA

Zakład Fizjologii Roślin, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

Streszczenie: Kondycjonowanie nasion jest zabiegiem powszechnie stosowanym w rolnictwie, ogrodnictwie i leśnictwie w celu poprawy zdolności nasion do kiełkowania. Proces ten polega na uwadnianiu nasion w ściśle kontrolowanych warunkach, w stopniu pozwalającym na rozbudzenie ich aktywności metabolicznej, ale niewystarczającym do zainicjowania wzrostu zarodka i przebicia okrywy nasiennej przez oś zarodkową. Przebicie okrywy nasiennej uznawane jest za zakończenie procesu kiełkowania. Po zabiegu kondycjonowania nasiona są suszone do początkowej zawartości wody. Tak przygotowane nasiona mogą być przechowywane i/lub wykorzystane jako materiał siewny. Kondycjonowanie poprawia wigor i żywotność nasion, co manifestuje się osiągnięciem przez nie lepszych efektów podczas kiełkowania (wzrost tempa kiełkowania, skrócenie czasu T50, zwiększenie procentu skielkowanych nasion, równomierność kiełkowania) oraz wzrostu siewek, zwłaszcza w suboptymalnych warunkach środowiska. W niniejszym artykule omówiono wpływ kondycjonowania na kiełkowanie nasion oraz wzrost i rozwój siewek. Praca ta stanowi także przegląd aktualnego stanu wiedzy na temat metod kondycjonowania, ze szczególnym uwzględnieniem osmokondycjonowania.

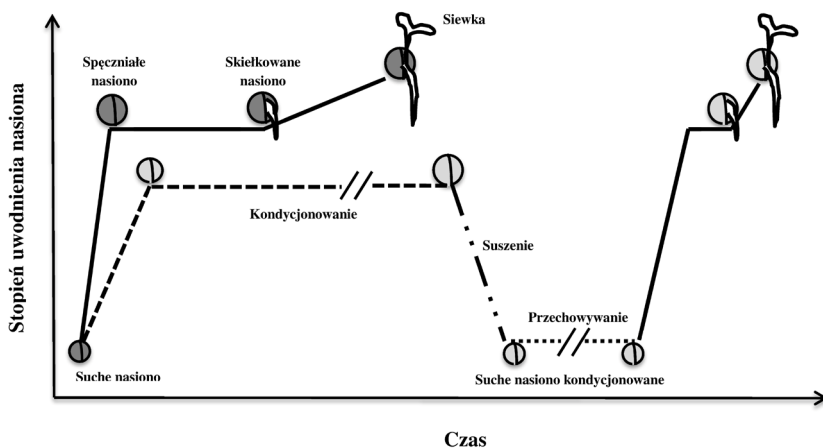
Słowa kluczowe: kiełkowanie, kondycjonowanie nasion, osmokondycjonowanie, pęcznienie

Summary: Seed priming is a treatment commonly applied in agriculture, horticulture and forestry to improve the ability of seeds to germinate. This technique involves controlled seed hydration sufficient to permit pre-germinative metabolic events to proceed, but insufficient to allow radicle protrusion. Radicle protrusion is considered as the completion of germination. After priming seeds are dried back to their initial water content. Such treated seeds can be stored and/or sowed via conventional techniques. Priming treatment brings beneficial effects on the vigor and viability of seeds which is manifested by improved germination performance (increased germination rate, reduced time taken to 50% germination – T50, increased total germination percentage, greater uniformity of germination) and seedling growth especially under adverse environmental conditions. This article discusses the impact of priming on seed germination, seedling growth and development, and provides an overview of the state of the art on priming methods, with particular emphasis on osmopriming.

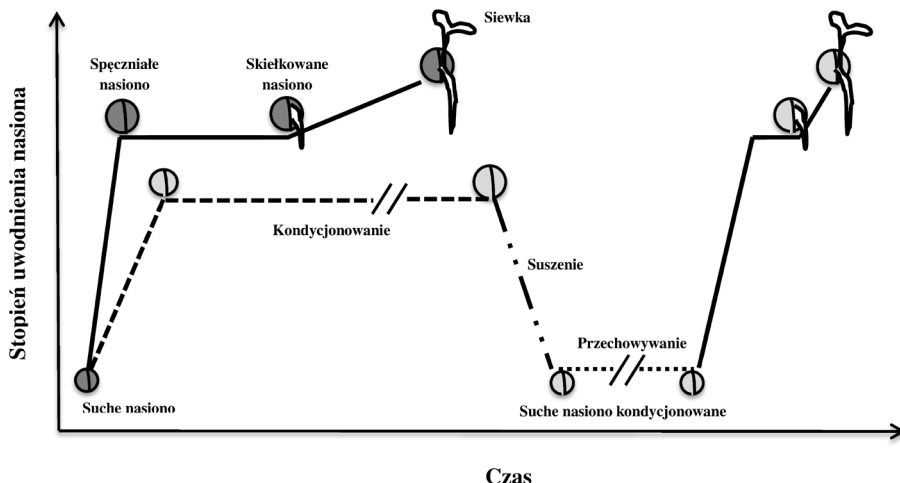
Key words: germination, imbibition, osmopriming, seed priming

WSTĘP

Kondycjonowanie polega na uwadnianiu nasion w ściśle kontrolowanych warunkach, w stopniu pozwalającym na rozbudzenie ich aktywności metabolicznej, ale niewystarczającym do zainicjowania wzrostu zarodka i przebicia okrywy nasiennej przez oś zarodkową [14, 24, 64]. Pobieranie wody przez suche nasiona typu *orthodox*, czyli nasiona tolerujące desykcję podczas późnej embriogenezy, przebiega trójfazowo. Faza I polega na gwałtownym pobieraniu wody przez koloidy nasiona. W trakcie tej fazy następuje wzrost aktywności oddechowej, naprawa mitochondriów i DNA oraz synteza białek w oparciu o tzw. zapasowe mRNA zgromadzone podczas dojrzewania nasiona [12] (ryc. 1). Kolejny etap to faza zwłoki charakteryzująca się tym, że potencjał wody nasiona znajduje się w stanie równowagi ze środowiskiem zewnętrznym. Podczas tej fazy zachodzą procesy metaboliczne przygotowujące nasiono do kiełkowania, obejmujące podziały mitochondriów, mobilizację materiałów zapasowych zgromadzonych w zarodku, głównie oligosacharydów oraz syntezę białek w oparciu o mRNA transkrybowane *de novo*. Faza II kończy się z momentem przebicia okrywy nasiennej przez oś zarodkową, a to oznacza, że kiełkowanie jest zakończone. Podczas fazy III następuje ponowny wzrost pobierania wody wynikający ze wzrostu siewki, zachodzi mobilizacja rezerw zgromadzonych w tkankach zapasowych nasiona. Zabieg kondycjonowania wydłuża fazę II, natomiast uniemożliwia wejście nasion w fazę III (ryc. 2). Nasiona znajdujące się w I i/lub II fazie kiełkowania tolerują desykcję, tak więc kondycjonowane nasiona mogą być wysuszone do początkowej wilgotności bez strat żywotności [59]. Kondycjonowane i wysuszone nasiona poddane kiełkowaniu wykazują klasyczny tj. trójfazowy przebieg procesu pobierania wody.



RYCINA 1. Procesy zachodzące podczas kiełkowania nasion (na podstawie [12], zmodyfikowane)
 FIGURE 1. Processes occurring during seeds germination (based on [12], modified)



RYCINA 2. Stopień uwodnienia nasion w trakcie kondycjonowania i kiełkowania. Podczas kondycjonowania, czyli uwadniania nasion w ściśle kontrolowanych warunkach, następuje wydłużenie fazy II pobierania wody, nasiona nie wchodzą w fazę III tj. nie dochodzi do przebicia okrywy nasiennej przez oś zarodkową (jasnoszare nasiona) w odróżnieniu od nasion kontrolnych wykazujących trójfazowy przebieg procesu pobierania wody (ciemnoszare nasiona). Kondycjonowane nasiona są suszone do początkowej zawartości wody, w stanie odwodnionym mogą być przechowywane, a następnie poddawane są pęcznieniu i kiełkowaniu (na podstawie [64], zmodyfikowane)

FIGURE 2. Seed water content during priming and germination. During priming, i.e. controlled seed hydration, phase II of water uptake is extended and there is no radicle protrusion (light gray seeds) in contrast to control seed showing thriphasic course of water uptake (dark gray seeds). Primed seeds are dried back to their initial water content, can be stored in the dehydrated state, and then are subjected to imbibition and germination (based on [64], modified)

WPLYW KONDYCJONOWANIA NA KIEŁKOWANIE NASION I WZROST SIEWEK

Efektom kondycjonowania nasion jest poprawa wigoru i żywotności nasion. Kondycjonowane i wysuszone nasiona poddane pęcznieniu kiełkują szybko i w jednakowym tempie. Nasiona wielu gatunków roślin wymagają długiego okresu kiełkowania lub kiełkują nierównomiernie. Kondycjonowanie powoduje polepszenie takich parametrów jak zdolność kiełkowania (energia i siła kiełkowania) oraz równomierność wschodów [2, 18, 48, 55, 71]. Pozytywny wpływ kondycjonowania na kiełkowanie nasion został odnotowany przez Guy [34] w badaniach na 14 gatunkach roślin uprawnych. Analiza danych literaturowych przeprowadzona przez Di Girolamo i Barbanti [24] wykazała, że kondycjonowanie powoduje wzrost ilości skiełkowanych nasion średnio o 11% i skrócenie przeciętnego czasu kiełkowania o ok. 36% w porównaniu do nasion niekondycjonowanych. Nasiona

TABELA 1. Wpływ kondycjonowania na zwiększenie tolerancji kiełkujących nasion na abiotyczne czynniki stresowe

TABLE 1. The effect of priming on increased tolerance of germinating seeds to abiotic stress factors

STRES	GATUNEK	METODA KONDY- CJONOWANIA	OBSERWACJE	LITERA- TURA
Niedobór P i Zn	<i>Hordeum vulgare</i>	Hydrokondycjonowanie z dodatkiem Zn i P	Polepszenie kiełkowania i wzrostu	[3]
Wysoka temperatura	<i>Apium graveolens</i>	Matrykondycjonowanie	Polepszenie kiełkowania	[56]
	<i>Callitris sp.</i>	Hydrokondycjonowanie	Polepszenie kiełkowania	[1]
Stres osmotyczny	<i>Apium graveolens</i>	Osmokondycjonowanie i halokondycjonowanie	Polepszenie kiełkowania	[4]
Chłód	<i>Agropyron dasystachyum</i>	Osmokondycjonowanie i halokondycjonowanie	Polepszenie kiełkowania	[39]
	<i>Citrullus lanatus</i>	Halokondycjonowanie	Polepszenie kiełkowania i wzrostu	[23]
	<i>Vigna radiate</i>	Hydrokondycjonowanie z dodatkiem proliny	Polepszenie kiełkowania i wzrostu	[62]
Metale ciężkie (Cu²⁺)	<i>Cucumis sativus</i>	Hydrokondycjonowanie i osmokondycjonowanie z dodatkiem melatoniny	Polepszenie kiełkowania, zmniejszenie peroksydacji lipidów	[61]
	<i>Brassica oleracea rubrum</i>	Hydrokondycjonowanie z dodatkiem melatoniny	Polepszenie kiełkowania, zniesienie toksycznego efektu Cu ²⁺	[63]
Zasolenie	<i>Heliantus annus</i>	Hydrokondycjonowanie	Polepszenie kiełkowania i wzrostu	[46]
	<i>Triticum aestivum</i>	Hormokondycjonowanie (auksyna, cytokinina)	Polepszenie kiełkowania i wzrostu	[31]
	<i>Triticum aestivum</i>	Hormokondycjonowanie	Zmiana w deponowaniu jonów oraz zwiększenie plonowania	[40, 41, 42]
Zasolenie, susza	<i>Brassica napus</i>	Hydrokondycjonowanie	Polepszenie kiełkowania	[76]
Susza	<i>Lesquerella fendleri</i>	Osmokondycjonowanie	Polepszenie kiełkowania	[72]
	<i>Heliantus annus</i>	Hydrokondycjonowanie	Polepszenie kiełkowania i wzrostu	[46]
Niedobór tlenu	<i>Solanum lycopersicum</i>	Osmokondycjonowanie	Obniżenie wrażliwości na niedobór tlenu	[54]

kondycjonowane są zdolne do kiełkowania w szerszym zakresie temperatur niż nasiona niekondycjonowane [47, 57]. Kondycjonowanie może podnieść zdolność kiełkowania nasion, u których w wyniku starzenia doszło do zmniejszenia wigoru [6, 21]. Wykazano, że proces ten powoduje wzrost liczby skielkowanych nasion oraz przyspiesza kiełkowanie w warunkach stresowych, takich jak: chłód [15, 22, 61, 62, 77], zasolenie [52, 59], susza, wysoka temperatura [44] oraz stres metali ciężkich [63]. W tabeli 1 przedstawiono wpływ kondycjonowania na zwiększenie tolerancji kiełkujących nasion na abiotyczne czynniki stresowe. W literaturze obszernie opisywany jest także korzystny wpływ kondycjonowania na rozwój [17, 27, 36] i wzrost siewek [7, 17, 26, 27]. Pozytywny wpływ kondycjonowania na wzrost roślin wynika przede wszystkim z przyspieszonego kiełkowania nasion, czego następstwem jest szybszy wzrost i rozwój w porównaniu z roślinami, które wyrosły z nasion niekondycjonowanych [7, 13]. Zdecydowana większość prac dotyczących kondycjonowania nasion prezentuje wyniki otrzymane w warunkach laboratoryjnych. Nie zawsze pozytywny efekt obserwowany w ściśle kontrolowanych warunkach ujawnia się w warunkach upraw polowych.

METODY KONDYCJONOWANIA NASION

Wyróżniamy dwie główne kategorie zabiegów kondycjonowania nasion tj. kondycjonowanie w roztworach oraz matrykondycjonowanie. Wspólną cechą tych zabiegów jest poddanie nasion procesowi pęcznienia. Podczas kondycjonowania w roztworach np. hydrokondycjonowania lub osmokondycjonowania, nasiona mają bezpośredni kontakt z roztworem, natomiast podczas matrykondycjonowania nasiona pozostają w kontakcie ze zwilżonym podłożem stałym.

HYDROKONDYCJONOWANIE

Hydrokondycjonowanie polega na moczeniu nasion w wodzie. Woda jest łatwo dostępna dla nasion, a tempo jej pobierania uzależnione jest od powinowactwa tkanek nasiona do wody. Zabieg ten musi być zakończony, zanim oś zarodkowa przebije okrywą nasienną (przed rozpoczęciem fazy III). Wadą tej metody jest to, że pobieranie wody odbywa się w sposób niekontrolowany i tym samym nie zapewnia jednakowego stopnia uwodnienia wszystkich nasion, a procesy metaboliczne nie są aktywowane równocześnie, co jest warunkiem koniecznym do zsynchronizowania kiełkowania [50]. Hydrokondycjonowanie jest jednak najprostszym i najtańszym sposobem kondycjonowania.

OSMOKONDYCJONOWANIE

Osmokondycjonowanie polega na umieszczeniu nasion w roztworze substancji osmotycznie czynnej. Dzięki osmokondycjonowaniu można kontrolować tempo pęcznienia i/lub stopień uwodnienia nasion. Najczęściej stosowane substancje osmotycznie czynne to glikol polietylenowy (PEG), mannitol, glicerol i roztwory soli nieorganicznych [24]. Wśród soli nieorganicznych stosowanych do kondycjonowania wyróżnić można NaCl, NaNO₃, MnSO₄, K₃PO₄ i KNO₃. Metodę kondycjonowania z użyciem soli nieorganicznych niektórzy autorzy nazywają halokondycjonowaniem. Halokondycjonowaniu towarzyszy napływ jonów do materiału siewnego. Jony te mogą wywierać efekt toksyczny [16], w przypadku niektórych jonów także troficzny [28] oraz dodatkowo obniżać potencjał wody ułatwiając napływ wody do nasion [55]. Stosowanie roztworu NaCl podczas kondycjonowania nie tylko przyspiesza kiełkowanie nasion ale może także zwiększać tolerancję młodych siewek na zasolenie [8]. Dane literaturowe wskazują osmokondycjonowanie jako główną metodę kondycjonowania nasion, a PEG jako najczęściej stosowaną substancję osmotycznie czynną [24]. PEG to związek chemicznie obojętny, ze względu na duże rozmiary cząstek nie przenika do komórek roślinnych.

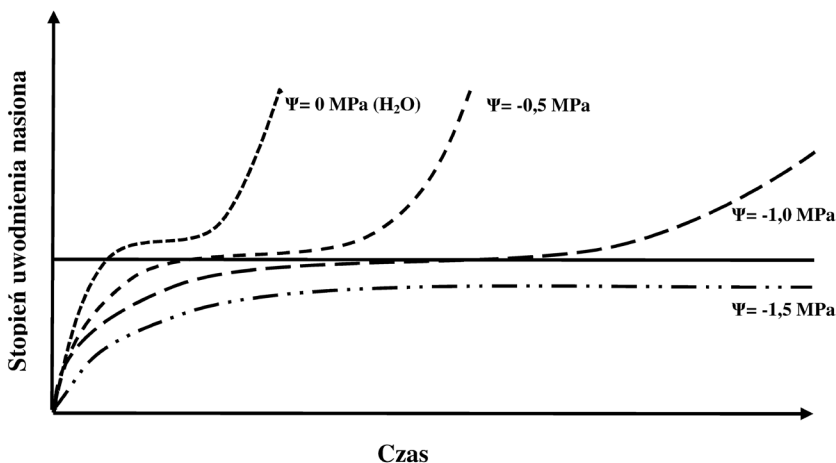
Podczas osmokondycjonowania można kontrolować proces pobierania wody dzięki zastosowaniu roztworu o określonej wartości potencjału osmotycznego (Ψ). Wartość potencjału osmotycznego roztworów soli nieorganicznych można obliczyć za pomocą równania van't Hoffa [68]. W przypadku roztworu PEG potencjał osmotyczny można wyliczyć przy użyciu równania Michela i Kaufmanna [51]. Potencjał osmotyczny roztworów stosowanych do kondycjonowania mieści się z reguły w zakresie od -0,8 do -1,6 MPa [49] i im niższa jest jego wartość tym dłuższy jest czas kondycjonowania nasion (ryc. 3). Potencjał wody w suchych nasionach typu *orthodox* jest bardzo niski i wynosi od -350 do -50 MPa. Tak niskie wartości potencjału powodują powstanie wysokiego gradientu potencjałów pomiędzy suchym nasieniem a roztworem podczas procesu pęcznienia [16]. Doświadczenia przeprowadzone na nasionach sałaty pęczniejących w wodzie lub w roztworze PEG 6000 wykazały, że czas trwania fazy I był jednakowy w obu wariantach, ale w obecności PEG nastąpiło wydłużenie fazy II, a zawartość wody w nasionach rosła wolniej. Nasiona pęczniejące w PEG nie weszły w fazę III pobierania wody [69].

Uszlachetnianie nasion poprzez ich przedsiewne kondycjonowanie (osmo-, matri- i hydrokondycjonowanie) można przeprowadzać w połączeniu z infuzją substancji biologicznie czynnych, takich jak: fitohormony, antyoksydanty, fungicydy, antybiotyki i melatonina [43, 60]. Najczęściej stosowane fitohormony to kwas giberelinowy, ester metylowy kwasu jasmonowego i brasinosteroidy [70]. Osobną kategorię kondycjonowania może stanowić „bioprimering” stosowany w celu ograniczenia rozwoju na nasionach patogennych grzybów lub szczepów bakteryjnych. Metoda ta polega na opłaszczaniu nasion za pomocą mikroorganizmów antagonistycznych w stosunku do

patogena. Do najczęściej wykorzystywanych mikroorganizmów należą grzyby i bakterie z rodzajów *Trichoderma*, *Clonostachys*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Bacillus* [10, 25, 29, 45, 58, 65, 74, 75].

MATRYKONDYCJONOWANIE

Podczas zabiegu matrykondycjonowania (ang. *Solid Matrix Priming*, SMP), nasiona są mieszane z nośnikiem mineralnym, sztucznym lub pochodzenia organicznego, zwilżonym wodą lub roztworem substancji osmotycznie czynnej [47]. Nośnikiem może być np. torf, węgiel bitumiczny, piasek, wermikulit. Substancje nośnikowe nie są fitotoksyczne, nie rozpuszczają się w wodzie, mają wysoką zdolność wiązania wody, odznaczają się wysokim stosunkiem powierzchni do objętości i można je łatwo usunąć z powierzchni nasion [50]. Główną zaletą matrykondycjonowania jest zmniejszenie objętości stosowanych roztworów substancji osmotycznie czynnych i tym samym obniżenie kosztów procesu. Ten sposób kondycjonowania najbardziej przypomina proces pęcznienia nasion w glebie.



RYCINA 3. Wpływ wartości potencjału osmotycznego roztworu (Ψ) użytego do osmokondycjonowania na długość trwania fazy II pobierania wody przez pęczniejące nasiona. Pęcznienie w roztworach o niskim potencjale osmotycznym ogranicza pobieranie wody przez nasiona, wydłuża fazę II oraz opóźnia wejście nasion w fazę III. Przebicie okrywy nasiennej oraz zainicjowanie wzrostu siewki ma miejsce wtedy, gdy zawartość wody wewnątrz nasiona przekroczy poziom krytyczny, oznaczony na schemacie linią ciągłą (na podstawie [16], zmodyfikowane)

FIGURE 3. The effect of varying osmotic potential (Ψ) of a solution used during osmoprimering on the duration of phase II of water uptake. Imbibition in solutions of low water potential limits water uptake, extends phase II and delays the occurrence of phase III. Radicle protrusion and seedling growth occur when water content inside seed exceeds critical level marked on the figure with solid lane (based on [16], modified)

CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA EFEKTYWNOŚĆ KONDYCJONOWANIA

Efektywność zabiegu kondycjonowania zależy głównie od doboru odpowiednich warunków kondycjonowania dla nasion danego gatunku czy nawet odmiany w obrębie danego gatunku. Do czynników wpływających na efektywność kondycjonowania należą: światło, temperatura, czas kondycjonowania oraz metoda suszenia nasion po kondycjonowaniu.

ŚWIATŁO

Dane literaturowe wskazujące na rolę światła w procesie kondycjonowania nie są jednoznaczne. Eksponowanie nasion cykorii endywii na ciągłe światło czerwone podczas kondycjonowania przyspieszało kiełkowanie [11]. Wynik ten wskazuje, że fitochrom może być zaangażowany w regulację procesów metabolicznych zachodzących podczas kondycjonowania. Nasiona sałaty natomiast kiełkowały szybciej gdy były kondycjonowane w ciemności [19].

TEMPERATURA

Nasiona poszczególnych gatunków roślin wymagają określonej temperatury do kiełkowania. Podczas kondycjonowania zaleca się stosowanie temperatury zbliżonej lub nieco niższej niż optimum temperaturowe kiełkowania, zwykle w zakresie od 15 do 25°C [50]. Ziarniaki kukurydzy cukrowej kondycjonowane w temperaturze 10°C lepiej tolerowały przechowywanie niż ziarniaki kondycjonowane w 20°C [20]. Autorzy wykazali, że ziarniaki kondycjonowane w niższej temperaturze charakteryzowały się obniżonym poziomem produktów peroksydacji lipidów, niższą zawartością cukrów redukujących i większą aktywnością systemu antyoksydacyjnego.

CZAS KONDYCJONOWANIA

Czas kondycjonowania jest różny dla nasion różnych gatunków i zależy przede wszystkim od temperatury oraz rodzaju i potencjału osmotycznego roztworu stosowanego podczas kondycjonowania. Haigh i wsp. [35] wykazali, że wydłużenie czasu halokondycjonowania od jednego do trzech tygodni powodo-

wało przyspieszenie kiełkowania nasion ale jednocześnie zmniejszało procent skielkowanych nasion i pogarszało synchronizację wschodów. Wydłużenie czasu kondycjonowania może prowadzić do indukcji procesów oksydacyjnych [37, 38].

SUSZENIE

Suszenie jest najbardziej krytycznym czynnikiem wpływającym na efektywność kondycjonowania nasion [50]. Po kondycjonowaniu nasiona powinny być wysuszone do początkowego poziomu wilgotności, co umożliwi ich przechowywanie. Podczas suszenia mogą być jednak utracone korzyści wynikające z kondycjonowania. Pewne procesy uruchamiane w trakcie kondycjonowania mogą wejść w fazę nieodwracalną i nie mogą być zatrzymane podczas suszenia nasion, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia jakości nasion. Odpowiednio dobrany czas i temperatura suszenia mają istotny wpływ na późniejsze etapy rozwoju nasion. Doniesienia literaturowe wskazują, że kondycjonowanie powodowało wzrost żywotności nasion pieprzu, cebuli, brukselki ale obniżało żywotność nasion pora, marchwi, sałaty, pomidora i ziarniaków pszenicy [24]. Te odmienne efekty mogą wynikać z różnic w sposobie suszenia i przechowywania nasion. Badania porównawcze wpływu gwałtownego i powolnego suszenia na żywotność nasion wykazały, że powolne suszenie gwarantuje zachowanie lepszej żywotności nasion [66, 67]. Istotną rolę w tolerancji na desykcję odgrywiają cukry i ich pochodne odpowiedzialne za utrzymywanie integralności błony komórkowej i 3-rzędowej struktury białek podczas suszenia [53, 73]. Sacharoza oraz oligosacharydy z rodziny rafinozy (rafinoza, stachioza i werbaskoza) oddziałują z lipidami i białkami błon komórkowych, ponadto tworzą wewnątrzkomórkowe „szkło” zwiększając tolerancję nasion na desykcję i przechowywanie [32]. Oligosacharydy z rodziny rafinozy są w pierwszej kolejności metabolizowane podczas pęcznienia nasion, spadek ich poziomu podczas kondycjonowania może być przyczyną obniżenia żywotności nasion. Nie tylko cukry ale również białka mogą zwiększać tolerancję na desykcję podczas suszenia kondycjonowanych nasion. W wolno suszonych nasionach *Brassica oleracea* stwierdzono wzrost ekspresji genów *Em6* i *RAB18* kodujących białka późnej embriogenezy LEA. Niższy poziom ekspresji tych genów stwierdzono w nasionach poddanych gwałtownemu suszeniu. Transkrypty *Em6* i *RAB18* są degradowane podczas osmokondycjonowania lecz pojawiają się ponownie podczas powolnego suszenia kondycjonowanych nasion. Podczas powolnego suszenia kondycjonowane nasiona są w stanie reagować na stopniowy wzrost odwodnienia i uruchamiać ekspresję genów kodujących białka stresowe [67]. Poddanie nasion pomidora działaniu

37°C przez 2-4 h po kondycjonowaniu zwiększało ich żywotność. W nasionach tych stwierdzono wzrost poziomu mRNA oraz białka BiP (białko wiążące immunoglobulinę). Białko BiP zlokalizowane w retikulum endoplazmatycznym jest homologiem cytoplazmatycznego białka HSP70 [33].

PRZECHOWYWANIE KONDYCJONOWANYCH NASION

Kondycjonowane nasiona mogą być przechowywane przed wysianiem, ale czas i warunki przechowywania mogą mieć wpływ na utrzymanie efektów kondycjonowania. Szybkość kiełkowania nasion pomidora kondycjonowanych w roztworze PEG lub KNO_3 była o 50% niższa po 6 miesiącach przechowywania w temperaturze 30°C w stosunku do wartości obserwowanych natychmiast po kondycjonowaniu, natomiast przechowywanie nasion w temperaturze 10 i 20°C utrzymywało wysoką żywotność przez co najmniej 18 miesięcy [5, 6]. Niektórzy autorzy sugerują, że kondycjonowane nasiona zachowują taką samą lub nawet wyższą żywotność w porównaniu z nasionami niekondycjonowanymi. Wskazują na rolę procesów naprawczych uruchamianych podczas kondycjonowania w zwiększaniu żywotności nasion. Żywotność jest często traktowana jako najważniejsze kryterium oceny jakości siewnej nasion. Określa się ją stosując testy kiełkowania lub test przyspieszonego starzenia (ang. *Accelerated Ageing test*, AA test) polegający na ekspozycji nasion na działanie wysokiej temperatury przy jednocześnie wysokiej wilgotności powietrza (np. 45°C i 100% RH przez 5 dni) [9]. Duża żywotność warunkuje duży wigor nasion, który wyraża zdolność do wytwarzania zdrowych i dobrze rozwijających się siewek oraz roślin.

PERSPEKTYWY ZASTOSOWANIA KONDYCJONOWANIA NASION W ROLNICTWIE

Ze względu na pozytywny wpływ kondycjonowania na jakość nasion zabieg ten jest wykorzystywany jako jedna z technik uszlachetnienia materiału siewnego [30]. Komercyjne wykorzystanie kondycjonowania jako strategii polepszającej jakość materiału siewnego oraz wpływającej korzystnie na wigor siewek rządzi się jednak prawami rynku, w których szczególnie miejsca zajmuje opłacalność inwestycji i stosunek kosztów do zysku. Wpływ kondycjonowania na nasiona nie zawsze opisywany jest w kategoriach pozytywnych. Zdarza się, że nie obserwuje się zmian parametrów opisujących jakość nasion poddanych kondycjonowaniu. Za-

biegi kondycjonowania mogą również prowadzić do zmian niepożądanych. Wśród nich wymienia się szybszy spadek żywotności nasion kondycjonowanych w trakcie ich przechowywania, obniżenie zdolności kiełkowania, zakażenia bakteryjne i grzybowe spowodowane zanieczyszczeniami roztworów stosowanych do kondycjonowania. Z zabiegiem kondycjonowania wiążą się także problemy techniczne, takie jak konieczność zapewnienia stałych i powtarzalnych warunków tego procesu oraz dobór odpowiednich parametrów i czasu kondycjonowania. Zabiegi te często są czasochłonne, a optymalne warunki kondycjonowania są odmienne dla różnych gatunków, odmian, a nawet poszczególnych partii nasion. Zróżnicowana reakcja materiału roślinnego jakim są nasiona na zabiegi kondycjonowania jest istotnym czynnikiem ograniczającym komercjalizację wyników badań. Nie opracowano jak dotąd jednej uniwersalnej metody kondycjonowania nasion. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy jest niedostateczna wiedza na temat fizjologicznego i biochemicznego podłoża kondycjonowania.

PODSUMOWANIE

Kondycjonowanie nasion jest zabiegiem stosowanym od dawna w celu polepszenia zdolności nasion do kiełkowania. Większość prac poświęconych kondycjonowaniu nasion, opublikowanych w przeciągu ostatnich 40 lat, dotyczyła opracowania metody kondycjonowania nasion różnych gatunków roślin uprawnych. Do oceny efektu kondycjonowania stosowano testy kiełkowania polegające na mierzeniu czasu kiełkowania i zliczaniu skiełkowanych nasion. Może to w części tłumaczyć wielką różnorodność metod i warunków kondycjonowania opisywanych w literaturze przedmiotu [8, 15, 55]. Liczne doniesienia literaturowe podkreślają pozytywne efekty kondycjonowania, zwłaszcza na etapie kiełkowania nasion oraz we wczesnym okresie wzrostu i rozwoju siewek, ale mechanizm tego procesu pozostaje cały czas niewyjaśniony. Zastosowanie zaawansowanych technik biologii molekularnej (transkryptomiki, proteomiki i metabolomiki) w badaniach kondycjonowanych nasion pozwoli na poznanie molekularnych i fizjologicznych aspektów kondycjonowania odpowiedzialnych za polepszenie parametrów kiełkowania nasion, wzrostu i rozwoju siewek, także w warunkach stresowych.

PODZIĘKOWANIA

Praca powstała podczas realizacji projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki nr 2011/03/B/NZ/00068

LITERATURA

- [1] ADAMS R. Germination of Callitris seeds in relation to temperature, water stress, priming and hydration-dehydration cycles. *J Arid Environ* 1999; **43**: 437-448.
- [2] ADEGBUYI E, COOPER SR, DON R. Osmotic priming of some herbage grass seed using polyethylene-glycol (PEG). *Seeds Sci Tech* 1981; **9**: 867-878.
- [3] AJOURI A, ASGEDOOM H, BECKER M. Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under condition of P and Zn deficiency. *J Plant Nut Soil Sci* 2004; **167**: 630-636.
- [4] AKERS SW, BERKOWITZ BA, RABIN J. Germination of parsley seed primed aerated solutions of polyethylene-glycol. *Hortscience* 1987; **22**: 250-252.
- [5] ALVARADO AD, BRADFORD KJ. Priming and storage of tomato (*Lycopersicon lycopersicum*) seeds. II. Influence of a second treatment after storage on germination and field emergence. *Seed Sci Technol* 1988; **16**: 612-624.
- [6] ALVARADO AD, BRADFORD KJ. Priming and storage of tomato (*Lycopersicon lycopersicum*) seeds. I. Effects of storage temperature on germination rate and viability. *Seed Sci Technol* 1988; **16**: 601-612.
- [7] ARIN L, KIYAK Y. The effects of pre-sowing treatments on emergence and seedling growth of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under several stress conditions. *Pakistan J Biol Sci* 2003; **6**: 990-994.
- [8] ASHRAF M, FOOLAD MR. Pre-sowing seed treatment – A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. [w]Sparks D [red.] *Advances in Agronomy*. San Diego: Elsevier Academic Press Inc, 2005; 88: 223-71.
- [9] BAILLY C, BENAMAR A, CORBINEAU F, COME D. Free radical scavenging as affected by accelerated ageing and subsequent priming in sunflower seeds. *Physiologia Plantanarum* 1998; **104**: 646-652.
- [10] BEGUM MM, SARIACH M, PUTEH AB, ZAINAL ABIDIN MA, RAHMAN MA, SIDDIQUI Y. Field performance of bio-primed seeds to suppress *Colletotrichum truncatum* causing damping-off and seedling stand of soybean. *Biol Control* 2010; **53**: 18-23.
- [11] BEKENDAM J, PULEN JG, KRAAK HL. The effect of priming on the rate and uniformity of germination of endive seed. *Acta Horti* 1987: 209-218.
- [12] BEWLEY JD. Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 1997; **9**: 1055-1066.
- [13] BITTENCOURT MLC, DIAS DCFS, DIAS LAS, ARAUJO EF. Germination and vigor of primed asparagus seeds. *Sci Agric* 2005; **62**: 319-324.
- [14] BRADFORD KJ, BEWLEY JD. Seeds: Biology. Technology and Role in Agriculture. [w] Chrispeels MJ, Sadava DE [red] *Plants, Genes and Crop Biotechnology*. Boston: Jones and Bartlett, 2002: 210-239.
- [15] BRADFORD KJ. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress condition. *Hortscience* 1986; **21**: 1105-1112.
- [16] BRADFORD KJ. Water relation in seed germination. [w] Kigel J, Galili G [red.] *Seed development and germination*. New York: Marcel Dekker Inc, 1995: 351-396 + 853.
- [17] BROCKLEHRUST PA, DEARMAN J. A comparison of different chemicals for osmotic treatment of vegetable seed. *Ann Appl Biol* 1984; 391-398.
- [18] BROCKLEHRUST PA, DEARMAN J. Interaction between seed priming treatments and 9 seed lots of carrot, celery and onion. 1. Laboratory germination. *Ann Appl Biol* 1983; **102**: 577-584.
- [19] CANTLIFFE DJ, SHULER KD, GUEDES AC. Overcoming seed thermodormancy in a heat sensitive romaine lettuce by seed priming. *Hortscience* 1981; **16**: 196-198.
- [20] CHIU KY, CHEN CL, SUNG JM. Why 20 degrees C-primed sh-2 sweet corn seeds were of higher quality than 20 degrees C-primed seeds: some physiological clues. *Seed Sci Technol* 2005; **33**: 199-213.
- [21] COOLBEAR P, FRANCIS A, GRIESON D. The effect of low temperature presowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. *J Exp Bot* 1984; **35**: 1609-1617.
- [22] DANNEBERGER TK, McDONALD MB, GERON CA, KUMARI P. Rate of germination and seedling growth of perennial ryegrass seed following osmoconditioning. *Hortscience* 1992; **27**: 28-30.

- [23] DEMIR I, MAWI K. The effect of priming on seedling emergence of differentially matured watermelon (*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum and Nakai) seeds. *Sci Hort* 2004; **102**: 467-473.
- [24] DI GIROLAMO G, BARBANTI L. Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Ital J Agronomy* 2012; **7**: e25: 8-188.
- [25] DORNA H, TYLKOWSKA K, YAHONG W, MARCINEK R. Germination and health of onion (*Allium cepa*) seeds after priming combined with chemical or biological treatments. *Phytopathol Pol* 2005; **37**: 69-81.
- [26] FAROOQ M, BASRA SMA, REHMAN H, SALEEM BA. Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving chilling tolerance. *J Agro Crop Sci* 2008; **194**: 55-60.
- [27] FAROOQ M, BASRA SMA, WAHID A. Priming of field-sown rice seed enhances germination, seedling establishment, allometry and yield. *Plant Growth Reg* 2006; **49**: 285-294.
- [28] FRET JJ, PILL WG, MORNEAU DC. A comparison of priming agents for tomato and asparagus seeds. *Hortscience* 1991; **26**: 1158-1159.
- [29] GHOLAMI A, SHAHSAVANI S, NEZARAT S. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. World Academy of Science, *Eng Technol* 2009; **49**: 19-24
- [30] GRZESIK M, JANAS R, GÓRNIK K, ROMANOWSKA-DUDA Z. Biologiczne i fizyczne metody stosowane w produkcji i uszlachetnianiu nasion. *J Res Appl Agric Eng* 2012; **57**: 147-152
- [31] GULNAZ A, IQBAL J, FAROOQ S, AZAM F. Seed treatment with growth regulators and crop productivity. I. 2,4-D as an inducer of salinity-tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) *Plant and Soil* 1999; **210**: 209-217.
- [32] GURUSINGHE S, BRADFORD KJ. Galactosyl-sucrose oligosaccharides and potential longevity of primed seeds. *Seed Sci Res* 2001; **11**: 121-133.
- [33] GURUSINGHE S, OWELL ALT, BRADFORD KJ. Enhanced expression of BiP is associated with treatments that extend storage longevity of primed tomato seeds. *J Am Soc Hort Sci* 2002; **127**: 528-534.
- [34] GUY R. Effect of pre-germination on the germination of 14 agricultural and vegetable species. *Rev Suisse Agr* 1978; **10**: 185-188.
- [35] HAIGH AM, BARLOW EWR, MILTHORPE FL, SINCLAIR PJ. Field emergence of tomato, carrot, and onion seeds primed in an aerated salt solution. *J Am Soc Hort Sci* 1986; **111**: 660-665.
- [36] HARDEGREE SP, EMMERICH WE. Effect of matric-priming duration and priming water potential on germination of 4 grasses. *J Exp Bot* 1992; **43**: 233-238.
- [37] HARDEGREE SP, EMMERICH WE. Seed germination response of 4 southwestern range grasses to equilibration at subgermination matric potentials. *Agron J* 1992; **84**: 994-998.
- [38] HARDEGREE SP, EMMERICH WE. Seed germination response to polyethylene glycol solution depth. *Seed Sci Technol* 1994; **22**: 1-7.
- [39] HARDEGREE SP, VAN VACTOR SS. Germination and emergence of primed grass seeds under field and simulated-field temperatures regimes. *Ann Bot* 2000; **85**: 379-390.
- [40] IQBAL M, ASHRAF M, JAMIL A, SHAFIQ UR-R. Does seed priming induce changes in the levels of some endogenous plant hormones in hexaploid wheat plants under salt stress? *J Integrative Plant Biol* 2006; **48**: 181-189.
- [41] IQBAL M, ASHRAF M. Presowing seed treatment with cytokines and its effect on growth, photosynthetic rate, ionic levels and yield of two wheat cultivars differing in salt tolerance. *J Integrative Plant Biol* 2005; **47**: 1315-1325.
- [42] IQBAL M, ASHRAF M. Seed treatment with auxins modulates growth and ion partitioning in salt-stressed wheat plants. *J Integrative Plant Biol* 2007; **49**: 1003-1015.
- [43] JANAS KM, CIUPIŃSKA E, POSMYK MM. Melatonin applied by hydropriming, as phyto-biostimulator improving corn (*Zea mays* L.) seedlings growth at abiotic stresses conditions. [w:] Eds, Li S, Wang Y, Cao F, Huang P, Zhang Y [red] Progress in Environmental Science and Technology Vol II A; Science Press USA Inc, 2009: 383-388.
- [44] JELLER H, PEREZ S, RAIZER J. Water uptake, priming, drying and storage effects in *Cassia excelsa* Schard seeds. *Braz J Biol* 2003; **63**: 61-68.

- [45] JENSEN B, KNUDSEN IMB, MADSEN M, JENSEN DF. Biopriming of infected carrot seed with an antagonist, *Clonostachys rosea*, selected for control of seedborne *Alternaria spp.* *Phytopathol* 2004; **94**: 551-560.
- [46] KAYA MD, OKCU G, ATAK M, ÇIKILI Y, KOLSARICI O. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Eur J Agron* 2006; **24**: 291-295.
- [47] KĘPCZYŃSKA E, PIĘKNA-GROCHALA J, KĘPCZYŃSKI J. Effects of matricconditioning on onion seed germination, seedling emergence and associated physical and metabolic events. *Plant Growth Reg* 2003; **41**: 269-278.
- [48] KĘPCZYŃSKA E, PIĘKNA-GROCHALA J, KĘPCZYŃSKI J. Seed germination of two tomato cultivars following matricconditioning under optimal and stress temperatures. *Seed Sci Technol* 2007, **36**: 749-753.
- [49] KHAN AA. Preplant physiological seed conditioning. *Hortic Rev* 1993; **13**: 131-181.
- [50] McDONALD MB. Seed priming. [w] Black M, Bewley JD [red.] *Seed technology and its biological basis*. Sheffield: Sheffield Academic Press, 2000: 287-325.
- [51] MIECHAEL BE, KAUFFMANN MR. The Osmotic Potential of Polyethylene Glycol 6000. *Plant Physiol* 1973; **51**: 914-916.
- [52] MUHYADDIN T, WIEBE HJ. Effects of seed treatments with Polyethylene glycol (Peg) on emergence of vegetable crops. *Seed Sci Technol* 1989; **17**: 49-56.
- [53] OLIVIER AE, CROWE LM, CROWE JH. Methods dehydration-tolerance: depression of the phase transition temperature in dry membranes and carbohydrates vitrification. *Seed Sci* 1998; **8**: 211-221.
- [54] ÖZBINGOL N, CORBINEAU F, COME D. Responses of tomato seeds to osmoconditioning as related to temperature and oxygen. *Seed Sci Res* 1998; **8**: 377-384.
- [55] PARERA CA, CANTLIFFE DJ. Presowing seed priming. *Hortic Rev* 1994; **16**: 109-141.
- [56] PARERA CA, QIAO P, CANTLIFFE DJ. Enhanced celery germination at stress temperature via solid matrix priming. *Hortscience* 1993; **28**: 20-22.
- [57] PATANE C, CAVALLARO V, AVOLA G, D'AGOSTA G. Seed respiration of sorghum [*Sorghum bicolor (L.) Moench*] during germination as affected by temperature and osmoconditioning. *Seed Sci Res* 2006; **16**: 251-260.
- [58] PILL WG, COLLINS CM, GOLDBERGER B, GREGORY N. Responses of non-primed or primed seeds of "Marketmore 76" cucumber (*Cucumis sativus L.*) slurry coated with *Trichoderma* species to planting in growth media infested with *Pythium aphanidematum*. *Sci Hortic* 2009; **121**: 54-62.
- [59] PILL WG, FRETT JJ, MORNEAU DC. Germination and seedling emergence of primed tomato and asparagus seeds under adverse conditions. *Hortscience* 1991; **26**: 1160-1162.
- [60] POSMYK MM, BALABUSTA M, JANAS KM. Melatonin applied by osmopriming, as phytoestimulator improving cucumber (*Cucumis sativus L.*) seedlings growth at abiotic stresses conditions. [w] Eds, Li S, Wang Y, Cao F, Huang P, Zhang Y [red] *Progress in Environmental Science and Technology Vol II A*; Eds Science Press USA Inc. 2009: 362-369.
- [61] POSMYK MM, BALABUSTA M, WIECZOREK M, ŚLIWINSKA E, JANAS KM. Melatonin applied to cucumber (*Cucumis sativus L.*) seeds improves germination during chilling stress *J Pineal Res* 2009; **46**: 214-223.
- [62] POSMYK MM, JANAS KM. Effects of seed hydropriming in presence of exogenous proline on chilling injury limitation in *Vigna radiata L.* seedlings. *Acta Physiol Plant* 2007; **29**: 509-517.
- [63] POSMYK MM, KURAN H, MARCINIAK K, JANAS KM. Pre-sowing seed treatment with melatonin protects red cabbage seedlings against toxic copper ion concentrations *J Pineal Res* 2008; **45**: 24-31.
- [64] RAJOU L, DUVAL M, GALLARDO K, CATUSSE J, BALLY J, JOB C, JOB D. Seed germination and vigor. *Annu Rev Plant Biol* 2012; **63**: 507-533.
- [65] RASHID S, CHARLES TC, GLICK BR. Isolation and characterization of new plant growth promoting bacterial endophytes. *Appl Soil Ecol* 2012; **61**: 217-224.
- [66] SCHWEMBER AR, BRADFORD KJ. Drying rates following priming affect temperature sensitivity of germination and longevity of lettuce seeds. *Hortscience* 2005; **40**: 778-781.

- [67] SOEDA Y, KONINGS M, VORST O, VAN HOUWELINGEN A, STOOPEN GM, MALIEPAARD CA, KODDE J, BINO RJ, GROOT SPC, VAN DER GEEST AHM. Gene expression programs during *Brassica oleracea* seed maturation, osmopriming, and germination are indicators of progression of the germination process and the stress tolerance level. *Plant Physiol* 2005; **137**: 354-368.
- [68] TAIZ L, ZEIGER E. Water and Plant Cell. [w] Taiz L i Zeiger E [red] *Plant Physiology*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers 2010: 37-42.
- [69] TARQUIS AM, BRADFORD KJ. Prehydration and priming treatments that advance germination also increase the rate of deterioration of lettuce seeds. *J Exp Bot* 1992; **43**: 307-317.
- [70] TIRYAKI I, BUYUKCINGIL Y. Seed priming combined with plant hormones: influence on germination and seedling emergence of sorghum at low temperature. *Seed Sci Tech* 2009; **37**: 303-315.
- [71] TIRYAKI I, OZBAY N, NAS MN, KORKMAZ A. Inclusion of benzyladenine into priming solution promotes germination of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) seeds. *Cub J Agr Sci* 2006; **40**: 229-234.
- [72] WINDAUER L, ALTUNA A, BENECH-ARNOLD R. Hydrotime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination response to priming treatments. *Ind Crop Products* 2007; **25**: 70-74.
- [73] WOLKERS WF, BOCHICCHIO A, SELVAGGI G, HOEKSTRA FA. Fourier transform infrared micro-spectroscopy detects changes in protein secondary structure associated with desiccation tolerance in developing maize embryos. *Plant Physiol* 1998; **116**: 1169-1177.
- [74] WRIGHT B, ROWSE H, WHIPPS JM. Application of beneficial microorganisms to seeds during drum and priming. *Biocontrol Sci Technol* 2003; **13**: 599-614.
- [75] WRIGHT B, ROWSE H, WHIPPS JM. Microbial population dynamics on seeds during drum and steeping priming. *Plant and Soil* 2003; **255**: 631-640.
- [76] ZHENG GH, GAO YP, WILEN RW, GUSTA LV. Canola seed germination and seedling emergence from pre-hydrated and re-dried seeds subjected to salt and water stresses at low temperatures. *Ann Appl Biol* 1998; **132**: 339-348.
- [77] ZHENG GH, WILEN RW, SLINKARD AE, GUSTA LV. Enhancement of canola seed germination and seedling emergence at low temperature by priming. *Crop Sci* 1994; **34**: 1589-1593.

Redaktor prowadzący – Janusz Maszewski

Otrzymano: 21.01.2013

Przyjęto: 28.01.2013

Małgorzata Garnczarska

Zakład Fizjologii Roślin, Wydział Biologii

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

ul. Umultowska 89, 61-614 Poznań

tel.: 618295894

fax: 618295887

e-mail: garnczar@amu.edu.pl

