

Ewa ANIŚKO, Olesia WITOWSKA, Andrzej ZAŁĘSKI*

WPLYW WARUNKÓW SUSZENIA NASION BRZOZY BRODAWKOWATEJ, OLSZY CZARNEJ, SOSNY ZWYCZAJNEJ I ŚWIERKA POSPOLITEGO NA ICH ŻYWOTNOŚĆ

EFFECT OF DRYING CONDITIONS ON VIABILITY OF COMMON BIRCH,
BLACK ALDER, SCOTS PINE AND NORWAY SPRUCE SEEDS

***Abstract.** Research has been undertaken aimed at determining the admissible minimal water content levels to which seeds of common birch, black alder, Scots pine and Norway spruce can be dried without losing viability. Three methods of seed drying were used: I - partially water-free air drying, II - lyophilisation and III - hot air drying. However for practical reasons the seeds of these species can be dried up to 3.5% moisture content at the temperature not exceeding 50°C.*

***Key words:** seed moisture content, methods of seed drying, drying temperature, germination capacity, lyophilisation, coefficient of electrolyte leakage.*

* Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych, Sękocin Las, 05-090 Raszyn, e-mail: E.Anisko@ibles.waw.pl

WSTĘP

Nasiona można podsuszać do określonego poziomu krytycznego, którego wysokość zależy od właściwości biologicznych nasion różnych gatunków. Suszenie nasion poniżej tego poziomu prowadzi do stopniowego obniżania żywotności, aż do całkowitej utraty zdolności kiełkowania. Znajomość krytycznych poziomów zawartości wody u nasion różnych gatunków ma istotne znaczenie dla ich prawidłowego przechowywania.

Długookresowe przechowywanie nasion prowadzone w bardzo niskich temperaturach, szczególnie w bankach genów, wymaga precyzyjnego określenia krytycznych poziomów zawartości wody w nasionach. Duży wpływ na żywotność nasion mają również warunki suszenia nasion tj. czas, temperatura oraz wilgotność suszącego powietrza.

W literaturze wymieniane są różne progi wilgotności, do których można suszyć nasiona bez ich uszkodzenia. Baldwin i Holmes (1955) podają, że zawartość wody w nasionach przeznaczonych do przechowywania powinna wynosić: dla sosny 7–9%, świerka 6–7%, a brzozy 1–5%. Schönborn (1964) susząc nasiona sosny, modrzewia, świerka strumieniem odwodnionego powietrza, w temperaturze pokojowej (20°C) do około 0% wilgotności, zauważył, że przy wilgotności poniżej 2% zdolność i energia kiełkowania zaczynają spadać. Spadek ten jest szczególnie widoczny po 6 miesiącach przechowywania nasion. Ten sam autor zaznacza, iż nasiona brzozy znoszą odwodnienie prawie do 0% bez widocznego wpływu tego zabiegu na ich żywotność.

Doświadczenia z zakresu wyluszczenia wskazują na to, że nasiona sosny i świerka nie tracą żywotności podczas wyluszczenia w dość wysokich temperaturach (50–60°C), o ile otaczające powietrze jest odpowiednio suche. Jak udowodnił Antosiewicz (1978), łuszczenie szyszek świerka o wilgotności 20% nawet w temperaturze 70°C i powietrzu o zawartości 80 g wody/m³ nie powodowało zmniejszenia żywotności nasion. Z nowszych badań wynika jednak, że nasiona świerka wyluszczone w temperaturze 60°C są mniej odporne na stresowe warunki testu przyspieszonego postarzania niż wyluszczone w 40°C (Załęski 2001).

Według Harringtona (1973) długość życia przechowywanych nasion dla większości gatunków wydłuża się, jeżeli ilość zawartej w nich wody wynosi 4–6%. Dalsze obniżanie się zawartości wody skraca okres życia nasion na skutek autooksydacji lipidów.

Wpływ zawartości wody w nasionach na ich żywotność i długość życia jest ściśle związany z temperaturą otoczenia. Z piśmiennictwa poświęconego temu zagadnieniu wynika, że niewielka zawartość wody w nasionach oraz niska wilgotność i temperatura środowiska stwarzają najlepsze warunki do przechowywania nasion (Lityński 1977, Barton 1961, Schönborn 1964, Roberts 1972).

Sztuczne dosuszanie nasion prowadzi do fizjologiczno-biochemicznych zmian wywierających wpływ na przechowywanie i wartość siewną nasion. Zdolność kiełkowania nasion dosuszanych w określonych granicach temperatury nie maleje,

często nawet wzrasta. Optymalne podsuszenie wywołuje w nasionach także wiele korzystnych zmian biochemicznych. Przede wszystkim zmniejsza się ilość związków prostych i łatwo rozpuszczalnych; przekształcają się one w związki złożone i trudno rozpuszczalne. Zmiany te ułatwiają dobre przechowanie nasion (Grzesiuk i Kulka, 1981). Niemniej jednak są granice odporności na odwodnienie, ponieważ mechanizmy ochronne komórek, prowadzą raczej do spowolniania, a nie do całkowitego zatrzymania szkodliwych reakcji, powstających na skutek odwodnienia (Vertucci i Farrant, 1995). Liczne badania wykazały, że błony komórkowe są szczególnie czułe na zmiany strukturalne zachodzące w nich podczas odwodnienia. Zmiany te mogą być szczególnie niebezpieczne (Crowe i in. 1992) podczas stresu wywołanego silnym podsuszeniem nasion.

Celem prezentowanych badań* było określenie dopuszczalnych, minimalnych progów zawartości wody w nasionach sosny, świerka, brzozy i olszy, po przekroczeniu których nasiona zaczynają tracić zdolność kiełkowania, oraz opracowanie optymalnej metody stopniowego suszenia nasion, z zachowaniem ich pełnej żywotności.

2. MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto 11 partii nasion sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), 5 partii nasion świerka pospolitego [*Picea abies* (L.) Karst.], 5 partii brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) i 4 partie nasion olszy czarnej [*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.]. Nasiona zebrano w 1999 i 2000 roku, z co najmniej 2 miejsc, z różnych regionów kraju.

Nasiona kilkudziesięciu próbek sosny i świerka pochodziły z wyluszczeni w Augustowie, Czarnej Białostockiej, Janowicach Wielkich, Jarocinie, Jedwabnie, Kaliskach, Kolumnie, Łącku, Rytlu i Nowej Soli. Niektóre nasiona świerka (z Gołdapi i Sudetów) wyluszczone wyjątkowo w Zakładzie Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych IBL.

Podsuszanie nasion

Nasiona sosny i świerka podsuszono już w procesie łuszczenia szyszek w temperaturze ok. 50–60°C, i dlatego wyluszczone z nich nasiona odznaczały się małą zawartością wody, w przedziale 6–10%.

Zastosowano 3 metody dalszego intensywnego suszenia wyluszczonych nasion:

I – suszenie częściowo odwodnionym powietrzem (od 1 do 25% względnej wilgotności) o temperaturze od 20 do 60°C, z zastosowaniem suszarki firmy BCC.

*Badania zrealizowano w ramach tematu BLP-903 zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych

Suszenie prowadzono etapowo, podwyższając co 5 lub 10°C na dobę temperaturę suszenia. Czas suszenia wynosił 24 godziny;

II – suszenie w próżni z zastosowaniem liofilizatora. Przed włożeniem do liofilizatora, nasiona zamrażano w chłodni w temperaturze ok. -5°C , przez 10 godzin. Zamrożone nasiona umieszczano w komorze liofilizatora, w temperaturze 20°C , wytwarzając w niej próżnię (podciśnienie 1mB). Czas suszenia wynosił 80 godzin.

III – suszenie w strumieniu gorącego powietrza o temperaturze od 70 do 90°C (zwiększenie temperatury co 5°C) suszarką Carbolite z nadmuchem wentylatora. Czas suszenia wynosił 24 godziny.

Po zakończeniu każdego etapu suszenia pobierano próbki nasion do określenia ich wilgotności i żywotności.

Przechowywanie nasion

Próbki nasion pobrane przed suszeniem, po zakończeniu kolejnych etapów suszenia w suszarce BCC, oraz po wysuszeniu w liofilizatorze, umieszczono w hermetycznie zamkniętych torebkach z 3-warstwowej folii „Alufol” i przechowywano w chłodni w temperaturze $+3^{\circ}\text{C}$:

- 2,5 roku sosnę i świerka ze zbioru 1998/99,
- 2 lata brzozę ze zbioru 1999,
- 1,5 roku sosnę, świerka i olszę ze zbioru 1999/00,
- przez 1 rok brzozę ze zbioru 2000.

Oznaczanie wilgotności nasion

Wilgotność nasion suszonych w suszarce BCC i suszarce Carbolite określono metodą suszarkowo-wagową (wago-suszarka Mettler PM 480) jako procentowy udział wody w świeżej masie próbki.

Zawartość wody mierzona była ubytkiem masy próbki powstałym po jej wysuszeniu w 105°C . Nasiona przed pomiarem zmielono. Wilgotność nasion określano przed rozpoczęciem suszenia (wariant kontrolny) i po każdym etapie suszenia. Za ostateczny wynik pomiaru wilgotności przyjmowano średnią z dwóch powtórzeń. W przypadku brzozy wilgotność oznaczono dla nasion z łuskami.

Oznaczanie żywotności nasion

Żywotność nasion przed suszeniem (kontrolnych), oraz suszonych w różnych temperaturach, określono na kiełkowniku Jakobsena (brzoza, olsza, sosna) oraz na kiełkowniku Liebenberga (świerk), jak również poprzez oznaczenie współczynnika wypływu elektrolitu z nasion metodą konduktometryczną (sosna, świerk i olsza).

Kiełkowanie prowadzono w 4 powtórzeniach (4×100 nasion), w stałej temperaturze $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ i 8-godzinnym oświetleniu na dobę. Kiełkujące nasiona świerka umieszczono w świetle rozproszonym w termostacie. Do określenia energii

kiełkowania liczono prawidłowo skielkowane nasiona po 7 dniach, a zdolności kiełkowania po 14 dniach.

Nasiona sosny i świerka w 4 powtórzeniach (4×100 sztuk) poddano testowi przyspieszonego postarzenia według metody opracowanej przez Machanička (1981). Polega on na przetrzymywaniu nasion przed wysiewem w temperaturze $40\text{--}41^\circ\text{C}$ i w warunkach zwiększonej wilgotności powietrza do $90\text{--}100\%$ przez 95 godzin. Obserwacje energii i zdolności kiełkowania nasion poddanych testowi przyspieszonego postarzenia prowadzono również po 7 i 14 dniach. Badano różnice w % skielkowanych nasion pomiędzy próbkami poddanymi i nie poddanymi testowi postarzenia.

Stopień uszkodzenia struktur komórkowych badano metodą konduktometryczną według zmodyfikowanej metodyki Leinonen'a (1998). Za miarę uszkodzeń błon komórkowych przyjęto współczynnik wpływu elektrolitu z nasion, który określono wyrażeniem procentowym (P) według wzoru:

$$P = \frac{P_1}{P_2} \times 100\%$$

gdzie:

P1 – przewodność roztworu wodnego po 24 godzinach moczenia nieuszkodzonych nasion, wyrażona w mikrosiemensach (μS) $\text{cm}^{-1}/\text{g}^{-1}$,

P2 – przewodność roztworu wodnego po całkowitym zniszczeniu błon komórkowych nasion, wyrażona w μS $\text{cm}^{-1}/\text{g}^{-1}$.

Próbki nasion płukano dwukrotnie w 150 ml wody dejonizowanej, po czym zalewano ponownie 150 ml wody dejonizowanej. Zlewki z nasionami przykrywano Parafilmem umożliwiającym wymianę gazową, umieszczając je w termostacie w temperaturze $24 \pm 1^\circ\text{C}$. Po 24 godzinnej inkubacji dokonywano pomiaru przewodności roztworu P1 za pomocą standardowego konduktometra laboratoryjnego, z dokładnością do $0,1 \mu\text{S}$. Następnie dokonywano całkowitej destrukcji błon komórkowych w nasionach, homogenizując je w zlewkach przez 1–2 minuty homogenizatorem ULTRA-TURRAX T25 i gotując w kuchence mikrofalowej przez 5 min. Po całkowitym zniszczeniu struktur komórkowych i obniżeniu temperatury próbek do temperatury pokojowej oraz po uzupełnieniu roztworu wodą dejonizowaną do objętości 150 ml, dokonywano powtórnego pomiaru przewodności roztworu (P2). Badania przewodności przeprowadzono w 2 powtórzeniach, ustalając dla każdej próbki nasion przeciętny współczynnik wpływu elektrolitu, jako średnią arytmetyczną z pomiaru 2 próbek cząstkowych. Wielkość próbek wynosiła 1 g. Wpływ elektrolitu badano po wysuszeniu nasion przed złożeniem ich do przechowywania.

Statystyczne opracowanie wyników

Wyniki opracowano statystycznie za pomocą programu komputerowego „Statgraphics Plus”. Badano istotność różnic w zdolności kiełkowania pomiędzy

nasionami kontrolnymi i po ich wysuszeniu, w różnych temperaturach i różnych urządzeniach, do różnych poziomów wilgotności. Analizy prowadzono oddzielnie dla każdego gatunku i roku zbioru, a także oddzielnie dla próbek pobranych przed przechowaniem, po zastosowaniu testu przyspieszonego postarzenia i po przechowaniu. Istotność różnic badano za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancyjnej i testu Tukey'a z prawdopodobieństwem 95%. Pierwszym źródłem zmienności były różne warianty suszenia nasion, drugim – różne miejsca zbioru nasion (pochodzenie).

W analizach statystycznych zastosowano przekształcenia wartości procentowych za pomocą wzoru:

$$y = \arcsin \sqrt{\%}$$

Istotność różnic pomiędzy poszczególnymi wariantami suszenia lub pochodzeniami przedstawione w dalszej części pracy odnosi się do wyżej opisanej analizy statystycznej. Na prezentowanych wykresach przedstawiono średnie z 4 prób dla zdolności kiełkowania oraz ich odchylenie standardowe (ryc. 1–10). Krzywe wilgotności i współczynnika wypływu elektrolitu dotyczy średnich z 2 obserwacji. Pełna analiza istotności różnic dla wszystkich badanych wariantów zestawiona została we wcześniejszym opracowaniu Aniśko i in. (2001).

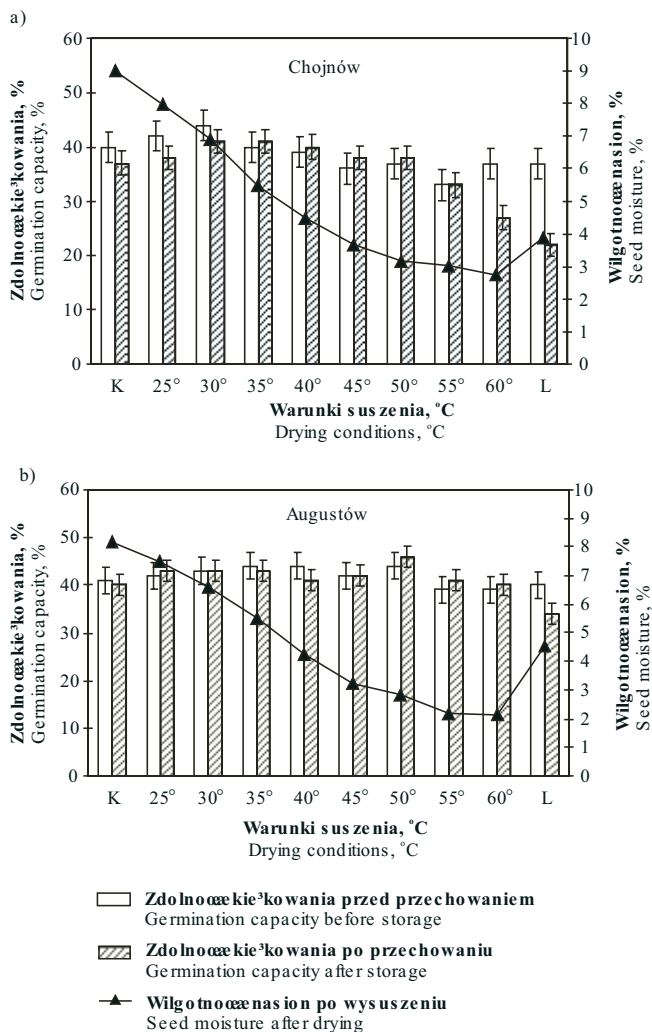
3. WYNIKI BADAŃ

3.1. Brzoza brodawkowata

Do pierwszej serii badań pobrano ze zbioru 1999 r. dwie partie nasion z Chojnowa i Augustowa o zbliżonej zdolności kiełkowania 40 i 41%. Po podsuszeniu nasion w suszarce BCC ich wilgotność obniżyła się z poziomu wyjściowego 8–9% do 2–3%, przy wilgotności suszącego powietrza 1,3% i temperaturze 60°C. Zdolność kiełkowania nasion po wysuszeniu obniżyła się nieistotnie: do 37 i 39% (ryc. 1).

Wynik suszenia w liofilizatorze w dużym stopniu zależał od początkowej wilgotności nasion i od ich pochodzenia. Nasiona kontrolne, o początkowej wilgotności 8–9%, wysuszono w liofilizatorze do poziomu 3,5–4,5% zawartości wody. Zdolność kiełkowania nasion z Chojnowa po wysuszeniu w liofilizatorze i 2-letnim przechowywaniu uległa istotnemu obniżeniu o 15% (ryc. 1a), natomiast zdolność kiełkowania nasion z Augustowa obniżyła się tylko o 6%, co było nieistotne statystycznie (ryc. 1b).

Większy wpływ metody podsuszania nasion na żywotność nasion brzozy uwidocznił się dopiero po ich przechowaniu przez 2 lata. Po tym czasie zaznaczyły się również większe różnice w reakcji na suszenie pomiędzy 2 pochodzeniami

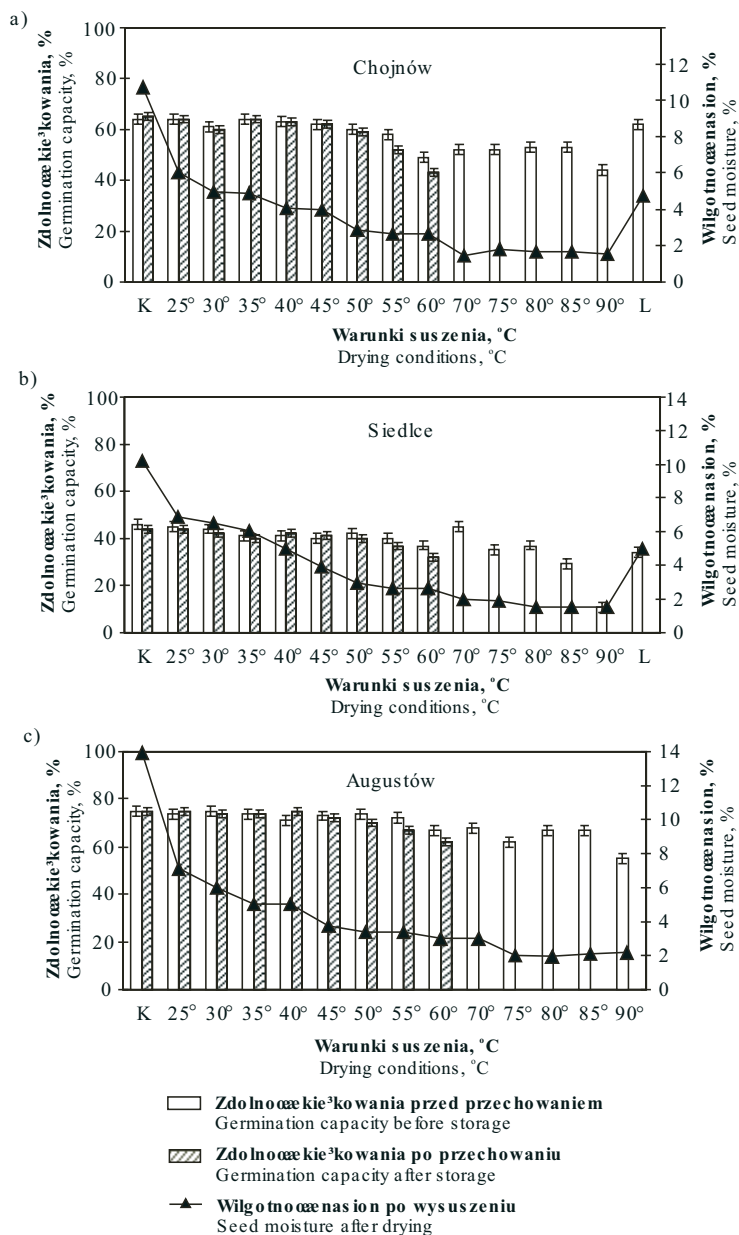


Ryc. 1. Zdolność kiełkowania nasion *Betula pendula* Roth. (zbiór 1999 r.) podsuszonych do różnych poziomów wilgotności przed oraz po 2-letnim przechowywaniu (K – kontrola, L – liofilizacja w 20°C)

Fig. 1. Germination capacity of *Betula pendula* Roth. seeds (collection 1999) dried to different moisture content levels before and after 2-year storage (K – control, L – lyophilisation at 20°C)

nasion. U nasion z Chojnowa istotny spadek zdolności kiełkowania po przechowaniu nastąpił w próbkach wysuszonych w 60°C do poziomu wilgotności 2,7% (ryc. 1a). U nasion z Augustowa zjawiska takiego nie stwierdzono (ryc. 1b), pomimo wysuszenia ich w tej samej temperaturze do niższego poziomu wilgotności (ok. 2,2%).

W drugiej serii badań (2000 r.) porównywano reakcję na wysuszenie 3 partii nasion o zróżnicowanej początkowej zdolności kiełkowania – od 46 do 75%



Ryc. 2. Zdolność kiełkowania nasion *Betula pendula* Roth. (zbiór 2000 r.) podsuszonych do różnych poziomów wilgotności, przed oraz po 1-rocznym przechowaniu (K – kontrola, L – liofilizacja w 20°C)

Fig. 2. Germination capacity of *Betula pendula* Roth. seeds (collection 2000) dried to different moisture content levels before and after 1-year storage (K – control, L – lyophilisation at 20°C)

(ryc. 2). W suszarce BCC obniżono wilgotność tych nasion z 10–14% do 2,5–3,0%, w temperaturze 60°C w końcowym etapie suszenia. Suszenie nasion w wysokich temperaturach 70–90°C (w suszarce bez wykraplania wody z powietrza) pozwoliło na obniżenie wilgotności nasion zaledwie do poziomu 1,5–2,0%. W liofilizatorze suszono w temperaturze +20°C nasiona 2 pochodzeń (Chojnów i Siedlce), o początkowej wilgotności 10,2–10,7%, obniżając w nich zawartość wody do 4,7–5,0% (ryc. 2a i b).

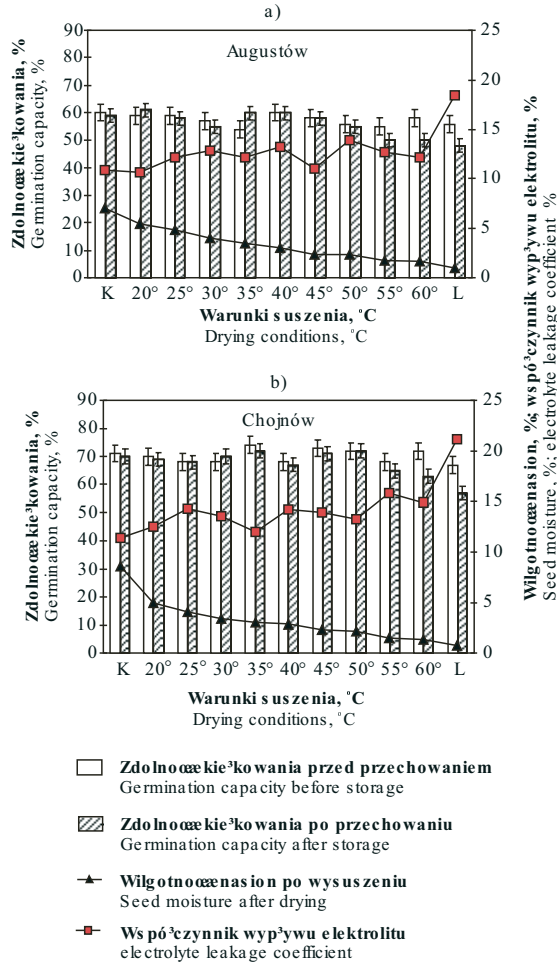
Pomimo zróżnicowanej początkowej żywotności nasiona z różnych partii wykazały podobną reakcję na temperaturę suszenia i stopień odwodnienia. Istotny w stosunku do kontroli spadek zdolności kiełkowania przed przechowaniem wykazały nasiona wszystkich 3 pochodzeń po wysuszeniu ich w temperaturze 60°C, do poziomu wilgotności 2,5–3,0%. Po wysuszeniu w liofilizatorze zdolność kiełkowania nasion z Chojnowa obniżyła się o 3% (ryc. 2b), a nasion z Siedlec o 10% (ryc. 2a).

Po przechowaniu podsuszonych nasion przez 1 rok stwierdzono, że istotne obniżenie żywotności nasion z Chojnowa nastąpiło już w próbkach wysuszonych w temperaturze 50°C do poziomu 2,84% wilgotności (ryc. 2a), w próbkach z Siedlec – w temperaturze 60°C do poziomu wilgotności 2,68% (ryc. 2b) i Augustowa – w temperaturze 55°C do poziomu 3,40% (rys. 2c). Zdolność kiełkowania wysuszonych w liofilizatorze nasion brzozy z Siedlec po przechowaniu przez 1 rok była istotnie niższa od zdolności kiełkowania nasion kontrolnych (nie suszonych), natomiast w przypadku nasion z Chojnowa istotności tej różnicy nie udowodniono.

3.2. Olsza czarna

Nasiona olszy czarnej pochodzące z Augustowa i Chojnowa pozyskane w 1999 roku charakteryzowały się dość wysoką zdolnością kiełkowania (60–70%), różniącą się jednak istotnie statystycznie między 2 porównywanymi pochodzeniami. Wilgotność początkowa nasion (przed intensywnym suszeniem) utrzymywała się na poziomie 7,0–8,6%. W ostatniej fazie suszenia w suszarce BCC, powietrzem o temperaturze 60°C, obniżono wilgotność nasion do poziomu 1,3–1,6%. Po suszeniu przez 80 godzin w liofilizatorze wilgotność nasion olszy obniżono do niskiego poziomu 0,7–1,0% zawartości wody (ryc. 3).

Zdolność kiełkowania nasion przed suszeniem i bezpośrednio po wszystkich etapach suszenia była zbliżona. Na brak istotnego spadku zdolności kiełkowania po wszystkich etapach suszenia, nawet w temperaturze 60°C, wskazują wyniki analizy statystycznej. Natomiast metoda konduktometryczna wykazała niewielki, w stosunku do nasion kontrolnych, wzrost współczynnika przepływu elektrolitu po suszeniu nasion w suszarce BCC, oraz znaczny wzrost tego współczynnika po wysuszeniu nasion w liofilizatorze. Okazało się również, że po 1,5-rocznym przechowaniu nastąpił widoczny spadek zdolności kiełkowania nasion wysuszonych przed przechowaniem w liofilizatorze i w suszarce BCC w wysokich temperaturach 55 i 60°C, do poziomu wilgotności niższego od 2,0% zawartości wody. Istotny spadek zdolności kiełkowania przechowywanych nasion podsuszonych w

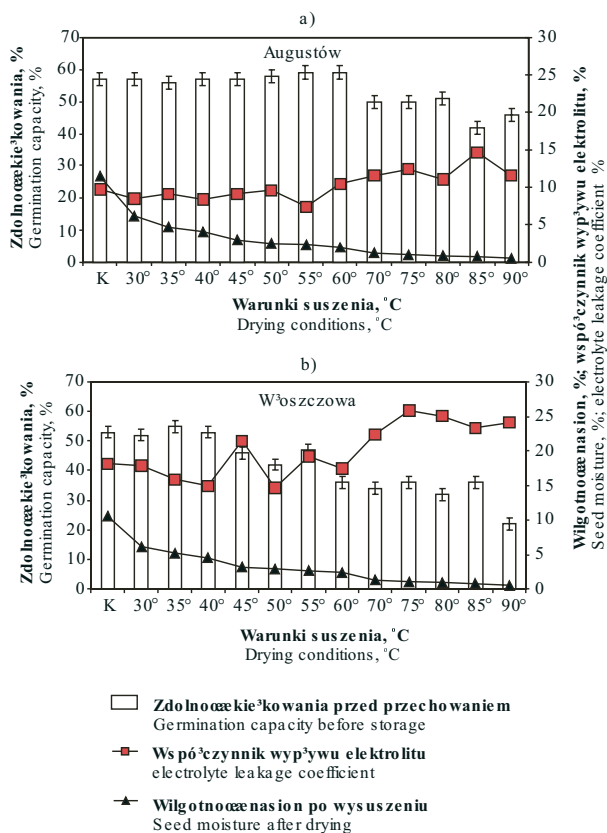


Ryc. 3. Żywotność nasion *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. (zbiór 1999 r.) podsuszonych do różnych poziomów wilgotności przed oraz po 1,5-rocznym przechowaniu (K – kontrola, L – liofilizacja w 20°C)

Fig. 3. Viability of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. seeds (collection 1999) dried to different moisture content levels before and after 1.5-year storage (K – control, L – lyophilisation at 20°C)

55 i 60°C w suszarce BCC, oraz w liofilizatorze został udowodniony statystycznie tylko w przypadku nasion pochodzących z Augustowa (ryc. 3a), charakteryzujących się niższą początkową zdolnością kiełkowania niż nasiona z Chojnowa (ryc. 3b).

Nasiona pozyskane w 2001 roku posiadały niższą niż nasiona z poprzedniego roku zdolność kiełkowania, a większą o ok. 3% wilgotność początkową. Po ostatnim etapie suszenia w suszarce BCC, powietrzem o temperaturze 60°C, wilgotność nasion obniżono z poziomu 10,5–11,5% do poziomu 2,0–2,5%. Suszenie



Ryc. 4. Żywotność nasion *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth. (zbiór 2000 r.) podsuszonych do różnych poziomów wilgotności (K – kontrola)

Fig. 4. Viability of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. seeds (collection 2000) dried to different moisture content levels (K- control)

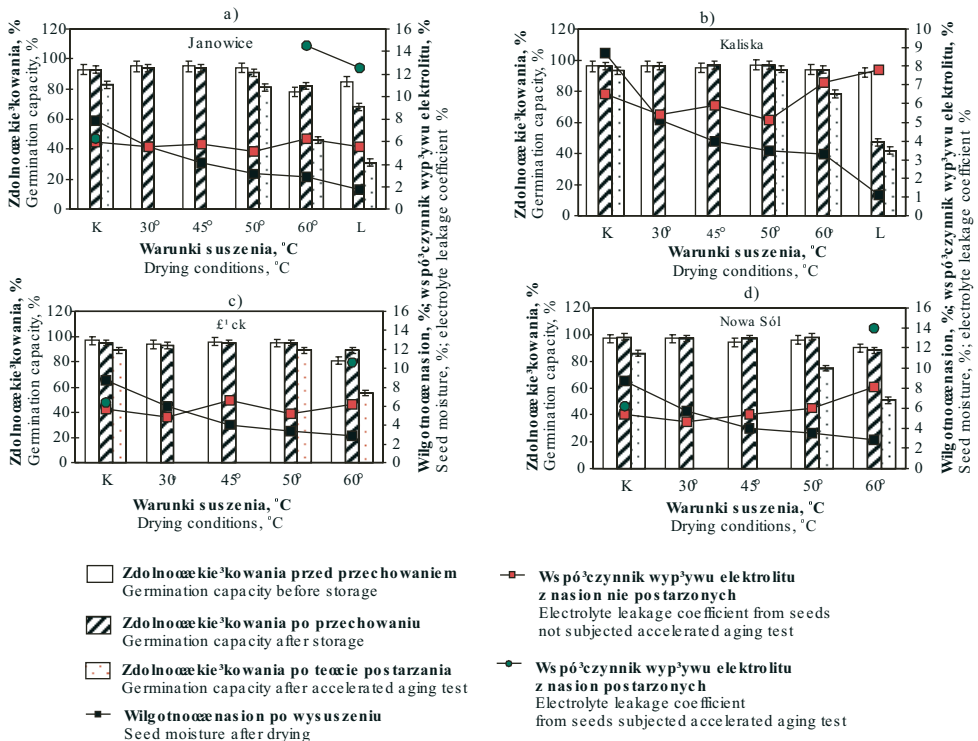
w wysokich temperaturach (70–90°C) umożliwiło obniżenie wilgotności tych nasion do poziomu 0,5–0,6% (ryc. 4).

Nasiona zebrane w różnych miejscach wykazały zróżnicowaną reakcję na wysuszenie. U bardziej wrażliwych nasion z Włoszczowej istotny spadek zdolności kiełkowania nastąpił już po wysuszeniu ich w temperaturze 45°C do poziomu wilgotności 3,2% (ryc. 3b). Natomiast u nasion z Augustowa, istotny spadek żywotności uwidocznił się po wysuszeniu ich w temperaturze 70°C i wyższych do poziomu wilgotności 1,2–0,75% (ryc. 3a). Wykazano, że u nasion suszonych w temperaturach wyższych od 55 do 60°C nastąpił zwiększony wpływ elektrolitu, co wskazuje na większą destrukcję struktur komórkowych.

3.3. Sosna zwyczajna

Pierwszą serię badań prowadzono na nasionach sosny zwyczajnej pozyskanych w 1999 roku przez 4 wyłuszczarne. Nasiona te odznaczały się zbliżoną, wysoką zdolnością kiełkowania (powyżej 91%), odpowiadającą poziomowi I klasy żywotności. Początkowa wilgotność nasion wahała się w granicach 7,5–9,0%. Nasiona podsuszono w suszarce BCC powietrzem o temperaturze 60°C do poziomu 2,8–3,3%. Na przykładzie 2 pochodzeń okazało się, że w liofilizatorze można wysuszyć nasiona sosny zwyczajnej do jeszcze niższego poziomu wilgotności (1,1–1,8%) niż w suszarce BCC (rys. 5).

Nasiona sosny różnych proveniencji wykazywały zróżnicowaną reakcję na metodę i stopień ich wysuszenia. Nasiona większości pochodzeń zareagowały istotnym spadkiem zdolności kiełkowania po wysuszeniu ich w temperaturze 60°C do poziomu 2,8–2,9% wilgotności. Tylko u nasion pochodzących z Kalisk zdolność kiełkowania nie uległa istotnemu obniżeniu w stosunku do nasion kontrolnych po wysuszeniu ich w 60°C do wilgotności 3,3% (ryc. 5b). Suszenie przeprowadzone w liofilizatorze obniżyło istotnie zdolność kiełkowania nasion dla proveniencji



Ryc. 5. Żywotność nasion *Pinus sylvestris* L. (zbiór 1999 r.) podsuszonych do różnych poziomów wilgotności przed oraz po 2,5-roku przechowywania (K – kontrola, L – liofilizacja w 20°C)

Fig. 5. Viability of *Pinus sylvestris* L. seeds (collection 1999) dried to different moisture content

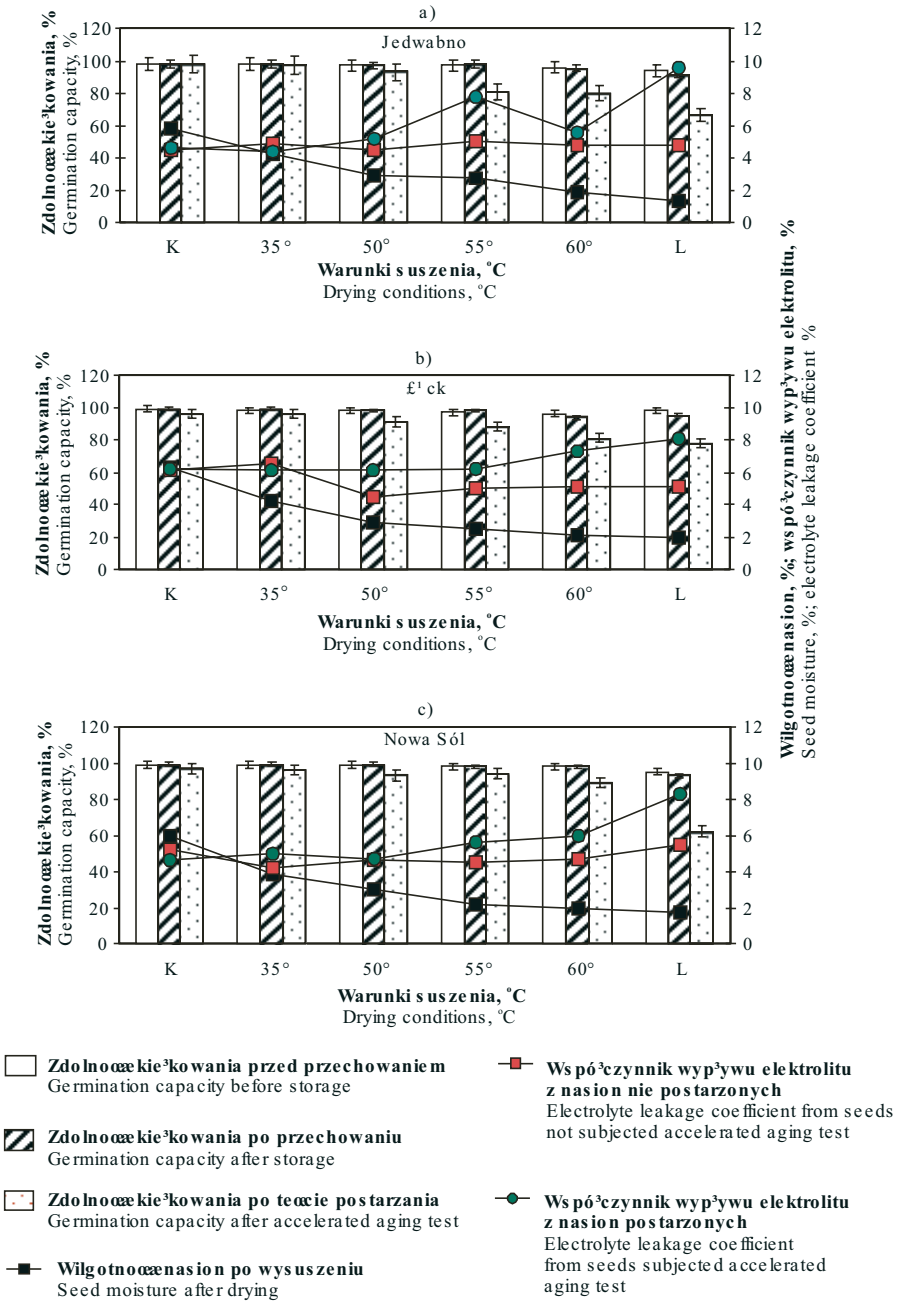
Janowice oraz Kaliska (ryc. 5a, b). Obniżenie zdolności kiełkowania po traktowaniu nasion wysokimi temperaturami w suszarce BCC (50–60°C) lub suszeniu w liofilizatorze, w nielicznych tylko przypadkach sygnalizowane było zwiększonym współczynnikiem wypływu elektrolitu z nasion. Suszenie w temperaturze 60°C istotnie obniżyło odporność nasion wszystkich pochodzeń na test przyspieszonego postarzania. W przypadku nasion z Nowej Soli obniżenie takie nastąpiło już po wysuszeniu ich w temperaturze 50°C (ryc. 5d). Suszenie w liofilizatorze najsilniej obniżyło odporność nasion na test przyspieszonego postarzania. Nasiona 3 proveniencji (Janowice, Łąck, Nowa Sól) wysuszone w suszarce BCC, powietrzem o temperaturze 60°C, do poziomu wilgotności 2,8–3,3%, zareagowały istotnym spadkiem zdolności kiełkowania po przechowywaniu ich przez 2,5 roku. Największy spadek żywotności po przechowywaniu nastąpił jednak u nasion wysuszonych w liofilizatorze.

Nasiona zebrane w 2000 roku w Jedwabnie, Łącku i Nowej Soli charakteryzowały się wyrównaną, bardzo wysoką zdolnością kiełkowania (98–99%) i mniejszą niż w poprzednim sezonie wilgotnością początkową 5,8–6,3% (ryc. 6). W ostatnim etapie suszenia w suszarce BCC, powietrzem o temperaturze 60°C, wilgotność nasion obniżono do poziomu 1,9–2,1%. Suszenie w liofilizatorze w przypadku tych nasion dało podobne efekty, ponieważ ich wilgotność zmniejszyła się tylko do poziomu 1,3–2,0%.

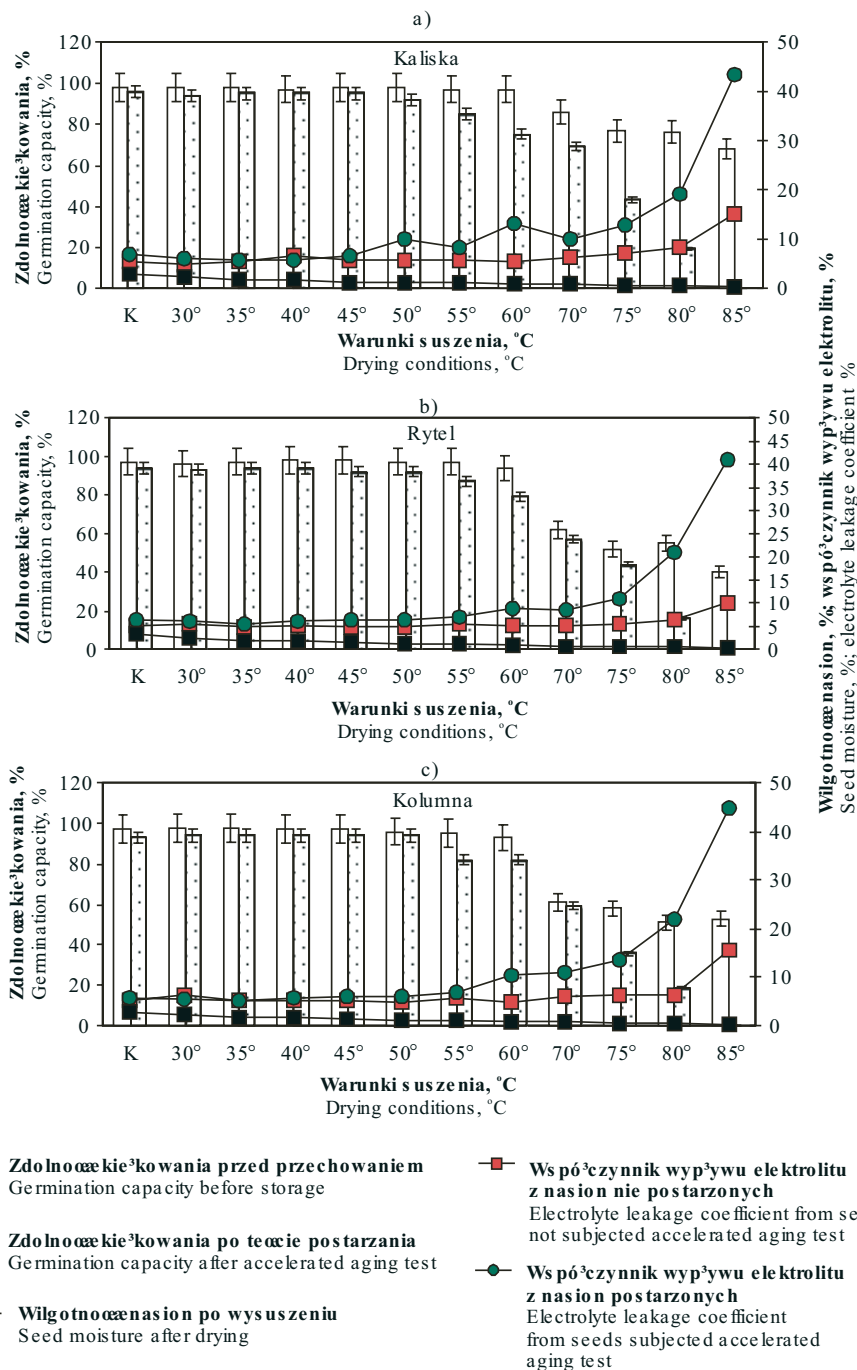
Zdolność kiełkowania nasion sosny suszonych w suszarce BCC nie uległa istotnemu obniżeniu, nawet po potraktowaniu ich temperaturą 60°C. Natomiast u niektórych proveniencji (Łąck) zdolność kiełkowania uległa niewielkiemu, ale istotnemu zmniejszeniu po wysuszeniu nasion w liofilizatorze, do zbliżonego poziomu wilgotności jak po wysuszeniu w suszarce BCC (ryc. 6b). Suszenie w temperaturach 50°C (Łąck, Jedwabno) i 60°C (Łąck, Jedwabno, Nowa Sól) spowodowało istotne obniżenie odporności nasion na stresowe warunki testu przyspieszonego postarzania. Istotny spadek zdolności kiełkowania po przechowywaniu nastąpił natomiast u nasion wszystkich 3 pochodzeń wysuszonych w liofilizatorze (ryc. 6a, b i c). Spadek żywotności nasion po wysuszeniu w wysokich temperaturach (60°C) nie był sygnalizowany zwiększonym współczynnikiem wypływu elektrolitu, który zwiększył się tylko w przypadku nasion podsuszonych w liofilizatorze.

Do 3 serii badań wzięto również z 3 wyluszczeni nasiona sosny o zbliżonej, wysokiej zdolności kiełkowania (97–98%). Nasiona te charakteryzowały się zbliżoną wilgotnością początkową, na przeciętnym dla sosny poziomie (7–8%). W ostatnim etapie suszenia w suszarce BCC, powietrzem o temperaturze 60°C, wilgotność tę obniżono do poziomu 2,2–2,4% zawartości wody. Suszenie w temperaturach od 70 do 85°C, z zastosowaniem zwykłej suszarki, powodowało obniżenie wilgotności tych nasion od 1,8 do 1,0% (ryc. 7).

Zdolność kiełkowania nasion 3 badanych proveniencji w istotnym stopniu zaczęła spadać dopiero po wysuszeniu ich w temperaturze 70°C, do poziomu wilgotności 1,8–1,9%. Zwiększony współczynnik wypływu elektrolitu obserwowano dopiero u nasion wysuszonych w temperaturze 85°C. Istotny spadek od-



Ryc. 6. Żywotność nasion *Pinus sylvestris* L. (zbiór 2000 r.) podsuszonych do różnych poziomów wilgotności przed oraz po 1,5-rocznym przechowywaniu (K – kontrola, L – liofilizacja w 20°C)
Fig. 6. Viability of *Pinus sylvestris* L. seeds (collection 2000) dried to different moisture content levels before and after 1.5-year storage (K- control, L – lyophilisation at 20°C)



Ryc. 7. Żywotność nasion sosny *Pinus sylvestris* L. (zbiór 2001 r.) podsuszonych do różnych poziomów wilgotności (K – kontrola)

Fig. 7. Viability of *Pinus sylvestris* L. seeds (collection 2001) dried to different moisture content levels (K – control)

porności na test przyspieszonego postarzania rozpoczął się już u nasion wszystkich 3 proveniencji wysuszonych w temperaturze 55°C. W miarę podwyższania temperatury suszenia odporność ta gwałtownie malała.

3.4. Świerk pospolity

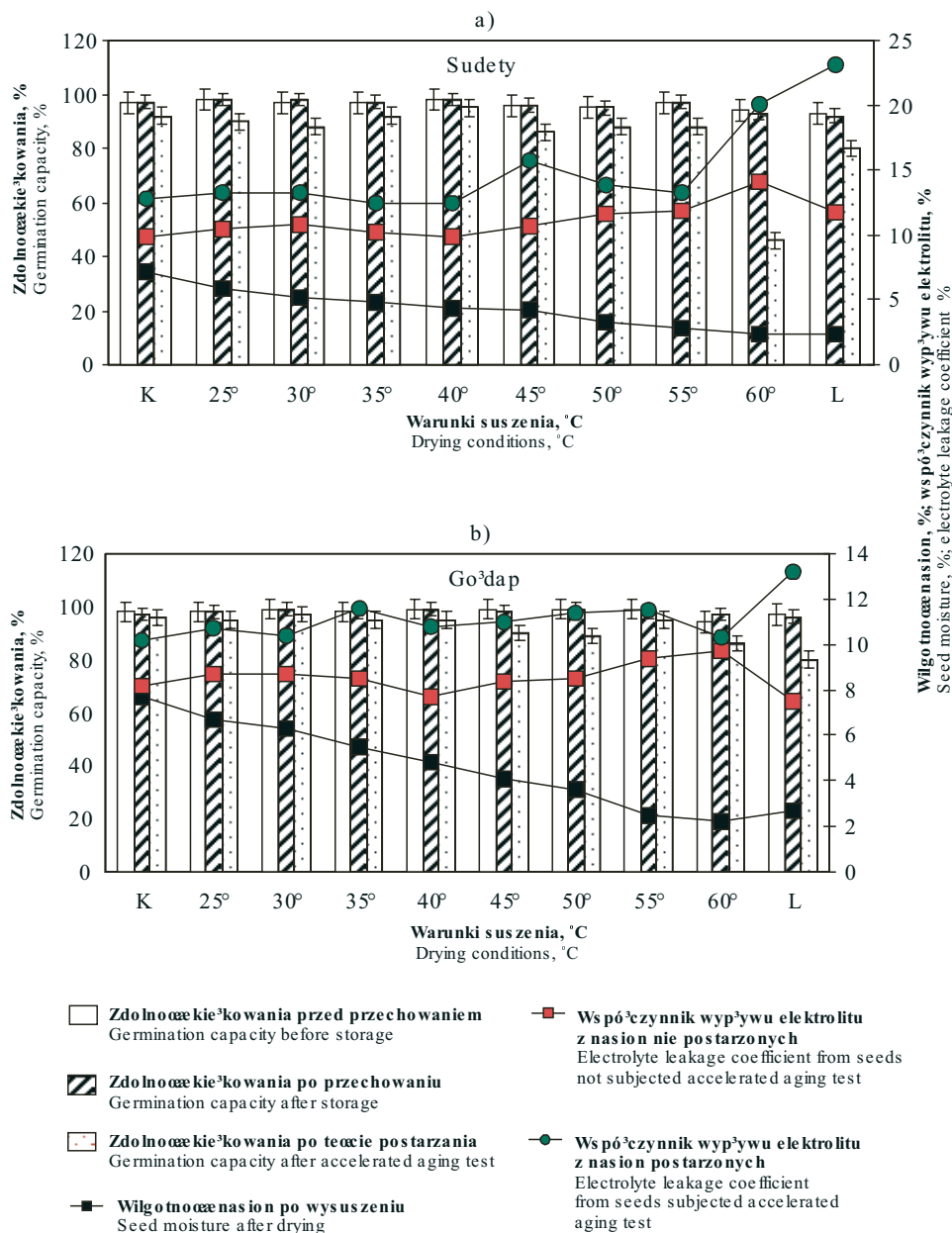
Do pierwszej serii badań wyłuszczone w IBL dwie partie nasion. Jedną pozyskano z szyszek pochodzących z terenu Nadleśnictwa Gołdap, a drugą z szyszek zebranych na terenie 3 nadleśnictw w Sudetach. Nasiona proveniencji Sudeckich charakteryzowały się wysoką, wyrównaną zdolnością kiełkowania (97 i 98%) oraz zbliżoną wilgotnością początkową (7,2–7,7%) (ryc. 8). Po ostatnim etapie suszenia w suszarce BCC, powietrzem o temperaturze 60°C, wilgotność nasion obniżono do poziomu 2,2–2,4%. Suszenie w liofilizatorze dało nieco gorsze efekty w porównaniu z suszarką BCC, ponieważ po 80 godzinach zabiegu osiągnięto nieco wyższy poziom wilgotności (2,4–2,7%).

Pomimo braku istotnych różnic w początkowej zdolności kiełkowania i wilgotności, nasiona obu proveniencji wykazały zróżnicowaną reakcję na suszenie. Tuż po wysuszeniu nasion nie stwierdzono istotnych różnic w zdolności kiełkowania nasion poddanych różnym wariantom suszenia. Dla nasion z Sudetów, wysuszonych w temperaturze 60°C do poziomu 2,4%, w istotnym stopniu spadła zdolność kiełkowania po teście przyspieszonego postarzania (ryc. 8a). Zdolność kiełkowania spadła również u nasion suszonych w liofilizatorze. Istotny spadek zdolności kiełkowania u nasion z Sudetów, suszonych w liofilizatorze i w suszarce BCC w temperaturze 60°C, stwierdzono po przechowaniu ich przez 2,5 roku. Spadek żywotności nasion świerka po suszeniu w liofilizatorze i w wysokich temperaturach nie był sygnalizowany zwiększonym współczynnikiem wpływu elektrolitu.

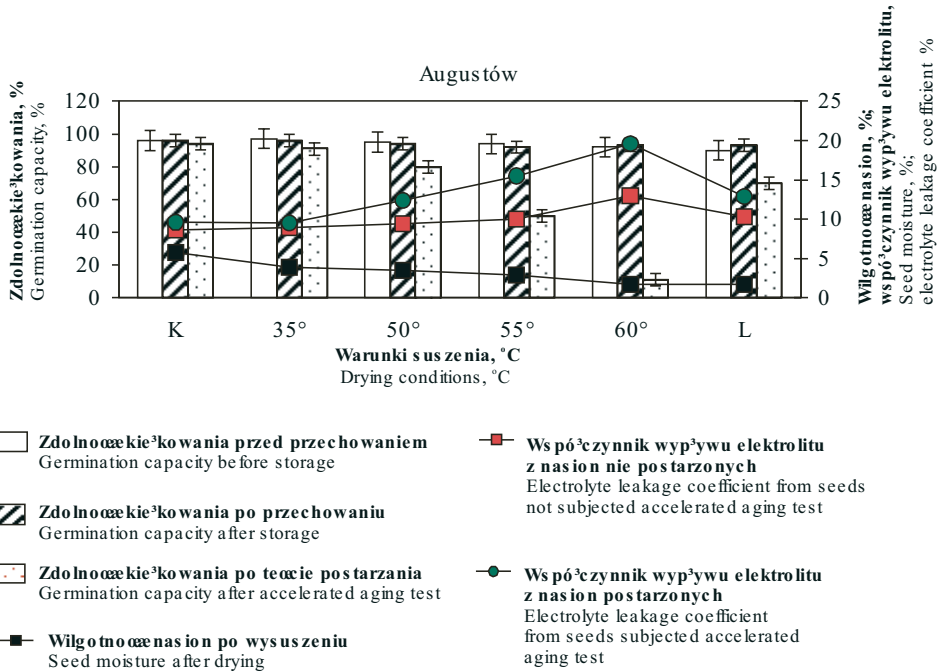
W drugiej serii badań sprawdzano reakcję na wysuszenie nasion tylko jednego pochodzenia, pozyskanych w roku 2000 przez wyłuszczenie w Augustowie (ryc. 9). Przyczyną był bardzo słaby urodzaj świerka w 1999 roku. Nasiona te miały wysoką zdolność kiełkowania, odpowiadającą I klasie i stosunkowo małą wilgotność początkową (ok. 6%). Nasiona wysuszono w suszarce BCC, powietrzem o temperaturze 60°C, do wilgotności 1,7%, a po wysuszeniu w liofilizatorze do poziomu 1,7–2,2%.

Nie stwierdzono istotnego spadku zdolności kiełkowania po wysuszeniu ich w suszarce BCC i w liofilizatorze. Nasiona suszone przez 80 godzin w liofilizatorze i suszone w suszarce BCC, powietrzem o temperaturach 50–60°C, miały jednak obniżoną odporność na test postarzania. Wyjątkowo, w przypadku tej partii nasion świerka obserwowano zwiększanie się współczynnika wpływu elektrolitu wraz ze zwiększaniem się temperatury suszenia. Po przechowaniu nasion przez 1,5 roku, nie stwierdzono jednak istotnych różnic w zdolności kiełkowania nasion poddanych różnej intensywności suszenia (ryc. 9).

Dwie proveniencje nasion wzięte do 3 serii badań miały zbliżoną, wysoką zdolność kiełkowania (96–97%) i dość dużą wilgotność początkową (10,7–11,0%)

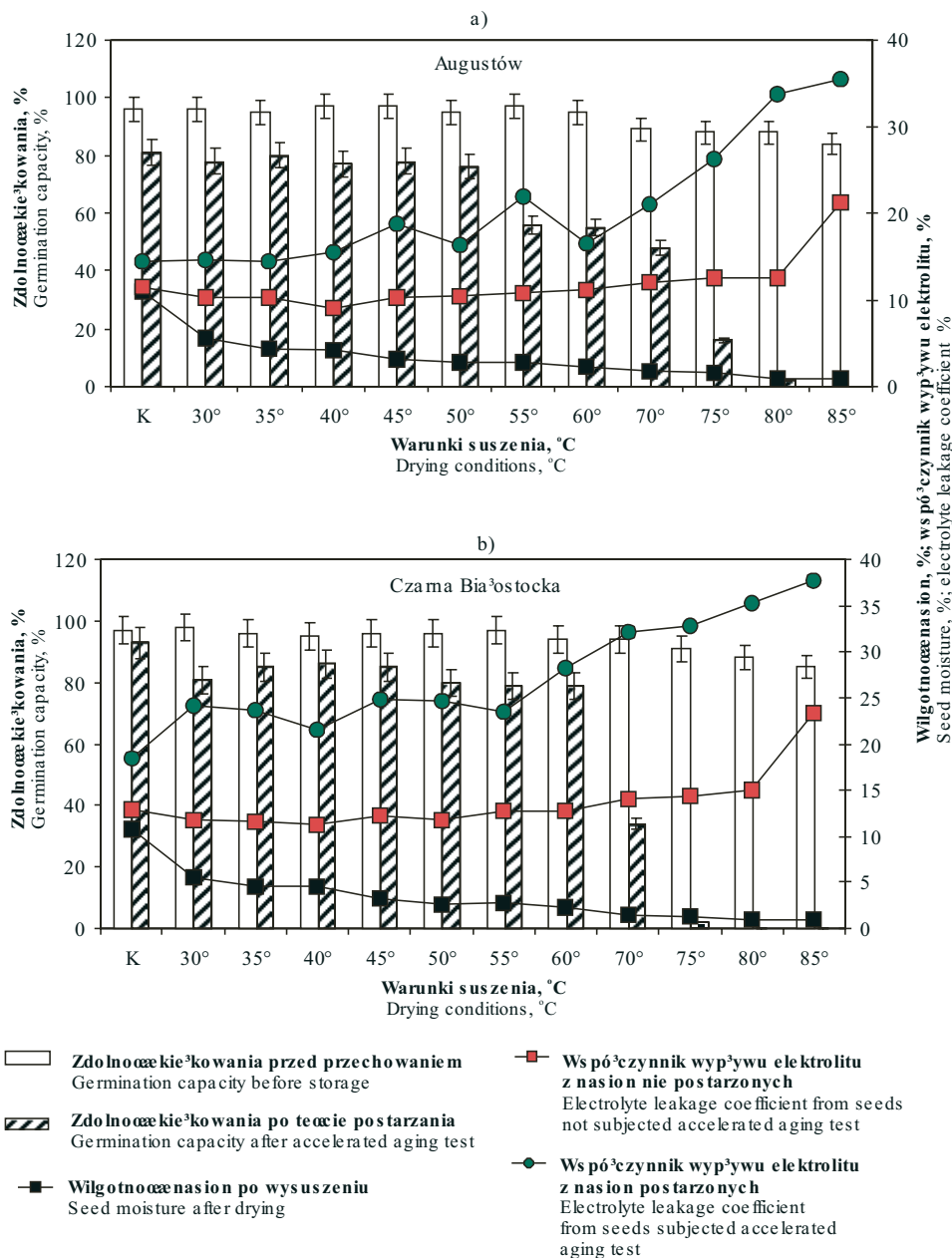


Ryc. 8. Źywotnoœæ nasion *Picea abies* Karst. (zbiór 1999 r.) podsuszonych do r³õnych poziomów wilgotnoœci przed oraz po 2,5-letnim przechowaniu (K – kontrola, L – liofilizacja w 20°C)
 Fig. 8. Viability of *Picea abies* Karst. seeds (collection 1999) dried to different moisture content levels before and after 2.5-year storage (K- control, L – lyophilisation at 20°C)



Ryc. 9. Żywotność nasion *Picea abies* Karst. (zbiór 2000 r.) podsuszonych do różnych poziomów wilgotności przed oraz po 1,5-rocznym przechowaniu (K – kontrola, L – liofilizacja w 20°C)
Fig. 9. Viability of *Picea abies* Karst. seeds (collection 2000) dried to different moisture content levels before and after 1.5-year storage (K – control, L – lyophilisation at 20°C)

(ryc. 10). Po ostatnim etapie suszenia w suszarce BCC wilgotność ta spadła do 2,3%, a po suszeniu w wyższych temperaturach (70–85°C) – nawet do 0,9%. Istotny spadek zdolności kiełkowania nasion z Augustowa stwierdzono po wysuszeniu ich w temperaturze 70°C do poziomu 1,7% zawartości wody (ryc. 10a), a u nasion z Czarnej Białostockiej dopiero po wysuszeniu ich w temperaturze 80°C do poziomu 0,9% wilgotności (ryc. 10b). W przypadku obu proveniencji, tylko nasiona suszone w 85°C wykazały zwiększony współczynnik wypływu elektrolitu. Istotny spadek odporności na test przyspieszonego postarzenia u nasion z Augustowa miał dość gwałtowny przebieg, ale nastąpił dopiero po wysuszeniu ich w temperaturze 55°C do poziomu wilgotności 2,8% (rys. 10a). U nasion z Czarnej Białostockiej istotny, choć niewielki, spadek odporności na test postarzenia nastąpił już po wysuszeniu ich w temperaturze 30°C do poziomu wilgotności 5,6%, a następnie gwałtowny spadek – po wysuszeniu w temperaturze 70°C do poziomu wilgotności 1,5% (ryc. 10b).



Ryc. 10. Żywotność nasion *Picea abies* Karst. (zbiór 2001 r.) podsuszonych do różnych poziomów wilgotności (K – kontrola)

Fig. 10. Viability of *Picea abies* Karst. seeds (collection 2001) dried to different moisture content levels (K – control)

4. PODSUMOWANIE I DYSKUSJA

Badania wykazały, że precyzyjne określenie progów wilgotności, do których można wysuszyć nasiona różnych gatunków bez obniżenia ich żywotności, nie jest możliwe. Świadczy o tym duża zmienność otrzymanych wyników i różna reakcja na odwodnienie nasion tego samego gatunku, zbieranych w różnych latach i w różnych miejscach. Różna reakcja nasion związana jest niewątpliwie ze zmiennością warunków atmosferycznych, panujących w czasie ich zawiązywania i dojrzewania oraz z warunkami klimatycznymi i siedliskowymi, w których rosną drzewa mateczne. Od tych wszystkich czynników zależy stan fizjologiczny i skład biochemiczny nasion oraz zmiany stresowe, jakie w nich zachodzą. Wprawdzie starano się pozyskiwać do doświadczenia nasiona w stadium ich pełnej dojrzałości, ale późny termin zbioru i zewnętrzny wygląd nie są jeszcze w pełni miarodajne do ocenienia przemian biochemicznych, jakie zaszły w nasionach. Świadczy o tym na przykład różny stopień początkowej zawartości wody w nasionach wziętych do badań. Dlatego przed suszeniem dużych partii materiału siewnego na skalę gospodarczą, najlepiej byłoby pobierać z nich reprezentatywną próbkę i dokonać próbnego suszenia w laboratorium, w celu określenia ich tolerancji na odwodnienie. W wielu wypadkach jest to jednak niemożliwe, ze względu na czasochłonność takiej próby.

Progi wilgotności, do których powinno się suszyć nasiona różnych gatunków, mogą być podane dla celów gospodarczych tylko w formie orientacyjnej. Przy wyznaczaniu tych progów należy wziąć pod uwagę różne aspekty związane z żywotnością nasion. Podstawowym wyznacznikiem jest granica wilgotności (wilgotność krytyczna), po przekroczeniu której zaczyna spadać zdolność kiełkowania najbardziej wrażliwych na wysuszenie partii materiału siewnego. Z drugiej strony, należy wziąć również pod uwagę tempo, w jakim następuje ten spadek żywotności. W niektórych wariantach doświadczenia udowodniono statystycznie istotność spadku zdolności kiełkowania o kilka procent na skutek podsuszania w wysokich temperaturach lub w liofilizatorze, przy jej poziomie początkowym zbliżonym do 80–100%. Taki niewielki ubytek żywotności nie ma większego znaczenia z gospodarczego punktu widzenia, o ile cała partia materiału siewnego zachowuje w dalszym ciągu wysoką żywotność, odpowiadającą I klasie. Przy wyznaczaniu progu wilgotności powinno się również uwzględniać zarówno spadek zdolności kiełkowania nasion, jaki nastąpił po ich przechowaniu, jak i zmniejszenie się odporności nasion na stresowe warunki testu przyspieszonego postarzania. Krótki (ok. 3-letni) okres badań nie pozwolił prześledzić zmian w zdolności kiełkowania, jakie zaszłyby po długoterminowym przechowaniu. W pewnym stopniu, o predyspozycji nasion do takiego przechowania ma świadczyć odporność nasion na test przyspieszonego postarzania. Do tej pory nie zostało jednak rozstrzygnięte, czy brak odporności nasion na test przyspieszonego postarzania jest jednoznaczny z szybszą utratą przez nie żywotności w trakcie przechowywania, co stwierdził w swych badaniach Machaniček (1981). W przedstawionej pracy udowodniono, że

silnie podsuszone nasiona badanych gatunków osiągają wilgotność krytyczną w przedziale od 1 do 3% zawartości wody, w zależności od miejsca i roku pozyskania materiału siewnego. Tak silne obniżenie zawartości wody w nasionach, suszonych ciepłym, częściowo odwodnionym powietrzem, związane jest ściśle z zastosowaniem wysokiej temperatury, która, jak wynika z naszych badań, nie powinna przekraczać 50–55°C. W metodzie suszenia ciepłym i częściowo odwodnionym powietrzem zarówno przekroczenie progu wilgotności nasion, jak temperatury podsuszania ma istotny wpływ na utratę żywotności nasion. Duży odsetek nasion sosny i świerka zachowuje zdolność kiełkowania nawet po wysuszeniu ich w bardzo wysokich temperaturach (60–90°C), do poziomu wilgotności poniżej 1%. Wtedy, są one jednak mniej odporne na stresowe warunki testu przyspieszonego postarzania oraz szybciej tracą żywotność w trakcie przechowywania. Obniżenie odporności na test przyspieszonego postarzania nasion świerka traktowanych temperaturą 60°C stwierdzono także w innych badaniach (Załęski 2001). Również z badań Schönborna (1964) wynika, że u nasion niektórych gatunków wysuszonych do ok. 0% wilgotności, nawet w temperaturze 20°C, następuje spadek zdolności kiełkowania już po 6 miesiącach przechowywania.

Poziomy dopuszczalnego odwodnienia nasion wynikające z przeprowadzonych badań (podane w rozdz. 1) są niższe (sosna, świerk) lub zbliżone (brzoza) do progów podanych przez Baldwina i Holmesa (1955), a znacznie wyższe od poziomów wilgotności do których suszył nasiona Schönborn (1964).

Rekomendowana przez Jansona i Jankowskiego (1999) metoda próżniowego suszenia w liofilizatorze wpływała ujemnie na żywotność nasion większości badanych gatunków. Zostało to potwierdzone zmniejszoną zdolnością kiełkowania nasion poddanych liofilizacji (szczególnie po ich przechowaniu), zmniejszoną odpornością na test przyspieszonego postarzania (sosna i świerk) i zwiększonym w niektórych przypadkach (olsza) współczynnikiem wpływu elektrolitu. Obniżenie żywotności nasion suszonych metodą liofilizacji nie wynikało tylko z nadmiernego obniżenia w nich zawartości wody, ponieważ w niektórych próbach nasiona tego samego gatunku, wysuszone w suszarce BCC do niższego niż w liofilizatorze poziomu wilgotności, zachowały wyższą żywotność.

Można stwierdzić, iż tolerancja nasion na odwodnienie w bardzo dużym stopniu zależy od ich stanu fizjologicznego i składu biochemicznego, który zależy z kolei od stadium ich dojrzałości oraz od warunków panujących w czasie zawiązywania i wykształcania się nasion. Dlatego jednoznaczne określenie progu zawartości wody, do którego można wysuszyć wszystkie nasiona danego gatunku bez obniżenia ich żywotności, nie jest możliwe. Ponadto na obniżenie żywotności nasion drzew leśnych w trakcie suszenia duży wpływ wywierają zarówno nadmierne odwodnienie tkanek, jak i wysoka temperatura suszenia oraz metoda podsuszania.

W celu dokładnego określenia progu odporności nasion na odwodnienie, dla wszystkich dużych i cennych partii materiału siewnego, przeznaczonych do przechowywania długoterminowego, należałoby przeprowadzać ich próbne suszenie w pobranych reprezentatywnie próbkach.

Dla potrzeb gospodarczych można przyjąć, że wilgotność nasion brzozy brodawkowatej, olszy czarnej, sosny zwyczajnej i świerka pospolitego można obniżyć do poziomu 3,5%. Maksymalna temperatura suszenia nasion tych gatunków nie powinna przekraczać 50°C. Podsuszone w takich warunkach nasiona powinny zachować zadowalającą żywotność w trakcie długoterminowego przechowywania w chłodniach.

Praca została złożona 30.12.2005 r, i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 28.02.2006 r.

EFFECT OF DRYING CONDITIONS ON VIABILITY OF COMMON BIRCH, BLACK ALDER, SCOTS PINE AND NORWAY SPRUCE SEEDS

Summary

In the presented study, the establishment of the minimal water content level to which seeds can be dried without losing viability was investigated. The seeds of 4 forest tree species (common birch, black alder, Scots pine and Norway spruce) collected in 1999–2001 from two (birch, alder) or three (pine, spruce) sites were subjected to analysis. The three methods of intensive drying of seeds applied in the study consisted of: partially water-free air drying at 20–60°C in the BCC drier; lyophilisation of seeds at 20°C and hot air drying at 70–90°C in the Carbolite drier.

The following tests were used for the analysis of seed viability: germination before and after 1–2.5 year storage (all species), accelerated aging tests (Scots pine and Norway spruce) and electrolyte leakage measurements (Scots pine, Norway spruce, black alder).

The research results show that the precise establishment of the seed moisture level to which seeds can be dried without reducing viability is not possible because of the great variability of study results and desiccation tolerance of the species collected in different years and sites.

However for practical reasons the seeds of these species can be dried up to 3.5% moisture content when the temperature is below 50°C.

LITERATURA

- Aniśko E., Witowska O., Załęski A. 2001. Ustalenie wilgotności nasion przeznaczonych do przechowywania (wartości graniczne), szczególnie jodły, jawora, brzozy, olszy czarnej, lipy, jesiona i innych. Sprawozdanie z tematu BLP-903, IBL, Warszawa.
- Antosiewicz Z. 1978. Doskonalenie procesów technologicznych wyluszczenia nasion sosny i świerka. Sprawozdanie naukowe IBL (maszynopis w Zakładzie Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych): 1-24.
- Baldwin H. I., Holmes G. D. 1955. Handling forest tree seed FAO For. Developm. Pap. 4.
- Barton L. V. 1961. Seed preservation and longevity (ed. Leonard Hill). London.
- Crowe J. H., Hoekstra F. A., Crowe L. M. 1992. Anhydrobiosis. Annual Rev. Physiol. 54: 579-599.
- Grzesiuk S., Kulka K. 1981. Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL, Warszawa.
- Harrington J. F. 1973. Biochemical basis of seed longevity. Seed Sci. Technol. 1: 453-463.

- Janson L., Jankowski W. 1999. Suszenie nasion drzew leśnych i ich przechowywanie. Las Pol. 3: 4-6.
- Leinonen K. 1998. Effects of storage conditions on dormancy and vigor of *Picea abies* seeds. New Forests, 16: 231-249.
- Lityński M. 1977. Biologiczne podstawy nasiennictwa. PWN, Warszawa.
- Machaniček J. 1981. Výzkum kritéri určujících vhodnost lesního osiva pro dlouhodobé skladování. Prace VÚLHM 59: 49-64.
- Roberts E. H. 1972. Viability of seeds. Chapman a. Hall LTD, London.
- Schönborn A. 1964. Die Aufbewahrung des Saatgutes der Waldbäume. BLV Verlagsgesellschaft, München, Basel, Wien.
- Vertucci C. W., Farrant J. M. 1995. Acquisition and loss of desiccation tolerance. [In:] Seed development and germination. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, Hong Kong, 237-271.
- Załęski A. 2001. Wpływ różnych metod pozyskania nasion świerka pospolitego na ich żywotność i predyspozycje do przechowywania długoterminowego. [W:] Materiały z międzynarodowej konferencji naukowo-szkoleniowej „Od badań do wdrożeń w zakresie fizjologii i genetyki nasion drzew leśnych”, Puszczykowo, Instytut Dendrologii PAN w Kórniku.