

Wpływ substancji organicznych pochodzenia roślinnego na kiełkowanie nasion i rozwój siewek sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L.

The influence of organic plant material on seed germination and development of Scots pine *Pinus sylvestris* L. seedlings

Damian Kwiatkowski^{1*} , Krzysztof Słowiński¹, Jarosław Knapik²

¹Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny, Instytut Użytkowania Lasu i Techniki Leśnej, Al. 29 Listopada 46, 31-725 Kraków; ²EC Test Systems Sp. z o.o., ul. Ciepłownicza 28, 31-574 Kraków

*Tel. +48 513037336, e-mail: damian.r.kwiatkowski@o2.pl

Abstract. In this article we analysed the influence of plant-based organic admixtures on the germination process of seeds and the early development of Scots pine *Pinus sylvestris* L. seedlings. The intensity of dumpin-off diseases within the culture was recorded after applying each of the admixtures. Organic material of nettle *Urtica dioica* L., softwood litter, hardwood litter and peat were applied to the nursery substrate in two ways, either as an admixture in crushed form or in granulated form. None of the introduced admixtures influenced the germination of seeds or the survival rate of pine seedlings positively. The best results were obtained with a substrate without admixtures used as a control, which is the most common nursery substrate. The worst seed germination rate was observed on the substrate enriched with the organic material from nettles. In pots with granulated organic material from hardwood litter, significantly more seedlings showed signs of post-emergence dermatitis. In all other cases, there was no clear difference between the crushed or granulated admixture in either germination or survival of seedlings.

We furthermore demonstrated that the process of granulating plant material leads to an approximately 10-fold increase in the bulk density of the granulated substance, which translates directly into volume reduction.

Keywords: nursery grounds, soil enrichment, natural fertilizers, seed germination, seed dumping-off

Słowa kluczowe: podłoże szkółkarskie, wzbogacanie podłoża, nawozy naturalne, kiełkowanie nasion, zgorzel siewek

1. Wstęp

Środowiskiem kiełkowania nasion oraz rozwoju systemu korzeniowego sadzonek jest podłoże szkółkarskie. Jego główną cechą jest zdolność do magazynowania wody i związków mineralnych dostarczanych z nawozami. Podłoże powszechnie wzbogaca się w grzyby mykoryzowe, których obecność poprawia wzrost sadzonek w uprawie kontenerowej, a także ułatwia ich adaptację do panujących warunków (Szabla 2009; Buraczyk et al. 2012).

Ściółkę leśną stanowi mieszanka zrzucanych przez rośliny liści, szczątków obumarłych roślin i zwierząt, a także ich odchodów. Pełni ona ważną rolę w produktywności drzewostanu, współtworząc siedlisko. Wraz z upływem czasu zachodzą złożone procesy dekompozycji ściółki i zawarte w niej związki organiczne uwalniane są do gleby, wzbogacając ją. Sprawia to, iż materia organiczna tworząca ściółkę stanowi kluczowy składnik w procesie napędzającym obieg mikro-

i makroelementów w ekosystemach leśnych (Dziadowiec 1990). Współuczestniczące w nim mikroorganizmy znajdują w ściółce pożywienie i środowisko życia. Powstała w ten sposób próchnica nadkładowa stanowi warstwę ochronną gleby (Sayer 2006).

Częste i powtarzalne zabiegi agrotechniczne w szkółkach leśnych mogą prowadzić do zaburzenia wzrostu sadzonek, gdyż pozbawione są wspomnianego rodzaju próchnicy. Ponadto, w szkółkach leśnych użytkowanych długookresowo, obserwuje się osłabioną aktywność grzybów ektomykoryzowych (Aleksandrowicz-Trzciska 2004). Powyższe stanowisko podziela również Hilszczańska (2000), wg której w Polsce coraz częściej wykorzystuje się domieszkę ściółki leśnej do podłoża szkółkarskich, dla zwiększenia przeżywalności sadzonek po nasadzeniach. Pomimo iż pozyskanie ściółki bez szkody dla środowiska jest niezwykle trudne, to jednak Klimek i in. (2011) proponują pobieranie biomasy przy okazji dokonywania wylesień na większą skalę, np. w celu realiza-

Wpłynęło: 13.02.2019 r., recenzowano: 7.03.2019 r., zaakceptowano: 3.07.2019 r.

cji inwestycji drogowych. Podczas badań przeprowadzonych przez autorów w Nadleśnictwie Dobrzejowice udowodniono, że zastosowanie kompostu wytworzonego na bazie próchnicy leśnej wspomaga rozwój sadzonek sosny zwyczajnej. Nadziemne części sadzonek okazywały się niemal o połowę wyższe od tych, dla których stosowano jedynie nawożenie mineralne. Ponadto autorzy stwierdzili zauważalny wzrost liczebności saprofagów w glebie (Klimek et al. 2011).

Podczas produkcji szkółkarskiej młode sadzonki są narażone na wiele zagrożeń, wynikających m.in. z czynników abiotycznych, obecności patogenów w środowisku czy też błędów w prowadzeniu zabiegów. Częstym źródłem infekcji bywa intensywnie eksploatowany substrat glebowy, który zawiera w sobie liczne szczepy grzybów patogennych. Szczególne zagrożenie dla młodego pokolenia roślin iglastych, hodowanych w szkółkach leśnych, stanowią tzw. zgorzele siewek. Mańka (2005) dzieli choroby zgorzelowe na dwa rodzaje: tzw. zgorzel przedwzrostową, pojawiającą się w obrębie kiełkujących nasion, oraz tzw. zgorzel powzrostową, atakującą kilkutygodniowe siewki powodującą m.in. przewężenia szyjki korzeniowej oraz utratę stabilności młodych roślin, prowadzącą do ich śmierci.

Za głównych sprawców chorób zgorzelowych uznaje się patogeny *Rhizoctonia solani* (J.G. Kuhn), grzyby z rodzaju *Fusarium* (Link), *Alternaria* (Nees) i *Cylindrocarpon* (Wollenw.) oraz łęgniowce: *Pythium* (Pringsheim) i *Phytophthora* (de Bary). Czynniki warunkujące wystąpienie danego patogenu w hodowli są warunki klimatyczne panujące w szkółce w okresie kiełkowania roślin. Decydującymi determinantami są w tym przypadku temperatura powietrza oraz jego wilgotność (Mańka, Mańka 1993; Mańka 2005).

W celu zwalczania występowania chorób zgorzelowych na terenach szkółek leśnych zaczęto stosować biologiczne, chemiczne oraz mechaniczne środki ochrony roślin. Najskuteczniejszymi metodami ochrony roślin przed patogenami są metody chemiczne. Obejmują one wykorzystywanie fungicydów w postaci oprysków i zapraw nasiennych do ochrony roślin (Hamera-Dzierżanowska 2014). Metody chemiczne nie są pożądane w środowisku naturalnym, toteż stosuje się je jedynie w ograniczonym zakresie, a większą uwagę kieruje się w stronę pozostałych metod.

Metody biologiczne wykorzystują obecność w środowisku organizmów, będących naturalnymi antagonistami grzybów, wywołujących zgorzel siewek. Mańka i Mroczkiewicz w 1991 r. udowodnili skuteczność grzyba *Mycelium radicans atrovirens* (Melin) w walce z chorobą zgorzelową siewek sosny. Z kolei Grosch i in. (2006) zaproponowali trzy szczepy gatunku *Trichoderma* (Pers.) jako obiecujące biologiczne środki ograniczania patogenu *R. solani*. Metody biologiczne są najmniej inwazyjne i szkodliwe dla środowiska naturalnego, jednakże efektywność ich stosowania wciąż stanowi pole do dyskusji ekspertów w tej dziedzinie.

Spośród powszechnie znanych metod mechanicznych wymienić należy przede wszystkim kosztowną i energochłonną metodę parowania gleby systemem rur i kotła (Rutkowski 1995). Zabieg ten wielokrotnie modyfikowano w celu popra-

wy jego efektywności, m.in. poprzez parowanie spulchnionej gleby pod folią, lecz głębokość skutecznego działania zabiegu ograniczona jest do 25 cm w głąb podłoża (Górski 2006). Prowadzone są również ciągle badania nad ograniczeniem występowania zgorzeli siewek z użyciem promieniowania ultrafioletowego (Słowiński 2011) oraz nad wpływem promieniowania mikrofalowego na wzrost siewek sosny i występowanie *R. solani* (Słowiński, Stępniewska 2010).

Pokrzywa zwyczajna *Urtica dioica* L. jest powszechnie stosowana jako biologiczny środek ochrony roślin, m.in. w zwalczaniu owadów (mszyc, przędziorków) oraz grzybów (szarej pleśni i mączniaka). Udowodniono również jej skuteczność w zwalczaniu patogenu *R. solani* (Hadizadeh et al. 2009). Ponadto, jako roślina będąca wskaźnikiem żyzności gleby, rosnąca najchętniej na glebie bogatej w azot, pokrzywa jest bogatym źródłem substancji odżywczych (Asgarpanah, Mohajerani 2012), mogących potencjalnie wzbogacić substrat szkółkarski.

2. Cel i zakres badań

Celem opracowania było zbadanie możliwości wykorzystania czterech rodzajów materiału roślinnego, zarówno w formie rozdrobnionej, jak i granulowanej, jako naturalnego sposobu na wzbogacenie podłoża szkółkarskiego w składniki odżywcze oraz grzyby mykoryzowe, co powinno wpłynąć pozytywnie na proces i tempo kiełkowania nasion oraz wczesnego rozwoju siewek sosny zwyczajnej.

Wykazanie skuteczności badanej materii organicznej w szeroko pojmowanym użyźnianiu podłoża szkółkarskiego pozwoliłoby na ograniczenie stosowania nawozów sztucznych, których produkcja, biorąc pod uwagę skalę krajowego szkółkarstwa leśnego, stanowi istotne obciążenie dla środowiska naturalnego.

3. Metodyka

Do przeprowadzenia badań pobrano 4 typy materiału organicznego:

- pędy i liście pokrzywy zwyczajnej,
- ściółę iglastą – ze względu na potwierdzone występowanie w niej grzybów mykoryzowych (Sayer 2006), wspomagających wzrost roślin,
- ściółę liściastą – j.w.,
- torf wysoki.

Pędy pokrzywy zebrano w bezpośrednim sąsiedztwie koryta rzeki Warty w Myszkowie w dniu 9 czerwca 2016 r. W celu ograniczenia zawartości włókien celulozowych pobierano wyłącznie wierzchołkową część roślin w postaci niezdrewniałego pędu wraz z liśćmi, z pominięciem dolnego, zdrewniałego fragmentu pędu oraz korzenia. Obecność włókien była niepożądana w procesie rozdrabniania, a następnie granulowania materiału roślinnego.

Ściółę iglastą (świerkową) oraz liściastą (głównie bukową) pobrano w drzewostanach w okolicach Lasu Wolskiego w Krakowie w dniu 16 czerwca 2016 r. Materiał nie zawierał próchnicy ani większych elementów, takich jak szyszki lub gałęzie, które utrudniłyby jego rozdrobnienie.

Zbiór wszystkich trzech rodzajów materiału roślinnego dokonano w kilku losowo wybranych punktach, w celu wyeliminowania błędu wynikającego z lokalnych uwarunkowań.

W lipcu 2016 r. w gospodarstwie szkółkarskim w Nędzy (Nadleśnictwo Rudy Raciborskie) pobrano czysty torf wysoki, stanowiący czwarty typ materiału organicznego.

Wszystkie cztery typy materiału domieszkowego poddano procesowi suszenia w kopertach z użyciem wagosuszarki laboratoryjnej w temperaturze nieprzekraczającej 38°C, w celu uzyskania wilgotności na poziomie 18%. Celowo nie stosowano wyższych temperatur, aby nie doprowadzić do uszkodzenia materiału roślinnego ani potencjalnie występujących w nim grzybów mykoryzowych. Zastosowana temperatura nie hamuje aktywności organizmów patogenicznych występujących w materiale roślinnym. Z badań przeprowadzonych w 2016 r. na przykładzie patogenu *R. solani* wynika, iż podobne temperatury nie mają negatywnego wpływu na występowanie oraz rozwój grzybów (Nagrodzka et al., 2016). Wszystkie 4 rodzaje materiału rozdrobniono w młynie do biomasy roślinnej.

Każdą z domieszek roślinnych umieszczono w trzech cylindrach o pojemności 1 litra i dokonano pomiaru gęstości objętościowej każdej z prób na uprzednio skalibrowanej wadze. Z uzyskanych wyników pomiaru obliczono średnią arytmetyczną.

Następnie część każdego rodzaju materiału roślinnego poddano granulowaniu z użyciem matrycy o ujednocionej średnicy końcowej produktu. Zastosowano w tym celu urządzenie z zamontowaną matrycą płaską. Była to linia pelletująca firmy Kovo Novak MGL 200, o maksymalnej wydajności 150 kg/h. Po procesie granulowania materiału roślinnego ponownie zmierzono jego gęstość objętościową.

Kolejnym etapem prac było umycie i wyjałowienie skażonym alkoholem etylowym 180 doniczek o pojemności 500 ml. Do każdej z doniczek wprowadzono w jednakowej ilości niemykoryzowany substrat szkółkarski, będący mieszkanką torfu wysokiego (90%) z perlitem (10%) – także pozyskanym w gospodarstwie szkółkarskim w Nędzy. Następnie odmierzono

na wadze elektronicznej po 2,5 g każdej z 8 przygotowanych domieszek organicznych (4 typy domieszek w 2 formach) w 20 powtórzeniach. Poszczególne naważki wprowadzono do substratu w 20 doniczkach, nie dopuszczając do jego zanieczyszczenia oraz nadmiernego przesuszenia. Dzięki temu uzyskano 9 wariantów podłoża do wysiewu nasion, każdy po 20 doniczek: substrat torfowo-perlitowy bez domieszki (próba kontrolna), substrat z rozdrobnioną pokrzywą, substrat z rozdrobnioną ściółą iglastą, substrat z rozdrobnioną ściółą liściastą, substrat z rozdrobnionym torfem, substrat z granulowaną pokrzywą, substrat z granulowaną ściółą iglastą, substrat z granulowaną ściółą liściastą oraz substrat z granulowanym torfem.

W dniu 12 maja 2016 r. do każdego z wariantów podłoża wprowadzono po 10 nasion sosny zwyczajnej klasy I (razem 200 szt.), uprzednio wysterylizowanych z użyciem 70% alkoholu etylowego, wg metody Nawrot-Chorabik (2016).

Tak napełnione zestawy umieszczono w fitotronie z programowalnym systemem automatycznego nawadniania. System nawadniający zaprogramowano w sposób uniemożliwiający wyschnięcie nasion (intensywność oprysku ok. 40 ml/donickę/dobę). Zbiornik z agregatem wypełniono wodą i zabezpieczono w sposób uniemożliwiający jej zanieczyszczenie, celem uniknięcia niedrożności w układzie spryskiwaczy i nierównomiernego rozprowadzania wody.

Następnie przez kilka tygodni prowadzono systematyczne obserwacje nad przebiegiem kiełkowania nasion oraz wzrostu siewek. Co kilka dni odnotowywano informacje na temat ilości zdrowych oraz porażonych zgorzelą siewek w poszczególnych doniczkach. Okres trwania doświadczenia dostosowano do czasu niezbędnego do zaobserwowania objawów chorobowych, powodowanych przez zgorzel.

4. Wyniki badań i ich analiza

Wyniki pomiaru gęstości objętościowej materiału roślinnego, zarówno przed, jak i po procesie granulowania, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Gęstość objętościowa materiału roślinnego przed i po procesie granulowania

Table 1. Volumetric of plant material before and after the granulating process

Numer pomiaru Survey number	Gęstość objętościowa materiałów (g/cm ³) Bulk density of materials (g/cm ³)							
	Dodatek rozdrobniony Crushed admixture				Dodatek w formie granulatu Granulated admixture			
	Pokrzywa Nettle	Ściół liściasta Hardwood litter	Ściół iglasta Softwood litter	Torf Peat	Pokrzywa Nettle	Ściół liściasta Hardwood litter	Ściół iglasta Softwood litter	Torf Peat
I	0,141	0,031	0,048	0,182	1,411	0,236	0,511	1,900
III	0,133	0,024	0,041	0,189	1,321	0,247	0,529	1,940
III	0,136	0,021	0,046	0,199	1,524	0,264	0,517	1,990
Średnia: Average:	0,137	0,025	0,045	0,190	1,419	0,249	0,519	1,943

Materiał roślinny poddany granulacji w porównaniu z materiałem roślinnym rozdrobnionym charakteryzuje się około 10-krotnie większą gęstością objętościową (pokrzywa, ściółka liściasta oraz torf). Dla ściółki iglastej ten parametr jest jeszcze wyższy, bo sięga niemal 11,5. Zwiększenie gęstości objętościowej materiału jest równoznaczne ze zmniejszeniem jego objętości.

Liczebność zdrowych oraz porażonych zgorzelą siewek, stwierdzoną podczas okresowych obserwacji, a także daty ich pomiarów, zobrazowano graficznie na rycinach 1 i 2.

Zdrowotność siewek sosny zdecydowanie najslabiej kształtowała się na podłożu z domieszką materiału organicznego, pochodzącego z pokrzywy zwyczajnej. Najmniejszą liczbę siewek o dobrym stanie zdrowotnym (zaledwie 34 z 200) odnotowano w podłożu z dodatkiem rozdrobnionej pokrzywy. Wprowadzenie domieszki pokrzywowej w formie granulowanej pozwoliło na uzyskanie tylko nieznacznie wyższego wyniku (44 z 200).

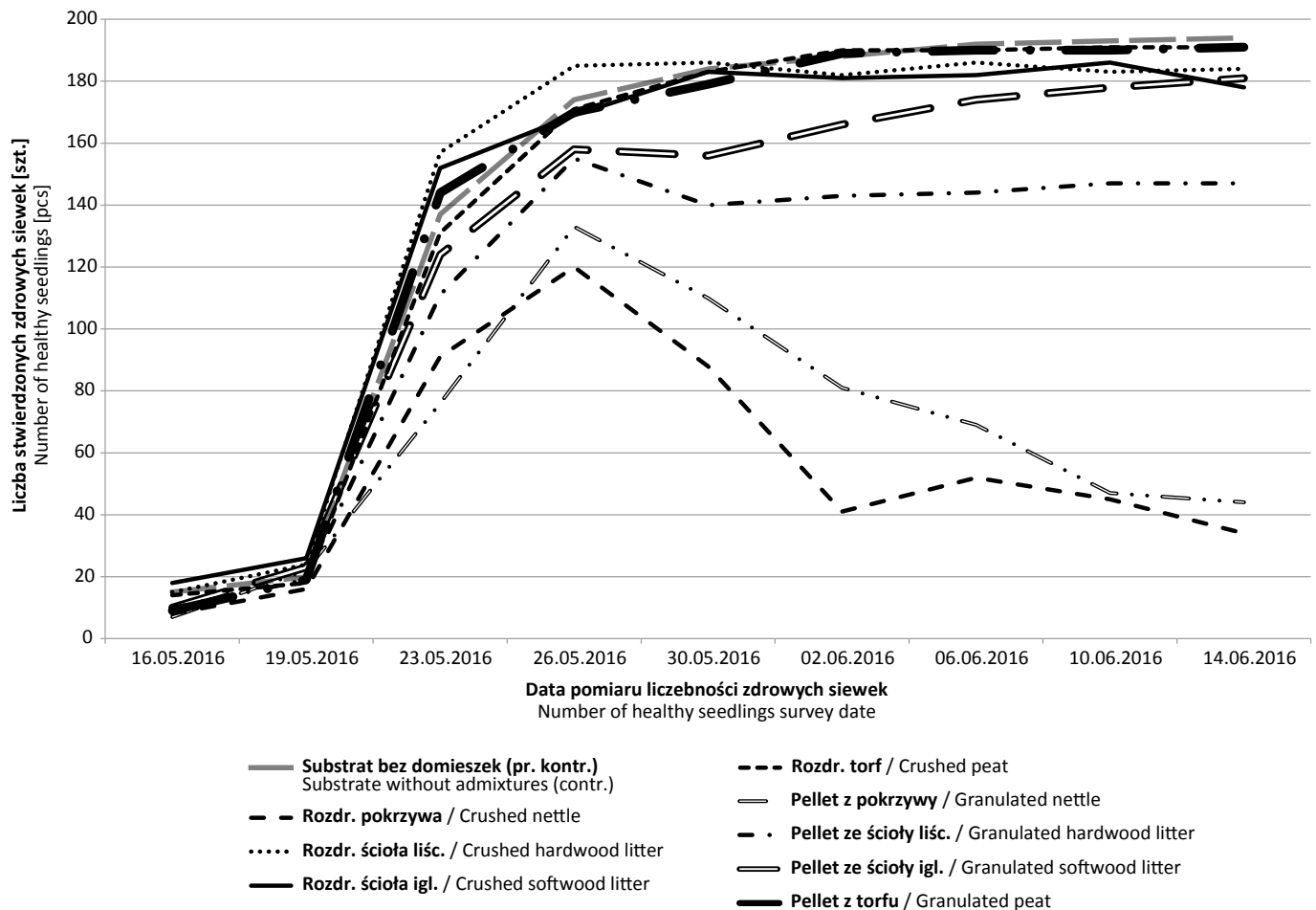
Lepsze rezultaty uzyskano w przypadku użycia substratu z domieszką granulatu ze ściółki liściastej. Liczba siewek zdrowych kształtowała się na poziomie ponad 4-krotnie wyższym niż na podłożu wzbogaconym w materiał z pokrzywy (147 z 200). W dalszym ciągu jednak uży-

skany wynik nie jest satysfakcjonujący z punktu widzenia produkcji szkółkarskiej.

Aplikacja materiału roślinnego, zarówno z pokrzywy (obie formy), jak i z granulowanej ściółki liściastej, spowodowała spadek zdrowotności siewek do poziomu znacznie poniżej próby kontrolnej (substrat torfowo-perlitowy bez domieszki).

Wszystkie pozostałe domieszki roślinne (rozdrobniona ściółka liściasta, obie formy ściółki iglastej oraz obie formy torfu) umożliwiły wyhodowanie zdrowego materiału roślinnego na poziomie niemal 90% wsadu nasiennego, przy czym różnice pomiędzy poszczególnymi rodzajami materiału były zdecydowanie mniejsze (od 178 do 191 zdrowych siewek z 200 nasion). Pomimo podobieństwa uzyskanych wyników, żaden ze wzbogaconych substratów nie pozwolił na wyhodowanie tak dobrego materiału roślinnego, jak podłoże stanowiące próbę kontrolną (194 zdrowe siewki z 200).

Zgromadzone dane poddano analizie statystycznej. Rozkład zmiennej liczebności siewek zdrowych okazał się różny od rozkładu normalnego, zastosowano więc test nieparametryczny Kruskala-Wallisa. Dla zgromadzonych danych uzyskano współczynnik p na poziomie 0,0044, a zatem istnieją podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej o równości dystrybuant w porównywanych grupach.



Rycina 1. Liczebność zdrowych siewek sosny zwyczajnej w zależności od rodzaju substancji organicznej wprowadzonej do podłoża
Figure 1. The number of healthy Scots pine saplings depending on the type of organic substance introduced into the ground

5. Dyskusja i podsumowanie wyników

Podłoża wzbogacone różnymi domieszkami oceniono na podstawie dwóch zbadanych empirycznie cech: liczby prawidłowo rozwijających się siewek sosny oraz liczby roślin porażonych zgorzelą. Obie wspomniane cechy nie są ze sobą równoznaczne, ze względu na wystąpienie przypadków nieskiełkowania pewnej liczby nasion. Przed wysiewem wszystkie nasiona poddano procesowi sterylizacji, dlatego wykluczono możliwość wystąpienia zgorzeli przedwzrostowej, natomiast brak procesu kiełkowania mógł być spowodowany jedynie uszkodzeniem nasion. Biorąc pod uwagę fakt, iż wszystkie nasiona zostały pobrane ze wspólnego zasobu, autorzy przyjęli założenie, iż takie uszkodzenie ma charakter wyłącznie losowy.

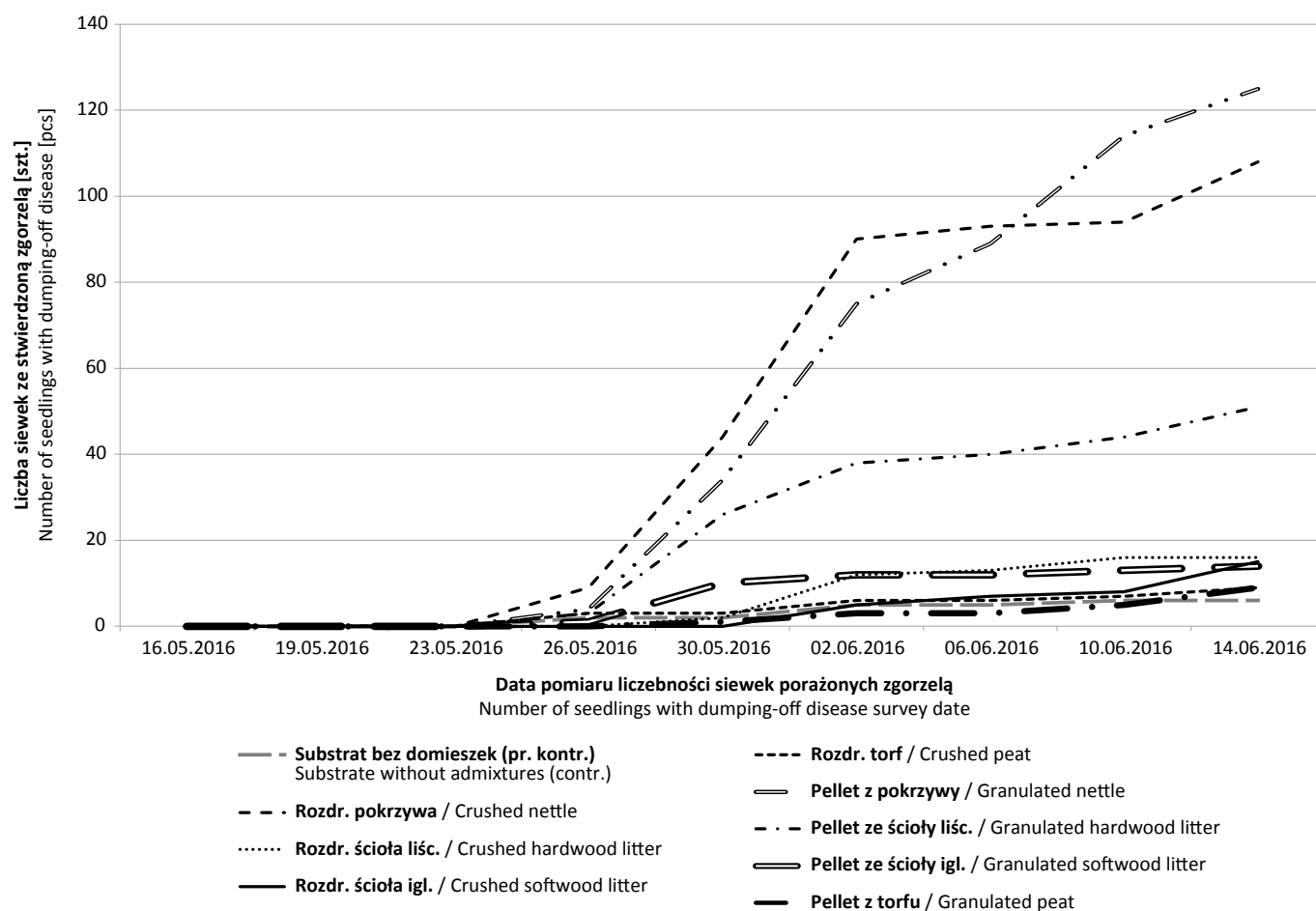
Wpływ stosowanych w doświadczeniu domieszek roślinnych na kiełkowność nasion i rozwój siewek sosny zwyczajnej, tak odmienny od oczekiwanego, może wynikać z faktu, iż wraz z aplikacją nieprzetworzonego termicznie materiału roślinnego do podłoża mogły dostać się zawarte w roślinach organizmy patogeniczne, powodujące zgorzel siewek. Ze względów sanitarnych podłoża szkółkarskie w gospodarstwie w Nędzy jest poddawane działaniu wysokiej temperatury, co

oznacza, iż jest wolne od obecności organizmów patogenicznych, a wszelkie różnice w kiełkowności nasion i rozwoju siewek są spowodowane czynnikami trzecimi, w tym przypadku domieszką do podłoża.

Prawdopodobnie proces suszenia materiału domieszkowego w temperaturze powyżej zastosowanych 38°C pozwoliłby na sterylizację materiału z organizmów patogenicznych, jednak mogłoby to jednocześnie zahamować pożądaną aktywność grzybów mykoryzowych.

Negatywny wpływ pokrzywy na kiełkowanie nasion i wzrost siewek roślinnych znajduje częściowe potwierdzenie w wynikach przeprowadzonych w Hiszpanii w 2016 r. badań nad możliwością wzbogacenia podłoża do hodowli ziemniaka *Solanum tuberosum* L. w rolnictwie ekologicznym, z wykorzystaniem płynnej zawiesiny z pokrzywy. Badania te nie wykazały pozytywnego wpływu zawiesiny nie tylko na wielkość plonów, ale także na zawartość chlorofilu w nadziemnej części roślin oraz na obecność szkodników i chorób w organicznych uprawach ziemniaka (Garmendia et al. 2018).

Próba wzbogacenia podłoża szkółkarskiego w ściółę drzewną także nie zawsze przynosi rezultaty zgodne z oczekiwaniami. Wykazano to w Zimbabwie po zbadaniu wpływu ścióły, pochodzącej z opadu liści rodzimych gatunków drzew



Rycina 2. Liczebność siewek sosny zwyczajnej porażonych zgorzelą w zależności od rodzaju substancji organicznej wprowadzonej do podłoża

Figure 2. The number of Scots pine saplings infected with dumping-off depending on the type of organic substance introduced into the ground

Brachystegia spiciformis Benth. (miombo) oraz *Leucaena leucocephala* Lam. de Witt, na wzrost i rozwój kukurydzy zwyczajnej *Zea mays*. Ściółę dodawano do podłoża bez dodatkowych domieszek lub w formie mieszaniny z nawozem NPK oraz obornikiem, w różnych kombinacjach. Ściółę z drzewa *Leucaena leucocephala* spowodowała wyraźny spadek suchej masy nadziemnej części rośliny oraz plonów ziarna w stosunku do próby kontrolnej. Nieco lepsze wyniki uzyskano przy zastosowaniu mieszanki ścióły z drzewa miombo z nawozem oraz samego nawozu, jednak wyniki nie przewyższały wyraźnie próby kontrolnej. Tym samym nie udowodniono pozytywnego wpływu ścióły drzewnej na wzrost produktywności siedliska przy uprawie kukurydzy zwyczajnej (Nyathi et al. 1995).

Odmienne wyniki uzyskano na Uniwersytecie Rolniczym w Bangladeszu, przy badaniach przydatności różnych rodzajów ścióły we wzbogacaniu podłoża, wykorzystywanego w produkcji rolnej. Badania takie przeprowadzono na podstawie pomiarów wysokości nadziemnej części szarlatu wyniosłego *Amaranthus cruentus* L., powszechnie występującego w południowej Azji. Autorzy badań wykazali znaczący wpływ ścióły na zmniejszenie kwasowości podłoża oraz wyraźne zwiększenie zawartości mikrośladków w podłożu (N, P, K), co znalazło odzwierciedlenie we wzroście wysokości nadziemnej części rośliny. Co prawda efekty stosowania takiej domieszki dalekie były od tych uzyskanych przy zastosowaniu nawozów chemicznych, ale za to znacząco przewyższały efekty uzyskane na podłożu niewzbogaconym, stanowiącym próbę kontrolną (Sarkar et al. 2010). Autorzy badań zasugerowali nawet, iż ściółę drzewną może być z powodzeniem stosowana jako ekologiczny substytut nawozów chemicznych, stosowanych w hodowli warzyw liściastych.

Otrzymane wyniki nie pozwalają na jednoznaczne stwierdzenie zależności w skuteczności stosowania poszczególnych form materiału domieszkowego – rozdrobnionego lub granulowanego. W większości przypadków obie formy pozwoliły na uzyskanie wyników na zbliżonym poziomie. Świadczy to o tym, iż proces granulowania, pomimo narażenia biomasy na wysoką temperaturę oraz ciśnienie, nie musi powodować zmian właściwości wzbogacających domieszki.

Wyjątkiem od tej reguły okazała się ściółę liściasta, dla której zdecydowanie gorsze wyniki uzyskano przy użyciu materiału granulowanego niż rozdrobnionego. Jest to zastanawiające o tyle, iż granulaty był przecież tym samym rozdrobnionym materiałem roślinnym, który później został jedynie poddany określonym procesom fizycznym (prasowaniu ciśnieniowemu i wysokiej temperaturze). Przypadek ten pokazuje, iż poznanie zależności pomiędzy granulowaniem materiału roślinnego a utratą jego właściwości biologicznych wymaga przeprowadzenia odrębnych badań. Dla potrzeb niniejszego opracowania nie ma to jednak większego znaczenia z uwagi na fakt, iż obie formy aplikacji ścióły liściastej okazały się nieskuteczne we wzbogacaniu podłoża szkółkarskiego.

Proces granulowania biomasy pozwolił niemal dziesięciokrotnie zwiększyć jej gęstość objętościową, co jest równoznaczne ze zmniejszeniem jej objętości. W przypadku

wykazania skuteczności badanych domieszek we wzbogacaniu podłoża miałyby to kluczowe znaczenie dla procesu magazynowania substratu w gospodarstwach szkółkarskich. Substrat granulowany zajmuje zdecydowanie mniejszą powierzchnię magazynową, co może realnie przełożyć się na aspekt finansowy funkcjonowania przechowalni (mniejsza projektowana powierzchnia magazynów przekłada się bezpośrednio na oszczędności na etapie inwestycyjnym, koszty administrowania budynkiem, wysokość podatku od nieruchomości itp.).

Na podstawie uzyskanych wyników wnioskować można, iż:

1) Żadna z czterech domieszek wprowadzonych do podłoża, bez względu na formę jej aplikacji, nie wpłynęła pozytywnie na kiełkowanie nasion i wczesny rozwój siewek sosny zwyczajnej.

2) Największą liczbę zdrowych i prawidłowo rozwijających się siewek odnotowano w doniczkach stanowiących próbę kontrolną, tj. wypełnionych substratem torfowo-perlitowym bez domieszki.

3) Pierwsze objawy chorobowe występowały we wszystkich wariantach, nie wcześniej niż po 14 dniach od wysiewu nasion.

4) Proces granulowania materiału roślinnego pozwolił na 10-krotne zwiększenie jego gęstości objętościowej, co jest równoznaczne ze zmniejszeniem jego objętości.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Źródła finansowania badań

Badania sfinansowano ze środków własnych autorów.

Literatura

- Aleksandrowicz-Trzcńska M. 2004. Kolonizacja mikoryzowa i wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w uprawie założonej z sadzonek w różnym stopniu zmikoryzowanych. *Acta Scientiarum Polonorum Silvorum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 3: 5–15.
- Asgarpanah J., Mohajerani R. 2012. Phytochemistry and pharmacologic properties of *Urtica dioica* L. *Journal of Medicinal Plants Research* 6(46): 5714–5719. DOI 10.5897/JMPR12.540.
- Buraczyk W., Szeligowski H., Drozdowski S., Aleksandrowicz-Trzcńska M. 2012. Wpływ wilgotności i gatunku gleby na wzrost mikoryzowanych sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Leśne Prace Badawcze* 73(1): 57–64. DOI 10.2478/v10111-012-0006-4.
- Dziadowiec H. 1990. Rozkład ściółek w wybranych ekosystemach leśnych (mineralizacja, uwalnianie składników pokarmowych, humifikacja), w: *Rozprawy Uniwersytetu Mikołaja Kopernika*, Toruń, 117–133. ISBN 8323102287.
- Garmendia A., Raigón Dolores M., Marques O., Ferriol M., Royo J., Merle H. 2018. Effects of nettle slurry (*Urtica dioica* L.) used as foliar fertilizer on potato (*Solanum tuberosum* L.) yield and plant growth. *Journal of Life and Environmental Sciences* 6: e4729. DOI 10.7717/peerj.4729.

- Górski R. 2006. Aparatura do ochrony roślin uprawianych pod osłonami (cz. V). Urządzenia do termicznej dezynfekcji gleby lub podłoża. *Hasło Ogrodnicze* 1.
- Grosch R., Scherwinski K., Lottmann J., Berg G. 2006. Fungal antagonists of the plant pathogen *Rhizoctonia solani*: selection, control efficacy and influence on the indigenous microbial community. *Mycological Research* 110:1464–1474. DOI 10.1016/j.mycres.2006.09.014.
- Hadizadeh I., Peivastegan B., Kolahi M. 2009. Antifungal Activity of Nettle (*Urtica dioica* L.), Colocynth (*Citrullus colocynthis* L. Schrad), Oleander (*Nerium oleander* L.) and Konar (*Ziziphus spina-christi* L.) Extracts on Plants Pathogenic Fungi. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 12: 58–63. DOI 10.3923/pjbs.2009.58.63.
- Hamera-Dzierżanowska A. 2014. Aktualna sytuacja dotycząca środków ochrony roślin w leśnictwie. Konferencja PTL „Aktualne problemy ochrony lasu-2014” 22–24.10.2014 r. Ustroń-Jaszowiec.
- Hilszczańska D. 2000. Wpływ podłoża szkółkarskich na rozwój mikoryz sosny *Pinus sylvestris* L. *Sylwan* 144(4): 93–97.
- Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Długosz J., Kuss M. 2011. Wykorzystanie próchnicy leśnej do rewitalizacji gleby w rocznym cyklu produkcji sadzonek sosny zwyczajnej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 6: 175–186.
- Mańka K. 2005. Fitopatologia Leśna. PWRiL, Warszawa, 394 s. ISBN 8309017936.
- Mańka K., Mańka M. 1993. Choroby drzew i krzewów leśnych. Oficyna Edytorska Wydawnictwo Świat, Warszawa, 86 s.
- Mańka M., Mroczkiewicz K. 1991. A contribution to *Mycelium radialis atrovirens* Melin occurrence in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots. *Phytopathologia Polonica* 2: 102–105.
- Nagrodzka K., Moliszewska E., Grata K., Nabrdalik M. 2016 Biologiczna kontrola *Rhizoctonia solani* AG 2-2IIIB przez metabolity *Bacillus subtilis*. *Proceedings of ECOpole* 10(2). DOI 10.2429/proc.2016.10(1)081.
- Nawrot-Chorabik K. 2016. Plantlet regeneration through somatic embryogenesis in Nordmann's fir (*Abies nordmanniana*). *Journal of Forestry Research* 27(6): 1219–1228. DOI 10.1007/s11676-016-0265-7.
- Nyathi P., Campbell B.M. 1995. Interaction Effect of Tree Leaf Litter, Manure and Inorganic Fertilizer on the Performance of Maize in Zimbabwe. *African Crop Science Journal* 3(4): 451–456.
- Rutkowski K. 1995. Energochłonność termicznej dezynfekcji podłoża szklarniowego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 415: 321–328.
- Sarkar U.K., Saha B.K., Goswami C., Chowdhury M.A.H. 2010.. Leaf litter amendment in forest soil and their effect on the yield quality of red amaranth. *Journal of the Bangladesh Agricultural University* 8(2): 221–226.
- Sayer E.J. 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews* 81: 1–31. DOI 10.1017/S1464793105006846.
- Słowiński K. 2011. Promieniowanie ultrafioletowe w ograniczaniu zgorzeli siewek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Inżynieria Rolnicza* 6(131): 207–213.
- Słowiński K., Stępniewska H. 2010. Efekt oddziaływania promieniowania mikrofalowego na poziom zagrożenia siewek sosny przez *Rhizoctonia solani* i na cechy wzrostowe siewek. *Prace Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych* 14: 143–152.
- Szabla K. 2009. Hodowlane i ekonomiczne aspekty produkcji materiału sadzeniowego z zakrytym systemem korzeniowym poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji. *Sylwan* 153(4): 253–259.
- Szabla K., Pabian R. 2003. Szkółkarstwo kontenerowe. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, 213 s.

Wkład autorów

D.K. – przegląd literatury, pisanie, zestawienie danych, analiza statystyczna, interpretacja wyników, przygotowanie manuskryptu, redagowanie; K.S. – koncepcja, założenia, metody, korekta, koordynacja badań; J.K. – realizacja badań problemowych, obsługa sprzętu badawczego, weryfikacja danych w tabelach.

The influence of organic plant material on seed germination and development of Scots pine *Pinus sylvestris* L. seedlings

Damian Kwiatkowski^{1*}, Krzysztof Słowiński¹, Jarosław Knappek²

¹University of Agriculture in Kraków, Faculty of Forestry, Institute of Forest Utilization and Forest Technology, Al. 29 Listopada 46, 31–725 Kraków, Poland; ²EC Test Systems Sp. z o.o., ul. Ciepłownicza 28, 31–574 Kraków, Poland

*Tel. +48 513037336, e-mail: damian.r.kwiatkowski@o2.pl

Abstract. In this article we analysed the influence of plant-based organic admixtures on the germination process of seeds and the early development of Scots pine *Pinus sylvestris* L. seedlings. The intensity of dumpin-off diseases within the culture was recorded after applying each of the admixtures. Organic material of nettle *Urtica dioica* L., softwood litter, hardwood litter and peat were applied to the nursery substrate in two ways, either as an admixture in crushed form or in granulated form. None of the introduced admixtures influenced the germination of seeds or the survival rate of pine seedlings positively. The best results were obtained with a substrate without admixtures used as a control, which is the most common nursery substrate. The worst seed germination rate was observed on the substrate enriched with the organic material from nettles. In pots with granulated organic material from hardwood litter, significantly more seedlings showed signs of post-emergence dermatitis. In all other cases, there was no clear difference between the crushed or granulated admixture in either germination or survival of seedlings. We furthermore demonstrated that the process of granulating plant material leads to an approximately 10-fold increase in the bulk density of the granulated substance, which translates directly into volume reduction.

Keywords: nursery grounds, soil enrichment, natural fertilizers, seed germination, seed damping-off

1. Introduction

Under the conditions of forest nursery, germination of seeds and development of seedling root systems depend on the substrate that has the capability to store water and mineral nutrients supplied by fertilizer treatments. The substrates are usually mixed with mycorrhizal fungi, whose presence improves the growth of seedlings in container cultivation, and also facilitates their adaptation to the growth conditions (Szabla 2009; Buraczyk et al. 2012).

Forest litter mainly consists of shed vegetative parts and other non-living forest materials including animal droppings. It plays an important role in forest stand productivity as litter production and decomposition are functions of the site (Molenda, Żabko-Popowicz 1980). Over time, the soil is enriched by organic compounds released due to complex decomposition processes going on in the forest floor. Litter organic matter is a crucial component in nutrient transfer through the biogeochemical cycle in forest ecosystems

(Dziadowiec 1990). Microorganisms decompose organic matter, a fraction of which is transformed into humus that integrates into the soil as a protective layer (Sayer 2006).

Frequent and repetitive agro-technical operations in forest nurseries can lead to humus losses, followed by disturbances in seedling growth. Additionally, in long-term forest nurseries, there was observed weakened activity of ectomycorrhizal fungi (Aleksandrowicz-Trzcńska 2004). Hilszczańska (2000) stated that substrates mixed with forest litter were more and more applied in the Polish forest nurseries to improve the survival rates of seedlings after planting. As it is very difficult to accumulate forest litter with no harm to the environment, Klimek et al. (2011) propose biomass collection during large-scale deforestation activities, for example, carried out during road developments. The study conducted by the authors of this study, in the Dobrzejowice Forest District, proved that the use of compost based on forest humus supported Scots pine seedling development. Above-ground parts of the seedlings

Received: 13.02.2019 r., accepted after revision: 3.07.2019 r.

treated with humus were almost half higher than those treated only with mineral fertilizer. In addition, there was observed a considerable increase in the number of saprophages in the soil (Klimek et al. 2011).

In forest nursery production, young seedlings are exposed to many hazards, resulting from, among others, abiotic factors, the presence of pathogens in the environment or mistakes in the conduct of treatments. Intensively exploited soil substrate often becomes a source of infection, as it contains numerous strains of pathogenic fungi. A special threat to the young generation of conifers grown in forest nurseries is posed by a widespread fungal disease called ‘damping-off’ that causes seedlings to topple over and die. Mańka (2005) divides damping-off diseases into two types: pre-emergence (infection symptoms within germinating seeds) and post-emergence (infection symptoms in several-week-old seedlings – narrowed root neck, instability, collapse and death).

Damping-off diseases are predominantly caused by: *Rhizoctonia solani* (J.G. Kühn), *Fusarium* spp. (Link), *Alternaria* spp. (Nees) and *Cylindrocarpon* spp. (Wol-lenw), and Oomycetes, such as: *Pythium* sp. (Pringsheim) and *Phytophthora* sp. (de Bary). The occurrence of a given pathogen in forest nursery depends first of all on climatic conditions (air temperature and humidity) prevailing at the time when plants are at the stage of seed germination (Mańka, Mańka 1993; Mańka 2005).

Damping-off diseases can be controlled by means of biological, chemical and mechanical plant protection products. Chemical control of pathogens proved to be the most effective. These include plant spraying and seed dressing with fungicide formulations (Hamera-Dzierżanowska 2014). Chemical methods are not desirable in the natural environment, so they have been applied only to a limited extent, and the use of other methods has been encouraged.

Biological methods include application of biocontrol agents, such as natural antagonists of fungi causing damping-off diseases. Mańka and Mroczkiewicz (199) proved the effectiveness of *Mycelium radicans atrovirens* (Melin) in damping-off control in Scots pine seedlings. Grosch et al. (2006) described three *Trichoderma* sp. (Pers.) strains as potentially effective biological agents against pathogenic fungus *R. solani*. Biological methods are perceived as the least invasive and harmful to the natural environment, nevertheless, their effectiveness has been still in question.

Among mechanical control methods, the most common is the expensive and energy-consuming method of soil steaming with the use of a pipe and boiler system (Rutkowski, 1995). This treatment has been repeatedly modified to improve its effectiveness, for example, by steaming loosened soil covered with plastic film, but the treatment was effective only down to the depth of 25 cm (Górski 2006). Studies have been carried out on the control of damping-off diseases with the use of ultraviolet radiation (Słowiński 2011). Słowiński and Stepniewska

(2010) examined the microwave radiation effects on the growth of Scots pine seedlings and the occurrence of *R. solani*.

Common nettle *Urtica dioica* L. has been by and large used as a biological plant protection product against insect pests (aphids, spider mites) as well as fungal diseases (grey mould, powdery mildew). Common nettle has been proven to be effective in control of pathogen *R. solani* (Hadizadeh et al. 2009). Also, this plant is a soil fertility indicator, as it grows on nitrogen-rich soils, and thus, nettle constitutes a rich source of nutrients (Asgarpanah, Mohajerani 2012) that can potentially enrich the nursery substrate.

2. Study aim and scope

The aim of the present study was to explore the possibility of using four types of plant material, both crushed and granulated, as a natural means to enrich the nursery substrate with nutrients and mycorrhizal fungi, with the assumption that such treatment would have positive effects on the process and rate of seed germination and early development of Scots pine seedlings.

Demonstration of the effectiveness of the tested organic matter in the broadly understood fertilization of the nursery substrate could reduce the use of mineral fertilizers, whose production, taking into account the scale of national forest nursery, constitutes a significant burden on the natural environment.

3. Methods

Four types of organic material were tested:

- common nettle shoots and leaves,
- coniferous litterfall – because of the presence of mycorrhizal fungi (Sayer, 2006), beneficial for plant growth,
- deciduous litterfall – because of the presence of mycorrhizal fungi (Sayer, 2006), beneficial for plant growth,
- natural peat.

Nettle shoots were collected in the immediate vicinity of the Warta river bed in Myszków on 9 June, 2016. So as to avoid the high contents of cellulose fibres, merely plant tops (non-woody shoots with leaves) were collected. The presence of fibres would obstruct crushing and then granulating plant material.

Coniferous (spruce) and deciduous (mainly beech) litter-fall was collected on 16 June, 2016, in tree stands situated in close proximity of the Wolski Forest in Kraków. The material did not contain humus or large plant elements, such as cones or branches, as this would hinder biomass fragmentation.

All the above 3 types of plant material were harvested at several randomly selected points to eliminate the error resulting from local conditions.

The fourth type of organic material under the study, that is, natural peat, was obtained from the Nędza forest nursery (the Rudy Raciborskie Forest District) in July 2016.

All 4 types of admixture materials were placed in envelopes and dried at a temperature not exceeding 38°C, with the use of laboratory moisture analyser, until their humidity was 18%. No higher temperatures were applied intentionally, so as to avoid damage to the plant material or mycorrhizal fungi. The temperature applied did not inhibit the activity of pathogenic organisms present in the plant material. For example, Nagrodzka et al. (2016) showed that similar temperatures had no negative effects on the occurrence and development of *R. solani*. After drying, all 4 types of plant materials were crushed in a mill for plant biomass.

The samples of each admixture under the study were placed in three 1-litre cylinders and their volume density was measured on a pre-calibrated balance. The arithmetic mean was calculated from the measurement results obtained.

In order to obtain granulates, a portion of each type of crushed plant material was granulated using a matrix with a unified final product diameter. A unit with flat matrix was used, that is, a pelletizing line from Kovo Novak MGL 200, with a maximum capacity of 150 kg/h. Afterwards, bulk density of granulated plant material was determined.

The next stage of work was washing and then sterilizing 180 pots (500 ml) with contaminated ethyl alcohol. Then each pot was filled with nursery substrate without mycorrhizae, that is, a mixture of natural peat (90%) and perlite (10%) (both obtained from the forest nursery in Nędza). Next, 20 × 2.5 g each of 8 prepared organic admixtures (4 types of admixtures in 2 forms: crushed and granulated) were prepared with the use of an electronic scale. Individual 2.5 g samples were introduced into the substrate in 20 pots, preventing contamination and excessive drying. This was replicated 9 times (9 × 20 pots = 180 pots); thus, 9 variants of seed sowing medium were prepared for testing: the substrate with no admixture (control), substrate with crushed nettle, substrate with crushed coniferous litterfall, substrate with crushed deciduous litterfall, substrate with crushed natural peat, substrate with granulated nettle, substrate with granulated coniferous litterfall, substrate with granulated deciduous litterfall and substrate with granulated peat.

On 12 May, 2016, 10 seeds of Class I Scots pine were placed in each study pot (200 seeds/variant). The seeds were

sterilized in 70% ethyl alcohol (Nawrot-Chorabik, 2016) before placing in the pots.

The study pots were placed in the phytotron with a programmable automatic irrigation system to prevent seed drying (spraying intensity approx. 40 ml water/pot daily). The aggregate tank was filled with water and secured in a way preventing its contamination to avoid blockage in the washer system and uneven distribution of water.

Systematic observations were carried out for several weeks over the course of seed germination and seedling growth. Every few days, the numbers of healthy and infected seedlings in individual pots were recorded. The duration of the experiment was adjusted to the time necessary to observe the symptoms of damping-off diseases.

4. Results

Data on volumetric of the plant materials under the study is presented in Table 1.

When compared to crushed nettle, deciduous litter and peat, granulated material of these types showed 10 times higher bulk density. In the case of coniferous litterfall, bulk density was higher (almost 11.5 × higher when compared to crushed material of this type). Increased bulk density of plant material indicates that its volume was reduced.

The numbers of healthy and infected seedlings recorded during cyclic observations (from 16 May to 14 June 2016) are graphically depicted in Figures 1 and 2.

Health of Scots pine seedlings was definitely the poorest on the substrate with an admixture of organic material from common nettle. Comparatively the smallest number of seedlings with good health (only 34 out of 200) was observed in the pots with substrate mixed with crushed nettle. Nettle admixture in a granular form resulted in only a slightly higher number of healthy seedlings (44 out of 200). The number of healthy Scots pine seedlings grown on the substrate mixed with deciduous litterfall granulate was over 4 times higher (147 out of 200). Nevertheless, this result was not satisfactory in view of nursery production.

Table 1. Volumetric of plant material before and after the granulating process

Survey number	Bulk density of materials (g/cm ³)							
	Crushed admixture				Granulated admixture			
	Nettle	Hardwood litter	Softwood litter	Peat	Nettle	Hardwood litter	Softwood litter	Peat
I	0.141	0.031	0.048	0.182	1.411	0.236	0.511	1.900
III	0.133	0.024	0.041	0.189	1.321	0.247	0.529	1.940
III	0.136	0.021	0.046	0.199	1.524	0.264	0.517	1.990
Average:	0.137	0.025	0.045	0.190	1.419	0.249	0.519	1.943

Treatments with common nettle (crushed and granulated) and granulated deciduous litterfall caused a decline of the Scots pine seedling health to a level well below the control (peat-perlite substrate with no admixture). All other plant admixtures (crushed deciduous litterfall, both forms of coniferous litterfall and both forms of peat) supported healthy seedling growth at a level of almost 90% of the seed load. The differences between individual treatments ranged from 178 to 191 healthy seedlings per 200 seeds. Despite the similarity of the results obtained, none of the enriched substrates supported as good growth of Scots pine seedlings as the control substrate (194 healthy seedlings/200 seeds).

The data obtained was statistically analysed. The distribution of the variable (the number of healthy seedlings) was not normal; therefore, the non-parametric Kruskal-Wallis test was used. The obtained p value was 0.0044, which denotes the grounds to reject the null hypothesis on the equality of cumulative distribution functions in the compared groups.

5. Discussion and Conclusions

The substrates enriched with various admixtures were evaluated on the basis of two empirically examined features: the number of appropriately developing Scots pine seedlings and the number of plants infected with damping-off diseases. Scots pine seeds were sterilized before sowing, thus the occurrence of pre-emergence damping-off was excluded. Seed germination failure could be caused by damage to the seeds. Considering the fact that all the seeds under the study were obtained from the same source, the authors assumed that such a damage was merely accidental.

The effects of the treatments with different types of plant material on Scots pine seed germination and seedling development, so different than expected, may be due to the fact that along with the application of the thermally unprocessed plant material, pathogenic organisms that cause damping-off could get into the substrate. For sanitary reasons, peat-perlite substrate (control treatment) obtained from the Nędza

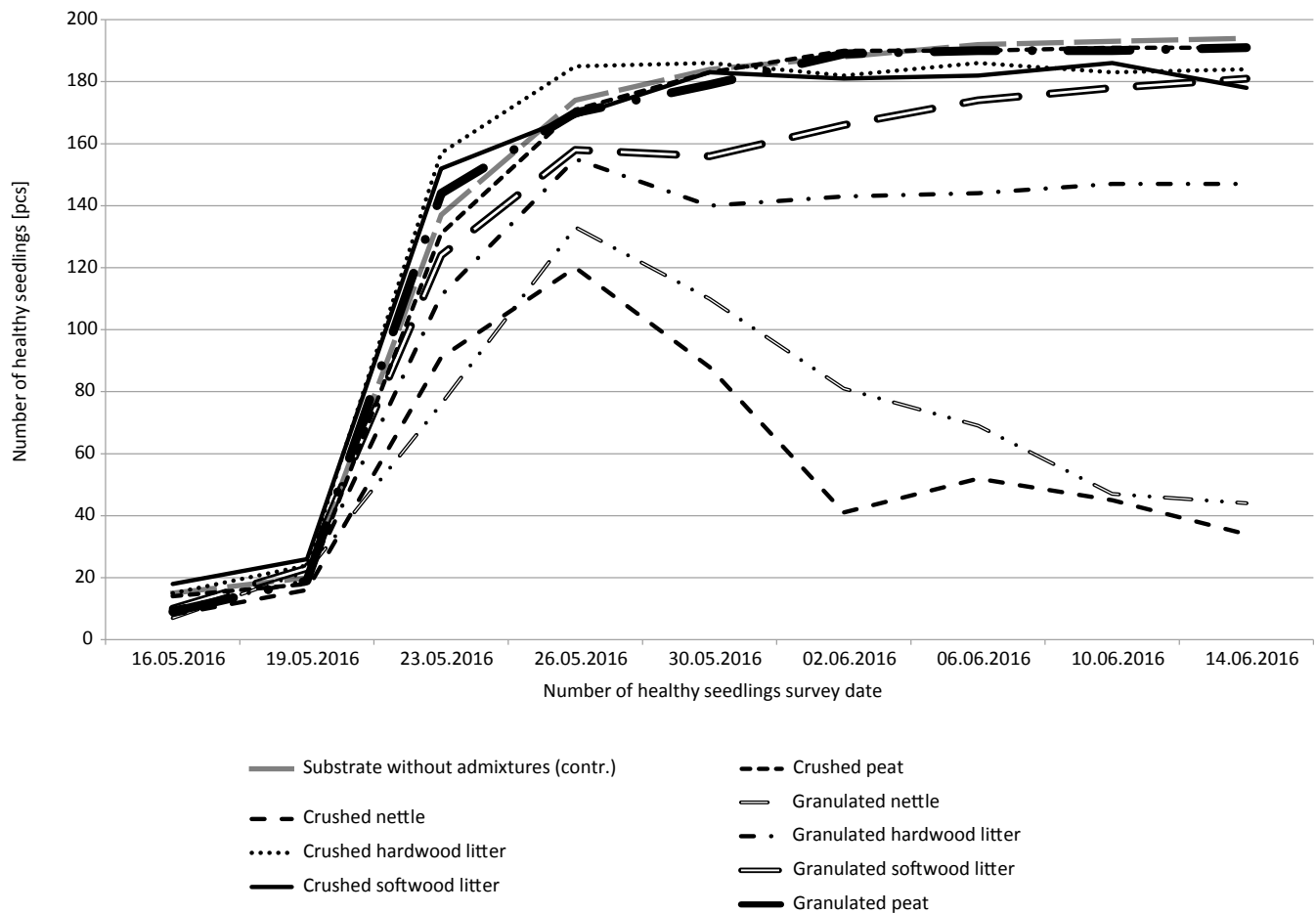


Figure 1. The number of healthy Scots pine saplings depending on the type of organic substance introduced into the ground

nursery was beforehand thermally processed at high temperatures, and thus – was free of pathogenic organisms. Consequently, it can be concluded that the differences in Scots pine seed germination and seedling development, observed under the conditions of this study, were due to the tested admixtures of plant materials added to the substrate.

Probably, drying at temperatures above 38°C would sterilize the plant material under the study from pathogenic organisms, but it could inhibit the desired activity of mycorrhizal fungi.

The negative effect of nettle on Scots pine seed germination and seedling growth was to some extent confirmed by the results of research conducted in Spain by Garmendia et al. (2018) on the possibility of enriching the substrate for cultivation of potato *Solanum tuberosum* L. in organic farming with the use of liquid nettle suspension. The study showed no positive effects of nettle treatment either on yield or chlorophyll contents in the plant aboveground parts or the pests and diseases in the organic potato crops.

An attempt to enrich the nursery substrate with litterfall does not always bring results as expected. This was

demonstrated by Nyathi and Campbell (1995) in the study on the effects of litterfall of Zimbabwe native tree species *Brachystegia spiciformis* Benth. (miombo tree) and *Leucaena leucocephala* Lam. de Witt (mimosoid tree) on growth and development of maize *Zea mays*. Litterfall was added to the soil either with no additional admixtures or mixed with NPK fertilizer and manure, in various combinations. When compared to the control, treatment with *L. leucocephala* litterfall caused a clear decrease in dry matter of plant aboveground parts, as well as grain yields. Slightly better results were obtained in consequence of treatment with *B. spiciformis* litterfall mixed with fertilizer as well as treatment with sole fertilizer; however, when compared to the control, the results were not considerably different. Hence, there was found no positive effect of litterfall on the site productivity in the case of maize crops (Nyathi and Campbell 1995).

Different results were obtained by Sarkar et al. (2010) in the study on the effects of various litterfall types on enrichment of the substrates used in agricultural production in Bangladesh. The test plant was red amaranth *Amaranthus*

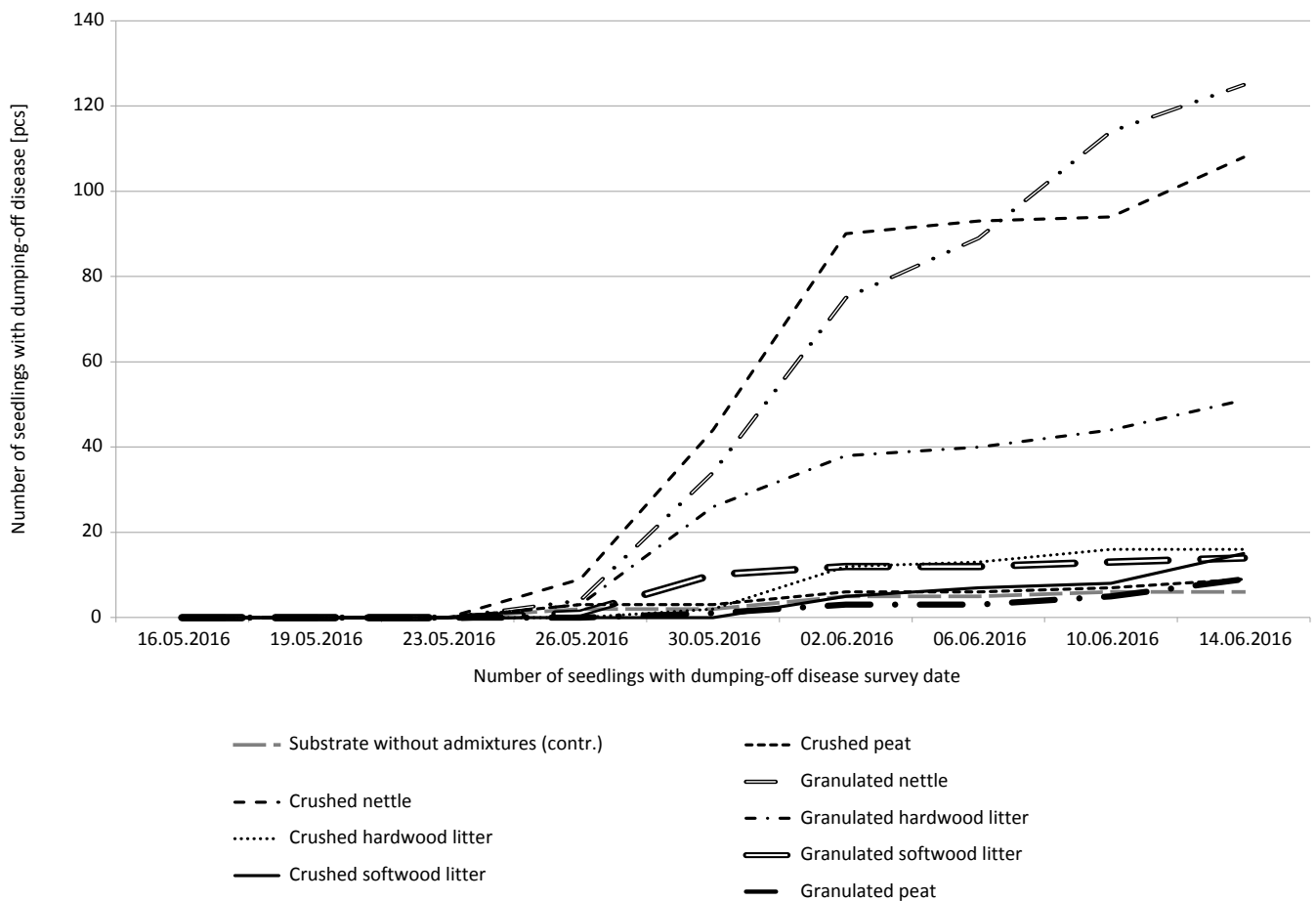


Figure 2. The number of Scots pine saplings infected with dumping-off depending on the type of organic substance introduced into the ground

cruentus L. grown as leaf vegetable throughout South-East Asia. The study results showed a significant effect of litterfall on the reduction of substrate acidity, as well as an unambiguous increase in NPK contents in the substrate, which was reflected in the increase in the height of plant above-ground parts. Although the effects of using litterfall admixtures were far from those observed when mineral fertilizers were used, the values obtained were considerably higher than those achieved in the control treatment. Nonetheless, the authors of the study suggested that litter could be successfully used as an ecological substitute for chemical fertilizers used in the cultivation of leafy vegetables.

The results obtained in the present study do not allow to explicitly conclude on the effectiveness of specific forms of admixture material – crushed or granulated. In most cases, treatments with both forms had similar effects. This indicates that biomass exposure to high temperature and pressure during the granulation process does not necessarily affect the quality of plant material used for improving the substrates.

The exception to this rule was deciduous litterfall, as in this case, much worse results were obtained in treatments with granulated material when compared to those with crushed material. This is confusing in view of the fact that the granulated and crushed materials were derived from the same litterfall sample. On the other hand, granulated material was subjected to specific physical processes (pressure pressing and high temperature). This case shows that understanding the relationship between plant material and the loss of its biological properties during processing requires separate studies. For the purposes of this study, however, this is not of much importance due to the fact that treatments with both forms of deciduous litter were ineffective in terms of improving properties of the nursery substrate. The biomass granulation process increased litterfall bulk density almost tenfold, which came to the reduction of biomass volume. If the effectiveness of granulated admixtures was shown, substrate storage in forest nurseries could be much improved. Granulated substrates occupy comparatively small storage spaces, which practically translates into cost-effectiveness of storage room operations (smaller storage space is directly associated with savings at the investment stage, building administration costs, property tax, etc.).

Based on the results obtained, it can be concluded that:

None of the four substrate admixtures examined, regardless of the application form, had a positive effect on Scots pine seed germination and seedling development.

The highest number of healthy and properly developing seedlings was recorded in the control treatment (peat-perlite substrate).

In all the experimental variants, the first symptoms of damping-off diseases in Scots pine seedlings were revealed not earlier than 14 days after seeding.

The granulation process led to a 10-fold increase in the bulk density of plant material, and thus – a reduction in its volume.

Conflict of interest

The authors declare no potential conflicts.

Acknowledgements and source of funding

The research was financed from the authors' own resources.

References

- Aleksandrowicz-Trzcńska M. 2004. Kolonizacja mikoryzowa i wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w uprawie założonej z sadzonek w różnym stopniu zmikoryzowanych. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 3: 5–15.
- Asgarpanah J., Mohajerani R. 2012. Phytochemistry and pharmacologic properties of *Urtica dioica* L. *Journal of Medicinal Plants Research* 6(46): 5714–5719. DOI 10.5897/JMPR12.540.
- Buraczyk W., Szeligowski H., Drozdowski S., Aleksandrowicz-Trzcńska M. 2012. Wpływ wilgotności i gatunku gleby na wzrost mikoryzowanych sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Leśne Prace Badawcze* 73(1): 57–64. DOI 10.2478/v10111-012-0006-4.
- Dziadowiec H. 1990. Rozkład ściółek w wybranych ekosystemach leśnych (mineralizacja, uwalnianie składników pokarmowych, humifikacja), w: *Rozprawy Uniwersytetu Mikołaja Kopernika*, Toruń, 117–133. ISBN 8323102287.
- Garmendia A., Raigón Dolores M., Marques O., Ferriol M., Royo J., Merle H. 2018. Effects of nettle slurry (*Urtica dioica* L.) used as foliar fertilizer on potato (*Solanum tuberosum* L.) yield and plant growth. *Journal of Life and Environmental Sciences* 6: e4729. DOI 10.7717/peerj.4729.
- Górski R. 2006. Aparatura do ochrony roślin uprawianych pod osłonami (cz. V). Urządzenia do termicznej dezynfekcji gleby lub podłoża. *Hasło Ogrodnicze* 1.
- Grosch R., Scherwinski K., Lottmann J., Berg G. 2006. Fungal antagonists of the plant pathogen *Rhizoctonia solani*: selection, control efficacy and influence on the indigenous microbial community. *Mycological Research* 110:1464–1474. DOI 10.1016/j.mycres.2006.09.014.
- Hadizadeh I., Peivastegan B., Kolahi M. 2009. Antifungal Activity of Nettle (*Urtica dioica* L.), Colocynth (*Citrullus colocynthis* L. Schrad), Oleander (*Nerium oleander* L.) and Konar (*Ziziphus spina-christi* L.) Extracts on Plants Pathogenic Fungi. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 12: 58–63. DOI 10.3923/pjbs.2009.58.63.
- Hamera-Dzierżanowska A. 2014. Aktualna sytuacja dotycząca środków ochrony roślin w leśnictwie. Konferencja PTL „Aktualne problemy ochrony lasu-2014” 22–24.10.2014 r. Ustroń-Jaszowiec.

- Hilszczańska D. 2000. Wpływ podłoża szkółkarskich na rozwój mikoryz sosny *Pinus sylvestris* L. *Sylvan* 144(4): 93–97.
- Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Długosz J., Kuss M. 2011. Wykorzystanie próchnicy leśnej do rewitalizacji gleby w rocznym cyklu produkcji sadzonek sosny zwyczajnej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 6: 175–186.
- Mańka K. 2005. Fitopatologia Leśna. PWRiL, Warszawa, 394 s. ISBN 8309017936.
- Mańka K., Mańka M. 1993. Choroby drzew i krzewów leśnych. Oficyna Edytorska Wydawnictwo Świat, Warszawa, 86 s.
- Mańka M., Mroczkiewicz K. 1991. A contribution to *Mycelium radicans atrovirens* Melin occurrence in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots. *Phytopathologia Polonica* 2: 102–105.
- Nagrodzka K., Moliszewska E., Grata K., Nabrdalik M. 2016 Biologiczna kontrola *Rhizoctonia solani* AG 2-2IIIB przez metabolity *Bacillus subtilis*. *Proceedings of ECOpole* 10(2). DOI 10.2429/proc.2016.10(1)081.
- Nawrot-Chorabik K. 2016. Plantlet regeneration through somatic embryogenesis in Nordmann's fir (*Abies nordmanniana*). *Journal of Forestry Research* 27(6): 1219–1228. DOI 10.1007/s11676-016-0265-7.
- Nyathi P., Campbell B.M. 1995. Interaction Effect of Tree Leaf Litter, Manure and Inorganic Fertilizer on the Performance of Maize in Zimbabwe. *African Crop Science Journal* 3(4): 451–456.
- Rutkowski K. 1995. Energochłonność termicznej dezynfekcji podłoża szklarniowego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 415: 321–328.
- Sarkar U.K., Saha B.K., Goswami C., Chowdhury M.A.H. 2010. Leaf litter amendment in forest soil and their effect on the yield quality of red amaranth. *Journal of the Bangladesh Agricultural University* 8(2): 221–226.
- Sayer E.J. 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews* 81: 1–31. DOI 10.1017/S1464793105006846.
- Słowiński K. 2011. Promieniowanie ultrafioletowe w ograniczaniu zgorzeli siewek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Inżynieria Rolnicza* 6(131): 207–213.
- Słowiński K., Stępniewska H. 2010. Efekt oddziaływania promieniowania mikrofalowego na poziom zagrożenia siewek sosny przez *Rhizoctonia solani* i na cechy wzrostowe siewek. *Prace Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych* 14: 143–152.
- Szabla K. 2009. Hodowlane i ekonomiczne aspekty produkcji materiału sadzeniowego z zakrytym systemem korzeniowym poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji. *Sylvan* 153(4): 253–259.
- Szabla K., Pabian R. 2003. Szkółkarstwo kontenerowe. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, 213 s.

Authors' contribution

D.K. – literature review, data review, statistical analysis, interpretation of the results, manuscript writing/preparation/revision; K.S. – concept, assumptions, methods, research coordination, manuscript revision; J.K. – experimental works, equipment operation, data verification.