

WOJCIECH GIL, DOROTA HILSZCZAŃSKA, ALEKSANDRA ROSA-GRUSZECKA

Wpływ hodowlanego zagospodarowania lasu na produktywność jadalnych grzybów leśnych

Impact of silviculture on the productivity of edible fungi in the forest

ABSTRACT

Gil W., Hilszczańska D., Rosa-Gruszecka A. 2018. Wpływ hodowlanego zagospodarowania lasu na produktywność jadalnych grzybów leśnych. Sylwan 162 (3): 231-237.

Edible forest mushrooms are one of the most important non-wood products and their economic importance is constantly growing. Only in Poland, the value of collected mushroom is estimated to about 740 million PLN a year. Such species as *Boletus* sp., *Lactarius* sp. or *Tuber* sp. are the most valuable non-wood forest products. Wild species, a great part of which are ectomycorrhizal fungi, not only play a key role in the growth and development of forest trees, but also belong to the most used in the Polish cuisine. A new challenge is to develop a scientific basis for the production of edible ectomycorrhizal fungi. Given the fact that fructification of fungi is influenced by many environmental, ecological, orographic and anthropogenic factors, their growing is rather a tough task. So far, methods of fungi growing have been developed in case of several species and they are still to be implemented on an economic scale. Under natural conditions, both mycorrhizal and fruiting processes may be stimulated by proper silviculture treatments, which are conducive to wood and mushrooms production as well. Nowadays, the concept of 'mycosilviculture' is gaining more and more interest. In order to implement it, the knowledge of the biology of fungi and their host-species is needed. In this article, a rich body of studies dealing with the influence of management methods on fruitification of fungi is reviewed. The critical factor that appears is the proper regulation of tree density by appropriate severity of thinnings and regeneration cuts in order to meet the requirements of targeted fungi. The other kinds of treatments, such as removal of the herb cover, litter and upper soil level also affect fungi fructification. The effect of these treatments may vary for different species. The knowledge of wild mushroom production, forest management and climate changes still requires long-term and multidimensional research in a broad spectrum of tree stands and forest habitats.

KEY WORDS

ectomycorrhizal fungi, edible fungi, mycosilviculture, non-wood forest products, forest management

ADDRESSES

Wojciech Gil ⁽¹⁾ – e-mail: W.Gil@ibles.waw.pl
Dorota Hilszczańska ⁽²⁾, Aleksandra Rosa-Gruszecka ⁽²⁾

⁽¹⁾ Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

⁽²⁾ Zakład Ekologii Lasu, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

Wstęp

Użytkowanie leśnych produktów nieдрzewnych w Europie ma długą tradycję i jest stałym elementem kultury wielu nieurbaniizowanych regionów [Boa 2004; Zhang i in. 2014]. Na podstawie ankiety przeprowadzonej przez Europejski Instytut Leśny w ponad 30 krajach naszego kontynentu stwierdzono, że prawie 90% z ponad 17 tysięcy respondentów konsumuje co najmniej raz w roku produkty leśne – najczęściej owoce i grzyby. Z tej liczby około $\frac{1}{4}$ respondentów to smakosze i amatorzy grzybów, a większość z nich zbiera grzyby od 3 do 12 razy w roku. Dla 0,5% ankietowanych gospodarstw domowych zbieranie grzybów i jagód jest najważniejszym źródłem przychodu, co wskazuje na duże znaczenie ekonomiczne tego sektora [Lovric i in. 2017]. Leśne produkty nieдрzewne są istotnym źródłem dochodów mieszkańców małych miast i wsi w naszym kraju [Barszcz 2006a, b; Barszcz, Suder 2009; Nowacka 2012]. Wartość rynkową zbioru grzybów w lasach Polski w latach 2006-2008 oszacował Grzywacz [2015], przyjmując założenie, że skup i eksport grzybów stanowią około 30% zbioru, sprzedaż przydrożna i na targach – 10%, a 60% to grzyby zbierane na własne potrzeby. Sumaryczna wartość zebranych grzybów wynosiła średniorocznie 740 mln zł, przy czym dane te dotyczyły jedynie kilku gatunków będących w obrocie, głównie borowika szlachetnego (*Boletus edulis*) i pieprznika jadalnego (*Cantharellus cibarius*). Według Staniszewskiego i Nowackiej [2015] jednym z istotnych aspektów użytkowania leśnych grzybów jadalnych jest znaczna dysproporcja między liczbą gatunków powszechnie znanych i zbieranych (5-10) a liczbą wszystkich występujących w Polsce gatunków grzybów jadalnych. Stąd promocja wybranych wartościowych a nieznanymi szerzej gatunków wydaje się być godna uwagi. Powinna ona dotyczyć gatunków o rzeczywiście wysokich walorach smakowych i użytkowych, a ponadto pospolitych i ewidentnie łatwych do oznaczenia.

Hodowla grzybów jadalnych dziko występujących

Grzyby leśne są nieodłącznym komponentem ekosystemów leśnych. Grzyby jadalne, takie jak np. borowik szlachetny (*Boletus edulis*), mleczaj rydz (*Lactarius deliciosus*) czy szczególnie wysoko cenione trufle (*Tuber* spp.), stanowią ponadto jeden z najcenniejszych leśnych produktów nieдрzewnych. Większość wykorzystywanych kulinarnie dziko rosnących gatunków to grzyby ektomykoryzowe, warunkujące prawidłowy wzrost i rozwój drzew leśnych.

Obecnie na świecie uprawia się kilkadziesiąt gatunków grzybów wielkoowocnikowych, przy czym w przypadku niektórych uprawa ta ma długą tradycję [Boa 2004; Wang, Hall 2004]. Historyczne wzmianki o hodowli grzybów pochodzą z Chin z około 600 roku i dotyczą uszaka bżowego *Auricularia auricula* [Chang 1993]. Również w Chinach około 700 lat temu rozpoczęto masową hodowlę twardziaka jadalnego, znanego pod nazwą shiitake (*Lentinula edodes*). W XVIII wieku w Europie rozpowszechniła się uprawa pieczarek (*Agaricus bisporus*). Według Changa [1993] 80 z 2000 potencjalnie jadalnych znanych gatunków grzybów jest obecnie uprawianych eksperymentalnie lub komercyjnie, przy czym 5-6 gatunków na skalę przemysłową. Większość z nich to grzyby saprotroficzne. Nowym wyzwaniem staje się opracowanie na naukowych podstawach zasad produkcji jadalnych grzybów ektomykoryzowych, których liczbę szacuje się na około 140 gatunków [Salerni, Perini 2004]. W minionych dekadach w wielu regionach nastąpił spadek liczby użytkowanych gatunków grzybów mykoryzowych, m.in. z uwagi na zanieczyszczenie powietrza [Wang, Hall 2004], zwłaszcza depozycję azotanów, a także na zwiększoną akumulację ściółki i humusu [Arnolds 1991; Smit i in. 2003]. Hodowla grzybów mykoryzowych jest bardzo trudna, m.in. ze względu na niepełną wiedzę na temat uwarunkowań owocnicowania oraz problemy z utrzymaniem się mykoryz i rozprzestrzenianiem się grzybni mykoryzowej w śro-

dowisku glebowym. W warunkach naturalnych korzenie drzew mogą utrzymywać symbiozę również z ektomykoryzowymi grzybami niejadalnymi. Mykoryzacja celowa, polegająca na szczepieniu sadzonek grzybnią pożądaných gatunków, czego przykładem jest zapoczątkowana 200 lat temu przez Talona we Francji hodowla trufli czarnozarodnikowej (*Tuber melanosporum*), rozwijana jest dzisiaj także w oparciu o nowoczesne podstawy w Polsce [Hilszczańska 2009, 2015; Hilszczańska i in. 2016; Rosa-Gruszecka i in. 2017]. W hodowli grzybów mykoryzowych tworzących owocniki epigeiczne (nadziemne) droga do sukcesu jest jeszcze daleka. Chociaż opracowano metody uprawy kilku gatunków, takich jak np. pieprznik jadalny (*C. cibarius*), kępkowiec (*Lyophyllum shimeji*), mleczał rydz (*L. deliciosus*) i maślak ziarnisty (*Suillus granulatus*) [Poitou i in. 1989; Otha 1994; Danell, Camacho 1997; Wang, Hall 2004], to nie zostały one jeszcze wdrożone na skalę gospodarczą. Dla przykładu we Francji w szkółkach leśnych produkuje się sadzonki mykoryzowane maślakiem ziarnistym (*S. granulatus*), mleczałem czerwieniejącym (*L. sanguifluus*) i mleczałem rydzem (*L. deliciosus*). Założone z nich uprawy leśne produkują do 80 kg/ha grzybów już 6 lat po posadzeniu dwuletnich sadzonek. W sukces mykoryzacji idą inne dziedziny biotechnologii, np. wprowadzanie do środowiska bakterii wspomagających mykoryzację [Deveau i in. 2007] oraz klonowanie roślin-gospodarzy [Mamoun, Olivier 1996].

W warunkach naturalnych u symbiontów (roślina-gospodarz i grzyb ektomykoryzowy) proces utrzymywania się mykoryz i owocnikowanie może być również stymulowany za pomocą odpowiedniego zagospodarowania. Na przykład w Japonii zabiegi hodowlane w drzewostanach sosnowych, w których produkowana jest gąska sosnowa (*Tricholoma matsutake*), obejmują trzebieże, usuwanie podszytów i wzruszanie pokrywy glebowej [Savoie, Largeteau 2011].

Jednak nawet przy trwałej mykoryzie owocnikowanie grzybów nie jest pewne – stąd potrzeba monitorowania owocnikowania i naukowego powiązania tego zjawiska z czynnikami środowiskowymi i drzewostanowymi. W przeciwieństwie do produkcji drewna produkcja grzybów cechuje się bowiem znaczną efemerycznością.

Na owocowanie grzybów wpływa wiele czynników środowiskowych (opady, temperatura gleby i powietrza, ewapotranspiracja, wilgotność względna, niedobory lub nadmiary wody) [Baptista i in. 2010; Pinna i in. 2010], hodowlanych (gatunek drzewa, wiek drzewostanu, zagęszczenie i zwarcie) [Barroetaveña i in. 2008], ekologicznych (strategie rozmnażania grzyba, skład gatunkowy zbiorowisk grzybów i konkurencja między nimi) [Dix 2012], orograficznych (nachylenie, wystawa terenu) [Ben Hassine Ben Ali, Aschi-Smiti 2014] i antropogenicznych (pozyskanie drewna, pożary, zarządzanie zwierzyną, zgryzanie przez zwierzęta gospodarskie, wprowadzanie gatunków obcych).

Wpływ metod zagospodarowania lasu na owocnikowanie grzybów

Przy zagospodarowaniu lasu nie brano właściwie do tej pory pod uwagę produkcji dzikich grzybów jadalnych. Ta sytuacja zmienia się z uwagi na kryzys rynków drzewnych w niektórych krajach [Román, Boa 2006; Aragón i in. 2007]. Przykładem może być Hiszpania, gdzie w niektórych regionach nastąpiło załamanie się rynku drzewnego na skutek wielu czynników: braku rąk do pracy, wzrostu kosztów transportu, spadku cen drewna i popytu na surowiec małowymiarowy. Okazało się, że w tamtejszych uwarunkowaniach (górzysty region Pirenejów) korzyści ze sprzedaży grzybów dorównują przychodom ze sprzedaży drewna. Nie bez znaczenia jest też fakt, że jest to przychód coroczny – inaczej niż w przypadku pozyskania drewna (w Hiszpanii cięcia selekcyjne wykonuje się co 12-14 lat, a wiek rębności oscyluje w zakresie 70-80 lat). Co więcej, elementy te nie wykluczają się wzajemnie – dysponując odpowiednią wiedzą, można umiejętnie łączyć produkcję drewna z kształtowaniem optymalnych warunków dla owocnikowania

grzybów. Należy odpowiedzieć na pytanie – jak sterować mykoryzacją, aby osiągnąć dominujący udział w niej pożądanych gatunków i jak kształtować optymalne warunki środowiskowe dla owocowania grzybów. Niezbędna jest tu znajomość biologii grzybów, bowiem poszczególne gatunki są związane z różnymi stadiami rozwoju drzewostanu i mają różny zestaw drzew-gospodarzy.

Leśnicy mogą oddziaływać na zbiorowiska grzybów, modyfikując strukturę drzewostanów poprzez zabiegi hodowlane. Wpływa to m.in. na alokację węglowodanów z drzew do grzybów oraz na czynniki mikroklimatyczne i warunki wilgotnościowe, tak istotne dla rozwoju grzybów. „Mycosilviculture” jest koncepcją hodowlaną, która może być zdefiniowana jako zagospodarowanie lasu mające na celu jak najpełniejsze wykorzystanie funkcji pełnionych przez grzyby leśne i zwiększenie produkcji grzybów jadalnych. Syntetyczny przegląd tego zagadnienia przygotowali Savoie i Largeteau [2011] oraz Tomao i in. [2017]. Warunkiem skuteczności „mycosilviculture” jest właściwe rozpoznanie ekologii grzybów, aby poprzez zabiegi hodowlane w drzewostanie wpływać na ich występowanie, rozmnażanie i owocnikowanie. Badania takie jak dotąd nie są zbyt częste, wymagają bowiem długiego okresu obserwacji. Bonet i in. [2008] stwierdzili na przykładzie drzewostanów sosny zwyczajnej w Pirenejach (Hiszpania), że produkcja grzybów jadalnych jest związana z wystawą i nachyleniem stoków, jak również z pierśnicowym polem przekroju drzewostanu. Za optymalne w około 40-letnich drzewostanach sosny zwyczajnej uznali pole przekroju na poziomie 15-20 m²/ha. Poprzez właściwe nasilenie trzebieży można zatem utrzymać wysoką produktywność drzewostanu połączoną z wysokim plonem grzybów. Silny związek owocnikowania mleczaja rydza i borowika szlachetnego z polem przekroju drzewostanu wykazali też Martínez-Peña i in. [2012].

Podobne wyniki otrzymali Miguel i in. [2014], modelując wielkość owocnikowania grzybów w okresie 30 lat w drzewostanach sosnowych przy pozyskaniu na poziomie 25% rocznego przyrostu, 100% przyrostu i bez pozyskania. Przy obecnym plonowaniu – 14 kg grzybów/ha – utrzymanie pozyskania na poziomie 25% spowoduje zmniejszenie plonowania w badanym okresie o 5%, przy zaprzestaniu pozyskania o 11%, a przy zwiększeniu pozyskania do 100% przyrostu oczekiwany jest wzrost plonowania grzybów o 11%.

Potwierdzenie faktu, że zwiększenie plonowania grzybów nie musi oznaczać rezygnacji z produkcji drewna, przynoszą najnowsze badania Kucukera i Baskenta [2017], w których porównywano wpływ różnych modeli zagospodarowania lasu na wielkość zbioru owocników mleczaja rydza (*L. deliciosus*) i mleczaja jodłowego (*L. salmonicolor*). Najwięcej owocników pojawiało się przy modelu zagospodarowania zorientowanym na maksymalizację produkcji drewna – w porównaniu do modeli o mniejszej intensywności pozyskania lub bez pozyskania drewna.

Dwudziestoletni monitoring owocnikowania grzybów w mieszanych lasach Szwajcarii również wykazał jego pozytywny związek z trzebieżą i reakcją przyrostową drzew. Trzebież promuje drzewa silniejsze, z wysokim potencjałem fotosyntetycznym – grzyby związane z ich korzeniami produkują więcej owocników niż w przypadku drzew słabiej rosnących. Wiele grzybów jadalnych owocnikuje bardziej obficie, a czasami niemal wyłącznie po trzebieżach, np. muchomor czerwieniejący (*Amanita rubescens*), borowik szlachetny (*Boletus edulis*), lejkwiec dęty (*Craterellus cornucopioides*), maślanka łagodna (*Hypholoma capnoides*), niektóre gołąbki (*Russula* sp.) i podgrzybek brunatny (*Xerocomus badius*) [Salerni, Perini 2004; Egli i in. 2010]. Prawidłowość ta jednak nie dotyczy wszystkich gatunków – badania Pilza i in. [2006] wykazały, że owocnikowanie pieprznika jadalnego (*C. cibarius*) spadło po trzebieży i powróciło do dawnego poziomu dopiero po 6 latach. Usuwanie pokrywy zielonej, ściółki i próchnicy może mieć korzystny wpływ na owocnikowanie grzybów ektomykoryzowych [Smit i in. 2003], ale też negatywny w przypadku niektórych gatunków, np. borowika szlachetnego [Salerni, Perini 2004].

Wydajność produkcji owocników grzybów ektomykoryzowych i wybranych jadalnych grzybów saprotroficznych w lasach sosnowych na przedgórzu pirenejskim były przedmiotem badań naukowców hiszpańskich [Aragón i in. 2007]. Celem było znalezienie zależności między produkcją owocników grzybów a wybranymi cechami drzewostanu i czynnikami klimatycznymi. Warto przytoczyć tu elementy metodyki, która bazowała na podobnych badaniach [Salo 1979; Ohenoja 1984; Kalamees, Silver 1988] i może być z powodzeniem wykorzystana na naszym gruncie. Autorzy prowadzili badania w okresie 1997-2001 w drzewostanie trzech gatunków sosen: czarnej, zwyczajnej i alepskiej (*Pinus nigra*, *P. sylvestris*, *P. halepensis*), na 23 powierzchniach o areale 400 m² każda, monitorując raz w tygodniu pojawianie się grzybów w relacji z klimatem i cechami drzewostanu. Badania wykonywano zawsze w piątki, aby zminimalizować efekt weekendowych grzybobrań. Monitoring powierzchni prowadzony był od września do grudnia. Zbierano grzyby ektomykoryzowe oraz te gatunki saprotroficzne, które mają ekonomiczne znaczenie w medycynie i gastronomii – bocznika ostrygowatego (*Pleurotus ostreatus*), twarżozka przydrożnego (*Marasmius oreades*), pieczarkę bulwiastą (*Agaricus silvicola*) i opieńkę miodową (*Armillaria mellea*). Do obserwacji włączono również gatunki z rodzaju lejkówka (*Clitocybe* sp.), ponieważ status mykoryzowy niektórych gatunków tego rodzaju nie jest jasny, a wiele z nich jest jadalnych. Zbierano grzyby w dobrym stanie, o średnicy kapelusza minimum 2 cm. Grzyby zabierane były do laboratorium, ważone w stanie świeżym, identyfikowane i liczone, a następnie ważone po wysuszeniu. Na każdej powierzchni zainstalowano urządzenia rejestrujące poziom opadów oraz przebieg temperatury powietrza i gleby na głębokości 5 cm. Pomiary wykonywano od lipca do grudnia, czyli przed sezonem grzybowym i w jego trakcie. Dane o drzewostanie zaczerpnięto z planów urzędniowych. Z trzech losowo pobranych drzew na każdej powierzchni pobrano na koniec okresu badań po dwa wywierty po przeciwnych stronach drzewa, w celu określenia przyrostów rocznych w ostatnich pięciu latach. Podczas monitoringu na powierzchniach stwierdzono 145 grzybów ektomykoryzowych, 18 saprotrofów i 41 gatunków o niejasnym statusie ektomykoryzowym. Dziesięć najczęściej obserwowanych gatunków stanowiło 66% świeżej i 64% suchej masy owocników oraz 58% liczby zebranych owocników. Spośród 204 gatunków grzybów 62,3% było niejadalnych, 31,3% jadalnych, a 6,4% jadalnych i będących w obrocie handlowym. Średnia roczna produkcja grzybów wyniosła 29,4 kg owocników/ha, z czego 6,2 kg stanowiły grzyby jadalne będące w obrocie handlowym, a 5,4 kg jadalne, ale niebędące w obrocie handlowym. Rok o największej produktywności (1999) przyniósł plony w wysokości 49,84 kg świeżych owocników/ha. Najłabszy (2001) – 4,14 kg/ha. Statystycznie więcej owocników pojawiało się w drzewostanach zdominowanych przez sosnę zwyczajną i czarną niż w drzewostanach sosny alepskiej, natomiast w drzewostanach sosny zwyczajnej zbierano najwięcej grzybów jadalnych.

Owocnikowanie wykazało silną zależność pozytywną z rocznym poziomem opadów (korelacja była wyższa, gdy dodano do analizy miesięczne opady z początku jesieni) i miesięczną ewapotranspiracją dla września i października. Najsilniejszą pozytywną korelację stwierdzono między owocowaniem grzybów a różnicą pomiędzy miesięcznymi opadami i ewapotranspiracją we wrześniu i październiku, a także średnią minimalną temperaturą gleby w sierpniu. Produkcja grzybów jadalnych była negatywnie skorelowana z wiekiem drzewostanu. Wyniki tych badań nie zawsze potwierdzają inne doświadczenia, np. Keizer i Arnolds [1994] obserwowali wzrost bogactwa gatunkowego ze wzrostem wieku drzewostanu. Według Dahlberga [1991] czynniki klimatyczne odpowiadają za 60-80% różnicowania produkcji grzybów między latami. O'Dell i in. [1999] oraz Taye i in. [2016] zaobserwowali, że wraz ze wzrostem średnich rocznych opadów następował wzrost liczby gatunków grzybów w drzewostanie. Niestety, wymagania wodne i temperaturowe (decydujące o ewapotranspiracji) są różnicowane dla poszczególnych gatunków grzybów, stąd też trudno przedstawić uniwersalne wytyczne zagospodarowania drzewostanu.

Podsumowanie

Kwestia zwiększenia produktywności zbiorowisk grzybowych w lasach wciąż pozostaje otwarta – potrzebne są wielokierunkowe badania prowadzone w różnych regionach Europy. Badania powinny być długoletnie, aby lepiej poznać czynniki wpływające na fluktuacje w owocnikowaniu grzybów. W Polsce wciąż brakuje takich doświadczeń, chociaż pojawiły się już pierwsze wieloletnie obserwacje dotyczące owocnikowania trufli letniej, realizowane w Instytucie Badawczym Leśnictwa. Rosnąca rola ekonomiczna niedrzewnych produktów leśnych wskazuje na pilną potrzebę lepszego rozpoznania zależności pomiędzy produkcją dziko występujących grzybów jadalnych, zagospodarowaniem lasu i zmieniającym się klimatem.

Literatura

- Aragón de M. J., Bonet J. A., Fischer C. R., Colinas C. 2007. Productivity of ectomycorrhizal and selected edible saprotrophic fungi in pine forests of the pre-Pyrenees mountains, Spain: predictive equations for forest management of mycological resources. *For. Ecol. Manage.* 252: 239-256.
- Arnolds E. 1991. Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe. *Agric. Ecosyst. Environ.* 35: 209-244.
- Baptista P., Martins A., Tavares R. M., Lino-Neto T. 2010. Diversity and fruiting pattern of macrofungi associated with chestnut (*Castanea sativa*) in the Trás-os-Montes region (Northeast Portugal). *Fungal Ecology* 3 (1): 9-19.
- Barroetaveña C., La Manna L., Alonso M. V. 2008. Variables affecting *Suillus luteus* fructification in ponderosa pine plantations of Patagonia (Argentina). *For. Ecol. Manage.* 256 (11): 1868-1874.
- Barszcz A. 2006a. The influence of harvesting of non-wood forest products on the economic situation of households in Poland. *EJPAU, Forestry* 9 (2).
- Barszcz A. 2006b. The regionalization of harvesting of non-wood forest products in Poland. *EJPAU, Forestry* 9 (4).
- Barszcz A., Suder A. 2009. Diversity in the socio-economic role of the main non-wood forest products for the inhabitants of small villages and large towns in Poland. *Fol. For. Pol.* 51 (1): 77-84.
- Ben Hassine Ben Ali M., Aschi-Smiti S. 2014. Mycocoenologic study of the macrofungi on the forest of Jbel elbir (Ain Draham, Jendouba, Tunisia). *African Journal of Ecology* 52 (1): 1-9.
- Boa E. R. 2004. Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people. *Non-wood Forest Products* 17.
- Bonet J., Fischer C., Colinas C. 2004. The relationship between forest age and aspect on the production of sporocarps of ectomycorrhizal fungi in *Pinus sylvestris* forest of the central Pyrenees. *For. Ecol. Manage.* 203: 157-175.
- Bonet J. A., Pukkala T., Fischer C. R., Palahi M., Aragón de M. J., Colinas C. 2008. Empirical models for predicting the production of wild mushrooms in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in the Central Pyrenees. *Ann. For. Sci.* 65 (2): 206. DOI: 10/forest:2007089.
- Chang S. T. 1993. Mushroom biology: the impact on mushroom production and mushroom products. W: Chang S. T., Buswell J. A., Chiu S. W. [red.]. *Mushroom biology and mushroom products*. The Chinese University Press, Hong-Kong. 3-20.
- Dahlberg A. 1991. Dynamics of ectomycorrhizal fungi in a Swedish coniferous forest: a five year survey of epigeous sporocarps. *Swedish Univ. Agricultural Sciences, Dep. Forest Mycology and Pathology: Uppsala*.
- Danell E., Camacho F. J. 1997. Successful cultivation of the golden chanterelle. *Nature* 385: 303.
- Deveau A., Palin B., Delaruelle C., Peter M., Kohler A., Pierrat J. C., Sarniguet A., Garbaye J., Martin F., Frey-Klett P. 2007. The mycorrhiza helper *Pseudomonas fluorescens* BBc6R8 has a specific priming effect on the growth, morphology and gene expression of the ectomycorrhizal fungus *Laccaria bicolor* S238N. *New Phytol.* 175: 743-755.
- Dix N. J. [red.]. 2012. *Fungal ecology*. Springer Science & Business Media.
- Egli S., Ayer F., Peter M., Eilmann B., Rigling A. 2010. Is forests mushroom productivity driven by tree growth? Results from a thinning experiment. *Ann. For. Sci.* 67: 509. DOI: 10.1051/forest/201.00.11.
- Grzywacz A. 2015. Tradycje zbiorów grzybów leśnych w Polsce. *Studia i Materiały CEPL* 44: 189-197.
- Hilszczańska D. 2009. Propozycja mikoryzacji sadzonek drzew leśnych z udziałem trufli letniej (*Tuber aestivum*) w Polsce. *Sylvan* 153 (4): 281-289.
- Hilszczańska D. 2015. Popularyzacja upraw truflowych w Polsce jako metody ochrony gatunkowej trufli letniej i zagospodarowania terenów nieleśnych. *Studia i Materiały CEPL* 44: 119-129.
- Hilszczańska D., Szmidla H., Horak J., Rosa-Gruszecka A. 2016. Ectomycorrhizal communities in a *Tuber aestivum* Vittad. orchard in Poland. *Open Life Sciences (formerly Central European Journal of Biology)* 11: 348-357. DOI: 10.1515/biol-2016-0046.
- Kalamees K., Silve S. 1988. Fungal productivity of pine heaths in North-West Estonia. *Acta Bot. Fennica* 136: 95-98.

- Keizer P. J., Arnolds E. 1994. Succession of ectomycorrhizal fungi in roadside verges planted with common oak (*Quercus robur* L.) in Drenthe, The Netherlands. Mycorrhiza 4: 147-159.
- Kucuker D. M., Baskent E. Z. 2017. Impact of forest management intensity on mushroom occurrence and yield with a simulation-based decision support system. For. Ecol. Manage. 389: 240-248.
- Lovric M., Da Re R., Vidale E., Prokofieva I., Wong J., Pettenella D., Mavsar R. 2017. Collection and consumption of non-wood forest products in Europe. W: Abstract Book IUFRO 125th Anniversary Congress. 18-22 September 2017, Freiburg, Germany.
- Mamoun M., Olivier J. M. 1996. Receptivity of cloned hazels to artificial ectomycorrhizal infection by *Tuber melanosporum* and symbiotic competitors. Mycorrhiza 6: 15-19.
- Martín-Pinto P., Vaquerizo H., Peñalver F., Olaizola J., Oria-de-Rueda J. A. 2006. Early effects of a wildfire on the diversity and production of fungal communities in Mediterranean vegetation types dominated by *Cistus ladanifer* and *Pinus pinaster* in Spain. For. Ecol. Manage. 225: 296-305.
- Martínez-Peña M. S., Miguel de S., Pukkala T., Bonet J. A., Ortega-Martínez J., Aldea J., Aragón de M. 2012. Yield models for ectomycorrhizal mushrooms in *Pinus sylvestris* forests with special focus on *Boletus edulis* and *Lactarius* group *deliciosus*. For. Ecol. Manage. 282: 63-69.
- Miguel de S., Bonet J. A., Pukkala T., Aragón de M. J. 2014. Impact of forest management intensity on landscape-level mushroom productivity: A regional model-based scenario analysis. For. Ecol. Manage. 330: 218-227.
- Nowacka W. 2012. Wykorzystanie dóbr lasu – punkt widzenia społeczności lokalnej. Studia i Materiały CEPL 32: 155-160.
- O'Dell T. E., Ammirati J. F., Schreiner E. G. 1999. Species richness and abundance of ectomycorrhizal basidiomycete sporocarps on a moisture gradient in the *Tsuga heterophylla* zone. Can. J. Bot. 77: 1699-1711.
- Ohenoja E. 1984. Fruit body production of larger fungi in Finland. 1. Introduction to the study in 1976-1978. Ann. Bot. Fennici 21: 349-355.
- Otha A. 1994. Production of fruit-bodies of a mycorrhizal fungus, *Lyophyllum shimeji*. Mycoscience 35: 83-87.
- Pilz D., Molina R., Mayo J. 2006. Effects of thinning young forests on chanterelle mushroom production. J. Forest. 104: 9-14.
- Pinna S., Gévry M. F., Côté M., Sirois L. 2010. Factors influencing fructification phenology of edible mushrooms in a boreal mixed forest of Eastern Canada. For. Ecol. Manage. 260 (3): 294-301.
- Poitou N., Mamoun M., Ducamp M., Guinberteau J., Olivier J. M. 1989. Controlled mycorrhization and experimental cultivation in the field of *Boletus* (= *Suillus*) *granulatus* and *Lactarius deliciosus*. Mush. Sci. 12: 551-564.
- Román M., Boa E. 2006. The marketing of *Lactarius deliciosus* in northern Spain. Econ. Bot. 60: 284-290.
- Rosa-Gruszecka A., Hilszczańska D., Gil W., Kosel B. 2017. Truffle renaissance in Poland – history, present and prospects. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 13: 36. DOI: 10.1186/s13002-017-0163-x.
- Salerni E., Perini C. 2004. Experimental study for increasing productivity of *Boletus edulis* s.l. in Italy. For. Ecol. Manage. 201: 161-170.
- Salo K. 1979. Mushroom and mushroom yield on transitional peatlands in Central Finland. Ann. Bot. Fennici 16: 181-192.
- Savoie J. M., Largeteau M. L. 2011. Production of edible mushrooms in forests: trends in development of a mycosilviculture. Appl. Microbiol. Biotechnol. 89: 971-979. DOI: 10.1007/s00253-010-3022-4.
- Smit E., Veenman C., Baar J. 2003. Molecular analysis of ectomycorrhizal basidiomycete communities in a *Pinus sylvestris* L. stand reveals long-term increased diversity after removal of litter and humus layers. FEMS Microbiol. Ecol. 45: 49-57.
- Staniszewski P., Nowacka W. Ł. 2015. Regulacje użytkowania i obrotu leśnych grzybów jadalnych. Studia i Materiały CEPL 44: 180-188.
- Taye Z. M., Martínez-Peña F., Bonet J. A., Aragón de M. J., Sergio de M. 2016. Meteorological conditions and site characteristics driving edible mushroom production in *Pinus pinaster* forests of Central Spain. Fungal Ecology. 23: 30-41.
- Tomao A., Bonet J., Aragón de M. J., Sergio de M. 2017. Is silviculture able to enhance wild forest mushroom resources? Current knowledge and future perspectives. For. Ecol. Manage. 402: 102-114.
- Wang Y., Hall I. R. 2004. Edible ectomycorrhizal mushrooms: challenges and achievements. Can. J. Bot. 82: 1063-1073.
- Zhang Y., Geng W., Shen Y., Wang Y., Dai Y. C. 2014. Edible mushroom cultivation for food security and rural development in China: bio-innovation, technological dissemination and marketing. Sustainability 6 (5): 2961-2973.