

Uzdatnianie słomy i odpadowych surowców ligninocelulozowych przy użyciu grzybów z rodzaju *Pleurotus*

Joanna Czakaj¹, Leszek Ryszka¹, Janusz L. Sokół², Andrzej Krakowiak³

¹ Zakład Mikrobiologii, Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego,
ul. Rakowiecka 36, 02-532 Warszawa

e-mail: ryszka@ibprs.pl

² Katedra Żywienia Zwierząt i Gospodarki Paszowej,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego,
ul. Ciszewskiego 8, 02-786 Warszawa,

³ Katedra Biotechnologii Żywności, Akademia Ekonomiczna,
ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław

Słowa kluczowe: słoma, odpady ligninocelulozowe, *Pleurotus*, biodegradacja, skład chemiczny, strawność

Wstęp

Słoma zbóż jest mało przydatna jako pasza, ponieważ jej strawność jest bardzo niska. Powodem tego jest duża ilość włókna surowego (37–42%) ze znacznym udziałem niestrawnej dla zwierząt ligniny. Lignina jest polimerem o dużej masie cząsteczkowej, zawierającym około 40 jednostek fenylopropanowych mocno związanych ze sobą. Tworzy ona zwarty kompleks z celulozą i hemicelulozami. Polisacharydy te są więc niedostępne dla enzymów hydrolitycznych wytwarzanych przez florę bakteryjną przewodu pokarmowego przeżuwaczy.

Strawność słomy można jednak zwiększyć przeprowadzając degradację zawartej w niej ligniny, przez co uwolnione hemicelulozy i celuloza mogą być bez przeszkód rozłożone w przewodzie pokarmowym zwierząt do cukrów prostych. Uszlachetnianie słomy i ligninocelulozowych surowców odpadowych może być prowadzone metodą chemiczną, fizyczną lub biologiczną. Najbardziej przyjazny dla środowiska i jednocześnie najtańszy jest proces biologiczny polegający na rozkładzie ligniny przez enzymy wytwarzane przez grzyby białej zgnilizny drewna, do których należą m.in. grzyby z klasy *Basidiomycetes* (Podstawczaki). Proces degradacji związków lignino-

celulozowych zachodzi podczas hodowli tych grzybów w podłożu stałym – HPS (ang. SSF – solid state fermentation), czyli w środowisku, w którym brak wody niezwiązanej z podłożem. Jako składniki podłoża, w zależności od regionu świata, stosowane są: słoma pszenna [1, 2, 11, 18, 32, 33, 35], słoma ryżowa [3, 22], łodygi roślin motylkowych [26], wytloki jabłkowe [34], odpady po produkcji kawy [7] i herbaty [14], odpady powstałe przy przerobieniu bawełny [13], odpady powstałe przy produkcji „wiórków kokosowych” [28], odpady z trzciny cukrowej [21] oraz odpady po zbiorze bananów [23].

Surowce te po rozdrobnieniu, nawilżeniu, obróbce termicznej i zmieszaniu z materiałem posiewowym umieszcza się w workach, skrzynkach, na tacach lub w kontenerach, w których utrzymuje się optymalne warunki do wzrostu grzybów i wytwarzania przez nie enzymów. Uzyskana po zakończeniu hodowli biomasa składa się z enzymatycznie rozłożonego surowca roślinnego obficie przerośniętego grzybnia. Dodatkowo wzbogacona jest ona o pochodzące z grzybni wartościowe składniki takie jak: białko, witaminy (szczególnie z grupy B), tłuszcze, węglowodany, aminokwasy, składniki mineralne i związki o właściwościach cytostatycznych [4].

Wykorzystanie grzybów z rodzaju *Pleurotus* w procesie delignifikacji słomy i odpadowych surowców ligninocelulozowych

Aby degradacja związków ligninocelulozowych była efektywna trzeba przede wszystkim dysponować wysokowydajnym szczepem grzyba oraz ustalić czynniki wpływające na jego wzrost i wytwarzanie enzymów. Szczególnie przydatne do delignifikacji odpadów rolnych są grzyby z rodzaju *Pleurotus* (bocznik) wytwarzające oprócz enzymów ligninolitycznych także enzymy ksylanolityczne i celulozolityczne [4, 9, 30]. Grzyby te są wykorzystywane również do produkcji owocników do celów spożywczych. Zarówno w uprawie towarowej bocznika, jak i w procesie uszlachetniania surowców ligninocelulozowych wyróżnia się fazę wzrostu grzybni, podczas której zachodzi przerastanie podłoża i wytwarzanie enzymów. Dlatego ten etap hodowli może być przeprowadzany podobnie.

Istotny wpływ na wzrost grzybów z rodzaju *Pleurotus* i intensywność wytwarzania przez nie enzymów mają: rodzaj surowca i jego wilgotność początkowa, sposób obróbki termicznej podłoża, ilość i rodzaj materiału posiewowego oraz warunki hodowli (temperatura, wilgotność względna).

Poziom nawilżenia podłoża stałego zależy od użytych odpadów. Hadar i in. [9] uważają, że w przypadku degradacji związków ligninowych w odpadach po zbiorze bawełny przez *P. ostreatus*, wilgotność początkowa powinna wynosić 70%. Fan i in. [7] prowadząc hodowlę grzybów z gatunku *P. ostreatus* na odpadach po produkcji

kawy o wilgotności początkowej od 45% do 75% stwierdzili, że najlepszy wzrost grzybów oraz najwyższy stopień degradacji związków ligninocelulozowych zachodził, gdy wilgotność początkowa wynosiła 60–65%. Zwiększenie wilgotności podłoża do 70–75% hamowało wzrost grzybów i wytwarzanie enzymów. Autorzy tłumaczą to tym, że w warunkach nadmiernej wilgotności surowca woda powoduje obniżenie jego porowatości, co hamuje proces przenoszenia tlenu w podłożu. Natomiast przy zbyt niskiej wilgotności dochodzi do ograniczenia dostępu grzyba do składników odżywczych podłoża, co objawia się słabszym wzrostem i negatywnie wpływa na metabolizm. Tsang i in. [31] w przypadku prowadzenia procesu delignifikacji słomy pszennej z użyciem szczepów z rodzaju *Pleurotus* polecają nawilżanie podłoża do 75% wilgotności. Zbliżony poziom wilgotności słomy pszennej użytej do hodowli grzyba *P. ostreatus* proponują Gapiński i in. [8]. Według tych autorów wilgotność podłoża stałego nie powinna być niższa niż 68% i nie wyższa niż 72%. Przy tej wilgotności następuje najintensywniejszy przyrost biomasy grzyba i szybkie opanowanie środowiska hodowlanego. Także Czakaj i in. [6], badając wpływ nawilżenia słomy pszennej na wzrost *P. sajor-caju* i stopień degradacji frakcji włókna (NDF, ADF i ADL), zaobserwowali, że grzyb znacznie szybciej opanowywał i przerastał słomę mającą 70% wilgotności niż podłoża o niższej wilgotności. Po 15. dobach praktycznie cała objętość podłoża była przerośnięta białymi strzępkami grzybnii. W przypadku podłoża o wilgotności 60% taki efekt uzyskano dopiero po 20. dobach, a o wilgotności 50% nawet po 30. dobach podłoże nie było przerośnięte przez grzybnie. Poza tym w hodowlach w podłożach o większej zawartości wody stwierdzano lepszy efekt degradacji detergentowych frakcji włókna. Po 30 dobach hodowli *P. sajor-caju* na słomie pszennej nawilżonej do 70% wilgotności zawartość frakcji ADL zmniejszyła się o 47%, hemiceluloz o 44,6%, a celulozy o 17,3%.

Najczęściej do nawilżania odpadów ligninocelulozowych przeznaczonych do hodowli grzybów z rodzaju *Pleurotus* stosowano wodę. O możliwości wykorzystania żytniego i ziemniaczanego wywaru gorzelniczego jako środka do nawilżania podłoża przeznaczonego do hodowli grzybów z rodzaju *Pleurotus* piszą Kopiński [15] i Łabętowicz i in. [17]. Również Sokół i in. [27] proponują wykorzystanie gorzelniczego wywaru kukurydzianego w biologicznym procesie uzdatniania słomy. Dzięki temu wywar gorzelniczy mógłby zostać w znacznie większym stopniu zagospodarowany.

Innym czynnikiem decydującym o przebiegu procesu delignifikacji jest obróbka termiczna podłoża przeznaczonego do hodowli. Reid [24] podkreśla, że odpady ligninocelulozowe są często zanieczyszczone różnymi rodzajami grzybów strzępkowych, które zwykle znacznie szybciej kolonizują środowisko niż grzyby białej zgnilizny drewna. Dlatego zaleca dopracowanie procesu pasteryzacji tych odpadów przed ich dalszym przetwarzaniem. Również Gapiński i in. [8] uważają, że dla każdego surowca ligninocelulozowego stosowanego jako podłoże do hodowli grzybów *Pleurotus* należy dobrać eksperymentalnie optymalny czas pasteryzacji. Według tych autorów pasteryzacja odpadów ligninocelulozowych pochodzenia rolniczego powinna być

prowadzona w temperaturze 60°C przez 24–72 godziny. Temperatura pasteryzacji nie powinna być wyższa niż 65°C. Powyżej tej temperatury następuje bowiem gromadzenie się w podłożu cukrów prostych łatwo dostępnych dla konkurencyjnych grzybów strzępkowych takich jak: *Penicillium* i *Trichoderma*. Opanowują one szybko środowisko i hamują wzrost grzybów z rodzaju *Pleurotus*. Instytut Badań Agrobiologicznych we Francji [8] poleca stosowanie szybkiej pasteryzacji lub tzw. pasteryzacji kontrolowanej podłoża zawierających słomę zbóż. Pasteryzacja szybka trwa ok. 36 godzin i polega na doprowadzeniu temperatury powietrza w komorze pasteryzacyjnej do 60–61°C i utrzymaniu jej do momentu uzyskania takiej samej temperatury w podłożu. Po czym obniża się temperaturę podłoża do 53–56°C i utrzymuje na tym poziomie przez 18–21 godzin. Natomiast pasteryzacja kontrolowana trwa 5 dni i polega na podwyższaniu za pomocą pary wodnej temperatury powietrza i podłoża do 60°C i utrzymaniu jej na tym poziomie przez 6–8 godzin. Następnie temperaturę podłoża obniża się do 48–52°C i utrzymuje przez 3–4 dni. Royse i in. [25] zalecają, aby rozdrobnioną i nawilżoną słomę pszenną rozłożyć na tacach, poddać pasteryzacji parą o temperaturze 63°C przez 2 godziny, a następnie schłodzone podłoże zaszcześcić grzybnią *Pleurotus sajor-caju*. Ziombra [37] stwierdziła, że nawilżoną do 70% słomę pszenną przeznaczoną do hodowli grzyba *Pleurotus eryngii* wystarczy pasteryzować w temperaturze 58–60°C przez 48 godzin, a podłoże ze słomy żytniej przez 72 godziny. Hüttermann i in. [10] zaproponowali nowatorski sposób pasteryzacji przy użyciu energii słonecznej. Contreras i in. [5] zamiast pasteryzacji proponują zniszczenie obcej mikroflory poprzez moczenie surowca ligninocelulozowego m.in. słomy w 0,5% roztworze wapna palonego przez 12–36 godzin. Okazało się jednak, że w tak przygotowanym podłożu nie występowały grzyby strzępkowe, natomiast były obecne bakterie z rodzaju *Pseudomonas*, *Bacillus* i bakterie grupy coli.

Na szybkość opanowania środowiska hodowlanego przez grzyby z rodzaju *Pleurotus* i w efekcie na czas trwania procesu delignifikacji surowca ma wpływ ilość wprowadzonego materiału posiewowego (inokulum). Im więcej inokulum wprowadzi się do podłoża, tym szybciej jest ono przerastane przez grzybnię. Badania przeprowadzone przez Gapińskiego i in. [8] wykazały, że *Pleurotus ostreatus* po 8–9 dniach całkowicie przerastał podłoże z osadek kolb kukurydzy, gdy materiał posiewowy stanowił 6% masy podłoża; po 10–11 dniach, gdy inokulum stanowiło 5% masy podłoża i po 14–15 dniach, gdy stanowiło 3% masy podłoża. Przy zbyt małej ilości materiału posiewowego w stosunku do masy podłoża przerastanie zachodzi wolniej i w związku z tym istnieje ryzyko infekcji. Należy jednak zawsze brać pod uwagę koszt przygotowania inokulum i osiągnięty efekt delignifikacji po określonym czasie hodowli. W piśmiennictwie podane są różne dane dotyczące ilości materiału posiewowego stosowanego w procesie biodegradacji. Do podłoża przeznaczonego do delignifikacji wprowadzano od 2,5% do nawet 25% inokulum [1, 2, 7, 20, 36]. W większości badań jako inokulum stosowano przerośnięte grzybnią ziarno zbóż, np. pszenicy, jęczmienia lub sorga [20, 23, 29, 36]. Wybór ziarna zbóż jako podłoża do namnażania inokulum

większość autorów tłumaczy tym, że porośnięte grzybnią ziarno można łatwo i równomiernie wymieszać z surowcem poddawany biodegradacji.

Ważnymi czynnikami procesu hodowli grzybów z rodzaju *Pleurotus* są wilgotność względna powietrza i temperatura. Wilgotność względna powietrza powinna być utrzymywana na poziomie 85–90%. Zapobiega to wysychaniu podłoża podczas hodowli. Optymalna temperatura do wzrostu grzybów z rodzaju *Pleurotus* wynosi 26–27°C. Temperatura powyżej 30°C hamuje wzrost grzybni, obniża wydajność biosyntezy enzymów i aktywizuje konkurencyjne grzyby pleśniowe, których zarodniki nie zostały zniszczone podczas obróbki termicznej lub wtórnie zasiedliły podłoże.

Bardzo ważne jest, aby słoma przeznaczona do uszlachetniania metodą biologiczną nie była zanieczyszczona mechanicznie, stęchła i porażona grzybami. W przypadku nadmiernego rozwoju grzybów strzępkowych wzrasta prawdopodobieństwo pojawienia się mikotoksyn. Jednak, jak podaje literatura, zagrożenie to może być częściowo ograniczone, dzięki zdolności grzybów z rodzaju *Pleurotus* do wytwarzania enzymów rozkładających aflatoksyny [19].

Efekt delignifikacji słomy i odpadowych surowców ligninocelulozowych

Podczas procesu delignifikacji słomy i odpadów rolnych przez grzyby z rodzaju *Pleurotus* zachodzą zmiany w składzie chemicznym podłoża, co wpływa korzystnie na polepszenie jego strawności.

Moyson i Verachtert [20] stwierdzili, że po 12 tygodniach hodowli szczepów *P. pulmonarius* i *P. sajor-caju* na podłożu ze słomy pszennej ilość ligniny w surowcu zmniejszyła się z 12,1 do 4,5%, hemiceluloz z 30,3 odpowiednio do 12,7% i 12,3%, celulozy z 40,0 do 36,2% i 34,1%, a strawność zwiększała się z 29,8 do 58,1% i 59,2%. Valmaseda i in. [32] prowadząc 30-dobową hodowlę *P. ostreatus* na słomie pszennej zaobserwowali, że zawartość ligniny w podłożu obniżyła się o 15%, natomiast ilość białka zwiększyła się o 50%, strawność substratu zaś wzrosła o 18%. Bisaria i in. [2] stwierdzili, że po 20. dobach hodowli *P. sajor-caju* na słomie pszennej zawartość białka ogólnego w podłożu zwiększyła się z 3,1 do 7,5%, natomiast zawartość celulozy zmniejszyła się z 30,8 do 13,6%, hemiceluloz z 25,8 do 13,4%, ligniny z 13,6 do 6,4%, a strawność suchej masy oznaczona metodą *in vitro* zwiększyła się z 27,2 do 36,8%. Podobne zmiany w składzie chemicznym słomy zbożowej, zachodzące podczas jej degradacji przez szczepy z rodzaju *Pleurotus*, odnotowali też inni autorzy [1, 12]. Hadar i in. [9] stwierdzili, że po 4 tygodniach hodowli szczepu *P. ostreatus* na odpadach po produkcji bawełny znacznie obniżała się zawartość ligniny w surowcu przy jednoczesnym zwiększeniu jego strawności. Uzyskany produkt był następnie suszony, mielony i dodawany w ilości 30% jako komponent dawki pokarmowej przeznaczonej dla zwierząt.

czonej dla owiec. Poza tym pasza w skład dawki wchodziła sieczka słomy pszennej (30%) i ziarno (40%). Kutlu i in. [16] prowadzili badania nad wykorzystaniem grzyba *P. florida* do polepszenia strawności i wartości pokarmowej słomy pszennej. W wyniku 80-dobowej hodowli następowało zwiększenie jej strawności o 22% oraz zwiększenie zawartości białka ogółem o 60%, tłuszczu surowego o 20%, związków bezazotowych wyciągowych o 5%, natomiast zawartość włókna zmniejszała się o około 16%. Również Hüttermann i in. [10] przeprowadzając badania in vitro i in vivo wykazali, że wykorzystując grzyby z rodzaju *Pleurotus* do uszlachetniania słomy zbóż i odpadów po zbiorze bawełny z przeznaczeniem na paszę, uzyskuje się produkt o wyższej wartości odżywczej i lepszej strawności dla zwierząt przeżuwających.

Podsumowanie

Uszlachetnianie słomy i odpadów zawierających związki ligninocelulozowe wymaga zastosowania technik możliwie najprostszych i zarazem pozwalających na uzyskanie produktu o lepszej strawności i wyższej wartości pokarmowej. Z cytowanej w tym artykule literatury, a także badań własnych [6, 27] wynika, że jedną z takich metod może być biologiczna delignifikacja przebiegająca w trakcie hodowli grzybów np. z rodzaju *Pleurotus* w podłożu stałym. Dysponując wysokowydajnym szczepem grzyba i dobierając optymalne warunki do jego wzrostu i biosyntezy enzymów uzyskuje się po zakończeniu hodowli biomasę składającą się z enzymatycznie rozłożonego odpadowego materiału roślinnego obficie przerośniętego grzybnią. W poddawanych uszlachetnianiu surowcach znacznie zmniejsza się zawartość ligniny, hemiceluloz i celulozy, a wzrasta zawartość białka. Ponadto biomasa wzbogacana jest o pochodzące z grzybni witaminy, aminokwasy i związki o właściwościach cytostatycznych. Taka metoda uszlachetniania słomy i odpadów zawierających związki ligninocelulozowe mogłaby znaleźć zastosowanie w praktycznym żywieniu niektórych zwierząt, pod warunkiem opracowania niedrogich, wysokowydajnych urządzeń technicznych. Wymagałoby to jednak jeszcze dalszych badań w kierunku określenia smakowitości oraz strawności tak przygotowanej paszy.

Literatura

- [1] Azizi A., Fazaeli H., Jelan Z.A.M. 1999. The effect of growing *Pleurotus* fungi on the chemical composition and in vitro digestibility of wheat straw. Proceedings of 99 International Conference on Agricultural Engineering, Beijing, China, www.lib.ksu.edu/depts/issa/china/icae/part3/be1.pdf.
- [2] Bisaria R., Madan M., Vasudevan P. 1997. Utilization of agro-residues as animal feed through bioconversion. *Bioresour Technol.* 59: 5–8.

- [3] Bonatti M., Karnopp P., Soares H.M., Furlan S.A. 2004. Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when cultivated in different lignocellulosic wastes. *Food Chem.* 88(3): 425–428.
- [4] Cohen R., Persky L., Hadar Y. 2002. Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 58: 582–594.
- [5] Contreras E.P., Sokolov M., Mejia G., Sanchez J.E. 2004. Soaking of substrate in alkaline water as a pretreatment for the cultivation of *Pleurotus ostreatus*. *J. Horticult. Sci. Biotechnol.* 79(2): 234–240.
- [6] Czakaj J., Ryszka L., Krakowiak A., Sokół J.L., Kosieradzka I., Sawosz E. 2005. Ocena zdolności grzyba *Pleurotus sajor-caju* do degradacji związków ligninocelulozowych słomy zbóż. Mat. sympoz. nauk. „Biotechnologia środowiskowa”, Wisła-Jarzębata, 6–9 XII 2005: 123–127.
- [7] Fan L., Pandey A., Mohan R., Soccol C.R. 2000. Use of various coffee industry residues for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* in solid-state fermentation. *Acta Biotechnol.* 20(1): 41–52.
- [8] Gapiński M., Woźniak W., Ziombra M. 2001. Boczniak. Technologia uprawy i przetwarzania. Wydawnictwo PWRiL, Poznań: 264 ss.
- [9] Hadar Y., Kerem Z., Gorodecki B. 1993. Biodegradation of lignocellulosic agricultural wastes by *Pleurotus ostreatus*. *J. Biotechnol.* 30: 133–139.
- [10] Hüttermann A., Hamza A.S., Chet I., Majcherczyk A., Fouad T., Badr A., Cohen R., Persky L., Hadar Y. 2000. Recycling of agricultural wastes by white-rot fungi for the production of fodder for ruminants. *Agro-Food Ind. Hi-Tech.* Nov/Dec: 29–32.
- [11] Isikhuemhen O.S., Nerud F., Vilgalys R. 2000. Cultivation studies on wild and hybrid strains of *Pleurotus tuberregium* (FR.) on wheat straw substrate. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 16(5): 431–435.
- [12] Jalc D., Nerud F., Zitnan R., Siroka P. 1998. The effectiveness of biological treatment of wheat straw by white-rot fungi. *Folia Microbiol.* 43(6): 687–689.
- [13] Kerem Z., Hadar Y. 1995. Effect of manganese on preferential lignin degradation by *Pleurotus ostreatus* during solid-state fermentation. *Appl. Environm. Microbiol.* 61: 3057–3062.
- [14] Kokhraidze N.G., Elisashvili V.I. 1993. Lignocellulolytic activity of *Pleurotus ostreatus* IBK-191 in solid-phase fermentation of the wastes of tea production. *Appl. Biochem. Microbiol.* 29(2): 169–173.
- [15] Kopiński L. 2000. Zagospodarowanie wywaru gorzelniczego za pomocą grzybni boczniaka. Mat. sem. nauk. „Aktualne problemy gorzelnictwa rolniczego. Nauka-Przemysł”. Bydgoszcz 14 VI 2000: 11–23.
- [16] Kutlu H.R., Görgülü M., Baykal L., Özcan N., Büyükalaca S. 2000. Effects of *Pleurotus florida* inoculation or urea treatment on feeding value of wheat straw. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 24: 169–175.
- [17] Łabętowicz J., Rutkowska B., Gutowska A., Stępień W. 2004. Możliwości pozarolniczego wykorzystania wywarów gorzelnicznych. *Post. Nauk Rol.* 4: 113–119.
- [18] Morais H., Ramos C., Forgacs E., Cserhati T., Oliviera J. 2001. Lignin-modifying enzymes of *Pleurotus ostreatus* grown on agro-residues. *Acta Aliment.* 30(4): 363–372.

- [19] Motomura M., Toyomasu T., Mizuno K., Shinozawa T. 2003. Purification and characterisation of aflatoxin degradation enzyme from *Pleurotus ostreatus*. *Microbiol. Reas.* 158(3): 237–242.
- [20] Moyson E., Verachtert H. 1991. Growth of higher fungi on wheat straw and their impact on the digestibility of the substrate. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 36: 421–424.
- [21] Pani B.K., Panda S.N., Das S.R. 1998. Bioconversion of sugarcane crop wastes into food by oyster mushroom *Pleurotus sajor-caju*. *Crop Res.* 15(2, 3): 879–882.
- [22] Rajarathnam S., Shashirekha M.N., Zakia B. 2001. Biodegradation of gossypol by the white oyster mushroom *Pleurotus florida* during culturing on rice straw growth substrate supplemented with cottonseed powder. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 17(3): 221–227.
- [23] Reddy G.V., Ravindra Babu P., Komaraiah P., Roy K.R.R.M., Kothari I.L. 2003. Utilisation of banana waste for the production of lignolytic and cellulolytic enzymes by solid substrate fermentation using two *Pleurotus* species (*P. ostreatus* and *P. sajor-caju*). *Process Biochem.* 38: 1457–1462.
- [24] Reid D.I. 1989. Solid-state fermentation for biological delignification. *Enzyme Microbiol. Technol.* 11: 786–804.
- [25] Royse D.J., Fales S.L., Karunanadaa K. 1991. Influence of formaldehyde-treated soybean and commercial nutrient supplementation on mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) yield and in vitro dry matter digestibility of spent substrate. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 36: 425–429.
- [26] Sarikaya A., Ladisch M.R. 1999. Solid-state fermentation of lignocellulosic plant residues from *Brassica napus* by *Pleurotus ostreatus*. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 82(1): 1–15.
- [27] Sokół J.L., Kosieradzka I., Sawosz E., Czakaj J., Ryszka L., Krakowiak A. 2004. Zmiany w składzie chemicznym słomy żytniej poddanej działaniu grzybów z rodzaju *Pleurotus*. *Ann. Agricult. Univ. SGGW, Anim. Sci.* (special number): 117–122.
- [28] Soto-Cruz O., Saucedo-Castanda G., Pablos-Hach J.L., Gutierrez-Rojaz M., Favela-Torres E. 1999. Effect of substrate composition on the mycelia growth of *Pleurotus ostreatus*. An analysis by mixture and response surface methodologies. *Process Biochem.* 35(1/2): 127–133.
- [29] Thomas G.V., Prabhu S.R., Reeny M.Z., Bopaiah B.M. 1998. Evaluation of lignocellulosic biomass from coconut palm as substrate for cultivation of *Pleurotus sajor-caju* (FR.). SINGER. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 14: 879–882.
- [30] Tour U., Winterhalter K., Fiechter A. 1995. Enzymes of white-rot fungi involved in lignin degradation and ecological determination for wood decay. *J. Biotechnol.* 41: 1–17.
- [31] Tsang J. L., Reid D.I., Coxworth E.C. 1987. Delignification of wheat straw by *Pleurotus* spp. under mushroom growing conditions. *Appl. Environm. Microbiol.* 53(6): 1304–1306.
- [32] Valmaseda M., Martinez M.J., Martinez A.T. 1991. Kinetics of wheat straw solid-state fermentation with *Trametes versicolor* and *Pleurotus ostreatus* – lignin and polysaccharide alteration and production of related enzymatic activities. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 35: 817–823.
- [33] Vetter J. 1994. Mineral elements in the important cultivated mushrooms *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus*. *Food Chem.* 50: 277–279.
- [34] Villas-Boas S.G., Esposito E., Matos de Mendonca M. 2000. Bioconversion of apple pomace into nutritionally enriched substrate by *Candida utilis* and *Pleurotus ostreatus*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 19(5): 461–467.

- [35] Xie-Jun, Sun-Xun, Ren-Lu, Zhang-Yi-Zheng 2001. Studies on lignocellulolytic enzyme production and biomass degradation of *Pleurotus* sp. and *Trametes gallica* in wheat straw culture. *Chinese J. Biotechnol.* 17(5): 575–578.
- [36] Yildiz A., Karakaplan M., Aydin F. 1998. Studies on *Pleurotus ostreatus* (JACQ. ex FR.) KUM. var. *salignus* (PERS. ex. FR.) KONR. et MAUBL.: cultivation, proximate composition, organic and mineral composition of carpophores. *Food Chem.* 61(1/2): 127–130.
- [37] Ziombra M. 2001. Influence of preparation method of substrate on the yielding of *Pleurotus eryngii* (FR.) quel. *Vegetable Corps Res. Bull.* 54(1): 223–226.

Conditioning of straw and lignocellulosic plant residues by fungi of the *Pleurotus* genus

Key words: straw, lignocellulosic plant residues, *Pleurotus*, biodegradation, chemical composition, digestibility

Summary

Utilization of fibrous crop residues by the ruminants, even as a source of energy, is limited because the rumen microbial population does not reveal the lignolytic activity. The use of straw as animal feed is limited also by its low nutritive value and low nitrogen content. Biological delignification of straw and other fibrous crop residues seems to be the most promising way of improving their digestibility.

Biodegradation of the lignocellulosic components of straw and agricultural wastes by white-rot fungi of the *Pleurotus* genus cultivated in the solid-state fermentation (SSF), was described in the paper. The solid-state fermentation is a complex process, influenced by the factors such as fungus species, kind of substrate used, its preparation, moisture content, temperature and inoculum ration. The *Pleurotus* genus degrades lignocellulose with obvious selectivity for lignin, resulting in increased digestibility of the remaining organic matter.