

燻煙熱処理製材工場残材 (米マツ, ロシアアカマツ) を用いた キノコの菌床栽培

Sawdust-Based Cultivation of Mushrooms by Using Residual Lumber Smoke-Heated

奥 竹史^{1,2}, 石栗 太^{1,2,3}, 為我井淳一², 大友 麻里²,
横田 信三², 吉澤 伸夫², 辺見 恒也⁴

Takeshi OKU^{1,2}, Futoshi ISHIGURI^{1,2,3}, Junichi TAMEGAI², Mari OTOMO²,
Shinso YOKOTA², Nobuo YOSHIZAWA², Tuneya HENMI⁴

¹ 東京農工大学大学院連合農学研究科 〒183-8509 府中市幸町3-5-8

² 宇都宮大学農学部森林科学科森林資源利用学研究室 〒321-8505 宇都宮市峰町350

³ 日本学術振興会特別研究員

⁴ 株式会社ナムラ 〒327-0831 佐野市浅沼町898

¹ United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and
Technology, Fuchu 183-8509, Japan

² Laboratory of Forest Products, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture,
Utsunomiya University, Utsunomiya 321-8505, Japan

³ Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science

⁴ Namura Corporation, Sano 327-0831, Japan

要 旨

ヒラタケ及びシイタケ菌床栽培の原料としての米マツ及びロシアアカマツ木粉の利用の可能性について検討した。ヒラタケ栽培試験において、米マツ木粉を用いた菌床では、一番発生の子実体収量は、燻煙熱処理木粉を用いることにより増加し、ブナ培地と同等の子実体収量が得られた。ロシアアカマツ木粉を用いた菌床では、ほとんど差が認められなかった。一方、シイタケ栽培試験においては、これらの木粉は栽培に適しておらず、4ヶ月の栽培試験で、燻煙熱処理木粉の培地から数本の子実体只得られただけであった。

キーワード：燻煙熱処理, きのこと栽培, 製材工場残材, シイタケ, ヒラタケ

Summary

Utilization of the Douglas fir (*Pseudotsuga taxifolia*) and Russian red pine (*Pinus* spp.) sawdust for sawdust-based cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *Lentinula edodes* was investigated. In *P. ostreatus* cultivation by using Douglas fir sawdust, the first yield of fruiting bodies was improved by using smoke-heated sawdust, suggesting that use of this sawdust is possible for sawdust-based cultivation of this mushroom as well as beech (*Fagus crenata*) sawdust, whereas in Russian red pine sawdust, the first yield of fruiting bodies was almost the same as those by using smoke-heated sawdust. On the other hand, in *L. edodes* cultivation, only a few fruiting bodies were obtained in the medium which was made

with smoke-heated sawdust during 4-month cultivation, suggesting that sawdust of both species were not suitable for the cultivation of *L. edodes*.

Keywords: Smoke heating, Mushroom cultivation, Residual lumber, *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus*

1. 緒言

近年、食用キノコは健康志向の高まりや周年栽培の拡大により年々その生産量は増加しているが、その栽培の原料となる広葉樹木粉の不足と価格の上昇が問題となっている。特に生シイタケに至っては、中国からの輸入量増加に伴い生産者の収益性は著しく低下し、セーフガードの発動が検討されており、早急に収益性の改善が求められている。

木粉原料として安価で豊富に存在する針葉樹木粉の利用が考えられているが、ヒラタケ、エノキタケ、ブナシメジなどの食用キノコを除き、シイタケ、マイタケ、ナメコなどの食用キノコについては現在の所、針葉樹木粉を利用した栽培は困難である。その原因として、多くの研究者により、阻害成分⁴⁾、水分条件⁵⁾など様々な要因が指摘されている。筆者ら¹⁾は、針葉樹中の阻害成分が原因の一つであると考え、その除去・変性を目的として燻煙熱処理を行ったスギ、カラマツを用いて菌床栽培を行い、燻煙熱処理を行うことにより、子実体収量の増加が認められることを報告した。

一方、現在我が国の製材用木材供給量に占める割合は、国産材1,300万 m^3 に対して輸入製材品1,500万 m^3 及び輸入製材用丸太1,300万 m^3 であり¹⁾、約7割を輸入材が占めている。スギ、カラマツ未利用間伐材と比較しても、かなり多量の外国産材の製材残材が生じているものと考えられる。しかしながら、これら製材工場から排出される残材はほとんど焼却処分されており、有効利用されていないのが現状である。そこで、これら製材残材の利用法の一つとして、キノコ栽培用の木粉として使用することが考えられる。

本研究では、製材工場で大量に焼却廃棄される米マツ、ロシアアカマツの製材残材を燻煙熱処理し、ヒラタケおよびシイタケ栽培の菌床木粉としての利用可能性を検討した。

2. 材料と方法

2.1 供試菌株

シイタケ (*Lentinula edodes* (Berk.) Sing.) 森8590号、ヒラタケ (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr.) Kummer) 森39号を供試菌株として用いた。

2.2 供試木粉

製材工場残材として排出された長さ0.5~1 mの米マツ (*Pseudotsuga taxifolia*)、ロシアアカマツ (*Pinus* spp.) を使用した。残材の燻煙熱処理は、安藤ら²⁾の方法に従い、材温 80 ± 10 °Cで約30時間行った。処理後、無処理材、燻煙熱処理材をそれぞれ木粉にし、キノコの栽培試験に用いた。これらの木粉(無処理材、燻煙熱処理材)に加え、対照区として市販のブナ木粉を使用した。

2.3 培地調製

木粉とフスマを4:1 (W/W) の割合で混合し、含水率65%に調整した培地をフィルター付きポリプロピレン袋に重量が1kgになるように詰め、これを菌床として使用した。なお菌床は、一処理区に付き10個作製した。培養期間はヒラタケで43日間、シイタケで90日間とした。ヒラタケ菌床は、発生処理時と発生処理30日後に菌掻き処理(平掻き)を行い、60日間発生処理を行った。なお、最初の菌掻き後30日間を一番発生、二回目の菌掻き後30日間を二番発生とした。シイタケ菌床では発生処理30日後に浸水処理を行い、90日間発生を行った。培養は、両菌共に温度22°C、湿度70%で行い、ヒラタケの発生は温度12°C、湿度90%、シイタケの発生は15°C、湿度95%で行った。また、培養終了までにカビの発生した菌床はその都度廃棄し、その数を測定した。

2.4 抽出成分分析

米マツ、ロシアアカマツ共に無処理、燻煙熱処理済

みの各木粉(40~80メッシュ)をメタノール及び温水で抽出処理を行った。メタノール抽出は、木粉試料2gをソックスレー抽出器を用いて150mlのメタノールで6時間、温水抽出は、木粉試料2gを200mlの沸騰蒸留水で3時間、それぞれ抽出処理を行った。

2.5 ホロセルロース量

上記メタノール抽出によって得られた脱脂木粉を用いてホロセルロース量を定量した。ホロセルロースは脱脂木粉1.3gを75mlの水に添加し、その溶液に1時間毎に0.5gずつ亜塩素酸ナトリウムを添加し、70℃で5時間加熱することにより得た。

3. 結果と考察

3.1 菌糸蔓延日数

Table 1に各菌床における菌糸蔓延日数を示す。ヒラタケ菌床の菌糸蔓延日数において、米マツの無処理区を除き、ブナとの有意差は認められなかった。米マツ培地では、燻煙熱処理菌床で菌糸蔓延日数が短縮される傾向を示したが、無処理菌床との間に有意差は認められなかった。シイタケ菌床では、ブナ培地と比較して明らかな菌糸蔓延日数の遅れが認められた。菌糸蔓延日数の遅れは、無処理・処理菌床共に米マツでは約9日、ロシアアカマツでは約12日であった。また両樹種共に、燻煙熱処理のシイタケの菌糸伸長に及ぼす促進効果は認められなかった。

金城と近藤⁵⁾は、シャーレを用いて菌糸伸長試験を行い、米マツ木粉ではシイタケ、ヒラタケ菌共に菌糸伸長が認められず、シイタケ菌では25%の米ぬかを培

地に栄養添加剤として添加しても菌糸伸長が認められなかったことを報告している。しかしながら、本実験において、シイタケ菌床では菌糸蔓延の遅れは認められたが、ヒラタケ菌床ではブナ培地と同程度の菌糸蔓延日数が得られており、ヒラタケ菌に関しては、菌糸伸長量は樹種の影響を余り受けないことが示された。一般に、ヒラタケ栽培はスギ木粉を用いて行われ、この場合ヒラタケ菌は木粉培地を余り分解せずに添加物の栄養のみで伸長すると言われており¹³⁾、菌床の通気環境、水分環境を整えれば良好な菌糸伸長が得られるものと考えられる。

Yoshizawaら¹⁴⁾は、燻煙熱処理したスギ木粉を使用した場合、シイタケ菌糸伸長量が増加することを報告している。しかしながら、本研究において、米マツ、ロシアアカマツに燻煙熱処理を行っても、菌糸伸長に大きなプラスの効果は認められなかった。この原因として、燻煙熱処理は通常生材に対して行なわれているが、今回使用した製材残材は乾燥材であり、含水率条件が不適切であったため、十分な効果が得られなかったものと考えられる。今後、シイタケについては、培地の物理的条件を検討すると共に、残材を水槽中に浸漬した後に処理を行うなど、燻煙熱処理の方法についてさらに検討する必要がある。

3.2 ヒラタケ栽培試験

ヒラタケ栽培試験における一菌床あたりの子実体収量をFig.1に示す。一番発生では、米マツ燻煙熱処理材木粉を用いた場合、無処理木粉に比べて比較的高い子実体収量が得られ、その収量は、ブナ培地とほとんど変わらなかった。一方、ロシアアカマツの木粉を用いた場合、燻煙熱処理による収量の差はほとんど認められなかった。しかしながら、二番発生では、子実体収量は、無処理材の方が高く、総子実体収量では大きな差は認められなかった。一番発生のみに限定した時、さらに培地の物理的条件を改善することによって燻煙熱処理した米マツ木粉を使用できる可能性が示唆された。

Table 2に無処理材及び燻煙熱処理材の温水抽出物及びメタノール抽出物量を示す。米マツ、ロシアアカマツ共に燻煙熱処理を行うことによって温水抽出物量が増加した。一方、メタノール抽出物量は、両樹種共に燻煙熱処理を行うことにより減少傾向を示したが、

Table 1. Colonization period of each sawdust bed

Fungus	Sawdust	Treatment	Colonization period
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Beech	-	28.0 ± 0.0
	Douglas fir	-	30.7 ± 0.9*
		Smoke-heated	28.0 ± 0.0
	Russian red pine	Smoke-heated	28.6 ± 1.3
<i>Lentinula edodes</i>	Beech	-	34.5 ± 2.4
	Douglas fir	-	43.5 ± 1.6*
		Smoke-heated	43.0 ± 0.0*
	Russian red pine	Smoke-heated	47.5 ± 1.6*

*: Significant at 5% level

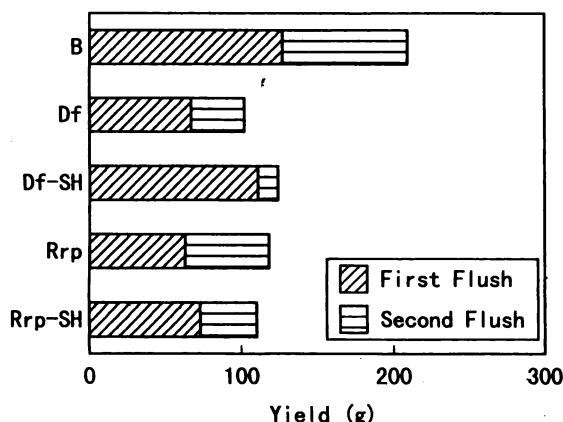


Fig. 1. Effects of the smoke-heated treatment on the yield of fruiting body (fresh weight) in the sawdust-based cultivation of *Pleurotus ostreatus*. B: Beech, Df: Douglas fir, Df-SH: Douglas fir smoke-heated, Rrp: Russian red pine, Rrp-SH: Russian red pine smoke-heated.

First flush indicates the yields of fruiting bodies during 30 days after the first Kinkaki treatment. Second flush indicates the yields of fruiting bodies during 30 days after the second Kinkaki treatment.

Table 2. Amount of methanol and hot-water extracts of wood meal

Species	Solvent	Non-treated (%)	Smoke-heated (%)	Increase ratio (%)
Douglas fir	Methanol	3.7 ± 0.2	3.4 ± 0.1	-8.1
	Hot-water	5.0 ± 0.3	6.8 ± 0.1	36.0 *
Russian red pine	Methanol	7.5 ± 0.1	5.7 ± 0.3	-24.0 *
	Hot-water	4.8 ± 0.0	5.8 ± 0.1	20.8 *

*: Significant at 5% level

Table 3. Holocellulose contents

Species	Non-treated (%)	Smoke-heated (%)	Increase ratio (%)
Douglas fir	74.8 ± 1.0	70.8 ± 0.6	-5.3 *
Russian red pine	80.1 ± 0.7	78.8 ± 0.4	-1.6

*: Significant at 5% level

米マツでは有意差は認められなかった。

Table 3 に無処理材及び燻煙熱処理材のホロセルロース量を示す。米マツでは、燻煙熱処理を行うことによりホロセルロース量は減少した。しかしながら、ロシアアカマツでは、燻煙熱処理を行うことによりホロセルロース量は減少傾向を示したが、有意差は認められなかった。

本実験において、米マツの一番発生の子実体収量は燻煙熱処理を行うことによって増加する傾向が見られた。Yoshizawa ら¹⁰ はスギ及びカラマツ材に燻煙熱処理を行い、処理前後でセルロース、ヘミセ

ルロース等の主成分はほとんど変化しないことを報告している。しかしながら、本実験においては、燻煙熱処理を行うことにより米マツにおいてホロセルロース量の明らかな減少が認められた。本実験で得られた米マツの発生量の増加は、元々遊離しやすい部分の比較的分子量の低いヘミセルロースが処理によって適度に分解され、菌が利用しやすい状態になった可能性が考えられる。このことは、燻煙熱処理によって温水抽出物量が増加したことから裏付けられる。山下ら¹⁰ は、ヒラタケは主として栄養添加物の米ぬかを消費して生育し、子実体を形成することから、ヒラタケでは必ずしも子実体形成のために木粉の分解が必要でないことを指摘している。しかしながら、本実験の場合においては、ある程度のヘミセルロースが燻煙熱処理によって分解され、ヒラタケ菌にとって、それらの分解された部分は子実体形成のための栄養源となったものと考えられる。また、燻煙熱処理によってメタノール抽出量の差の認められなかった米マツ培地で子実体収量の増加が大きかったことは、本実験で期待していた菌糸伸長阻害成分の除去は燻煙熱処理によって十分に行われていない可能性が考えられる。この理由として、前述したように燻煙熱処理は伐採直後の生材に行う処理として開発されており、本実験で用いた米マツ、ロシアアカマツ材は共に乾燥材であったため、その処理の効果が減少した可能性が考えられる。しかしながら、針葉樹材の樹種が違えば、阻害成分の種類、量に差があるものと思われ、阻害成分についてはさらに検討を行う必要がある。本実験において、二番発生の子実体収量がブナ培地よりも少なくなった理由として、培地に添加したフスマの多くの栄養部分がすでに分解され、二番発生の子実体発生に必要な栄養分が十分に得られなかったことが考えられる。それに対して、ブナ培地において二番発生においてもある程度の子実体収量が得られたことは、ヒラタケ菌が長い発生期間に培地の木粉を分解し、栄養源として利用したためと考えられる。ヒラタケ菌は、元々広葉樹を分解する木材腐朽菌であり、ブナ培地では培養・発生を含めて約100日間の期間にある程度、木粉の分解が起こるはずである。しかしながら、現在一般に行われているヒラタケ栽培においても、主流はスギ培地を用いる方法であり、この方法では添加物の栄養のみで子実体形成を行って

ると考えらる。従って、本研究の結果から、ヒラタケなどの栽培キノコ用スギ木粉の代替原料としてこれらの木粉、特に米マツに燻煙熱処理を行ったものについては使用できる可能性が示唆された。

3.3 シイタケ栽培試験

シイタケ栽培試験における一菌床あたりの子実体収量を Fig. 2 に示す。ブナ培地を除き、どの培地においても十分な子実体収量は得られなかった。ヒラタケ菌と異なり、シイタケ菌は、菌床栽培において培地の固形分の減少が起こった後、水可溶性成分が増加し、子実体原基が形成されることが知られている⁹⁾。本実験においても、ブナ培地に数は劣るものの、米マツ、ロシアアカマツの培地においても子実体原基の形成が認められた。また、菌床表面の皮膜はブナ培地に比べ米マツ、ロシアアカマツの菌床で明らかに薄く、もろい形状をしていた。しかしながら、燻煙熱処理を行った培地においては、米マツ、ロシアアカマツ共に、非常に少量ではあるが子実体の形成が認められた。このことは、シイタケ菌が米マツ、ロシアアカマツ木粉をわずかに分解し、さらに燻煙熱処理がシイタケ菌の菌糸伸長にプラスに働いていることを示唆している。Table 2 に示したように、燻煙熱処理によって米マツおよびロシアアカマツの温水抽出物量は増加した。従って、燻煙熱処理による温水抽出物量の増加が原基形成、子実体発生に影響を与えている可能性が考えられる。今後、なぜ形成された原基から子実体へと発達しないのか詳細に検討する必要がある。

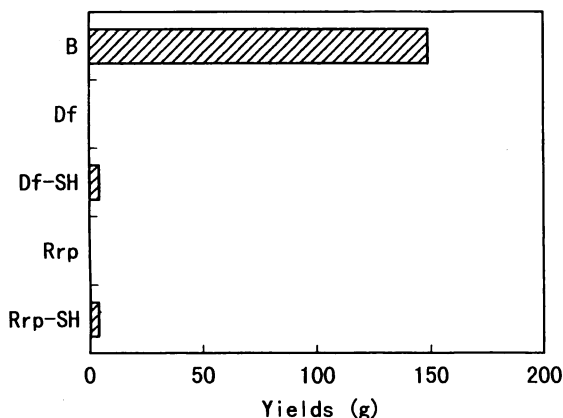


Fig. 2. Effects of the smoke-heated treatment on the yield of fruiting body (fresh weight) in the sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes*. Refer to Fig. 1 as to the abbreviations of each medium.

江崎⁹⁾は、シイタケ菌床栽培において、広葉樹木粉にスギ木粉を添加した場合の褐変日数と子実体収量について調べ、スギ木粉の添加量が増加しても、褐変に用する日数にはほとんど差が認められなかったが、スギ木粉の添加量が増加するに従って子実体を発生しない菌床が増加することを報告している。本実験においても、米マツ、ロシアアカマツの菌床は十分に褐変化しているが、全く子実体を得ることのできない菌床が多く見られた。Ohga ら¹⁰⁾は、シイタケ菌床栽培における培養期間の長さの子実体収量の関係について考察し、ミズナラの木粉培地では、培養期間の増加と共に子実体収量が増加することを報告している。米マツ及びロシアアカマツの菌床は、ブナの菌床と比較して3割程度菌糸蔓延日数の増加が認められ (Table 1), 90日間の培養期間では、十分に菌床が熟成しなかったものと考えられる。

菌床内の水分環境が子実体の発生に大きく関係していることは良く知られている⁹⁾。大賀⁹⁾は、子実体の発生の見られない菌床では、菌床中の含水率の増加が認められず、子実体形成に必要な水分供給が十分でないことを指摘している。しかしながら、本実験においては発生処理30日目に浸水処理を行っており、浸水処理後に菌床中の含水率が十分に高められたにもかかわらず、米マツ、ロシアアカマツの菌床では子実体を十分に得ることができなかった。このことから、子実体が発生しなかった原因として、水分条件ではなく菌床の成熟度が関係しているものと考えられる。

Table 4 に、菌床のカビ汚染率を示す。ヒラタケでは、菌床のカビによる汚染は認められなかったが、シイタケでは米マツ、ロシアアカマツの菌床においてカビの汚染が多く認められた。特に、燻煙熱処理を行うことによって高い汚染率が認められた。燻煙熱処理を行った培地で汚染率が高くなった原因として、燻煙熱

Table 4. The contamination ratio of each sawdust bed

Fungus	Sawdust	Contamination ratio (%)	
		Non-treated	Smoke-heated
<i>Pleurotus ostratus</i>	Beech	0	-
	Douglas fir	0	0
	Russian red pine	0	0
<i>Lentinula edodes</i>	Beech	0	-
	Douglas fir	10	40
	Russian red pine	40	90

処理によって改善された環境が雑菌に対しても好適な環境となり、これら被膜の薄い菌床が雑菌に汚染されやすくなったものと考えられる。従って、米マツ、ロシアアカマツに対する燻煙熱処理は、シイタケ菌に対しても、雑菌に対してもプラスの効果を示したことになる。しかしながら、たとえ燻煙熱処理木粉により作製した菌床のカビ汚染を防止できたとしても、現状ではシイタケ栽培に米マツ、ロシアアカマツを用いて十分な子実体収量を得ることは難しいものと考えられる。

米マツ、ロシアアカマツの菌床では、肉眼的に褐変化が認められたが、菌床の内部の成熟度が十分でないものと考えられ、培養期間の延長や比較的菌糸蔓延の早い菌株を使用するなど、栽培方法についてさらに検討する必要がある。

謝 辞

本実験を行うにあたり、快く栽培施設を提供していただきました栃木県林業センターの皆様には厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 安藤 實, 高橋伸英, 吉澤伸夫: スギ丸太の赤外線燻煙熱処理による壁孔壁の破壊と材質変化, 木材学会誌, 42, p845-853 (1996)
- 2) 江崎智恵: シイタケの菌床栽培における培養日数とスギおがくずの利用, 農耕と園芸, 50, p224-225 (1995)
- 3) 石井栄津子, 目黒貞利, 河内進策: スギ木粉によるシイタケ栽培, 第3回日本林学会九州支部大会論文集, p13-16 (1996)
- 4) 河内進策, 目黒貞利, 稲田聡子: 木材学会誌, スギ木粉によるシイタケの栽培 フェルギノールによるシイタケ菌糸成長阻害, 37, p971-975 (1991)
- 5) 金城一彦, 近藤民雄: 担子菌栽培培地に関する研究(第2報) 針葉樹の培地適性, 木材学会誌, 25, p794-798 (1979)
- 6) 金城一彦, 屋我嗣良: 担子菌栽培培地に関する研究(第4報) ヒノキの阻害活性, 木材学会誌, 32, p632-636 (1986)
- 7) 三浦 清, 前浜充宏, 香山 疆: 食用菌の栽培培地の樹種特性 タモギタケに対する木材抽出成分の影響, 北海道大学農学部演習林報告, 42, p207-220 (1985)
- 8) 中島 健, 善本知孝, 福住俊郎: 木材学会誌, スギ材中のシイタケ菌阻害成分, 26, p698-702 (1980)
- 9) 大賀祥治: シイタケ菌床栽培と菌床の成熟度, きのこの科学, 2, p1-13 (1995)
- 10) Ohga S., Y. Kato, M. Nakaya: Water potential in relation to culture maturity in sawdust-based substrate of *Lentinula edodes*. *Mushroom Science and Biotechnology*, 6, p65-69 (1998)
- 11) 林野庁編: 林業白書, 日本林業協会, 東京, p207 (2001)
- 12) 山下市二, 森 健, 飯野久栄, 柳井昭二: ヒラタケ (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.ex fr) Quel.) 栽培におけるハトムギ殻、落花生殻、芝草、多孔質石の利用, 日本食品工業学会誌, 30, p693-697 (1983)
- 13) 吉田宣夫, 高橋哲二, 永尾哲男, 陳 継富: ヒラタケ (*Pleurotus ostreatus*) 栽培時の麦稈およびオガクズ培地の *in vitro* 消化性, 日本草地学会誌, 39, p177-182 (1993)
- 14) Yoshizawa N., T. Itoh, M. Ohnishi, F. Ishiguri, M. Ando, S. Yokota, M. Sunagawa, T. Idei: Mushroom cultivation using smoke-heated softwood sawdust. *Bull. Utsunomiya Univ. For.* 34, p69-79 (1998)

(2001年6月29日受理)