

シイタケ菌床栽培の安定化に関する基礎的研究¹

Fundamental study on stabilization of sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes*¹

山内 隆弘^{2,3,4}
Takahiro YAMAUCHI^{2,3,4}

¹ 本論文は東京農工大学に提出した学位論文である

¹ Review article of the Dr. thesis Tokyo University of Agriculture and Technology

² 東京農工大学大学院連合農学研究科

² United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

³ 宇都宮大学農学部森林科学科森林資源利用学研究室

³ Laboratory of Forest Products, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture,
Utsunomiya University, Utsunomiya 321-8505, Japan

⁴ 株式会社 北研 食用菌類研究所

⁴ Edible Mushrooms Institute, Hokken Co., Ltd., Mibu 321-0222, Japan

目 次

第 1 章 緒言	3.3 結果と考察
第 1 節 シイタケ栽培の歴史	3.3.1 栽培方法の違いが子実体発生に及ぼす影響
第 2 節 シイタケ菌床栽培の現状と課題	3.3.2 栽培方法の違いが栽培経営に及ぼす影響
2.1 シイタケ菌床栽培の特徴	3.4 要約
2.2 生産方式と特徴	第 3 章 シイタケ菌床栽培技術の改良と安定化
2.3 栽培工程と課題	第 1 節 研究の目的
第 3 節 本研究の目的	第 2 節 上面栽培法 (FFUP 法) において栄養剤添加量が及ぼす影響
第 4 節 本論文の構成	2.1 はじめに
第 2 章 シイタケ菌床栽培法の改良とその特徴	2.2 材料と方法
第 1 節 研究の目的	2.2.1 供試菌株
第 2 節 温度、湿度条件が子実体原基形成および発生に及ぼす影響	2.2.2 培地組成と培養条件
2.1 はじめに	2.2.3 子実体発生
2.2 材料と方法	2.3 結果と考察
2.2.1 供試菌株	2.3.1 栄養剤添加量が子実体発生に及ぼす影響
2.2.2 培地組成と培養条件	2.3.2 栄養剤添加量が栽培経営に及ぼす影響
2.2.3 原基形成数および子実体発生数の測定	2.4 要約
2.2.4 子実体発生条件	第 3 節 上面栽培法 (FFUP 法) において培地重量が及ぼす影響
2.2.5 培地含水率	3.1 はじめに
2.3 結果と考察	3.2 材料と方法
2.3.1 高温処理が子実体原基形成および発生に及ぼす影響	3.2.1 供試菌株
2.3.2 高温および給水による複合処理が子実体発生に及ぼす影響	3.2.2 培地組成と培養条件
2.4 要約	3.2.3 子実体発生
第 3 節 シイタケ菌床栽培における改良方法と慣行方法の比較	3.3 結果と考察
3.1 はじめに	3.3.1 仕込み時における菌床重量が子実体発生に及ぼす影響
3.2 材料と方法	3.3.2 仕込み時における菌床重量が栽培経営に及ぼす影響
3.2.1 供試菌株, 培地組成および培養条件	3.4 要約
3.2.2 子実体発生条件	第 4 節 改良栽培法 (FFUP 法) における培養条件の検討
	4.1 はじめに

- 4.2 材料と方法
 - 4.2.1 供試菌株および培地組成
 - 4.2.2 原基数測定
 - 4.2.3 子実体発生
 - 4.2.3.1 標準型上面栽培
 - 4.2.3.2 簡易型上面栽培
 - 4.3 結果と考察
 - 4.3.1 培養期間が原基数および子実体発生数に及ぼす影響
 - 4.3.2 栽培方法の違いが子実体発生に及ぼす影響
 - 4.3.3 栽培方法の違いが栽培経営に及ぼす影響
 - 4.4 要約
- 第4章 スギ培地を用いたシイタケの菌床栽培**
- 第1節 研究の目的**
- 第2節 スギ培地適応品種の作出およびその栽培特性**
- 2.1 はじめに
 - 2.2 材料と方法
 - 2.2.1 スギ培地適応品種の作出
 - 2.2.1.1 予備選抜による交配親株の選定
 - 2.2.1.2 単胞子分離および交配
 - 2.2.1.3 菌床による選抜
 - 2.2.2 栽培特性の調査
 - 2.2.2.1 供試菌株
 - 2.2.2.2 培地調製
 - 2.2.2.3 菌糸伸長測定
 - 2.2.2.4 菌床の培養管理
 - 2.2.2.5 菌床の含水率, 固形分残存率および pH
 - 2.2.2.6 菌床の白色度
 - 2.2.2.7 菌床のブリネル硬さ
 - 2.2.2.8 クラーソンリグニン
 - 2.2.2.9 子実体の発生
 - 2.3 結果と考察
 - 2.3.1 スギ培地適応品種の作出
 - 2.3.2 スギ培地適応品種の栽培特性
 - 2.3.2.1 菌糸伸長
 - 2.3.2.2 菌床の含水率
 - 2.3.2.3 菌床の固形分残存率
 - 2.3.2.4 菌床培地の pH
 - 2.3.2.5 菌床の白色度
 - 2.3.2.6 菌床のブリネル硬さ
 - 2.3.2.7 リグニン減少率
 - 2.3.2.8 子実体収量
- 第3節 培地へのスギオガコの混合割合が子実体収量に及ぼす影響**
- 3.1 はじめに
 - 3.2 材料と方法
 - 3.2.1 菌株
 - 3.2.2 培地の調製および培養
 - 3.2.3 含水率, 固形分残存率および pH
 - 3.2.4 白色度
 - 3.2.5 子実体発生
 - 3.3 結果と考察
 - 3.3.1 含水率
 - 3.3.2 固形分残存率
 - 3.3.3 pH
 - 3.3.4 白色度
 - 3.3.5 子実体発生
 - 3.4 要約
- 第5章 結論**
- 謝辞
- 引用文献
- 和文要約
- 英文要約

第1章 緒言

第1節 シイタケ栽培の歴史

日本におけるシイタケ (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) 栽培の歴史は古く、江戸時代の寛永年間 (1624～1643) に、ナラヤクヌギの原木に鉋で切れ目を入れて山中に放置し、シイタケの胞子が自然に付着するのを待つ栽培 (ナタ目式栽培法) が行われたのが最初であると言われている (森 1963, 大森 1993)。この栽培法は、シイタケ菌の接種を行わない生物偶発的な自然栽培法と言ってよく、安定的な栽培とは程遠いものであった。明治時代に入ると、菌学の知識が導入されて、人工接種の試みが為されるようになった。中村 (1982) によると、明治 21 年 (1888 年)、青山善一は、立木にナタ目を入れてから、伐採する方法を提唱した。また、明治 31 年 (1898 年)、田中長嶺は、シイタケ菌糸が繁殖した樹皮の乾燥粉末を伐採した原木に接種する方法を開発した。しかしながら、これらの接種法は安定的に栽培を行うことができなかつたため、旧来のナタ目式栽培法が依然として行われていた。昭和 18 年 (1943 年)、森喜作は、人工栽培の先駆けとなる菌糸の純粋培養によるコマ種菌法を開発し、今日のおもろこし原木を用いた人工栽培の基礎となる技術を確立した (中村 1982)。この種菌法は農家に広く採用され、シイタケ原木栽培の普及および振興に大きく貢献した。シイタケ原木栽培は、ホダ木となる原木とホダ場さえ存在すれば、種菌と発芽処理用の浸水槽などの初期投資のみで栽培が可能であるため、従来の方法と比較して安定的にシイタケ生産を行え、その結果、シイタケ栽培は農山村の貴重な収入源になった。また、人口増加に伴う国内消費量の増加や、日本の貴重な輸出商品であったことも追い風となり、シイタケ原木栽培は急速に普及した。

大森 (1993) によると、オガコを用いた栽培法、すなわち菌床栽培は、昭和 3 年 (1928) に森本彦三郎によって発表されたエノキタケ (*Flammulina velutipes*) のピン栽培が最初であるとされている。また、昭和 35 年 (1960) 頃、福島県でナメコ (*Pholiota nameko*) のオガコ培地によるトコ箱栽培が行われるようになって以降、急速に菌床栽培が普及していった。一方、シイタケにおいても、1970 年代後半に菌床栽培が開始されたが、この栽培法の普及・定着には至らなかった。この理由としては、栽培技術が十分確立されておらず、収量が不安定であったこと、子実体の品質が低かったこと、コストが高くつき採算が取れなかったこと、東北地方を中心に原木供給が十分あったことが挙げられる (山中 1991)。しかしながら、1990 年代に入り、原木シイタケ生産の情勢の変化や、労働力の高齢化、原木供給量および質の低下などを背景にして、菌床栽培技術の改善、菌床栽培用品種開発、栽培資材の開発などにより、菌床栽培が原木栽培の減少を補う形で再び生産されるようになった (山中 1991, きのこ年鑑編集部 2008)。

中国からの生シイタケ輸入は、乾シイタケの価格低迷や中国国内の流通システムの改善などを背景にして、1990 年代から急激に増加してきた。特に 2000

年には、中国からの生シイタケ輸入量が 1999 年の 31,600 t を 30% 以上上回る 42,000 t が輸入され、その結果、日本政府は 2001 年 4 月、WTO 協定に基づく緊急輸入制限措置 (暫定セーフガード) を発動した。その後は、様々な農産物の産地偽装や無認可農薬の混入など食の安心・安全を脅かす事件が多発したこともあり、中国産生シイタケの輸入量は 10,000 t 程度に留まっている。

特用林産基礎資料 (林野庁経営課特用林産対策室 2005) によると、日本国内では生シイタケ生産量 65,000 t のうち、約 70% (46,000 t) が菌床栽培によって生産されており、今日では、この栽培法が主流となっている。

第2節 シイタケ菌床栽培の現状と課題

2.1 シイタケ菌床栽培の特徴

前節で述べたように、シイタケ栽培は原木栽培から始まり、近年は菌床栽培へ大きく移行している。特用林産基礎資料 (林野庁経営課特用林産対策室 2005) によると、生シイタケ国内生産のうち、菌床栽培によるものは 70% を超えている。この値は、現在 (2009 年) では、80% 近くまで到達していると思われる。シイタケ菌床栽培は、シイタケ原木栽培と比較して、種菌接種から収穫までの期間が短いこと、資金回収が早いこと、1 菌床が通常 1～3 kg 程度であるため各種管理に掛る労働力が小さいこと、森林資源の有効活用に繋がることの 3 点において、有利であると考えられる (山中 1991, 大森 1993)。しかしながら、原木栽培と比較して、生産コストが高いこと、害菌発生によるリスクが高いこと、栽培技術が未確立であること、培地基材である広葉樹オガコの量および質の確保が難しいことなどの不安定要因がある。

2.2 生産方式と特徴

現在、行われているシイタケ菌床栽培は、以下の 3 つの方式に大別することができる (山中 1991, 井上 1993)。

①購入菌床栽培方式

菌床製造企業から、培養完了あるいは 1 次培養完了後の菌床を購入し、生産者が個別に発生のみを行う。生産者は、接種や培養におけるリスクを回避することができるとともに、簡易ハウスのみで栽培が可能であるため、資本投資が少なく済むメリットがある。

②培養センター方式 (生産者組合、農協などが多い)

種菌企業から種菌購入と技術指導を受けて菌床を製造、培養 (無培養の場合もある) し、これを生産者が購入して個別に発生を行う。生産者は菌床製造に掛るコストを低く抑えることができるが、培養におけるリスクを負う必要がある。

③一貫生産方式

生産者 (個人、組合、企業) が一貫して、菌床製造から、培養、発生まで行う。初期投資が大きくなるが、製造コストなどを低く抑えることができる。ただし、生産者個々における技術水準によっては、重大なリスクを負うことがある。

2.3 栽培工程と課題

シイタケの菌床栽培は、培地製造、培養、発生の3工程から成る。

培地製造工程では、通常、広葉樹オガコを培地基材とし、フスマ、トウモロコシヌカ、コメヌカなどの穀物由来栄養剤を加えた後、含水率を60～65%に調整する。

原木栽培とは異なり、培地基材として、オガコを利用できるため、森林資源の有効活用が可能であるが、菌床シイタケ生産量の増加とともに、広葉樹オガコの量および質の確保が難しくなっている（特産情報編集部2005）。現在（2005年）、広葉樹オガコの平均価格は、1m³当たり針葉樹が2,200円であるのに対して、広葉樹では5,500円であり、実に広葉樹が針葉樹の約2倍以上の価格になっている。また、オガコ産地の集中化と偏りが認められるとともに、きのこ産地と必ずしも一致していないため、オガコはかなりの距離を移動して流通していることが明らかになっている（特産情報編集部2005）。このことから、低コスト栽培のためには、広葉樹オガコの代替品を検討する必要があると考えられる。

栄養剤は、菌糸生長と子実体収量増加のために添加されているが、シイタケの栄養要求性についての研究はほとんど行われていない。東・北本（1994）は、シイタケは栄養生長および子実体形成ともに炭素源として、デンプン、マルトース、グルコースを、窒素源として、酵母エキス、ペプトンをよく利用することを報告している。

栽培資材は、エノキタケ、ナメコなどとは異なり、ビンではなく、ポリエチレンやポリプロピレン製の袋を用いる。培地重量は、1.0～3.0 kgの範囲で各種栽培されているが、一般的には2.5～3.0 kg程度の角型（17×25×15 cm）が多い。これは、培地重量が大きくなれば、大型のきのこが得られる傾向があることに起因している（竹内2000a, 篠田ら2005）。

培養工程では、促成栽培の場合、温度20～22℃で行われる。25℃以上の高温では、菌糸が衰弱するなどの障害が起きるリスクが生じる（阿部ら2002）。培養期間については、品種、培地条件（栄養剤、重量、栽培資材）、培養条件（温度、湿度）などの条件によって影響を受ける。

発生工程では、培養完了後の菌床を栽培袋から完全に取出し、適切な温度、湿度環境下で管理する。シイタケは、培養期間中に子実体原基を形成すること、菌床全面（角型菌床の場合、6面）から子実体が発生すること、複数回（角型菌床の場合、5回以上）発生させること、子実体の品質や形状などの商品性が問われることの点で、他の食用きのこ類とは大きく異なる。発芽は、低温と冠水が必要である（Matsumoto・Kitamoto 1987）。Matsumoto・Kitamoto（1988）は、冠水処理による呼吸量の増加は、子実体形成の準備ができていない菌糸（最適熟成度の菌床）でのみ誘起されることを報告している。現状の栽培では、浸水処理（菌床を水中に沈める）と散水処理（菌床に水を散布する）の2つが主流となっている。しかしながら、前者は浸

水処理に多大な労力が掛かること、後者はきのこの水分が高くなり、商品価値が下がること（傘色が黒くなる）などの課題を抱えている。

前述したように、他の食用きのこ類では、ビン栽培技術が確立されているため、栽培の各工程が機械化されており、工場生産的な大量生産が可能となっている。対照的に、シイタケでは、ビン栽培技術が確立されていないことから、工場生産的な大量生産が難しい。Watanabe（1995）は、大型ビンを用いたシイタケ菌床栽培技術を開発したが、ビンを用いるのは培養完了までに限定されており、根本的な解決には至っていない。また、渡辺（1996）は、培養中において、プラスチックシートを利用することで菌床の褐色皮膜形成を阻害し、当該部位からの選択的な子実体発生が可能であることを報告しているが、再現性の確認や商業的生産への導入は行われていない。

これらのことから、シイタケ菌床栽培の低コスト化や広葉樹に替わる代替基材の作出を目的とした、新たな栽培方法の開発が急務となっている。

第3節 本研究の目的

前述したように、シイタケ菌床栽培方法では、培地作製に始まり、培養、発生という過程を経るが、発生段階では、栽培袋を全て除去した状態で子実体を発生させる。この方法では、発生段階において、発芽および菌床表面を乾燥から防ぐために、当該期間中の浸水および散水処理が必須である（きのこ年鑑編集部2008, 塩田ら1999）が、その操作は煩雑であるため、生シイタケの大量生産の妨げとなっている。また、子実体は菌床6面全ての面から発生するため、子実体の発生部位を人為的に調整することは難しい。さらに、多くの子実体が栽培袋カット後の初回に集中して発生する傾向があるため、サイズが一定で1個当たりの生重量が大きい高品質の子実体を得ることが難しい。これらの問題点を解決するために、様々な発生調整方法が行われてきた。例えば、25℃以上で菌床を一定期間管理する高温処理や、幼子実体の段階で形状の悪いものを除去する“芽掻き”と呼ばれる方法が挙げられる。しかしながら、これらの発生調整方法は、特別な操作あるいは多大な労力を必要とする。

一般に、エノキタケ（*F. veltipes*）やナメコ（*P. nameko*）のような食用きのこ類の大量生産は、ビン栽培により行われている。シイタケにおいては、Watanabe（1995）が、大型ビンを用いて培養を行い、良好な子実体収量を得ている。しかしながら、この方法では、大型ビンを発生段階では除去して管理するため、慣行栽培方法と同様に多大な労力を必要とする。従って、シイタケ菌床栽培における効率的な大量生産には、栽培管理の省力化と子実体発生部位の調整が必須であると考えられる。

本研究では、まず、子実体原基形成および子実体発生の調整のために、比較的調整しやすい温度と湿度（水分）条件に着目し、培養完了後の菌床に高温処理と高含水率を維持できる給水処理を行い、それらが子実体原基形成および子実体発生へ及ぼす影響を検討した。

つづいて、得られた知見に基づいて改良栽培方法を確立し、慣行栽培方法と比較することで、その特徴について考察した。

シイタケ菌床栽培における諸条件は、未確立な部分が多く、経験則に従っているのに過ぎないのが現状である。慣行栽培については、数10年の現場における栽培や研究機関による試験により、ある程度は明らかにされているが、改良栽培方法においては、慣行栽培の条件を流用しているに過ぎないため、改良方法に適した条件であるかどうかは不明である。商業的に安定した栽培経営を行うためには、これらの諸条件を明らかにする必要があると考えられる。本研究では、菌床培地製造条件として、最適な栄養剤添加量、培地充填量の2つを明らかにし、つづいて、培養完了後に必須となっている高温処理を導入する際の問題点、すなわち、操作が煩雑であること、専用設備が必要であることの2点を改善する新しい培養方法について検討した。

近年、菌床栽培に用いられるコナラ、クスギ等の広葉樹材の需給バランスの影響により、オガコ価格の高騰が問題となっている（特産情報編集部 2005）。一方、日本において主要な造林樹種であるスギは、間伐材や製材時の端材の多くが未利用のまま廃棄されている（本間ら 2006）。これらのスギ材をシイタケの菌床栽培に利用できれば、生産コストの低減および資源の有効利用に繋がると考えられる。しかしながら、スギ材を用いてシイタケの菌床栽培を行うことは、一般に困難とされている。その原因として、スギの内皮に含まれるフェルギノールやサンダラコピマリノールにより、シイタケ菌の生育が抑制されることが明らかにされている（中島ら 1980, 河内ら 1991a, 松井ら 2001）。現在までに、スギオガコ含有培地条件がシイタケの菌糸伸長および子実体収量に与える影響について検討した研究が、既存菌株を用いて多く試みられてきた（Yoshizawaら 1998, 笠原ら 2001, Meguroら 2002, 胡ら 2003, 吉澤ら 2003）。しかしながら、現在まで、培地基材としてスギ材のみを用いた培地では、広葉樹材を用いた培地と同等の品質および収量を示す子実体は得られていない。本研究では、針葉樹であるスギ材に着目して、スギ材を利用したシイタケ菌床栽培技術を確認するため、第1段階として、スギ材に適応力の高い菌株の作出を検討した。つづいて、第2段階として、スギ材適応力の高い菌株によるスギ培地を用いたシイタケ菌床栽培を行うことで、当該菌株の栽培特性を明らかにした。さらに第3段階として、スギオガコと広葉樹オガコの混合割合を検討することで培地条件最適化を進め、スギ材によるシイタケ菌床栽培の可能性について検討した。

第4節 本論文の構成

本研究では、シイタケ菌床栽培の安定化のため、慣行栽培技術の改良、改良栽培技術の最適条件の検討、さらには将来的な不安定要因となり得る培地基材の問題解決のために、広葉樹オガコの代替として、針葉樹オガコに着目し、針葉樹オガコに対して適応力の高い

菌株の育成開発と、その菌株を用いたシイタケの菌床栽培技術の開発を行った。

本論文では、第1章で、本研究を行った背景としてのシイタケ栽培の歴史、シイタケ菌床栽培の現状と課題について述べる。

第2章では、第1節にシイタケ菌床栽培における改良方法の確立の目的を述べる。第2節では、子実体原基形成および子実体発生の調整のために、比較的調整しやすい温度と湿度（水分）条件に着目し、培養完了後の菌床に高温処理と高含水率を維持できる給水処理を行い、それが子実体原基形成および子実体発生へ及ぼす影響を検討した。第3節では、得られた知見に基づいて改良栽培方法を確立し、慣行栽培方法と比較することで、その特徴について考察した。

第3章では、第1節にシイタケ菌床栽培における改良方法の最適化の目的を述べる。第2節では最適な栄養剤添加量、第3節では最適な培地充填量を明らかにした。第4節では、改良栽培方法において、培養完了後に必須となっている高温処理を導入する際の問題点、すなわち、操作が煩雑であること、専用設備が必要であることの2点を改善する新しい培養方法について検討した。

第4章では、針葉樹であるスギ材に着目して、第1節にスギ材を利用したシイタケ菌床栽培技術確立の目的を述べる。第2節では、スギ材に適応力の高い菌株を作出し、つづいて、作出したスギ材適応品種によるスギ培地を用いたシイタケ菌床栽培を行うことで、当該菌株の栽培特性を明らかにした。第3節では、スギオガコと広葉樹オガコの混合割合を検討することで培地条件最適化を進め、スギ材によるシイタケ菌床栽培の可能性について検討した。

最後に、第5章において、得られた結果に基づいて、シイタケ菌床栽培の工場的大量生産を視野に入れた低コスト栽培の可能性について総括した。

第2章 シイタケ菌床栽培法の改良とその特徴

第1節 研究の目的

シイタケ (*Lentinula edodes*) は、日本において最も身近な食用きのこであり、数100年前より、伝統的な原木栽培によって栽培されてきた（森 1963）。しかしながら、原木栽培方法は、多大な労力を必要とすること、資金回収に時間が掛かること、後継者の不足（栽培従事者の減少）などの課題がある（中村 1982）。これらの原因により、近年、日本における主要なきこの栽培方法は、原木栽培から菌床栽培へ大きくシフトしている。2005年には、日本における生シイタケ生産量（65,000 t）の約70%が菌床栽培によって生産されている（林野庁経営課特用林産対策室 2005）。

一般に、シイタケ菌床栽培は、多くの食用きのこ類と異なり、ビン栽培が適用されておらず、複数回発生を繰り返すため発生期間が長いこと、菌床6面体全てから子実体が発生すること、培養完了時に栽培袋を全て除去するため発生管理において菌床が乾燥しやすいこと、発生管理（発芽処理、散水処理）に労力が掛かるなどの問題を抱えている。これらのことから、シイ

タケの効率的な大量生産は実現していないのが現状である。

本章では、前述したシイタケ菌床栽培の問題点を解決し、シイタケの効率的な大量生産を可能にするため、第1段階として、子実体原基形成および子実体発生を調整する温度および湿度（水分）条件について検討した。つづいて、第2段階として、得られた知見から、省力化を可能にするための新しい栽培技術を確立し、その技術の有効性と経営への影響について検討した。

第2節 温度、湿度条件が子実体原基形成および発生に及ぼす影響

2.1 はじめに

シイタケ菌床栽培における慣行栽培方法では、培地作製に始まり、培養、発生という過程を経るが、発生段階では、栽培袋を全て除去した状態で子実体を発生させる。この方法では、発生段階において、菌床表面を乾燥から防ぐために、当該期間中の浸水および散水処理が必須である（きのこ年鑑編集部 2008, 塩田ら 1999）が、その操作は煩雑であるため、生シイタケの大量生産の妨げとなっている。一般に、子実体は菌床6面体全ての面から発生するため、子実体の発生部位を人為的に調整することは難しい（Fig. 2-1）。さらに、慣行栽培方法では、多くの子実体が栽培袋カット後の初回に集中発生する傾向があるため、サイズが一定で1個当たりの生重量が大きい高品質の子実体を得ることが難しい。これらの問題点を解決するために、様々な発生調整方法が行われてきた。例えば、25℃以上で菌床を一定期間管理する高温処理や、幼子実体の段階で形状の悪いものを除去する芽掻きと呼ばれる方法が挙げられる。しかしながら、これらの発生調整方法は、特別な操作もしくは多大な労力を必要とする。

一般に、エノキタケ (*F. veltipes*) やナメコ (*P. nameko*) のような食用きのこ類の大量生産は、ビン栽培により行われている（きのこ年鑑編集部 2008）。シイタケにおいては、Watanabe (1995) が、大型ビンを用いて培養を行い、良好な子実体収量を得ている。しかしながら、この方法では、子実体の発生段階では大型ビンを除去して管理するため、慣行栽培方法と同



Fig. 2-1. Fruit-body flushing from mycelial blocks cultivated by the conventional method.

Note: Fruit body was flushed from all six surfaces of mycelial blocks cultivated by the conventional method.

様に多大な労力を必要とする。従って、シイタケ菌床栽培における効率的な大量生産には、栽培管理の省力化と子実体発生部位の調整が必須であると考えられる。

本節では、子実体原基形成および子実体発生の調整のために、温度と湿度（水分）条件に着目し、培養完了後の菌床に高温処理と給水処理を行い、それらが子実体原基形成および子実体発生へ及ぼす効果を検討した。

2.2 材料と方法

2.2.1 供試菌株

本研究には、供試菌株として、北研 600 号（*株北研*）を用いた。この菌株は、日本のシイタケ菌床栽培において、広く用いられている中温性品種である。

2.2.2 培地組成と培養条件

シイ (*Quercus sessilifolia*) チップ (5 × 5 ~ 10 × 10 mm) およびコナラ (*Quercus serrata*) オガコ (3 × 3 mm)、また、栄養剤としてシイタケ短期栽培用ニューバイデル (*株北研*) を乾燥重量比 54 : 23 : 23 で混合し、含水率を 62% に調整した。これをポリプロピレン製の栽培袋 (サンバック SS37, 三富産業) に 2.9 ± 0.1 kg 充填し、高压蒸気殺菌 (118 ~ 120℃, 60 分) した。殺菌後の培地を冷却後、北研 600 号の市販オガ種菌 (*株北研*) を 1 培地当たり 25 g 接種し、温度 20 ± 1℃ に設定した培養室 (湿度は 60 ~ 80%) で 100 日間培養 (作業時以外は原則暗培養) した。

2.2.3 原基形成数および子実体発生数の測定

前述の菌床を 100 日間培養後、栽培袋を全て切除した。つづいて、菌床表面を覆っている褐色化した表面皮膜を指で丁寧に剥がし、シイタケ菌糸のみで構成されている (オガコ、チップなどを内包していない) 硬くて丸い物体を子実体原基 (河内ら 1991b) として分離後 (Fig. 2-2)、試験区ごとにその数を測定し、子実体原基数とした。また、同条件の別の菌床から栽培袋を全て切除した後に、温度は 13℃ と 20℃ の 12 時間切り替え設定、湿度は 65 ~ 95% (自動加湿器利用) に設定した発生室において 14 日間の発生管理を行い、

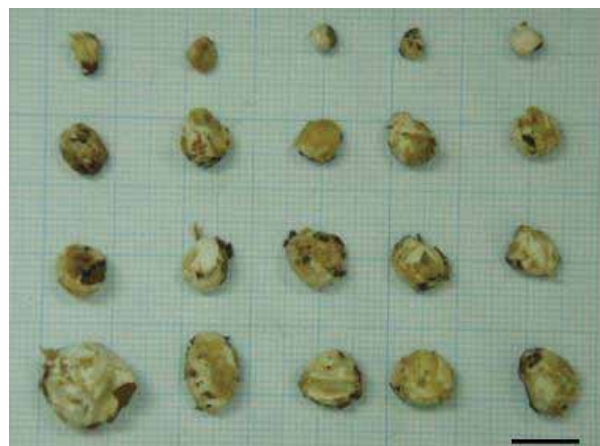


Fig. 2-2. Removed primordia from mycelial block.

Note: Bar = 10 mm

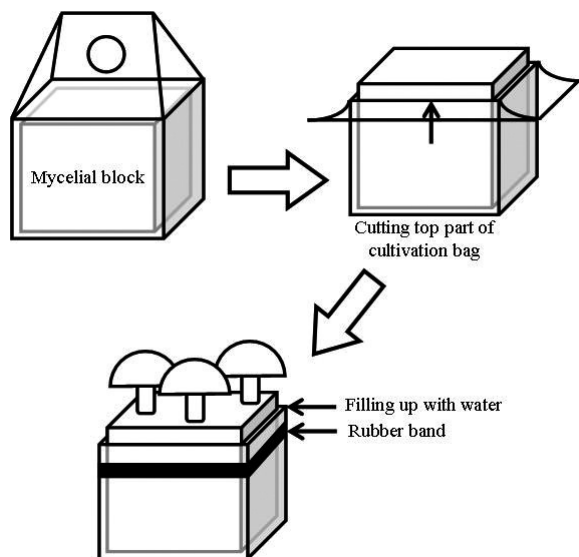


Fig. 2-3. Schematic diagram of the flushing procedure in the improved cultivation method.

初回に菌床全面から発生した子実体を収穫し、その数を測定した。試験区としては、処理温度では 20, 23, 25, 27℃, 処理期間では 0, 3, 7, 10 日を設定した。対照区は、20℃, 0 日とした。なお、いずれも 1 処理区当たり 3 菌床供試した。

2.2.4 子実体発生条件

本節では、高温処理と給水処理の組み合わせによる 4 試験区を設定した。100 日間培養した菌床を、子実体発生調整と菌床表面皮膜強化のため、27℃, 7 日間の高温処理を行った後、菌床上面のみ、栽培袋を除去した (Fig. 2-3)。その後、水を栽培袋と菌床側面および底面の間に満たし、菌床側面にゴムバンド (オーバンド # 370, 共和) を装着し、栽培袋と菌床を固定した。発芽のため、発生室温度を、27℃ から 1℃ / 2 日の割合で 15℃ まで下げた。菌床は前節 2.2.3 と同様の条件に設定した発生室で 180 日間管理した。発生した全ての子実体は、襲を覆っている膜が切れる時期を目安に収穫し、子実体の個数および生重量を記録した。発芽処理は、散水装置を用いた散水と発生室温度の 12 時間切り替えで行った。

2.2.5 培地含水率

本節では、試験区として、培養完了後、27℃, 7 日間の高温処理区と 20℃, 0 日間の高温処理なしの 2 区を設定した。100 日間培養した菌床に高温処理を行った後、栽培袋を全て切除し、上面、側面、底面、内部それぞれの場所から菌床片 (30 × 30 × 20 mm) を分離した。これらの菌床片を 105℃ で恒量になるまで乾燥後、重量を測定し、次式から含水率を求めた。なお、実験には、いずれも 3 菌床を供試した。

$$\text{含水率 (\%)} = (W - W_0) / W \times 100$$

W: 菌床の生重量 (g)

W₀: 菌床の全乾重量 (g)

2.3 結果と考察

2.3.1 高温処理が子実体原基形成および発生に及ぼす影響

シイタケ子実体の収量と品質を向上させるとともに、子実体原基形成と子実体発生を調整するために、菌床に対して高温処理を行った。Fig. 2-4 に、高温処理が菌床各部位の子実体原基形成に及ぼす影響を示す。0 日処理区では、全ての処理温度において菌床上面の子実体原基形成数は、側面および底面と比較して少数であった。この原因としては、菌床培養中において、栽培袋に装着されているフィルター部の通気により、当該部位の含水率が低くなったことが考えられる。20℃ 処理区と比較して、全ての高温処理区では、側面および底面の子実体原基形成が抑制されており、3 日以上的高温処理区では、子実体原基形成数が明らかに減少した。さらに、処理温度と処理期間の増加と共に、子実体原基形成数は減少した。特に、27℃ 処理区においては、減少率が非常に高く、27℃ で 7 日間処理区の子実体原基形成数は、20℃ 処理区と比較して約 1/2 であった。しかしながら、全ての処理区において、菌床上面に形成される子実体原基形成数に有意な違いが認められなかった。以上の結果は、高温処理によって菌床側面および底面における子実体原基形成の調整が可能であるということを示唆している。菌床側面および底面の子実体原基形成数の減少は、高温処理による子実体原基形成の抑制に加えて、菌床側面および底面において、菌床と栽培袋が癒着していることによる酸素の供給不足が影響していると考えられる。菌床上面に

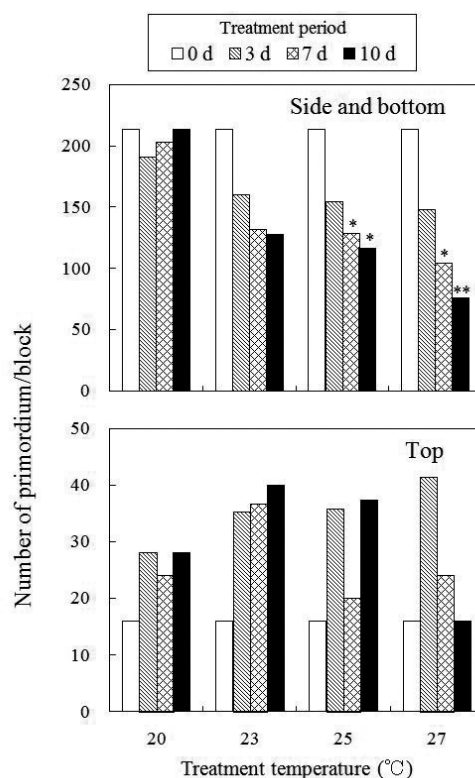


Fig. 2-4. Effects of high-temperature treatment on the primordium formation in the mycelial blocks.

Note: *, significance at 5% level; **, significance at 1% level.

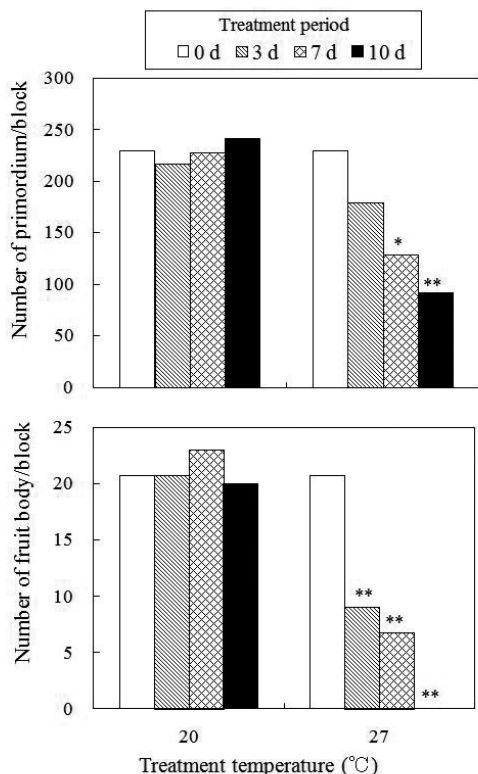


Fig. 2-5. The number of primordium formation and fruit body from all surfaces of mycelial blocks treated at two different temperature, 20 and 27°C.

Note: **, significance at 1% level; *, significance at 5% level. The fruit bodies flushed from all surfaces of mycelial blocks were harvested and recorded at first flush. The fruit bodies were not flushed by the treatment at 27°C for 10 days.

において、抑制効果は認められなかったが、これは、菌床側面および底面と比較して、酸素供給がより良い条件で維持されていたためであると考えられる。

Fig. 2-5に、27°Cでの処理期間による初回の子実体発生への影響を示す。初回の子実体発生数は、27°Cで3日間までの処理で明らかに減少した。その減少率は、処理期間が長くなるに従って増加した。特に、27°Cで10日間の処理区では、子実体発生が全く認められなかった。一方、高温処理により、子実体原基形成数は減少したが、菌床全面からの発生が認められた。すなわち、子実体は菌床上面だけでなく、側面および底面からも発生した。得られた結果は、27°Cで7日間の高温処理によって子実体原基形成数と初回の子実体発生数を減少させることができることを示唆している。

シイタケ菌床栽培では、子実体原基形成数は培養温度により大きく影響されることが報告されている。時本・小松(1982)は、子実体原基形成の最適温度は15°Cから25°Cの範囲にあり、子実体原基形成数は、25°C以上の処理により大きく減少することを報告している。また、竹内(2000b)は、菌床を27°Cの高温で処理すると、子実体1個当たりの生重量は増加するが、子実体発生数は明らかに減少することを報告した。さらに、阿部ら(2002)は、菌床を30°Cの高温で処理すると、子実体収量が明らかに減少することを報告している。これらの結果は、本研究における結果を支持している。

Table 2-1. Yield of fruit body by high-temperature treatment.

High-temperature treatment	Yield ¹⁾ (g/medium)		Mean fresh weight per fruit body (g)		Number of fruit body per block			
	Mean	SD	Mean	SD	Top		Side and bottom	
Done ²⁾	1098.0	71.1	26.1	3.2	42.3	4.5	12.7	4.0
None	192.1	23.5	18.0	2.3	10.7	1.1	36.8	3.4
Significance	*		*		*		*	

Note: Hokken No. 600 strain was used for this experiment. *, Significance at 5% level, SD: standard deviation.

1) The mushrooms flushed from the side and the bottom of mycelial block were not included.

2) High-temperature treatment was done at 27°C for 7 days.

2.3.2 高温および給水による複合処理が子実体発生に及ぼす影響

前述したように、高温処理は子実体原基形成および子実体発生数を調整することができるが、子実体原基形成および子実体発生部位を調整することは困難であることが明らかになった。そこで、本節では、菌床表面の子実体原基形成および子実体発生部位を調整するために、高含水率状態の菌床培地を維持することのできる、給水処理効果および高温処理との併用効果について検討した。Table 2-1に、高温処理が子実体収量および発生部位に及ぼす影響について示す。高温処理区は、無処理区と比較して子実体発生収量が多く、菌床上面からの子実体発生が高温処理により明らかに増加した。対照的に、菌床側面および底面からの発生は減少した。これらのことは、27°Cで7日間の高温処理は、子実体発生収量と発生部位の調整に対して効果があったことを示している。

Table 2-2に、高温処理と給水処理が子実体収量および発生部位に及ぼす影響について示す。給水処理区と無処理区を比較して、子実体収量では、違いは認められなかった。また、菌床上面からの子実体発生個数についても違いは認められなかった。一方、菌床側面および底面からの発生は、給水処理により明らかに減少した。このことは、菌床の子実体原基形成部位を調整するためには、子実体原基形成数を調整する必要があることを示唆している。これらの結果から、高温処理と給水処理の併用は、菌床上面からの発生を調整するために有効であり、菌床における子実体原基形成数および子実体発生部位の両方を調整できることが明らかになった。

Table 2-2. Yield of fruit body by the high-temperature and water-filling treatments.

Treatment	Water-filling	Yield ¹⁾ (g/medium)		Mean fresh weight per fruit body (g)		Number of fruit body per block			
		Mean	SD	Mean	SD	Top		Side and bottom	
Done ²⁾	Done	1094.3	164.0	27.5	1.0	40.0	7.0	3.7	1.5
Done ²⁾	None	1098.0	71.1	26.1	3.2	42.3	4.5	12.7	4.0
Significance		ns		ns		ns		*	

Note: Hokken No. 600 strain was used for this experiment. *, significance at 5% level, ns; no significance, SD: standard deviation.

1) The mushrooms flushed from the side and the bottom of mycelial block were not included in a yield.

2) High-temperature treatment was done at 27°C for 7 days.

Table 2-3. Moisture content of different parts from mycelial blocks.

Water-filling treatment	Moisture content (%)							
	Top		Side		Bottom		Inside	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Done	61.6	1.3	71.0	1.8	72.4	2.5	68.6	1.0
None ¹⁾	60.6	1.7	60.8	1.4	62.4	1.9	65.2	1.3
Significance	ns		**		**		**	

Note: Hokken No.600 strain was used for this experiment. SD, standard deviation;

**, significance at 1% level, ns; no significance.

1) Cultivation bag was removed from mycelial block for flushing.

Table 2-3 に、高温処理および給水処理を行った後の菌床各部位（上面、側面、底面）の含水率を示す。菌床各部位の含水率は、上面 61.6%、側面 71.0%、底面 72.4%であった。シイタケ栽培においては、子実体原基形成と子実体発生は前節で述べた温度に加えて、培地含水率、光、酸素が影響することがよく知られている。小松・時本（1982）は、シイタケ原木栽培における椀木の含水率が 27% から 65% の範囲である時、子実体原基形成数が含水率の増加に比例して増加することを報告した。一方、シイタケ菌床栽培では、Koo ら（1999）は、菌床含水率が 43% から 69% の範囲では、69% で最も高率に子実体原基が形成されることを報告している。また、これらの結果は、シイタケ菌が栽培方法の違いにかかわらず、高含水率を好むことを示唆している。これに対して、Watanabe（1995）は、過剰な菌床含水率は、子実体発生に対して負の影響を及ぼすことを報告した。また、Ohga（1999a）は、過剰な菌床含水率は、菌床の酸素含有量を減少させ、菌糸成長が大幅に抑制されることを報告している。さらに、Tokimoto ら（1998）と Oku ら（2001）は、含水率と空隙量のバランスが子実体収量に影響することを報告した。菌床上面では、低い含水率条件（約 60%）と高い酸素供給量により、効率的に子実体が発生していると考えられる。一方、菌床側面および底面では、給水処理による 70% 以上の高含水率と酸素供給抑制が子実体原基形成を抑制していると考えられる。これらの結果から、高温処理と給水処理の併用は、27°C の高温と 70% 以上の含水率状態により、原基形成数および発生部位の両方を調整できることが明らかになった。なお、この新しい菌床栽培方法を上面栽培法（Fruit body Flushing from the Upper Position, FFUP method）と名付けた。

2.4 要約

シイタケ菌床栽培において、高品質きのこの高収量生産を実現するために、原基形成と子実体発生数および発生部位の調整を可能にする温度、水分条件について検討した。培養完了後の菌床に対して、27°C、7 日間の高温処理を行うことで原基形成数および子実体発生数を減少させることができたが、発生部位の調整は困難であった。この高温処理と 70% 以上の高含水率条件を併用することで、原基形成および子実体発生数だけでなく、発生部位も上面に制御できることが明らかになった。本節で効果の得られた栽培方法を上面栽培法（FFUP method）と名付けた。

第 3 節 シイタケ菌床栽培における改良方法と慣行方法の比較

3.1 はじめに

前節において、培養完了後の菌床に対して、27°C、7 日間の高温処理を行うことで子実体発生数の調整が可能であることを明らかにした。さらに、菌床と栽培袋の間を水で満たす給水処理を併用することで、子実体発生部位も調整可能であることを明らかにした。本節では、確立した新しい菌床栽培方法である上面栽培

方法を適用し、子実体収量のみならず、子実体品質、さらにはシイタケ菌床栽培経営への効果を検討することにより、上面栽培方法による生シイタケ大量生産の可能性について考察する。

3.2 材料と方法

3.2.1 供試菌株、培地組成および培養条件

本研究には、供試菌株として、北研 600 号（株北研）を用い、培地組成および培養条件は常法（第 2 章第 2 節参照）に従って行った。

3.2.2 子実体発生条件

慣行栽培方法では、培養後、ポリプロピレン製の栽培袋を全て除去し、13°C と 20°C の 12 時間切り替え設定において、180 日間発生管理を行った。菌床は 25 日ごとに浸水処理を行った。発生した全ての子実体は、袋を覆っている膜が切れる時期を目安に収穫し、子実体の個数および生重量を記録した。

上面栽培方法では、培養後、子実体発生調整と菌床表面皮膜強化のために、27°C で 7 日間高温処理を行った。その後、菌床上面部位のみ、栽培袋を除去した（Fig. 2-6）。つづいて、水を栽培袋と菌床側面の間に満水となるように注入し、ゴムバンド（オーバンド # 370、共和）を装着して、菌床と栽培袋を固定した（給水処理）。発生室の温度は、発芽のため、27°C から 1°C / 2 日の割合で 15°C まで低下させた。その後、菌床は、13°C と 20°C の 12 時間切り替え設定において、180 日間発生管理を行った。発生した全ての子実体は慣行栽培方法と同じ条件で収穫、記録した。特別な発芽処理は、行わなかった。

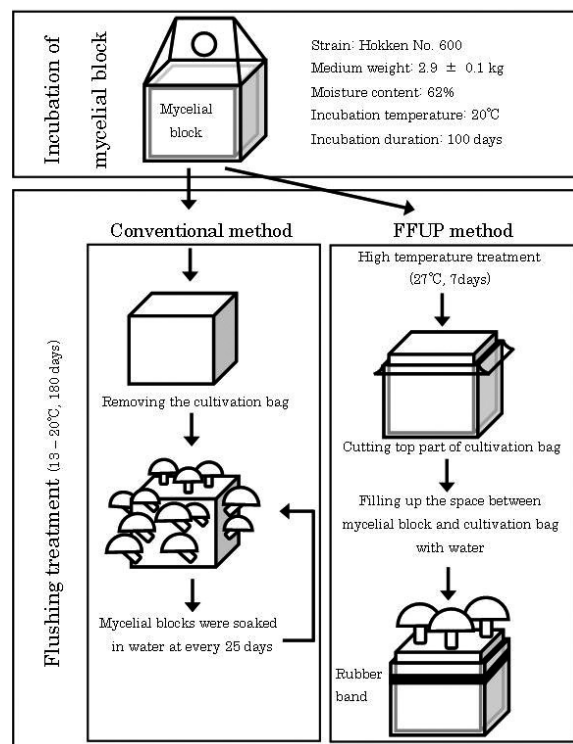


Fig. 2-6. Schematic diagram of the flushing procedure in the conventional and FFUP cultivation methods.



Fig. 2-7. Fruit body flushing in the conventional (a) and FFUP (b) cultivation methods.

Note: In FFUP method, fruit body flushed only from upper portion of mycelial blocks.

一般に、シイタケ子実体の品質評価は、形状、大きさ、1個当たりの生重量、色（傘、柄）、水分状態などの観点から行われる。しかしながら、これら全ての因子により評価することは煩雑であるため、本節では、子実体1個当たりの生重量による簡易的な評価を行った。

3.3 結果と考察

3.3.1 栽培方法の違いが子実体発生に及ぼす影響

慣行栽培方法では、子実体は菌床全面から発生する (Fig. 2-7)。一方、上面栽培方法では、菌床上面部のみ栽培袋を除去したため、子実体は上面部位からのみ発生する。このことは、上面栽培方法では、子実体発

Table 2-4. Yield, flushing rate, number of fruit body, and mean fresh weight per fruit body in conventional and FFUP cultivation methods.

Factor		Cultivation method		Significance
		Conventional ^a	FFUP	
Yield (g/block)	Mean	871.5	1099.0	*
	SD	44.4	79.9	
Flushing rate at one month (%) ¹⁾	Mean	47.0	24.6	*
	SD	5.8	7.3	
Number of fruit body (number/block)	Mean	57.6	43.8	*
	SD	6.3	1.3	
Mean fresh weight per fruit body (g)	Mean	15.2	25.1	**
	SD	1.8	1.1	

Note: SD, standard deviation; *, significance at 5% level; **, significance at 1% level.

1) Flushing rate at one month was calculated by dividing flesh weight of fruit body yielded during the first one month after flushing treatment by total fresh weight of fruit body.

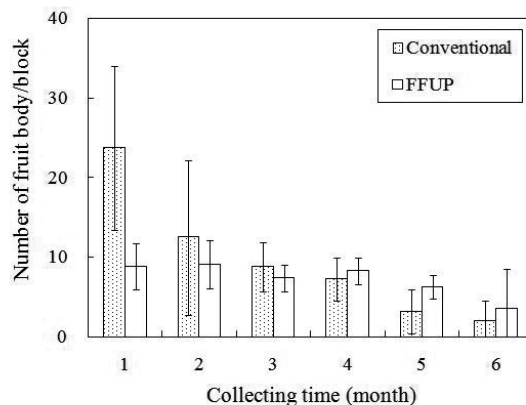


Fig. 2-8. Changes in the number of fruit body by different cultivation methods during collecting period.

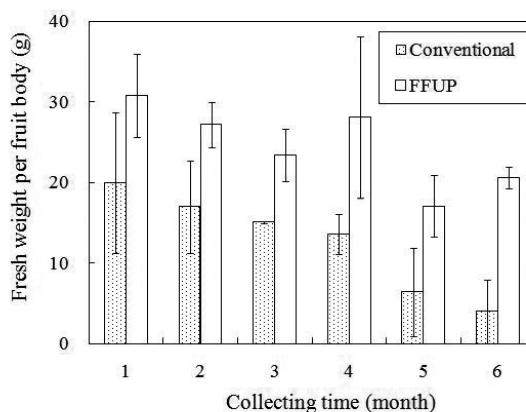


Fig. 2-9. Changes in the fresh weight per fruit body by different cultivation methods during collecting period.

生部位を調整できることを示している。

Table 2-4 に、栽培方法の違いによる子実体収量（個数、生重量）と品質（1個当たりの生重量）に及ぼす影響について示す。栽培方法の違いにより、合計収量、子実体個数および1個当たりの生重量において、明らかな差が認められた。すなわち、上面栽培方法では、子実体発生個数は減少するが、合計収量および子実体1個当たりの生重量は有意に増加した。このことは、上面栽培方法では、高い子実体収量および品質を可能にするということを示している。

高品質の子実体発生個数を増加させるためには、発生期間中において、継続的な原基形成を維持する必要がある。Fig. 2-8 と Fig. 2-9 に、栽培方法の違いによる発生期間ごとの子実体発生個数および1個当たりの生重量を示す。上面栽培方法では、発生期間中、期間ごとの子実体発生個数および1個当たりの生重量が一定の値を示していた。一方、慣行栽培方法では、上面栽培方法と比較して、子実体発生個数および1個当たりの生重量が、発生期間の経過に従って徐々に減少した。これらの結果から、上面栽培方法では、発生期間中、常に同じ水準の高品質子実体を発生させることが可能であることが示唆された。小松・時本 (1982) は、榎木の含水率と原基形成が正比例することを報告した。阿部 (1995, 1996) は、浸水処理後の子実体発生量は、発生処理時の培地含水率になるまで浸水した培地で最も高くなることを報告している。また、水谷(1997)は、

Table 2-5. Comparison of flushing management between conventional and FFUP methods.

Factor	Cultivation method	
	Conventional	FFUP
Budding method (water supply)	Manually	Automatically
Distance between mycelial blocks (cm)	10-15	1-5
Number of mycelial block (No./m ²)	24	36
Duration of flushing (days)	120	180

乾燥した培地では子実体の発生期間が短く、総発生量も少なくなることを報告した。さらに、竹内ら (2004) は、発生管理中の培地含水率を 60% 程度に保持することで、良好な子実体発生が得られることを報告している。従って、発生期間中の継続的な原基形成のためには、適切な培地含水率を維持することが必要であると考えられる。慣行栽培方法では、菌床の含水率を適切に維持するため、浸水処理や散水処理が必須となる。しかしながら、これらの処理では長期間に渡って菌床の含水率を適切に維持することは難しく、結果として、子実体収量および品質の低下を招くことが多い。事実、Yamauchi ら (2009a) は、水分を満した培地の含水率は、慣行栽培方法と比較して常に高い数値を示すとともに、高品質子実体を得ることができることを報告した。このことは、上面栽培方法では、慣行栽培方法と比較して、菌床の含水率をより適切に維持できることを示している。

3.3.2 栽培方法の違いが栽培経営に及ぼす影響

Table 2-5 に、栽培方法の違いによる発生管理の比較を示す。上面栽培方法では、発芽処理として、散水装置を用いて自動的に散水が行われるため、散水のための労働時間が省力できる。上野 (2001) は、慣行栽培方法の浸水処理は、発生期間中、平均 5.7 回行われ、10 kg の子実体を収穫するために 0.5 時間の労働時間が必要であることを報告した。

収穫適期の子実体の傘サイズが 5 cm から 10 cm であるため、慣行栽培方法では、菌床の設置間隔が少なくとも 10 cm から 15 cm 必要であるのに対して、上面栽培方法では 1 cm から 5 cm で十分であるため、結果的に発生室の菌床収容能力が約 1.5 倍に向上する。

Fig. 2-8 と Fig. 2-9 に示したように、慣行栽培方法では 5 ヶ月目までに期間ごとの子実体発生数、生重量および 1 個当たりの生重量が急速に減少したが、改良栽培方法では、発生期間の経過に従って、期間ごとの子実体発生数と生重量の両方が減少したが、1 個当たりの生重量は発生 6 ヶ月目まで一定に維持されていた。このことは、上面栽培方法では、慣行栽培方法と比較して、発生室の回転効率低下するが、長期間の発生に渡って高品質の子実体を発生することができることを示している。以上の結果から、上面栽培方法は、発生管理だけでなく子実体発生収量、品質に加えて、発生部位の調整ができる非常に有利な栽培方法であることが明らかになった。

3.4 要約

シイタケ菌床栽培において、高品質きのこの高収量

生産および労働負荷の低減を実現するために、子実体の発生数と発生部位を制御する方法として、高温処理および給水管理を菌床栽培に適用した。改良した新しい栽培方法（上面栽培法）では、子実体は菌床上部のみから発生した。また、上面栽培法においては、子実体の数と生重量は、180 日間の子実体発生処理期間中、ほぼ一定の値を示した。このことから、この方法を導入することにより、低コストで高品質の子実体を継続的に得ることができるだけでなく、発芽や収穫に費やす労力を低減できることが明らかになった。

第 3 章 シイタケ菌床栽培技術の改良と安定化

第 1 節 研究の目的

前章において、シイタケ菌床栽培における改良方法（上面栽培法、FFUP 法）を確立した。この方法は、培養完了後、栽培袋を全て除去して子実体を発生させる慣行栽培法と比較して、次のような特徴を有している (Yamauchi ら 2009a, b)。

- (1) 菌床上面からのみ子実体が発生するため、収穫時に菌床を持つ必要がなく、労力を低減できる。
- (2) 浸水処理などの発芽処理を行う必要がないため、管理に掛かる労力を低減できる。
- (3) 発生部位を菌床上面のみに限定できるため、子実体発生個数を調整でき、子実体品質が向上する。
- (4) 菌床側面および底面が栽培袋に被覆されているため、菌床含水率を適切な範囲で維持でき、発生期間を通して高品質の子実体が継続的に発生する。

しかしながら、この方法における栽培条件は、慣行栽培において設定された条件を流用しているに過ぎず、上面栽培に適した条件であるかどうかは不明である。実際に栽培現場において、生産者がこの方法を導入し、商業的に安定した経営を行うためには、栽培に伴う様々な条件を明らかにする必要がある。

そこで、本章では、菌床培地製造条件として、最適な栄養剤添加量、培地充填量の 2 つを明らかにし、つづいて、培養完了後に必須となっている高温処理を導入する際の問題点、操作が煩雑であること、専用設備が必要であることの 2 点を改善する新しい培養方法について検討した。

第 2 節 上面栽培法 (FFUP 法) において栄養剤添加量が及ぼす影響

2.1 はじめに

食用きのこの菌床栽培では、通常、オガコ等の培地基材の他に、栄養剤を添加するが、その内容物および添加量は、きのこの種類によって異なることが知られている (小出 2001)。きのこの菌床栽培を安定化させるためには、これらの栄養剤条件を明らかにする必要がある。担子菌の子実体形成に関する栄養生理の研究は、アミスギタケやエノキタケなど、PDA (Potato Dextrose Agar) 培地上でも比較的容易に子実体を形成する種については比較的多い (北本・葛西 1968, 北本ら 1985)。しかしながら、日本の主要食用きのこのシイタケでは、前述したきのこの種と比較して子実体を PDA 培地上で形成させることが困難であること

から、研究があまり進んでおらず、PDA培地上で良好な子実体原基を形成する菌株を対象とした栄養要求性に関する報告があるのみである(東・北本1994)。シイタケ菌床栽培においては、フスマ、コメヌカ、トウモロコシヌカ等の穀物由来成分や、きのこ種菌メーカーが市販している独自配合の栄養剤が使用されることが多く、一定の重量比あるいは体積比で添加されている(大森1993, 山中1995, きのこ年鑑編集部2008)。しかしながら、これらの栄養剤の添加量や配合割合と子実体収量との関係についての報告はほとんどない。

本節では、慣行栽培でも多く用いられているシイタケ短期栽培用ニューバイデル(株北研)を培地重量比10~15%の範囲で添加した培地を用いて上面栽培を行い、添加量が子実体発生および菌床状態に及ぼす影響について検討し、上面栽培法(FFUP法)における最適栄養剤添加量について考察した。

2.2 材料と方法

2.2.1 供試菌株

本研究の供試菌株として、シイタケ菌床栽培において広く用いられている北研600号(株北研)を供試した。

2.2.2 培地組成と培養条件

コナラオガコ(粒径 $< 2 \times 2$ mm), シイチップ(粒径 $5 \times 5 \sim 10 \times 10$ mm), を1:2(乾重ベース)で混合した後に、栄養剤(シイタケ短期栽培用ニューバイデル, 株北研)を10%, 13%, 15%(湿重ベース)となるように混合し、含水率を62%に調整した。この培地を栽培袋(サンバックSS, 三富)に 2.8 ± 0.1 kg充填し、高圧蒸気殺菌(120°C, 60分)した。殺菌後の培地を冷却後、北研600号を1培地当たり25g接種した。接種後の培地は、温度 20 ± 1 °C, 湿度50~70%に設定した培養室(作業時以外は原則暗培養)で100日間培養した。

2.2.3 子実体発生

培養完了後、子実体発生調整と菌床表面皮膜強化のために、27°Cで7日間、高温処理した。その後、Fig. 2-3に示したように、菌床上面部分のみ、栽培袋を除去した。つづいて、給水処理として、水を栽培袋と菌床側面の間に満水となるように注入し、ゴムバンド(オーバンド#370, 共和)を装着して、菌床と栽培袋を固定した。発生室の温度は、発芽のため、27°Cから1°C/2日の割合で15°Cまで低下させた。菌床は13°Cと20°Cの12時間切り替え設定において、180日間発生管理を行った。発生した全ての子実体は、襲を覆っている膜が切れる時期を目安に収穫し、子実体の個数および生重量を記録した。

2.3 結果と考察

2.3.1 栄養剤添加量が子実体発生に及ぼす影響

Table 3-1に、栄養剤添加量が子実体収量(個数, 生重量および1個当たりの生重量)に及ぼす影響を示

Table 3-1. Yield of fruit body in sawdust-based cultivation using Hokken No. 600 strain by FFUP method.

Nutrient rate (%)	Yield / block					
	No.		Fw (g)		Fw / No. (g)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
10	40.2	3.7	1003.8	98.6	25.0	3.3
13	34.4	12.3	875.0	243.1	25.4	2.3
15	19.8	ND	567.1	ND	28.6	ND

Note: No.; The average number of fruit body, Fw; Fresh weight of fruit body, Fw/No.; The average fresh weight of fruit body, SD; standard deviation, ND; not determined.

Table 3-2. Fruit body yield during different collecting period in sawdust-based cultivation using Hokken No. 600 strain by FFUP method.

Nutrient rate (%)	Yield / block						
	Collecting time (days)						
	1-60		61-120		121-180		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
10	No.	17.7	4.0	15.6	14.1	6.9	1.3
	Fw (g)	492.9	158.7	376.5	65.0	134.5	40.0
13	No.	15.5	3.8	14.0	7.7	4.9	3.1
	Fw (g)	411.8	105.6	367.7	204.3	95.5	58.2
15	No.	10.8	ND	6.9	ND	2.2	ND
	Fw (g)	339.0	ND	191.6	ND	36.6	ND

Note: No.; The average number of fruit body, Fw; Fresh weight of fruit body, SD; standard deviation, ND; not determined.

す。栄養剤の添加量10%と13%では、子実体収量に大きな影響は認められなかったが、10%の方でやや高い数値が得られる傾向が認められた。しかしながら、その差は、統計的に有意ではなく、栽培における様々な環境因子による影響を受けた結果、ばらつきが生じた可能性も考えられる。また、本試験における栄養剤の添加量は、栽培現場の事情を考慮して湿重ベースであったことが影響しているのかも知れない。一方、15%では、10および13%と比較して、個数および生重量ともに1/2程度に留まる結果が得られた。

Table 3-2に、栄養剤の添加量が発生前期(1~60日), 中期(61~120日), 後期(121~180日)の各時期における子実体収量(個数, 生重量)に及ぼす影響を示す。栄養剤の添加量10%と13%では、期間ごとの子実体収量に大きな相違は認められなかったが、10%添加では中期を除いて、個数および生重量でやや高い数値が得られる傾向が認められた。この差は、統計的に有意ではないが、後期では、栄養剤の添加量が高い13%の方で、菌床が害菌等に侵されて損傷することにより、収量(個数, 生重量)が増加しなかった可能性が考えられる。なお、15%では、発生前および中期より、菌床が害菌に侵されて損傷する割合が著しく多く、子実体収量が栄養剤の添加量10%と比較して1/2程度であった。このことから、添加剤の添加量は、13%以下に抑える必要があると判明した。

食用きのこ類の栄養生理については、C/N比が重要な指標になっていることが知られている。C/N比の最適値は、栄養成長期と子実体成長期で異なるといわれている(安藤1972, 北本1978, 金城・屋我1986, 東・北本1994, 山中1995, 木村1999)。安藤(1972)は、窒素含有量の増加に伴って、菌糸伸長量は増加するが、反対に著しく高い窒素含有量は、子実体形成を阻害することを報告している。また、寺下・河野(1984)は、

培地中の窒素含有量が最適濃度を上回ると、子実体収量が明らかに減少することを報告している。

中里・岩村（1993）は、シイタケ市販品種数種を供試し、栄養剤の配合および添加量を変えた培地を用いて菌床栽培を行った。その結果、栄養剤の量が増加するとともに収量は増加するが、害菌汚染率も増加する傾向があることを報告した。また、篠田ら（1998）も、同様の実験を行ったところ、栄養剤の量が増加するとともに、収量が増加する傾向を示したが、添加量が上限を超えると、培養日数の延長が必要になる傾向があることを報告した。これらのことは、栄養剤の量が増加することで収量の増加を見込める半面、適値を超えた場合は、菌床が害菌に侵される、また、菌床の熟成に負の影響を及ぼす可能性があることを示唆している。本実験においては、北研 600 号を使用して上面栽培を行った場合、栄養剤の添加量が 13% を超えると、子実体収量の明らかな減少傾向は見られないものの、発生後期の菌床が害菌に侵されて損傷する傾向が認められたため、栄養剤に含まれている窒素分が適値を超えていた可能性が考えられる。

2.3.2 栄養剤添加量が栽培経営に及ぼす影響

経営を考慮した場合、栄養剤の添加量が増加することで、栄養剤コストが増加する。シイタケ短期栽培用ニューバイデルは、1 袋 15 kg 入りで市販価格 1,500 円（2009 年現在）であるため、添加量 10% の場合、1 菌床（3.0 kg 菌床）当たり 30 円の原料費が必要である。一方、添加量 13% の場合は、1 菌床当たり 39 円と 9 円コスト高になる。これは栄養剤のみに着目した場合、30% コスト高となる。一方、子実体標準価格は、6 個入り 100 g で 100 円（2009 年現在）と想定できる（1 個 17 円）。栄養剤を多く添加することで収益を出そうとすると、菌床 1 個当たり子実体発生個数を 1 個以上増加させる必要がある。しかしながら、前節 2.3.1 で示したように、栄養剤の添加量を増やすことにより、子実体収量（個数および生重量）の増加が認められないこと、発生後期に菌床が害菌に侵されて損傷する傾向が認められること、さらには原料コストが増加することの 3 点を考慮すると、北研 600 号を使用した上面栽培法を行う場合、栄養剤の添加量は湿重ベースで 10% 添加することが適していると考えられる。このことから、効率的なシイタケ菌床栽培経営において、使用する菌株ごとに、あらかじめ栄養剤の種類と添加量を検討し、最適条件を設定しておく必要があることを示唆している。

2.4 要約

上面栽培法（FFUP 法）における最適栄養体添加量を検討するため、培地重量比 10, 13, 15% で栄養剤を添加した菌床を使用して、上面栽培を行った。その結果、10 および 13% では、収量に大きな違いは認められなかったが、発生期間を前期、中期、後期と区分すると、後期において、13% では菌床が害菌に侵されて損傷し、収量がやや少なくなる傾向が認められた。また、15% では、発生前中期から、菌床が害菌に侵さ

れて損傷する割合が多くなるために総収量が少なく、10% の 1/2 程度に留まった。これらの結果から、栄養剤の添加量増加に伴う原料コスト増加、総収量、菌床の害菌汚染度を考慮して、北研 600 号の上面栽培における栄養剤の最適添加量は、培地重量比 10% であると判断した。

第 3 節 上面栽培法（FFUP 法）において培地重量が及ぼす影響

3.1 はじめに

シイタケ菌床栽培の歴史は、1.2 kg 菌床（円柱型）から始まった。これは、他の食用きのこ種であるナメコおよびヒラタケなどで用いられていたことに由来すると言われている。しかしながら、これらのきのこ種は、集約栽培技術の確立により、現在ではピン栽培が主流となっている。一方、シイタケ菌床栽培は、より大きい子実体が得られ、総収量が増加するという理由により、2.5 ~ 3.0 kg 程度の角型菌床が用いられている（きのこ年鑑編集部 2008）。前章で確立した上面栽培法（FFUP 法）は、その特徴から 1.2 kg 円柱型菌床では栽培が難しいと考えられる。すなわち、円柱型の場合、菌床と栽培袋の間に隙間ができにくいことから、給水処理が不可能であり、発生部位調整が難しい。従って、上面栽培方法では、慣行栽培で用いられている充填量 2.8 ~ 3.0 kg の角型菌床をそのまま採用した。本節では、2.4 ~ 3.3 kg の範囲で培地を作製して上面栽培を行い、培地重量が子実体収量（個数、生重量および 1 個当たりの生重量）に及ぼす影響について検討した。

3.2 材料と方法

3.2.1 供試菌株

本研究の供試菌株として、シイタケ菌床栽培において広く用いられている北研 600 号（株北研）を供試した。

3.2.2 培地組成と培養条件

コナラオガコ（粒径 < 2 × 2 mm）およびシイチップ（粒径 5 × 5 ~ 10 × 10 mm）を 1:2（乾重ベース）で混合した後に、栄養剤（シイタケ短期栽培用ニューバイデル、株北研）を 10%（湿重ベース）となるように混合し、含水率を 62% に調整した。この培地を栽培袋（サンバック SS, 三富）に 2.4 ~ 3.4 kg まで 0.1 kg 刻みで充填し、高圧蒸気殺菌（120℃, 60 分）した。殺菌後の培地を冷却後、北研 600 号を 1 培地当たり 25 g 接種した。接種後の培地は、温度 20 ± 1℃, 湿度 50 ~ 70% に設定した培養室（作業時以外は原則暗培養）で 100 日間培養した。

3.2.3 子実体発生

培養完了後、常法（第 3 章第 2 節参照）に従って行った。

3.3 結果と考察

3.3.1 仕込み時における菌床重量が子実体発生に及ぼす影響

Table 3-3. Yield of fruit body in sawdust-based cultivation using different weight of medium and Hokken No. 600 strain by FFUP method.

Medium weight (g)	n	Yield														
		No./block		Fw/block (g)		Fw/No. (g)		No./kg block		Fw/kg block (g)						
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD					
2400	4	25.3	ns	8.2	761.3	a	112.4	31.8	ns	6.7	10.3	ns	3.4	311.0	ns	46.8
2500	14	29.6	ns	4.8	849.2	a	115.7	28.9	ns	2.6	11.6	ns	1.9	332.9	ns	45.9
2600	18	30.4	ns	4.5	927.2	ab	87.8	30.8	ns	3.5	11.5	ns	1.7	349.3	ns	33.9
2700	18	28.8	ns	4.5	880.9	ab	108.8	30.9	ns	3.5	10.5	ns	1.7	321.7	ns	41.2
2800	16	30.9	ns	8.8	914.6	ab	216.8	30.1	ns	3.9	10.9	ns	3.1	321.5	ns	76.0
2900	5	26.6	ns	3.1	892.2	ab	153.9	33.5	ns	3.2	9.0	ns	1.1	302.2	ns	51.8
3000	8	32.9	ns	5.7	992.5	ab	98.9	30.7	ns	3.8	10.8	ns	1.9	325.6	ns	34.0
3100	12	29.0	ns	4.4	884.6	ab	144.3	30.7	ns	3.6	9.2	ns	1.4	280.7	ns	45.1
3200	11	34.9	ns	8.5	1026.8	ab	157.6	30.1	ns	4.2	10.7	ns	2.6	315.9	ns	50.6
3300	5	36.8	ns	3.8	1095.0	b	65.6	30.0	ns	3.3	11.0	ns	1.1	326.3	ns	18.9

Note: No.; The average number of fruit body, Fw; Fresh weight, Fw/No.; The average fresh weight of fruit body, SD; standard deviation, ns; no significance. Means with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) by Tukey's significant difference test.

Table 3-3 に、仕込み時における菌床重量を 100 g ごとに区分した場合の子実体総収量（個数、生重量および 1 個当たりの生重量）と単位菌床重量（1 kg）当たりの子実体収量（個数および生重量）を示す。子実体発生個数および 1 個当たりの生重量では、有意な差が認められなかったが、生重量では、2.4 および 2.5 kg 区と 3.3 kg 区間で有意な差が認められた。一方、仕込み時の菌床重量に関係なく、単位菌床重量（1 kg）当たりの子実体収量（個数および生重量）では有意な差が認められなかった。このことから、2.4 kg から 3.3 kg の範囲においては、単位菌床重量当たりの子実体収量がほぼ一定であることが示唆された。

培地重量と子実体収量に関する報告は少ないが、竹内（2000a）は、慣行栽培法において、0.4 ~ 3.0 kg の範囲で培地重量が重くなると単位重量当たりの発生量が少なくなること、高単価の子実体を発生させるためには、培地重量 2.0 ~ 3.0 kg が適していることを報告した。また、篠田ら（2005）は、慣行栽培法および上面栽培法において、1.0 ~ 3.0 kg の範囲で培地重量が増加すると、子実体収量は増加し、子実体サイズが大きくなる傾向が認められたが、単位重量当たりの発生量にはあまり差が見られなかったことを報告している。本実験においても、ほぼ同様の結果が得られている。また、竹内（2000a）の報告では、使用された栽培袋はフィルター 1 穴式の 1.5 kg あるいは 3.0 kg 用ポリプロピレン（PP）栽培袋、篠田ら（2005）の報告では、フィルター 1 穴式ポリエチレン（PE）あるいは PP キャップ方式 1.0 kg 用 PP 栽培袋と複数の栽培資材を用いており、本研究における条件とは大きく異なる。栽培資材が異なれば、栽培袋内のガス環境も大きく異なることが予想されるため、その影響を大きく受けた結果、有意な差が生じた可能性があると考えられる。

3.3.2 仕込み時における菌床重量が栽培経営に及ぼす影響

前節において、菌床重量が 2.4 ~ 3.3 kg の範囲では単位重量当たりの収量にほとんど差が見られないこと、2.4 および 2.5 kg 区と 3.3 kg 区間では、総収量において有意な差が認められたことを明らかにした。通

常、生産者は、培地の仕込みを重量ベースで行うため、菌床当たりの総収量が変わらなければ、菌床重量を小さくすることで製造個数を増加させた方が収益を出しやすいと考えられる。これらのことから、北研 600 号の上面栽培では、最適な仕込み時菌床重量は 2.6 ~ 3.0 kg の範囲であると判断される。

3.4 要約

上面栽培法（FFUP 法）における最適培地重量を検討するため、培地重量 2.4 ~ 3.3 kg の菌床を使用して、上面栽培を行った。その結果、総発生個数では差が認められなかったが、総生重量において、2.4 kg および 2.5 kg 区と 3.3 kg 区間で有意な差が認められた。一方、2.4 ~ 3.3 kg の範囲において、菌床単位重量当たりの個数、生重量では有意な差が認められず、ほぼ一定であることが明らかになった。通常、生産者は、培地の仕込みを重量ベースで行うため、菌床当たりの総収量が変わらなければ、菌床重量を小さくすることで製造個数を増加させた方が収益を出しやすいと考えられる。これらのことから、北研 600 号の上面栽培では、最適な仕込み時菌床重量は 2.6 ~ 3.0 kg であると判断される。

第 4 節 上面栽培法（FFUP 法）における培養条件の検討

4.1 はじめに

シイタケ栽培は 400 年以上前に農家によって始められ、当初は原木に菌糸を蔓延させた原木栽培という手法が主流であった（森 1963）。しかしながら、この方法では資金の回収に時間が懸かること、栽培管理に懸かる人件費が高いこと、栽培そのものが不安定であることなどから、近年では木粉を基材とした菌床栽培に大きくシフトしてきており、2005 年には生シイタケ生産の 70% 以上を占めるようになっていく（林野庁経営課特用林産対策室 2005）。一般的な菌床栽培では、培養完了後、栽培袋を完全に除去して温度および湿度を制御できる発生室において管理を行う方法（きのこ年鑑編集部 2008）を採るが、この方法では菌床が乾燥しやすいこと、発生期間の経過に伴って子実体の品質が低下しやすいこと、発芽処理として浸水処理を採用するため、労力が掛かることなどのデメリットがある。Yamauchi ら（2009b）は、これらの問題点を解決する方法として、培養完了時に菌床肩口から上の部分のみ栽培袋を取り除き、菌床と栽培袋の間を水で満たすことで発生部位を限定できる技術、“上面栽培法”（FFUP 法）を開発した。この方法では、培養完了時における 25 ~ 27℃ での高温処理と、栽培袋側面と菌床の間を水で満たす給水処理の 2 つの操作が非常に重要であることが明らかになっている。しかしながら、この方法では、培養完了時における高温処理が必須であるため、高温処理を行うための専用設備が必要であること、従来の菌床栽培と比較して培養完了時から実際に子実体を得るまでに期間を要することの 2 点が課題として挙げられる。そこで、まず、培養管理中における子実体原基の挙動を調査し、つづいて、培養途中

の未熟な状態において、菌床肩口より上の栽培袋を取り除き、栽培袋と菌床の間を水で満たす給水处理を行い、培養を続行することで高温処理を省略する、簡易型上面栽培方法の有効性を検討した。

4.2 材料と方法

4.2.1 供試菌株および培地組成

本研究の供試菌株として、北研 600 号 (株北研) を用い、培地組成は常法 (第 3 章第 2 および第 3 節参照) に従って行った。

4.2.2 原基数測定

前項 4.2.1 で述べた培地を、栽培袋 (キノバック, 三昌) に 1.2 ± 0.1 kg 充填した。培地は、各処理区当たり 20 個作製し、 120°C 、60 分間高圧蒸気殺菌した。北研 600 号オガコ種菌を各培地 15 g ずつ接種し、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の培養室で培養した。培養 40, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 140 日目でそれぞれ栽培袋を除去し、菌床の褐変表面組織を手で剥がし、河内ら (1991b) に準じて、木粉培地から容易に分離が可能で、硬く球形をした菌糸塊を子実体原基と見なし、原基数を測定した。また、同菌床を $15 \pm 1^\circ\text{C}$ の発生室において管理を行い、初回の子実体発生数量について測定した。

4.2.3 子実体発生

4.2.3.1 標準型上面栽培

前項 4.2.1 で述べた培地を、栽培袋 (サンバック SS, 三富) に 2.8 ± 0.1 kg 充填した。培地は、各処理区当たり 40 個を作製し、 120°C 、60 分間高圧蒸気殺菌した。冷却後、北研 600 号オガコ種菌を各培地 25 g ずつ接種し、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の培養室で培養した。100 日

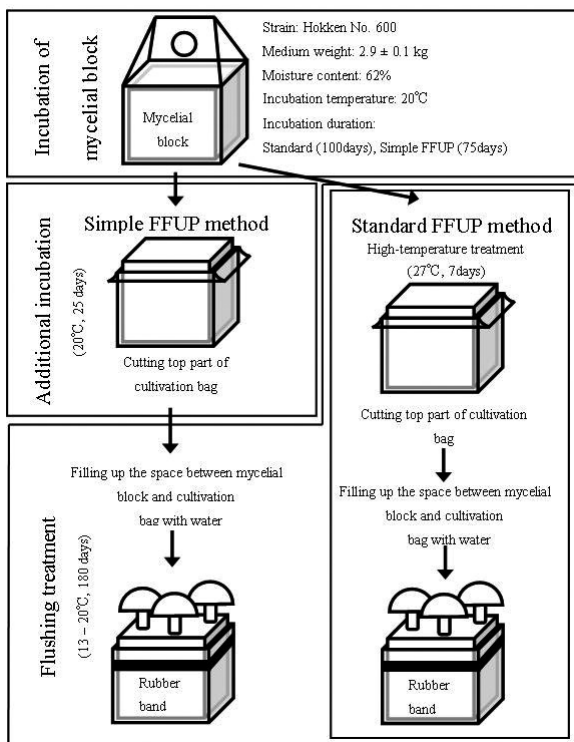


Fig. 3-1. Schematic diagram of the flushing procedure in the simple and standard FFUP methods.

間培養後、菌床肩口より上の栽培袋を取り除き、 27°C 、1 週間の高温処理を行った。高温処理後は、栽培袋と菌床の間に水を張り (給水处理)、輪ゴム (上面バンド #370, 株共和) により栽培袋と菌床を固定した。その後、 23°C 、1 週間菌床を管理した後、 13°C と 20°C の 12 時間切り替え設定の発生室に移動し、発生管理を行った (Fig. 3-1)。発芽処理は散水のみで行った。子実体は膜が切れる前に収穫し、個数と生重量を測定、記録した。

4.2.3.2 簡易型上面栽培

前項 4.2.3.1 と同様に作製した菌床を 75 日間培養後、菌床肩口より上の栽培袋を取り除き、栽培袋と菌床側面の間に水を張り (給水处理)、輪ゴム (上面バンド #370, 株共和) により栽培袋と菌床を固定した。その後、同じ培養室において $20 \pm 1^\circ\text{C}$ で追加培養を行った。培養期間と追加培養期間の合計が 100 日に到達した時に、 13°C と 20°C の 12 時間切り替え設定の発生室に移動し、発生管理を行った (Fig. 3-1)。発芽処理は散水のみで行った。子実体収穫時期および観察項目は、前項 4.2.3.1 と同様に行った。

4.3 結果と考察

4.3.1 培養期間が原基数および子実体発生数に及ぼす影響

前章において、原基形成が十分である完熟菌床に上面栽培法を適用した場合、高温処理が必須であることを明らかにした (Yamauchi ら 2009a)。これは、高温処理なしの場合、子実体発生が望ましくない菌床側面および底面からも子実体発生が多発するためである。しかしながら、高温処理は特殊な条件であるため、別途、専用施設を必要とすることに加えて、作業が煩雑となり、発生管理期間が延びるなどの問題点があった。そこで、本節では、高温処理を省略する方法の一つとして、培養管理過程における未熟な菌床を栽培袋から露出させて側面に水を張り、さらに追加培養を行う方法を検討した。まず、その前段階として、北研 600 号の適正培養熟度および簡易型上面栽培で適用する栽培袋のカット時期を決定するために培養日数が原基形成

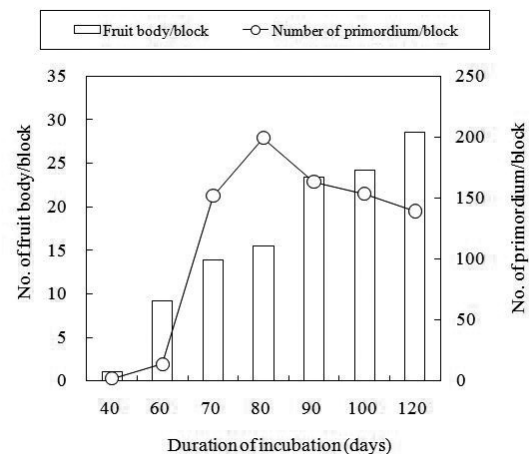


Fig. 3-2. Changes in the number of fruit body and primordium during incubation of mycelial blocks.

数および子実体発生に及ぼす影響について検討した。Fig. 3-2 に、その結果を示す。40 日目では原基をほとんど確認できなかったが、60 日目以降は急激に増加し、90 日目以降はほぼ横ばい、あるいは減少傾向が認められた。また、子実体発生数では、40 日目は発生がほとんど認められなかったが、60 日目以降は急激に増加後、ほぼ横ばいとなった。

楢木や菌床の熟度を評価する指標はいくつか提案されており、原基形成数（河内ら 1991b, 竹内 1998）、試薬に対する呈色反応（大賀 1985）、化学成分変化（Ohga・Donoghue 1998）、白色度（Ohga 1992, 大賀 1995, 吉澤ら 2003）、pH（Ohga 1999b）などがある。河内ら（1991b）は、培養期間の経過に伴って形成される原基個数および重量について検討した。その結果、培養中期から後期にかけて原基が増加するだけでなく減少すること、ある時期に到達すると原基重量が増加することを報告している。竹内（1998）は、培養期間の経過に伴って形成される原基個数について検討した。それによると、培養中期に未熟な子実体原基が多数発生し、その後一時減少し、後期になると再び増加し、発生処理後は 10 個程度で推移したことを報告している。今回の実験においても、同様の結果が得られた。これは、培養期間の経過に伴って形成される原基が増加する一方で、ある時期を越えると選抜（淘汰）され、残存した原基が肥大成長し、適切な刺激が加わることにより子実体への発達が起きるものと推察される。また、本研究で、今回、河内ら（1991b）が使用した菌株とは異なる北研 600 号を供試して同様の結果を得たことから、培養期間と原基数の関係は、菌株に関係なく、ほぼ同様であることが明らかになった。

時本ら（1980）は、シイタケ楢木の熟度と発生数量との間に高い相関関係があることを報告している。また、Ohga ら（1992）は、培養期間が子実体発生量ならびに形質に及ぼす影響を報告した。彼らは、培養期間が長くなるほど、子実体の総発生量が多くなる傾向があることに加え、子実体の形質は、培養日数が増加するに従って大型のものが発生するが、最適培養期間を過ぎた過熟菌床では、小型化することを明らかにしている。本実験においても、同様の結果が得られ、極端に発生個数の少ない 60 日未満を除くと、70 日目以降は子実体 1 個当たりの生重量が増加する傾向を示し、100 日目以降は減少する傾向を示した。これらのことから、北研 600 号の場合は、80～100 日の範囲内に適正熟度があると考えられる。また、予備的に、さらに未熟であると考えられる 20, 40, 60 日目の菌床を供試して給水処理を行ったところ、菌床皮膜の褐

Table 3-4. Total yield and number of fruit body, and mean fresh weight of a fruit body in standard and simple type of FFUP methods using Hokken No.600 strain.

Cultivation method	Yield / block					
	Fw (g)		No.		Fw / No. (g)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Standard	861.5	151.6	32.3	6.8	26.7	1.3
Simple	921.3	51.3	36.3	1.2	25.4	0.7
Significance	ns		ns		ns	

Note: Fw; Fresh weight of fruit body, No.; Number of fruit body, Fw / No.; The average fresh weight of fruit body, ns; no significance, SD; standard deviation.

Table 3-5. Changes in the number of fruit body and fresh weight per fruit body in standard and simple type of FFUP methods using Hokken No. 600 strain during different collecting period.

Cultivation method	Index	Collecting time (month)													
		1		2		3		4		5		6		Total	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Standard	No.	1.7	0.8	2.6	1.2	5.4	3.0	6.1	3.8	7.7	4.9	8.8	3.9	32.3	6.8
	Fw (g)	38.2	5.4	30.1	7.9	27.0	5.4	28.7	8.9	27.2	2.4	21.4	2.2	26.7	1.3
Simple	No.	2.4	1.4	4.5	1.4	6.7	1.7	6.0	0.9	7.3	3.3	9.3	4.5	36.3	1.2
	Fw (g)	32.5	3.7	32.6	3.5	28.2	4.1	24.4	4.1	22.9	1.1	20.9	0.3	25.4	0.7

Note: No; Number of fruit body per block, Fw; Fresh weight of fruit body per block, SD; standard deviation.

色化が円滑に進まないことから、菌床が水分を吸水しすぎて傷む傾向があることが明らかになった。また、追加培養期間が長い（30 日以上）と上面皮膜が乾燥しやすく、上面からの子実体発生が減少する傾向があるため、菌床表面皮膜の褐色化がほぼ完了する 70～80 日目の菌床が最適であると判断された。この結果、以後、上面部分の栽培袋のカットおよび給水処理、すなわち追加培養開始を 75 日目に設定して実験を進めた。

4.3.2 栽培方法の違いが子実体発生に及ぼす影響

Table 3-4 に、簡易型と標準型による上面栽培試験結果を示す。合計子実体発生重量、個数および子実体 1 個当たりの生重量において、簡易型が標準型と比較して、子実体個数では増加する傾向を示し、子実体 1 個当たりの生重量では低下する傾向が認められたが、いずれにおいても有意差は認められなかった。

Table 3-5 に、簡易型と標準型上面栽培による子実体 1 個当たりの生重量の発生期間別推移を示す。子実体の品質については、形状、サイズ、出荷規格、1 個当たり生および乾重量、水分、傘色など多くの観点から評価する必要があるが、今回の実験においては、子実体品質を簡易的に評価するために、子実体 1 個当たりの生重量を測定した。得られた結果は、Table 3-4 に示した結果と同様に、異なる発生期間で相違は認められなかった。

菌床栽培においては、子実体の収量および品質のみならず、菌床管理面、例えば、菌床管理難易度（発芽処理に対する反応性、害菌抵抗性等）、菌床耐久性などが重要なファクターとなることが知られている。今回の実験では、簡易型が高温処理を行わないことで発生処理時の菌床状態、具体的には菌床表面含水率が高い点などで異なったが、栽培に負の影響を及ぼす水準ではなかった。今回の実験結果において、子実体の収量および品質の両面で顕著な相違が認められなかったことは、簡易型が標準型と比較して、子実体の収量および品質の両面において、ほぼ同等であることを示していると考えられる。Yamauchi ら（2009a）は、上面栽培では高温処理が必須であることを報告している。また、培養完了後、高温処理を行わないと、菌床側面および底面から子実体が発生し、上面における発生制御が難しいことを示している。簡易型では、培養途中の未熟な菌床、すなわち形成されている原基数が少ない、あるいは子実体への分化が起こる前（原基が未成熟）に、側面に給水するとともに、子実体発生のある上面は追加培養により水分および酸素の供給を行うことで、部位特異的に原基形成および肥大増殖を促

進できるのではないかと考えられる。

小松・時本(1982)は、櫛木の含水率と原基形成の相関を検討した。それによると、35～69%の範囲では、含水率の増加に伴い原基形成は促進されたが、70%以上の高含水率では、酸素供給の抑制により、原基形成が阻害される結果を得ている。今回の実験においても、原基数が増加から減少に転じる時期、すなわち培養が未熟な状態の菌床で栽培袋を肩口より切除し、菌床と栽培袋の間を水で満たすことで、側面および底面の原基形成および子実体への分化を抑制しているのではないかと考えられる。一方、上面部の原基形成および子実体への分化は、温度と水分が原基形成に適した条件で維持されることにより、側面および底面と比較して円滑に進行したものと推察される。

4.3.3 栽培方法の違いが栽培経営に及ぼす影響

Table 3-6に、簡易型と標準型による栽培所要期間の比較を示す。簡易型では標準型と比較して、高温処理を行わないため、高温処理期間を短縮できる。また、発生期間において、同水準の収量を得るのに要する期間が7～14日間程度短縮できるため、培養と発生を合算した合計栽培期間は17～30日程度短縮が可能であることが示唆された。

一般に、シイタケ菌床栽培では、温度、湿度を制御できる設備を使用するが、管理に要するランニングコストが高くなる傾向がある。標準型上面栽培では、高温処理を別途行う必要があり、専用設備が必要となるため、上面栽培を導入することが難しくなる。一方、簡易型では、高温処理を省略できるため、栽培規模や保有する栽培設備に関係なく、菌床数に適合した培養室と発生室のみで良いため、生産者が容易に導入できると考えられる。また、高温処理だけでなく、発生期間も短縮できるため、ランニングコストの低減に繋がることが期待される。これらの結果から総合的に考えると、簡易型は、標準型と比較して少なくとも同等以上に有用であると判断できる。今後、実証した有効性を生産者に公開し、技術普及を積極的に行っていくことで、菌床シイタケ生産者の経営安定化に貢献できると考えられる。

4.4 要約

上面栽培法(FSUP法)において、必須の処理である高温処理を省略するために、培養および発生工程における改良を検討した。第1段階として、菌床が未熟な状態の時期を把握するため、培養日数に伴う子実体原基形成および子実体発生パターンを解析した。その結果、北研600号では、40日目では原基をほとん

ど確認できなかったが、60日目以降は急激に増加し、100日目以降はほぼ横ばい、あるいは減少傾向が認められた。また、子実体発生数では、40日目は発生が全く認められなかったが、60日目以降は急激に増加後、ほぼ横ばいとなった。これらのことから、70～80日目が、発生前処理に移行する最適な時期であると判断された。

第2段階として、上面部分の栽培袋カットおよび給水処理、すなわち追加培養開始を75日目に行い、高温処理を省略する簡易型上面栽培法の特徴について検討した。その結果、簡易型は標準型上面栽培法と比較して、子実体総収量(個数、生重量および1個当たりの生重量)は変わらないが、高温処理を短縮できるため労力が低減できることに加えて、栽培所要期間を17～30日間短縮できることが明らかになった。

第4章 スギ培地を用いたシイタケの菌床栽培

第1節 研究の目的

シイタケ(*Lentinula edodes*)は、従来、原木による栽培が行われてきた(中村1982, 寺下1989)。この原木による栽培は、異常気象など自然条件の影響を受けやすく、櫛木作りに1～2年、子実体の収穫までにはさらに数年かかるなど、栽培効率が悪いという問題点がある(伊藤1992, 井戸・杉山1997, 井戸・大橋1998, 小出2001)。近年、生産者の高齢化や原木価格の高騰などにより、原木栽培による生シイタケの生産量は年々減少している(加藤ら2000, 齊藤2004)。一方、空調施設を利用して1年中、計画的かつ安定的にシイタケを収穫することができ、栽培期間が短縮できる菌床栽培が急速に普及している(大賀・實淵1987, 辻村ら1992)。現在では、シイタケ生産量の約70%が菌床栽培により生産されている(林野庁経営課特用林産対策室2005)。一般に、シイタケ菌床栽培では、広葉樹オガコが用いられる(伊藤1992, 小出2001, 笠原ら2001)。しかしながら、菌床栽培に用いられるコナラ、クヌギ等の広葉樹材の需給バランスの崩れにより、オガコ価格の高騰が懸念されている(特産情報編集部2005)。

日本において主要な造林樹種であるスギは、間伐材や製材時の端材の多くが未利用のまま廃棄されており、その有効利用が林業政策上の大きな問題点となっている(出井ら1983, 1984, 伊藤ら1993, 岩瀬ら1993, 江崎・井戸1995a, b, 井戸・杉山1997, 井戸・大橋1998, 古川1999, 本間ら2006)。これらのスギ材をシイタケの菌床栽培に利用できれば、生産コストの低減および資源の有効利用に繋がると考えられる(笠原ら2001)。しかしながら、スギ材を用いてシイタケの菌床栽培を行うことは、一般に困難とされている。その原因として、スギの内皮に含まれるフェルギノールやサンダラコピマリノールにより、シイタケ菌の生育が抑制されることが報告されている(中島ら1980, 河内ら1991a, 松井ら2001)。現在までに、スギオガコ含有培地条件が、シイタケの菌糸伸長および子実体収量に及ぼす影響に関する研究が、既存菌株を用いて多く試みられてきた(中里1995, Yoshizawaら

Table 3-6. Comparison of flushing management between standard and simple FSUP methods using Hokken No. 600 strain.

Cultivation method	Duration (days)				Total cultivation
	Incubation	Additional incubation ¹⁾	High-temperature treatment	Flushing	
Standard	100	0	7-10	180	287-290
Simple	75	25	0	160-170	260-270

Note: 1) After top part of the cultivation bag was removed and the space between block and cultivation bag was filled with water, the mycelial block was incubated at 20°C in incubation room.

1998, 笠原ら 2001, Meguro ら 2002, 胡ら 2003, 吉澤ら 2003)。しかしながら、現在まで、培地基材としてスギ材のみを用いた培地では、広葉樹材を用いた培地と同等の品質および収量を示す子実体は得られていない。

本章では、針葉樹であるスギ材に着目して、スギ材を利用したシイタケ菌床栽培技術を確立するため、第1段階として、スギ材に適応力の高い菌株の作出を検討した。つづいて、第2段階として、スギ材適応力の高い菌株によるスギ培地を用いたシイタケ菌床栽培を行うことで、当該菌株の栽培特性を明らかにした。さらに第3段階として、スギオガコと広葉樹オガコの混合割合を検討することで培地条件最適化を進め、スギ材によるシイタケ菌床栽培の可能性について検討した。

第2節 スギ培地適応品種の作出およびその栽培特性

2.1 はじめに

シイタケを安定的に生産するためには、培地基材である広葉樹オガコの安定供給が前提となるが、近年、広葉樹材の伐採量の減少に加えて、食用きのこ生産の拡大により、需給バランスが悪化しており、オガコの価格高騰が問題となっている（特産情報編集部 2005）。そのため、広葉樹オガコに代わる優れた基質の開発が急がれている。そこで、比較的安価に入手することのできるスギオガコを利用できれば、生産コストの低減および資源の有効利用に繋がると考えられる。しかしながら、スギ材を用いてシイタケ菌床栽培を行うことは、一般に困難とされている。その原因として、スギの内皮に含まれるフェルギノールやサンダラコピマリノールにより、シイタケ菌の生育が抑制されることが報告されている（中島ら 1980, 河内ら 1991a, 松井ら 2001）。現在までに、スギオガコ含有培地条件が、シイタケの菌糸伸長および子実体収量に及ぼす影響に関する研究が、既存菌株を用いて多く試みられてきた（中里 1995, Yoshizawa ら 1998, 笠原ら 2001, Meguro ら 2002, 胡ら 2003, 吉澤ら 2003）。しかしながら、現在まで、培地基材としてスギ材のみを用いた培地では、広葉樹材を用いた培地と同等の品質および収量を示す子実体は得られていない。本節では、第1段階として、スギオガコを培地基質として利用した選抜育種を行うことで、スギ材に適応力の高い菌株の作出を試みた。つづいて、得られた菌株を供試して、スギオガコ培地を用いたシイタケの菌床栽培を行い、その栽培特性について検討した。

2.2 材料と方法

2.2.1 スギ培地適応品種の作出

2.2.1.1 予備選抜による交配親株の選定

スギ (*Cryptomeria japonica*) およびコナラ (*Quercus serrata*) それぞれのオガコ (< 2 mm) と栄養剤 (シイタケ短期栽培用ニューバイデル, 株北研) を 10 : 1.5 (v/v) で混合後、含水率を 65% に調整して培地を作製した。1000 ml のポリプロピレン製ビンに培地を 200 g ずつ充填し、フィルター付きキャップを装着後、

121℃, 1.2 気圧で 60 分間殺菌, 冷却後, 予め PDA 培地で前培養した菌糸体 (10 mm 径) を 1 ビン当たり 3 個ずつ接種した。供試品種は, シイタケ (*L. edodes*) 北研 600 号, 601 号 (菌床栽培用中温性品種), 603 号 (菌床栽培用中高温性品種), 800 号 (特殊形状を有する菌床栽培用低中温性品種) および HS71 (原木栽培用中高温性品種) で, 供試数は各株 6 本ずつとした。接種後の培地は 20℃ で 90 日間培養後, 15℃ の発生室において 150 日間発生管理を行い, 子実体発生量を指標として交配用親株を選定した。

2.2.1.2 単孢子分離および交配

前項 2.2.1.1 で選定した子実体発生量の多い菌株を親株とし, 単孢子分離によって孢子由来 1 核菌糸を作出した。その後, PDA 培地上で肉眼による菌糸伸長と菌叢観察により優良な 1 核菌糸株の選抜を行い, つづいてモンモン交配を行った。得られた交配株から, 肉眼観察により, PDA 培地上で菌糸伸長が良好で菌叢が正常である菌株を選抜した。

2.2.1.3 菌床による選抜

前項 2.2.1.2 で得られた交配株を対象として, さらにスギオガコに適応力の高い菌株の選抜を進めた。スギオガコ (< 2 mm) に栄養剤 (シイタケ短期栽培用ニューバイデル, 株北研) を培地重量比 10% となるように加え, 含水率を 65% に調整後, ポリエチレン製の栽培袋 (キノバック, 日昌) に 1.2 kg 充填した。なお, 培地基材として使用したスギオガコおよび栄養剤の含水率は, それぞれ 9.5 および 18.5% であった。この培地を 121℃ で 60 分間殺菌, 冷却後, 予め PDA 培地で前培養した菌糸体 (10 mm 径) を接種した。対照としては, 市販広葉樹オガコ培地 (樹種不明) を使用した。接種後の培地は 20℃ で 150 日間培養後, 15℃ の発生室において発生管理を行い, スギオガコ菌床による子実体の品質 (形状, 肉質および色), 子実体の発生量 (個数, 生重量および 1 個当たりの生重量), 菌床状態 (菌糸伸長, 褐変化度, 硬さおよび菌糸隆起) を指標とした選抜を行った。

2.2.2 栽培特性の調査

2.2.2.1 供試菌株

供試菌は, 前項 2.2.1 でスギ材に適応力の高い菌株として選抜された HS807 と, 対照品種として北研 600 号を使用した。なお, 北研 600 号は, 広葉樹適応の中温性品種であり, 日本のシイタケ菌床栽培で広く用いられている品種である。

2.2.2.2 培地調製

培地基材として, スギおよびコナラを用いた。スギは, 宇都宮大学附属船生演習林から伐採した丸太を粉碎し, オガコを調製した。その後, 粉碎したオガコを 9 ~ 16 メッシュに篩い分けた。コナラオガコは, 渡辺林産工業製 (< 5 × 5 mm) のものを使用した。

各オガコを栄養剤 (フスマ, 前田食品) と全乾重量比 4 : 1 で混合した後, 含水率をスギ培地は 70% に,

コナラ培地は60%に調整した。なお、培地基材として使用したスギオガコ、コナラオガコおよびフスマの(乾燥前)含水率は、10.5, 38.9 および 22.5%であった。つづいて、栽培袋(100 × 130 × 360 mm, エフテック)に調製した培地を各1.2 kg 充填し、菌床培地を作製した。作製した菌床培地は高圧殺菌釜(長岡鉄工所)を用いて、121℃, 1.2気圧で1時間、高圧蒸気滅菌した。放冷後、各オガコ種菌(HS807, 北研600号)を接種した。菌床は各試験区ごとに25個作製した。

2.2.2.3 菌糸伸長測定

前項で述べた方法で調製したオガコ培地をシャーレ(直径9 cm)に詰め、培地を各試験区10個ずつ作製した。その後、オートクレーブを用いて、121℃, 1.2気圧で30分間高圧蒸気滅菌した。放冷後、クリーンベンチ内で予めシャーレ(直径9 cm)内のPDA培地で前培養した菌糸体を、直径6 mmのコルクボーラーで打ち抜き、シャーレ内のオガコ培地中心部に接種した。接種後、20℃でシャーレ内に菌糸が蔓延するまで培養し、菌糸蔓延に要した日数を測定した。

2.2.2.4 菌床の培養管理

培養は、暗所下、温度20℃、湿度70%に設定した培養室で行った。培養期間は、オガコ種菌を使用したため、120日間とした。

2.2.2.5 菌床の含水率、固形分残存率およびpH

接種後30日おきに、各試験区3菌床ずつ、含水率および固形分残存率を測定した。含水率および固形分残存率は、ブリネル硬さを測定後の菌床の中心部から試料を採取し、菌床全体の生重量および全乾重量を測定後、次式から求めた。

$$\text{含水率}(\%) = (W - W_0) / W \times 100$$

ここで、W: 菌床の生重量 (g)

W₀: 菌床の全乾重量 (g)

$$\text{固形分残存率}(\%) : W_0 / S \times 100$$

ここで、S: 菌床作製時の菌床の全乾重量 (g)

W₀: 一定期間培養後の菌床の全乾重量 (g)

各試験区1菌床ずつ、接種後30日おきにpHを測定した。各試験区の培地10 gに蒸留水30 mlを加え、葉さじで細かく砕いて十分に攪拌した。数分静置後、pHメーター(F-21, 堀場製作所)を用いて上澄み液のpHを測定した。

2.2.2.6 菌床の白色度

接種後30日おきに、各試験区3菌床供試し、1菌床につき任意の3ヶ所(上部1ヶ所および側面2ヶ所)の白色度を測定した。白色度の測定はOhga(1992)の方法に従い、色彩色差計(CR-200, ミノルタ)のY_{xy}モードを用いて行った。色の表示方法は、日本工業規格(JIS)に基づいたXYZ(Y_{xy})表色系を用い、次式より白色度を求めた。

$$Z = (1 - x - y) Y / y$$

$$\text{白色度} = Z / 1.18$$

ここで、Z: XYZ表色系における反射による物体色の

三刺激値

Y: 反射率

x, y: 色度(XYZ表色系色度図の横軸方向がx, 縦軸方向がy)

2.2.2.7 菌床のブリネル硬さ

接種後30日おきに、各試験区3菌床ずつ、1菌床につき任意の3ヶ所(上部1ヶ所および側面2ヶ所)のブリネル硬さを測定した。デジタルフォースゲージ用測定スタンド(SV-2, イマダ)を用いて、菌床表面に11 mm径の鉄球を押し込み、このときの押し込み荷重をデジタルフォースゲージ(DPS-50R, イマダ)を用いて測定した。得られた押し込み荷重を用いて、日本木材学会・物理・工学編編集委員会の方法(1985)により、次式からブリネル硬さを求めた。

$$\text{ブリネル硬さ}(\text{gf/mm}^2) = P / \pi Dh$$

ここで、P: 押し込み荷重 (gf)

D: 鉄球径 (mm)

h: 押し込み量 (mm)

2.2.2.8 クラーソンリグニン

各試験区3菌床ずつ、接種後30日おきに試料を採取し、クラーソンリグニンを定量した。クラーソンリグニンの定量には、前項で述べた固形分残存率測定後の菌床中心部から採取した試料を用いた。なお、測定は、常法(黒田2000)に従って行った。

2.2.2.9 子実体の発生

培養完了後、栽培袋から菌床を取り出し、水洗した後、発生室へ移動し、発生管理を行った。

発生は、明所下(24時間蛍光灯を点灯)、温度13℃と20℃を12時間切り替え、湿度60~90%(自動加湿器を使用)に設定した発生室で行った。1回目および2回目の子実体発生終了後に、菌床を6時間浸水することで発芽処理を行った。合計でスギ培地は2回、コナラ培地は3回発生を行った。

子実体の傘が6~8分開きとなり、膜切れ前後であることを確認後、子実体を収穫し、発生個数および生重量を測定した。

2.3 結果と考察

2.3.1 スギ培地適応品種の作出

交配親株選定のために保有既存菌株を対象として行

Table 4-1. Number and mean fresh weight of fruit body in sawdust-based cultivation using sugi and konara wood meal and 5 different strains of *Lentinula edodes*.

Strain	Medium	Yield (per bottle) ¹⁾	
		Number	Fresh weight (g)
Hokken No. 600	Sugi	1.6	11.8
	Konara	3.5	52.1
Hokken No. 601	Sugi	2.0	18.8
	Konara	5.7	63.3
Hokken No. 603	Sugi	1.5	12.9
	Konara	5.2	64.9
Hokken No. 800	Sugi	2.7	24.4
	Konara	11.0	68.3
HS71	Sugi	0.0	0.0
	Konara	0.5	7.4

Note: 1) Yield was obtained as a mean of weight of fruit body harvested from 6 bottles.

Table 4-2. Comparison in the yield and mean fresh weight of fruit body in HS807 and Hokken No. 600.

Strain	Medium	Yield (per block) ¹⁾	
		Number	Fresh weight (g)
HS807	Sugi	7.6	135.2
	Hardwood ²⁾	9.5	203.8
Hokken No. 600	Sugi	1.7	22.3
	Hardwood ²⁾	13.8	219.6

Note: 1) Yield was obtained as a mean of total fruit body weight.

2) Commercial hardwood sawdust (unknown species) was used.

Table 4-3. Mycelial growth in sugi and konara media.

Medium	Strain	Mycelial growth (days)	
		Mean	SD
Sugi	HS807	43.4	a 1.3
	Hokken No.600	41.0	b 0.0
Konara	HS807	41.6	b 1.3
	Hokken No.600	35.9	c 1.4

Note: Means with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) by Tukey's Honestly significant difference test.

った、スギおよびコナラオガコ培地による子実体収量の結果を Table 4-1 に示す。HS71 ではスギ培地で子実体が全く得られなかったが、北研 600 号、601 号、603 号および 800 号では、培地樹種に関係なく子実体の発生が認められた。このことから、市販品種の多くはスギ培地で子実体を形成できることが示唆された。得られた結果から、以降の交配には、スギ培地においても子実体が発生した北研 600 号、601 号、603 号および 800 号の 4 菌株を母材とすることとした。

つづいて、これら親株由来 1 核菌糸の交配により得られた交配株を選抜するために、スギ培地による菌床栽培選抜を行った。交配により作出した 500 菌株から、最終的に 1 菌株（菌株名：HS807）を選抜した。なお、HS807 は、北研 603 号と北研 800 号の交配（分離側：北研 800 号）により得られた菌株である。Table 4-2 に、最終的な選抜結果を示す。選抜菌株 HS807 は、対照品種である北研 600 号と比較して、広葉樹培地では、ほとんど同じ子実体発生量を示したが、スギ培地においては約 6 倍高い値を示した。

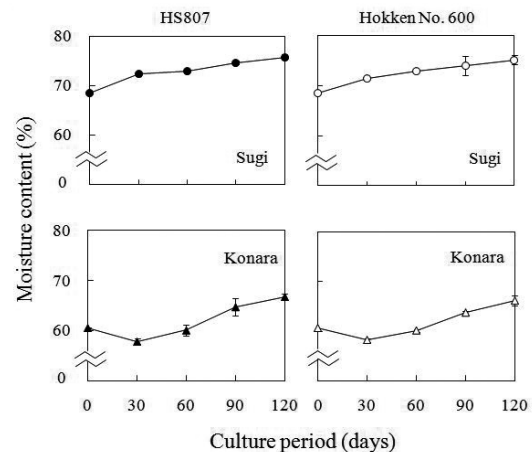
2.3.2 スギ培地適応品種の栽培特性

2.3.2.1 菌糸伸長

Table 4-3 に、各試験区におけるオガコシャーレ培地での菌糸蔓延日数を示す。菌糸蔓延日数は、スギ培地における HS807 で 43 日であった。また、スギ培地における北研 600 号およびコナラ培地における HS807 ではいずれも 41 日であった。一方、コナラ培地における北研 600 号では 36 日であった。このように、培地と菌株の違いによって菌糸蔓延日数に有意差が認められた。また、菌株に関係なく、スギ培地では、コナラ培地と比較して菌糸蔓延日数が遅延する傾向が認められた。

2.3.2.2 菌床の含水率

Fig. 4-1 に、培養日数の増加に伴う含水率の変化を示す。大賀（1995）は、シイタケ菌床栽培において菌

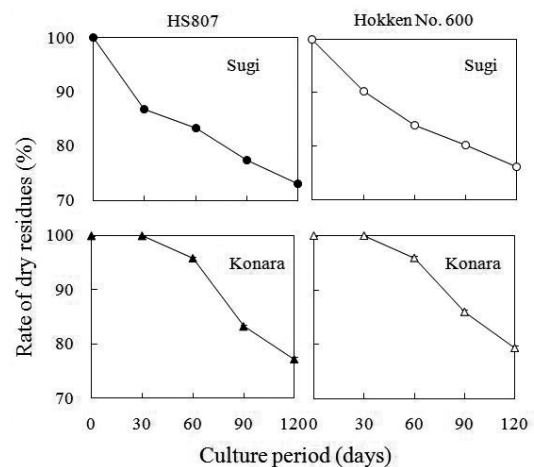
**Fig. 4-1.** Changes in moisture content of mycelial block during culture for 120 days.

Note: Moisture content was determined for 3 mycelial blocks in each medium and strain. Bars indicate standard deviations. Closed circle, HS807 in sugi medium; open circle, Hokken No. 600 in sugi medium; closed triangle, HS807 in konara medium; open triangle, Hokken No. 600 in konara medium.

床熟成度が上昇するに従い、含水率が増加することを報告している。本研究において、スギ培地の菌床含水率は、初期含水率 70% から、培養中、徐々に増加する傾向を示し、培養 120 日目に 75% に到達した。一方、コナラ培地の含水率は、初期含水率 60% から培養 30 日目にわずかに減少した後、スギ培地と同様に増加する傾向を示し、培養 120 日目に 65% に到達した。これらのことから、全ての試験区において、120 日間の培養により菌床含水率が約 5% 増加することが明らかになった。しかしながら、この含水率増加傾向には、菌株間で相違が認められなかった。このことから、培地の分解によって生じる水分量は、培地に用いたオガコ樹種および菌株に関係ないことが明らかになった。

2.3.2.3 菌床の固形分残存率

Fig. 4-2 に、培養日数の増加に伴う固形分残存率の

**Fig. 4-2.** Changes in the rate of dry residues from mycelial block during culture for 120 days.

Note: The rate of dry residues was determined for 3 mycelial blocks in each medium and strain. Bars indicate standard deviations. Closed circle, HS807 in sugi medium; open circle, Hokken No. 600 in sugi medium; closed triangle, HS807 in konara medium; open triangle, Hokken No. 600 in konara medium.

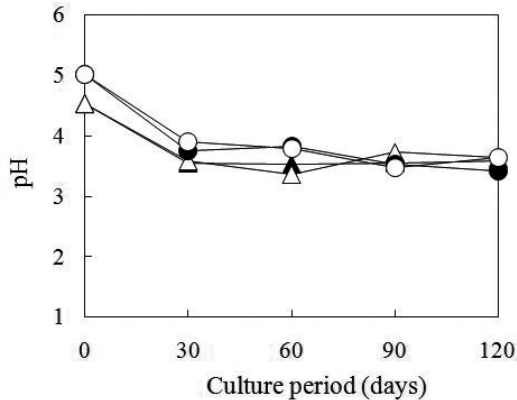


Fig. 4-3. Changes in pH of mycelial block during culture for 120 days.

Note: One mycelial block was used for measurement of pH. Closed circle, HS807 in sugi medium; open circle, Hokken No. 600 in sugi medium; closed triangle, HS807 in konara medium; open triangle, Hokken No. 600 in konara medium.

変化を示す。スギ培地の固形分残存率は、HS807において培養30日目で85%となり、その後、徐々に低下し、120日目には73%を示した。また、北研600号では、培養60日目で85%となり、その後、一定の割合で減少し、120日目には76%まで低下した。一方、コナラ培地では、両菌株とも培養30日目までは大きな変化が認められず、その後、培養日数の増加に伴って低下し、120日目には80%に到達した。また、両菌株において、培養完了時に、コナラ培地よりもスギ培地で低い固形分残存率を示した。シイタケ菌床栽培において、培養完了時の固形分残存率は、子実体を発生しなかった菌床より、子実体を発生した菌床の方で低い値を示すことが報告されている（大賀1995）。本研究では、後述するように、全ての菌株で、スギ培地よりコナラ培地で高い子実体収量が得られた。しかしながら、Fig. 4-2に示したように、培養完了時の固形分残存率は、スギ培地の方で低い値を示した。これは、スギ培地の培地含水率がコナラ培地と比較して高いため、培養開始時の固形分量が少ないことが原因の1つであると考えられる。

2.3.2.4 菌床培地のpH

シイタケの菌床栽培では、培地中に有機酸類が分泌されることにより、pH値が減少すると考えられている（中村1982）。そのため、大賀（1995）は、菌糸蔓延度が菌床pHの変化によって測定できることを指摘している。このことから、培養日数の増加に伴うpHの変化は、菌床熟成度を判定する重要な指標の一つであると考えられる。Fig. 4-3に、培養日数の増加に伴うpHの変化を示す。培養開始時のpHは、スギ培地では5.0、コナラ培地では4.5であり、いずれもシイタケの菌糸成長に適した範囲を示した。また、培養30日目までに、スギ培地では3.7~3.9、コナラ培地では3.4~3.6に低下し、その後、3.5前後で安定する傾向が認められた。Ohga（1999b）は、シイタケ栽培において、培養開始時から発生段階にかけてpHが6.3から4.0まで低下することを報告している。また、

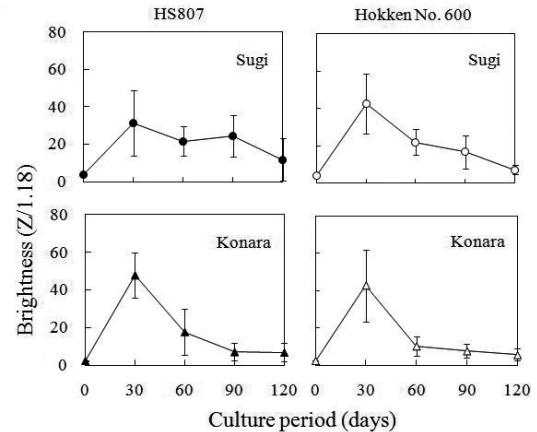


Fig. 4-4. Changes in brightness of mycelial block during culture for 120 days.

Note: Brightness was determined for 9 samples from 3 mycelial blocks in each medium and strain. Bars indicate standard deviations. Closed circle, HS807 in sugi medium; open circle, Hokken No. 600 in sugi medium; closed triangle, HS807 in konara medium; open triangle, Hokken No. 600 in konara medium.

笠原ら（2001）は、pHが接種後68日目に急激に低下し、その後安定した値を示すことを報告している。さらに、子実体の発生に好適な培地のpHは3.5~4.5であるといわれている（Tokimoto・Kawai 1975）。本研究においては、pHは、全ての試験区で培養完了時までに3.5前後を示し、一般に知られている子実体発生に適した値を示した。

2.3.2.5 菌床の白色度

シイタケ菌床栽培では、培養前期に、菌糸が菌床全体に蔓延することにより菌床が白く変化し、白色度はピーク値となる。また、培養後期には、酸化還元酵素が誘導されることによって菌床表面が褐色に変化し、白色度は急激に低下することが報告されている（Ohga 1992, 大賀 1995）。Fig. 4-4に、培養日数の増加に伴う白色度の変化を示す。コナラ培地の白色度は、培養30日目に約40~50と高い値を示したが、スギ培地では、HS807で約30と低い値を示した。このことから、HS807は、培養30日目において、スギ培地で菌糸体量の増加が十分でないことが推測された。培養30日目以降、コナラ培地においては急激に白色度が減少した。一方、スギ培地における白色度は、両菌株においてコナラ培地と比較して緩やかに減少する傾向を示した。このことから、スギ培地を用いたHS807の試験区は、他の試験区と比較して菌糸体量が少なく、褐変の遅れを反映していると考えられる。褐変が十分でない菌床は、子実体発生管理時に害菌に侵入されやすいことが知られている（大森1993）。従って、HS807をスギ培地で栽培する場合、120日間の培養期間では、北研600号と比較して、発生管理時に害菌汚染を受けやすくなることが推察される。

2.3.2.6 菌床のブリネル硬さ

培養日数の増加に伴ってシイタケ菌糸体量が増加することにより、菌床内部の空隙を菌糸が埋めるため、ブリネル硬さが増加すると考えられている。そのため、

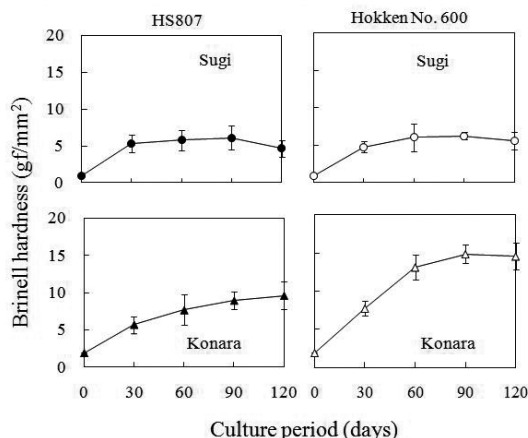


Fig. 4-5. Changes in Brinell hardness of mycelial block during culture for 120 days.

Note: Brinell hardness was determined for 9 samples from 3 mycelial blocks in each medium and strain. Bars indicate standard deviations. Closed circle, HS807 in sugi medium; open circle, Hokken No. 600 in sugi medium; closed triangle, HS807 in konara medium; open triangle, Hokken No. 600 in konara medium.

菌床の熟成度を示す指標の一つとして用いられている(吉澤ら 2003)。Fig. 4-5に、培養日数の増加に伴うブリネル硬さの変化を示す。スギ培地のブリネル硬さでは、菌株による違いはほとんど認められず、両菌株とも培養30日目までに5 gf/mm²まで増加し、その後、一定の値を示す傾向が認められた。一方、コナラ培地では、ブリネル硬さは両菌株とも培養90日目まで増加した。しかしながら、培養120日目において、北研600号の試験区では14 gf/mm²であったのに対して、HS807の試験区では8 gf/mm²であった。このように、ブリネル硬さでは初期の値に対して、コナラ培地を用いた北研600号の試験区で7倍以上の増加が認められた。一方、スギ培地およびコナラ培地におけるHS807の試験区では、5倍程度の増加であった。このことから、スギ材適応品種であるHS807をスギ培地およびコナラ培地で培養した場合、コナラ培地を用いた北研600号の試験区と比較して、菌糸体量の増加が十分に

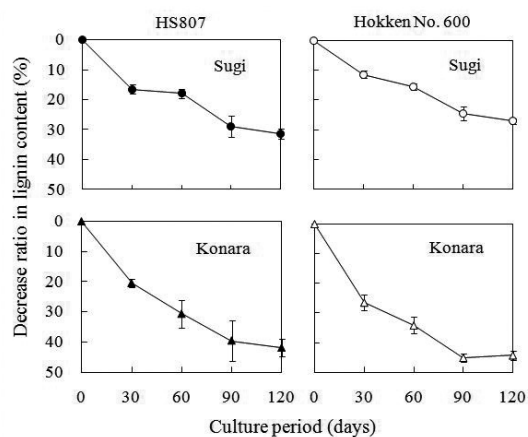


Fig. 4-6. Changes in Lignin content of mycelial block during culture for 120 days.

Note: Lignin content was determined for 3 mycelial blocks in each medium and strain. Bars indicate standard deviations. Closed circle, HS807 in sugi medium; open circle, Hokken No. 600 in sugi medium; closed triangle, HS807 in konara medium; open triangle, Hokken No. 600 in konara medium.

はないことが示唆された。

2.3.2.7 リグニン減少率

Fig. 4-6に、培養日数の増加に伴うリグニン減少率の変化を示す。コナラ培地では、両試験区で培養30日目までに20%以上、培養完了時には40%以上の減少率を示し、菌株による相違は認められなかった。一方、スギ培地における減少率は、培養30日目までにHS807で15%、北研600号では10%を示し、培養完了時には両試験区で20~30%を示した。このように、両菌株において、いずれの培養期間においても、リグニン減少率は、スギ培地よりもコナラ培地において高い減少傾向が認められた。これは、シイタケを含む白色腐朽菌のリグニンの分解において、広葉樹に主に含まれているシリンギルプロパン構造が、針葉樹に含まれているグアイアシルプロパン構造より分解されやすいためであると考えられる。Highley (1982)は、グアイアシルリグニンとシリンギルリグニンでは、菌類による分解性が異なり、グアイアシルリグニンはシリンギルリグニンより微生物分解を受けにくいことを報告している。また、沖ら (1981)は、シイタケ菌によるブナ材のリグニン分解は、シリンギル核構造がグアイアシル核構造より優先的に分解されることを報告している。また、培養完了時の固形分残存率は、全ての菌株においてスギ培地ではコナラ培地と比較して低い値を示した (Fig. 4-2)。これらのことから、スギ培地では、スギ材の分解よりも栄養剤であるフスマの分解が優先的に行われたと推察される。

2.3.2.8 子実体収量

Table 4-4に、各試験区における1菌床当たりの子実体収量を示す。コナラ培地では菌株に関係なく、200 g以上の高い子実体収量が得られた。一方、スギ培地では、HS807で約85 gの子実体収量が得られ、北研600号の同培地における収量と比較して有意に高い値(約60 g)を示した。しかしながら、コナラ培地のそれと比較すると、いずれも1/2以下の低い値を示した。また、スギ培地の場合、両菌株とも2回目の発生において、ほとんど子実体を得ることができなかった。

Fig. 4-7に、各試験区における1回目の子実体発生状況を示す。子実体品質では、試験区による大きな相違は認められなかったが、食味官能検査(20~40才代の男女、被験者5名)では、スギ培地での1回目発生子実体がコナラ培地と比較して、味が濃く感じられ

Table 4-4. Fresh weight of fruit body in sawdust-based cultivation using sugi and konara media and different *L. edodes* strains.

Medium	Strain	Fresh weight (g)							
		1st		2nd		3rd		Total	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Sugi	HS807	84.3	18.8	0.8	2.9	-	-	85.1	19.5
	No. 600	58.5	22.5	0.0	0.0	-	-	58.5	22.5
Konara	HS807	192.1	33.5	41.5	17.2	0.5	1.7	234.1	33.6
	No. 600	149.6	12.3	72.6	29.9	37.2	14.1	259.4	34.9

Note: -, Flushing did not occur; **, significance at 1% level by Student's t-test between two tested strains; ns; no significance, SD; standard deviation. Yield was obtained as a mean of fruit body weight harvested from 10 mycelial blocks.

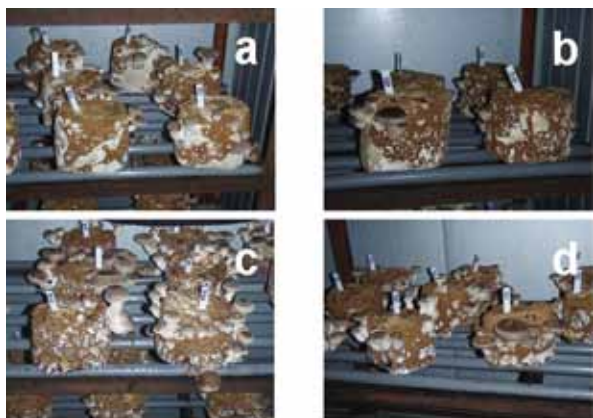


Fig. 4-7. Flushing of fruit body from mycelial blocks made of sugi or konara wood meal and HS807 or Hokken No. 600.
Note: a, HS807 cultivated on sugi medium; b, Hokken No. 600 cultivated on sugi medium; c, HS807 cultivated on konara medium; d, Hokken No. 60 cultivated on konara medium.

るという傾向が認められた。しかしながら、培地基材による食味への影響については、更なる検討が必要であると考えられる。

白色度の結果から、スギ培地の菌床は、菌糸体量がコナラ培地と比較して少ないことに加え、褐変の遅れを反映していた。また、ブリネル硬さの結果からも、スギ培地の菌床は、培養完了時における菌糸体量がコナラ培地と比較して少ないことが推察される。このため、スギ培地では浸水処理後、2回目の発生時にすでに崩れやすい状態となり、また、十分な数の子実体原基が形成されず、子実体発生が困難になったと考えられる。このことは、全ての試験区で培養120日目のブリネル硬さと、2回目および3回目の子実体収量間に高い正の相関があることから裏付けられる (Table 4-5)。これらの結果から、スギ培地における2回目以降の発芽処理と子実体発生のためには、培養時における菌糸体の増加が重要な因子になるものと考えられる。従って、スギ材適応品種をスギ培地で安定的に栽培するためには、栄養剤の種類や量、広葉樹オガコとスギオガコの混合割合等、培地条件の更なる検討が必要であると考えられる。

2.4 要約

本節では、スギ培地を基材としたシイタケ菌床栽培を行うことを最終的な目標とし、第1段階として、既存菌株と比較してスギ材に適応力の高い菌株の作出、第2段階として、その栽培特性について検討した。

まず、スギ培地を基本培地として選抜を行ったところ、既存の菌株と比較してスギ培地でも高い収量が得られる HS807 を作出した。

つづいて、スギ材に適応力の高い品種として選抜した HS807 の栽培特性について検討した。その結果、

Table 4-5. Correlation between brinell hardness and fruit body yield.

Factor 1	Factor 2	Correlation coefficient
Brinell hardness after 120 days of incubation	Yield (1st)	0.663 ns
	(2nd)	0.929 **
	(3rd)	0.895 **

Note: **, significance at 1% level; ns, no significance.

HS807 はコナラ培地と比較して、スギ培地では、培地中の栄養剤を優先的に分解することで菌糸体を増加させていることが示唆された。また、スギ培地では、菌床状態の悪化から2回目以降の発芽処理を行うことが難しく、子実体発生が得られにくいことが明らかになった。今後、スギ材適応品種をスギ培地で安定的に栽培するためには、栄養剤の種類や量、広葉樹オガコとスギオガコの混合割合等、培地条件の更なる検討が必要であると考えられる。

第3節 培地へのスギオガコの混合割合が子実体収量に及ぼす影響

3.1 はじめに

一般に、シイタケ菌床栽培において、培地基材としてスギのみを用いた培地では、広葉樹木粉を用いた培地と同等の収量は得られていない。そのため、シイタケ菌株の育種改良が必要であると考えられる。

枝ら (2001) は、ブナ培地と比較して、スギ培地において高い収量を得ることが可能なスギ材適応品種の開発に成功したことを報告している。この品種を用いて、様々な培地条件を検討することにより、スギオガコを用いた培地において、さらなる収量増加が期待される。しかしながら、前節までに得られた結果から、この品種を用いたシイタケの菌床栽培で、スギ培地において、コナラ培地と同等の高い収量を得ることが難しいことが明らかとなった。この原因としては、広葉樹材であるブナ材およびコナラ材の樹種の違いに加えて、培地に添加した栄養剤組成による影響が指摘されている (山内ら 2008)。これらのことから、スギ材適応品種を用いて、さらなる培地条件の検討およびデータの蓄積が必要であると考えられる。また、山内ら (2008) は、培地にスギおよび広葉樹オガコの混合基材を用いることで、スギ単独の培地と比較して、さらなる収量増加の可能性を指摘している。また、針葉樹オガコに含まれる菌糸伸長阻害物質の除去を目的とした、スギオガコの前処理方法が検討され (江崎・井戸 1995a, 井戸・杉山 1997)、培地基材における前処理済みスギオガコと広葉樹オガコの混合割合が、子実体収量に及ぼす影響について検討されている (澤 1991, 江崎・井戸 1995a, b, 中里 1996, 井戸・杉山 1997, 笠原ら 2001)。しかしながら、いずれの研究においても、培地基材としてスギのみを用いた培地では、広葉樹オガコを用いた培地と同等の子実体収量は得られていない。本節では、スギ材適応品種を用いてシイタケの菌床栽培を行い、スギオガコと広葉樹オガコの混合割合が子実体収量に及ぼす影響について検討し、本菌株はもとより、スギ材を用いたシイタケの菌床栽培の可能性について考察した。

3.2 材料と方法

3.2.1 菌株

本研究には、供試菌株として、本章第2節で開発したスギ材適応品種である HS807 (株北研) を用いた。

3.2.2 培地の調製および培養

培地基材は、スギ (*Cryptomeria japonica*) オガコとコナラ (*Quercus serrata*) オガコを混合して使用した。いずれのオガコも、市販品(渡辺林産工業)を使用した。スギオガコの混合割合は、乾重量比で、0、25、50、75および100%の5区設定した。栄養剤として、市販フスマ(前田食品)を使用し、混合した培地基材に、全乾重量比で培地基材:フスマ=4:1の割合で混合した。培地含水率は、スギ0、25、50、75、100%培地で、それぞれ62、65、66、68、72%とした。栽培袋(100×130×360 mm, エフテック)に調製した培地を1.2±0.1 kg充填し、成型した後、接種孔を中央に1ヶ所開けた。オートクレーブ(長岡鉄工所)を用いて、120℃、1.2気圧で60分間高圧蒸気殺菌を行った。放冷後、1培地あたり12gずつ、HS807オガコ種菌を接種した。なお、1区当たり、30菌床作製した。

培養は、暗所下、温度20±1℃、相対湿度60~70%に設定した培養室で126日間行った。

3.2.3 含水率、固形分残存率およびpH

接種後30日おきに、各区1菌床ずつ、第4章第2節の方法に従って測定した。

3.2.4 白色度

菌床表面の白色度は、各区3菌床ずつ、接種後7日ごとに測定した。白色度の測定は、第4章第2節の方法に従って測定した。

3.2.5 子実体発生

培養完了後、栽培袋を全て除去して水洗後、明所下(24時間蛍光灯を点灯)、13~22℃の変温設定(12時間周期で切り替え)、相対湿度80~90%(自動加湿器を使用)に設定した発生室で管理した。発生は3回繰り返し、発芽処理は2回目以降、21日周期で浸水処理により行った。子実体の傘が6~8分開きとなり、膜切れ前後であることを確認後、子実体を収穫し、個数および生重量を測定した。

3.3 結果と考察

3.3.1 含水率

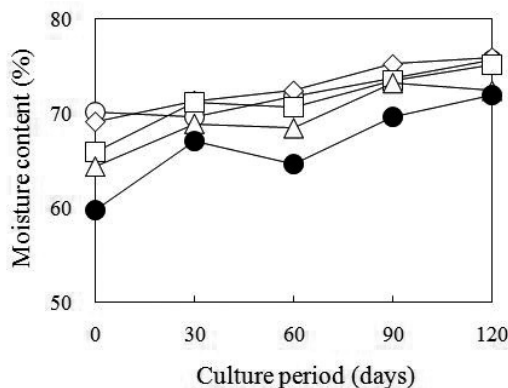


Fig. 4-8. Changes in moisture content of mycelial block in each medium during culture for 120 days.

Note: Moisture content was determined for 3 mycelial blocks in each medium. Closed circle, additional rate of sugi wood 0%; open triangle, 25%; open square, 50%; open diamond, 75%; open circle, 100%.

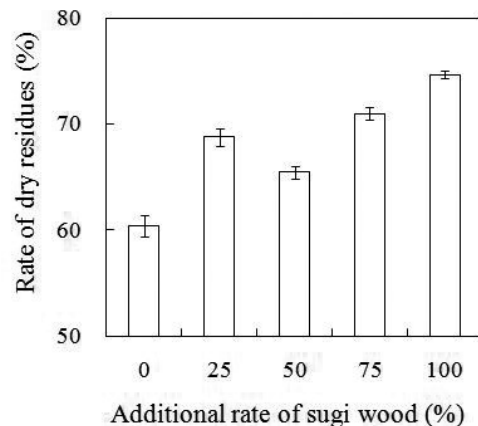


Fig. 4-9. Changes in the rate of dry residues from mycelial block in each medium after 120 days of culture.

Note: Bars indicate standard deviations.

Fig. 4-8に、培養日数の増加に伴う菌床含水率の変化を示す。培地へのスギオガコの混合割合が0、25、50、75および100%区における培養0日目の初期含水率は、それぞれ62、65、66、68および69%を示し、培養120日目の含水率は、それぞれ72、72、75、76および76%を示した。このことから、全ての試験区において、120日間の培養により、菌床含水率は、7~10%増加することが明らかになった。また、培養120日目の菌床含水率は、培地へのスギオガコの混合割合が50、75および100%区では、75~76%を示したのに対し、0および25%区では、72%と比較的低い値を示した。

大賀(1995)は、シイタケの菌床栽培において、菌床の熟成度が上昇するにつれて含水率が増加することを報告している。また、Watanabe(1995)は、コナラおよびスダジイの混合基材を用いた90日間のシイタケ菌床栽培では、初期含水率63および66%区が、90日目で、それぞれ71および75%まで含水率が増加したことを報告している。本実験では、全ての試験区で、培養日数の増加に伴って含水率が増加する傾向を示した。従って、全ての試験区で、培養中の含水率変化から、菌床の熟成度は培養期間の増加に伴って上昇していると考えられる。

3.3.2 固形分残存率

Fig. 4-9に、培養完了時の各試験区における菌床の固形分残存率を示す。固形分残存率は、培地のスギオガコ混合割合が0、25、50、75および100%区において、それぞれ60、69、66、71および75%を示した。培養完了時の固形分残存率は、培地のスギオガコ混合割合が25%区を除いて、培地へのスギ混合割合が増加するに伴って高くなる傾向を示した。

シイタケ菌床栽培において、培養完了時の固形分残存率は、子実体が発生しなかった菌床と比較して、子実体が発生した菌床の方が熟成度が高まるため、低い値を示すことが報告されている(大賀1995)。また、吉澤ら(2003)は、シイタケ菌床栽培において、培養120日目の培地の固形分残存率は、コナラ培地では65%前後であり、スギ培地では80%以上の高い値を示

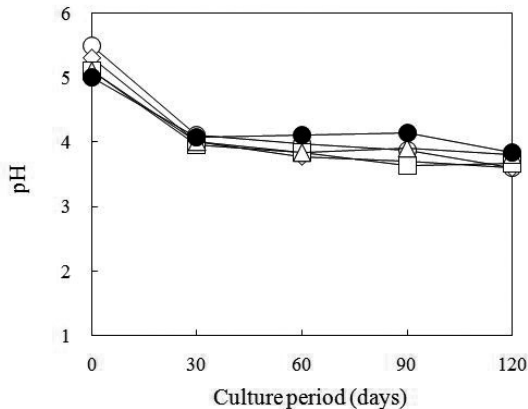


Fig. 4-10. Changes in pH of mycelial block in each medium during culture for 120 days.

Note: One mycelial block was used for measurement of pH. Closed circle, additional rate of sugi wood 0%; open triangle, 25%; open square, 50%; open diamond, 75%; open circle, 100%.

し、収量でもスギ培地よりコナラ培地の方が高い値を示したことを報告している。本実験においても、培養完了時の培地の固形分残存率は、吉澤ら（2003）の結果と同様の傾向を示した。

これらのことから、本実験においては、培養完了時の固形分残存率から考えて、培地へのスギオガコの混合割合が増加するに従って、熟成度が低くなる傾向を示すことが示唆された。

3.3.3 pH

一般に、シイタケ菌床栽培では、培地中に有機酸類が分泌されることにより、pH値が減少することが報告されている（中村1982）。また、大賀（1995）は、菌床pHの変化が、菌床の熟成度を判定するための指標となり得ると指摘している。Fig. 4-10に、培養日数の増加に伴うpHの変化を示す。培養開始時のpHは、培地のスギオガコ混合割合が0、25、50、75および100%区において、いずれも5.5付近を示し、中村（1982）が指摘するシイタケ菌糸の伸長に良いとされる培地pH値（4.5～5.0）に近似していた。菌床のpHは、培養0日目から30日目までに全ての試験区で4.0～4.1まで低下し、その後、3.9付近の値に安定した。培養120日目の菌床pHは、培地のスギオガコの混合割合が0、25、50、75および100%区で、それぞれ3.8、3.8、3.7、3.6および3.6を示した。Ohga（1999b）は、シイタケ菌床栽培において、培養開始時から発生段階にかけて、pHが6.3から4.0まで低下することを報告している。笠原ら（2001）は、pHが接種後68日目まで急激に低下し、その後、3.2前後の安定した値を示すと報告している。本節においても、pHは、培養初期に急激に低下し、その後、安定する傾向を示した。また、子実体発生に適した培地のpHは、3.5～4.5であると言われている（Tokimoto・Kawai 1975）。本実験において、pHは、全ての試験区で培養完了時まで3.6～3.9を示し、いずれの試験区もpHについては、子実体発生に適した値を示した。

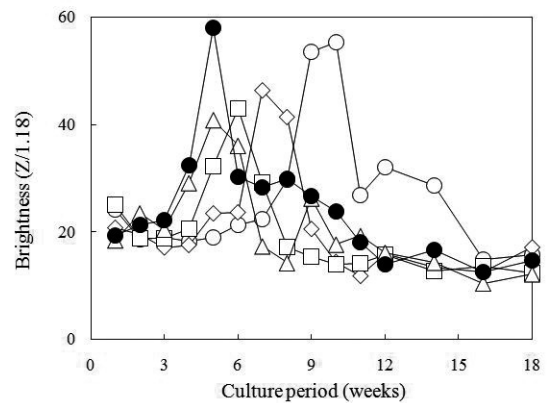


Fig. 4-11. Changes in brightness of mycelial block in each medium during culture for 120 days.

Note: Brightness was determined for 9 samples from mycelial blocks in each medium. Closed circle, additional rate of sugi wood 0%; open triangle, 25%; open square, 50%; open diamond, 75%; open circle, 100%.

3.3.4 白色度

シイタケ菌床栽培では、培養前期に菌糸が菌床全体に蔓延することにより、菌床が白色化し、白色度がピークとなる。また、培養後期には、酸化還元酵素が誘導されることによって菌床表面が褐色に変化し、白色度は急激に低下することが報告されている（Ohga 1992, 大賀 1995）。

Fig. 4-11に、培養日数の増加に伴う各試験区の菌床の白色度の変化を示す。培地のスギオガコ混合割合が0、25、50、75および100%区において、初期白色度は、それぞれ19、18、25、21および23を示した。白色度のピークは、培地へのスギオガコの混合割合が0および25%区において、5週目に、それぞれ58および41の値を示した。また、培地へのスギオガコの混合割合が50、75および100%区において、白色度のピークは、6週目に43、7週目に46および10週目に54の値をそれぞれ示した。全ての試験区において、白色度は、ピーク後の2週目までに急激に低下し、その後、培地へのスギオガコの混合割合が0および100%区を除く試験区では、白色度は15前後の安定した値となった。一方、培地へのスギオガコの混合割合が0および100%区では、白色度は急激に減少し、さらに緩やかな減少を示した後、他の区と同様に15前後の安定した値となった。

吉澤ら（2003）は、シイタケ菌床栽培において、コナラおよびスギを用いた培地では、接種後10日目から白色度が急激に増加し、30日目にピークを示す傾向があることを報告した。しかしながら、その後、コナラ培地において、培地の白色度は60日目までに急激に減少し、120日目まで一定の傾向を示したのに対し、スギ培地では、白色度の減少が認められなかったことを報告している。また、江崎（1995）は、ブナおよびスギの混合培地を用いたシイタケの菌床栽培において、培地の白色度が最大を示した後に起こる褐変化の速度は、培地へのスギオガコの混合割合に関わらず、差が認められなかったことを報告している。

本実験では、全ての試験区で褐変化が起こり、培養

日数の増加に伴う白色度の変化は、吉澤ら（2003）のコナラ培地の結果と一致していた。しかしながら、白色度のピーク時期では、培地へのスギオガコの混合割合が0および25%区では、吉澤ら（2003）の結果と一致していたが、他の試験区では、培地へのスギオガコの混合割合が増加するのに伴い、培地白色度のピーク時期が遅くなる傾向を示し、彼らの結果と一致しなかった。この原因としては、シイタケ菌糸伸長を阻害するフェルギノールの存在とスギオガコ培地の物理性による影響が考えられる。一般に、スギに含まれるフェルギノールは、シイタケ菌糸伸長を著しく阻害することが報告されている（中島ら 1980, 河内ら 1991a, 松井ら 2001）。河内ら（1991a）は、液体培地を用いたシイタケ菌体重量測定実験において、チモールをフェルギノールのモデル化合物として添加したとき、シイタケ菌体重量の増加速度は、チモールが高濃度で培地に存在する間抑制され、チモール濃度が低くなった培養16日目以降は、チモール無添加の場合と同様の速度で推移したことを報告している。このことから、本実験において、培地へのスギオガコの混合割合の増加に伴う、培地の白色度ピーク時期の遅れは、培地に含まれるフェルギノール濃度の上昇により、シイタケ菌糸伸長に対する阻害作用が大きくなったためであると推察される。

一般に、スギオガコは広葉樹オガコと比較して物理性が大きく異なり、比重や樹脂分の含有量の差による保水性に違いがあることが知られている。事実、スギオガコ培地を作製すると、広葉樹オガコ培地と比較して、単位重量当たり容積が大きく、明らかに乾いた培地であるという印象を受ける。Okuら（2001）は、スギ培地を用いたシイタケ菌床栽培において、コーンコブミールや軽石添加により、子実体収量が増加することを明らかにし、さらに培地の物理的条件を改善することができれば、広葉樹オガコの代替として十分使用可能であることを指摘している。本実験においても、培地へのスギオガコの混合割合が減少するに伴い、培地白色度のピーク時期の遅れや、その後の褐変の遅れが緩和されている。今後、スギオガコを用いたシイタケ菌床栽培を行うためには、培地物理性の改善のため、スギおよび混合する広葉樹オガコ粒度が子実体発生に及ぼす影響について検討を進める必要があると考えられる。

さらに、いずれの試験区においても、白色度が最大値を示した後に、急激に褐変する傾向は、江崎（1995）の結果と一致していた。吉澤ら（2003）は、褐変にはオガコ成分の分解が必要であることを示唆してい

Table 4-6. Fresh weight of fruit body in sawdust-based cultivation using sugi and konara media.

Additional rate of sugi wood (%)	Fresh weight (g)								
	1 st		2 nd		3 rd		Total		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
0	129.1	69.7	78.0	40.3	2.3	8.9	209.4	101.6	a
25	131.3	61.1	26.1	16.2	1.5	3.6	158.9	72.7	abc
50	101.6	45.1	22.4	15.8	0.2	1.2	124.2	56.2	bc
75	95.1	30.9	20.1	19.6	0.5	2.4	115.6	41.7	b
100	46.9	25.6	13.8	14.6	1.4	2.9	62.2	22.2	d

Note: Means of total yield with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) by Tukey's Honestly test.

る。これらのことから、本実験において、全ての試験区で白色度の低下による褐変が認められているため、培地内のオガコ成分が菌糸により分解されていることが示唆される。

以上の結果から、白色度の変化から菌床の熟成度を考えると、培地へのスギオガコの混合割合が増加するに伴い、菌床の熟成度が不十分になることが示唆された。

3.3.5 子実体発生

Table 4-6 に、各試験区における1菌床当たりの子実体生重量を示す。1菌床当たりの子実体総生重量では、5試験区の中で、培地へのスギオガコの混合割合0%区で、最も高い値（219 g）を示したのに対し、スギオガコの混合割合100%区で最も低い値（54 g）を示した。これは、培地へのスギオガコの混合割合が増加するのに伴い、子実体総収量が減少することを示している。

シイタケ菌床栽培において、培地に広葉樹オガコとスギオガコの混合基材を用いた場合、培地におけるスギオガコの混合割合が増加するのに伴い、子実体の収量が減少することが報告されている（澤 1991, 江崎 1995, 江崎・井戸 1995a, b, 中里 1996, 笠原ら 2001）。笠原ら（2001）は、菌株としてF902（福島県林業研究センター保管株）を用いたシイタケの菌床栽培において、培地のスギおよびブナの混合割合が子実体収量に及ぼす影響について検討し、1回発生のみで子実体収量測定を行った。その結果、培地へのスギの混合割合0%区の子実体収量（104 g）を100%として、他の試験区と比較したとき、培地へのスギオガコの混合割合が20, 40 および60%区で、それぞれ88, 86, 44%であったことを報告している。

本節において、培地へのスギオガコの混合割合0%区の子実体総収量を100%として、他の試験区の子実体総収量と比較したとき、培地へのスギオガコの混合割合が25, 50, 75 および100%区では、それぞれ80, 64, 52 および25%を示し、笠原ら（2001）の結果と近い値が得られた。同様に、培地へのスギオガコの混合割合が0%区の発生1回目収量を100%として、各試験区の発生1回目収量と比較した場合、培地へのスギオガコの混合割合が25, 50, 75 および100%区では、それぞれ104, 82, 66 および24%を示し、江崎・井戸（1995b）の報告よりも高い値を示した。これらのことから、培地基材にスギを用いた場合、HS807は前述したF902および秋山 A-567（原本栽培用中高温性品種）と比較して、いずれの混合割合においても、スギに対して高い適応力を持つことが示唆された。しかしながら、コナラ培地と比較すると、まだ十分ではないため、さらに適応力の高い菌株を育種する必要があると考えられる。

大賀（1995）は、菌糸伸長と熟成期間が、子実体の発生量および品質に大きな影響を与えることを報告している。本節においても、培養中に測定した培地の固形分残存率（Fig. 4-9）、pH（Fig. 4-10）および培地表面の白色度（Fig. 4-11）による培地の熟成度の評価と子実体総収量は同様の傾向を示し、培地の熟成度が高

Table 4-7. Flush rate at each collection contributing to the total fresh weight of fruit body.

Additional rate of Sugi wood (%)	Flush rate (%)		
	1 st	2 nd	3 rd
0	61.7	37.2	1.1
25	82.6	16.4	0.9
50	81.8	18.0	0.2
75	82.3	17.4	0.4
100	75.4	22.2	2.3

いと評価された培地の方が高い収量を与えることが判明した。

江崎 (1995) は、スギおよびブナの混合物を用いたシイタケの菌床栽培において、培地へのスギの混合割合 20% 区が、スギの混合割合が 0, 40 および 60% 区と比較して菌床の菌糸蔓延日数が早く、子実体収量も、培地へのスギの混合割合 0% 区の子実体収量と同等であったことを報告している。本実験においても、同様の結果が得られており、培養中の白色度を測定した結果、培地へのスギの混合割合 25% 区は、高い熟成度を示した (Fig. 4-11)。また、発生 1 回目の収量を 5 試験区内で比較した場合においても、最も高い収量を得ることができた。これらのことから、培地にスギを少量加えることで、菌糸伸長が早くなることが示唆され、結果として、発生 1 回目の子実体収量の増加につながったものと考えられる。

本実験において、各試験区の子実体総収量を、それぞれ 100% として、各試験区における各発生時の子実体収量割合を比較した。その結果を Table 4-7 に示す。培地へのスギオガコの混合割合が 0 および 100% 区では、発生 1 回目に、それぞれ 62 および 75% を示し、培地へのスギオガコの混合割合が 25, 50 および 75% の試験区では、発生 1 回目の子実体収量は、82 ~ 83% を示した。このように、全ての試験区で、発生 1 回目に子実体収量が集中する傾向を示した。以上の結果から、発生回数を 1 回にした場合を考えると、培地へのスギの混合割合が 25% 程度であれば、子実体収量への影響がほとんどないことが明らかとなった。また、培地へのスギの混合割合が 50% の試験区でも、発生 1 回目については、子実体収量への影響は少ないことが明らかになった。

発生を 1 回とすることで、収穫期間は 40 日以上短縮でき、それに伴う人件費、発生期間中の光熱費および管理費などの削減が期待できる。また、広葉樹オガコにスギオガコを混合することで、材料費の削減が可能になると考えられる。本実験において、供試菌株として、スギ材適応力の高い HS807 を用い、コナラオガコにスギオガコを混合した培地で、シイタケ菌床栽培を行ったところ、1 回目に子実体発生が集中する傾向を示した。従って、生産コストを考慮した場合、HS807 を用いたスギオガコ混合培地によるシイタケの菌床栽培は、発生を 1 回に抑えて栽培を行うことが有用であることが示唆された。

本実験において、培地の熟成度の増加に伴って子実

体収量が増加したことから、今後、子実体収量を増加させるためには、培地をより熟成させることが課題となる。Yoshizawa ら (1997) は、きのこ栽培後の廃培地を混合した菌床栽培において、培地の熟成が早くなるため、子実体原基の形成が促進されることを報告している。大賀 (1989) は、シイタケ菌の生育には、培地表面では粒度が小さいほど、培地下面では、粒度が大きいほど生育速度が速くなることを報告している。従って、今後、培地へのスギの混合割合に応じてスギおよび廃菌床の利用も含めて、広葉樹オガコの粒度を調整する等の培地条件の検討が必要である。また、本実験では、収穫した子実体の生シイタケ出荷規格調査および子実体の味や成分の試験を行っていないので、今後、検討していく必要がある。

3.4 要約

本節では、スギ材適応力の高い HS807 を供試して、シイタケの菌床栽培を行い、培地へのスギオガコの混合割合が子実体発生に及ぼす影響について検討した。

培養完了時における固形分残存率では、培地へのスギオガコの混合割合が 25% を除く試験区で、スギオガコの混合割合の増加に伴って、高い値となった。このことから、培地の熟成度は、スギオガコの混合割合の増加に伴って低下することが示唆された。

白色度は、そのピーク時期が培地へのスギオガコの混合割合の増加に伴って、遅延する傾向を示した。

1 菌床当たりの子実体の総生重量は、培地へのスギオガコの混合割合の増加に伴って、減少する傾向を示したが、既存菌株と比較すると、いずれの混合割合においても高い収量が得られ、本菌株のスギ材適応力の高さを示唆していた。また、全ての試験区において、発生 1 回目に子実体発生が集中する傾向を示した。

以上の結果から、培地へのスギオガコの混合割合が子実体発生に及ぼす影響は、25% で最も小さく、50% まではほとんど差がないことが明らかになった。従って、スギ材適応力の高い HS807 を供試してスギオガコを利用したシイタケの菌床栽培を行う場合、スギオガコの混合割合を 50% 以下、発生回数を 1 回とすることで、コスト削減および森林資源の有効利用を実現する栽培が可能であることが示唆された。

第 5 章 結論

本研究では、シイタケ菌床栽培の安定化のため、温度および水分条件による子実体発生制御と、その知見に基づいた改良栽培技術の開発と最適化条件を検討した。また、長期的な視点から、栽培の不安定要因となり得る培地基材の広葉樹オガコの代替品として、スギオガコに着目し、スギオガコに適応力の高い菌株の育成開発と、その菌株を用いたシイタケの菌床栽培技術開発を行った。得られた主な結果は、以下の通りである。

1 シイタケ菌床栽培法の改良とその特徴

1.1 温度、湿度条件が子実体原基形成および発生に及ぼす影響

シイタケ菌床栽培において、高品質きのこの高収量

生産を実現するために、原基形成と子実体発生数および発生部位の調整を可能にする温度、水分条件について検討した。培養完了後の菌床に対して、27℃、7日間の高温処理を行うことで、原基形成数および子実体発生数を減少させることができたが、発生部位の調整は困難であった。この高温処理と70%以上の高含水率条件を併用することで、原基形成および子実体発生数だけでなく、発生部位も上面に制御できることが明らかになった。本節で効果の得られた栽培法を上面栽培法（FFUP法）と名付けた。

1.2 シイタケ菌床栽培における改良方法と慣行方法の比較

シイタケ菌床栽培において、高品質きのこの高収量生産および労働負荷の低減を実現するために、子実体の発生数と発生部位を制御する方法として、高温処理および給水管理を菌床栽培に適用した。改良した新しい栽培方法（上面栽培法、FFUP法）では、子実体は菌床上部のみから発生した。また、上面栽培法においては、子実体の数と1個当たりの生重量は、180日間の子実体発生処理期間中、ほぼ一定の値を示した。このことから、この方法を導入することにより、低コストで高品質の子実体を継続的に得ることができるだけでなく、発芽や収穫に費やす労力を低減できることが明らかになった。

2 シイタケ菌床栽培技術の改良と安定化

2.1 上面栽培法（FFUP法）において栄養剤添加量が及ぼす影響

上面栽培法における栄養剤の最適添加量を検討するため、培地重量比10、13、15%で栄養剤を添加した菌床を使用して、上面栽培を行った。その結果、栄養剤の添加量10および13%では、収量に大きな違いは認められなかったが、発生期間を前期、中期、後期に区分すると、後期において、13%では菌床が害菌に侵されて損傷し、収量がやや少なくなる傾向が認められた。また、栄養剤の添加量15%では、発生前中期から、菌床が害菌に侵されて損傷する割合が多くなるために総収量が少なく、10%群の1/2程度に留まった。これらの結果から、栄養剤添加量の増加に伴う原料コスト増加、総収量、菌床の害菌汚染度を考慮して、北研600号の上面栽培における栄養剤の最適添加量は、培地重量比10%であると判断した。

2.2 上面栽培法（FFUP法）において培地重量が及ぼす影響

上面栽培法における最適培地重量を検討するため、培地重量2.4～3.3kgの菌床を使用して、上面栽培を行った。その結果、総発生個数では有意な差が認められなかったが、総生重量において、2.4kg、2.5kg区と3.3kg区間で有意な差が認められた。一方、2.4～3.3kgの範囲において、菌床単位重量当たりの個数および生重量では有意な差が認められず、ほぼ一定であることが明らかになった。通常、生産者は、培地の仕込みを重量ベースで行うため、1菌床当たりの総収量が変

わらなければ、菌床重量を小さくすることで製造個数を増加させた方が収益を出しやすいと考える。これらのことから、北研600号の上面栽培では、最適な仕込み時菌床重量は2.6～3.0kgの範囲であると判断した。

2.3 上面栽培法（FFUP法）における培養条件の検討

上面栽培法において、必須の処理である高温処理を省略するために、培養および発生工程における改良を検討した。第1段階として、菌床が未熟な状態の時期を把握するため、培養日数に伴う子実体原基形成および子実体発生パターンを解析した。その結果、北研600号では、40日目では原基をほとんど確認できなかったが、60日目以降は急激に増加し、100日目以降はほぼ横ばい、あるいは減少傾向が認められた。また、子実体発生数では、40日目は発生が全く認められなかったが、60日目以降は急激に増加後、ほぼ横ばいとなった。これらのことから、70～80日目が発生前処理に移行する最適な時期であると判断した。

第2段階として、上面部分の栽培袋カットおよび給水処理、すなわち追加培養開始を75日目に行い、高温処理を省略する簡易型上面栽培法の有用性について検討した。その結果、簡易型は標準型上面栽培法と比較して、子実体総収量（個数、生重量、1個当たりの生重量）は変わらないが、高温処理を短縮できるため労力が低減できることに加えて、栽培所要期間を17～30日間短縮できることが明らかになった。

3 スギ培地を用いたシイタケの菌床栽培

3.1 スギ培地適応品種の作出およびその栽培特性

スギ培地を基材としたシイタケ菌床栽培を行うことを最終的な目標とし、第1段階として、既存菌株と比較してスギ材に適応力の高い菌株の作出、第2段階として、その栽培特性について検討した。まず、スギ培地を基本培地として選抜を行ったところ、既存の菌株と比較してスギ培地で高い収量が得られるHS807を作出した。つづいて、スギ材適応品種として選抜したHS807の栽培特性について検討した。その結果、HS807はコナラ培地と比較して、スギ培地では培地中の栄養剤を優先的に分解することで、菌糸体を増加させていることが示唆された。また、スギ培地では、菌体量が少ないため菌床状態の悪化を招きやすく、2回目以降の発芽処理を行うことが難しいことが明らかになった。これらの結果、スギ材適応品種をスギ培地で安定的に栽培するためには、培養における菌体量の増加が重要な因子であると考えられた。従って、今後、栄養剤の種類や量、広葉樹オガコとスギオガコの混合割合等、培地条件等の検討が必要であることが明らかになった。

3.2 培地へのスギオガコの混合割合が子実体収量に及ぼす影響

スギ材適応品種HS807を供試して、シイタケの菌床栽培を行い、培地へのスギオガコの混合割合が子実体収量に及ぼす影響について検討した。培養完了時における固形分残存率では、培地へのスギオガコの混合割

合が25%を除く試験区で、スギオガコの混合割合の増加に伴って、高い値となった、このことから、培地の熟成度は、スギオガコの混合割合の増加に伴って低下することが示唆された。白色度は、そのピーク時期が、培地へのスギオガコの混合割合の増加に伴って、遅延する傾向を示した。1菌床当たりの子実体の総生重量は、培地へのスギオガコの混合割合の増加に伴って、減少する傾向を示したが、既存菌株と比較すると、いずれの混合割合においても高い収量が得られ、本菌株のスギ材適応力の高さを示唆している。また、全ての試験区において、発生1回目の子実体発生が集中する傾向を示した。以上の結果から、培地へのスギオガコの混合割合が子実体発生に及ぼす影響は、25%で最も小さく、50%まではほとんど差がないことが明らかになった。従って、スギ材適応力の高いHS807を供試して、スギオガコを利用したシイタケの菌床栽培を行う場合、スギオガコの混合割合を50%以下、発生回数を1回とすることで、コスト削減および森林資源の有効利用を実現する栽培が可能であることが示唆された。

謝辞

本研究は、株式会社北研 食用菌類研究所において、15年間に渡って行ってきた研究成果をベースとし、東京農工大学大学院連合農学研究所資源・環境学専攻の博士課程の3年間、宇都宮大学農学部森林科学科森林資源利用学・木材材料学研究室において行われたものである。

この間、終始、熱心な研究指導を頂き、また本論文を取りまとめるのに当たり、懇切で丁寧なご指導を頂いた宇都宮大学農学部教授 吉澤 伸夫先生に厚く御礼申し上げます。また、多くのご助言とご協力を頂いた宇都宮大学農学部准教授 石栗 太先生、同准教授 横田 信三先生、同准教授 飯塚 和也先生に深謝いたします。

また、本論文を審査して頂き、貴重なご指摘を頂いた東京農工大学農学部教授 船田 良先生、同教授 岡山 隆之先生に深謝いたします。

また、本研究を遂行するにあたり、ご協力頂いた株式会社北研 食用菌類研究所 鮎澤 澄夫本部長、製造部 枝 克昌工場長を始め、役職員の皆様に深く感謝いたします。

本研究の一部は、宇都宮大学農学部森林科学科森林資源利用学・木材材料学研究室において遂行されており、実験の多くは同研究室の学生諸氏にお手伝い頂いたことを付記して深く感謝いたします。

最後に、本研究の機会を与えて下さった株式会社北研 内堀 俊幸社長および井上 貞行常務に感謝申し上げます。

引用文献

阿部正範 (1995) シイタケ菌床栽培における浸水時間が子実体の発生に及ぼす影響 (第1報), 徳島県林業総合技術センター研究報告 33 : 21-25
 阿部正範 (1996) シイタケ菌床栽培における浸水時間が子実体の発生に及ぼす影響 (第2報), 徳島県林

業総合技術センター研究報告 34 : 13-18

阿部正範, 飯田 繁, 大賀祥治 (2002) シイタケ子実体発生に及ぼす培養温度の影響, 日本応用きのこ学会誌 10 : 129-134

安藤正武 (1972) シイタケ子実体の発生条件 (I), 日本林学会誌 54 : 311-314

東 昇平, 北本 豊 (1994) シイタケの栄養生長と子実体形成の栄養環境, きのこの科学 1 : 7-13

枝 克昌, 山内隆弘, 木下新栄, 鮎澤澄夫 (2001) 新規シイタケ菌株のスギオガコ菌床栽培での特性, 日本応用きのこ学会第5回大会講演要旨集 : p15

江崎智恵 (1995) 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 : 224-225

江崎智恵, 井戸好美 (1995a) 間伐材等を利用したシイタケ菌床栽培試験, 岐阜県林業センター業務報告 : 69-72

江崎智恵, 井戸好美 (1995b) シイタケの菌床栽培体系化試験, 岐阜県林業センター研究報告 : 69-76

古川敦洋, 水谷和人, 森 孝博 (1999) 間伐材等を利用したシイタケ菌床栽培, 岐阜県森林科学研究所業務報告 10 : 46-48

Highly LT (1982) Influence of type and amount of lignin on decay by *Coriolus versicolor*. Canadian Journal of Forest Research 12: 435-438

本間裕人, 篠山浩文, 小林義弘, 天知誠吾, 藤井貴明 (2006) スギ資源多段利用システムの構築を目的としたスギ木粉廃培地による各種食用菌の栽培, 食と緑の科学 60 : 75-78

胡 長慶, 目黒貞利, 河内進策 (2003) スギ木粉によるシイタケ栽培 (第3報) 培地含水率が菌糸成長に及ぼす影響, 木材学会誌 49 : 47-52

出井利長, 渡辺譲治, 吉沢伸夫 (1984) 針葉樹材におけるシイタケ菌糸の侵入状態, 宇都宮大学農学部演習林報告 20 : 103-110

出井利長, 吉沢伸夫, 渡辺譲治 (1983) シイタケ菌による木材細胞壁の劣化, 宇都宮大学農学部演習林報告 19 : 31-43

井戸好美, 大橋章博 (1998) 間伐材等を利用したシイタケ菌床栽培試験, 岐阜県林業センター報告 : 50-52

井戸好美, 杉山正典 (1997) 間伐材等を利用したシイタケ菌床栽培試験, 岐阜県林業センター報告 : 48-49

井上貞行 (1993) 八タイプ別経営の特徴と試算, 「菌床シイタケの作り方」(大森清寿編), 農山漁村文化協会, 東京, p 185-196

伊藤 武, 荻野義教, 岩瀬剛二, 小川 眞 (1993) スギ間伐材によるシイタケ菌床栽培 (2) 子実体の発生と収量, 日本菌学会第37回大会講演要旨集 : p76

伊藤洋子 (1992) シイタケ栽培培地に関する研究 (I) - 培地の化学組成の変化について -, 鹿児島大学農学部演習林報告 20 : 183-190

岩瀬剛二, 小川 眞, 伊藤 武 (1993) スギ間伐材によるシイタケ菌床栽培 (1) 培地の製造と培養, 日本菌学会第37回大会講演要旨集 : p75

- 笠原 航, 松崎 明, 内山 寛, 竹原太賀司 (2001) シイタケ菌床栽培技術, 福島県林業研究センター研究報告 34: 130-138
- 加藤幸浩, 中谷 誠, 山村忠明 (2000) シイタケ菌床栽培技術の確立 (第2報) - おが粉の樹種が子実体の生産に及ぼす影響 -, 北海道立林産試験場報 14 (5): 5-9
- 河内進策, 目黒貞利, 稲田聡子 (1991a) 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, 木材学会誌 37: 971-975
- 河内進策, 目黒貞利, 中野直樹 (1991b) 木粉培地でのシイタケ子実体原基の形成, 木材学会誌 37: 976-980
- 木村栄一 (1999) 第3章 空調栽培技術, 第1節 培地調整, 2. 栄養源, 「図説 基礎からのエリンギ栽培 安定生産技術へのアプローチ」, 農村文化社, 東京, p77-90
- 金城一彦, 屋我嗣良 (1986) 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: 632-636
- きのこ年鑑編集部 (2008) 「2008年度版きのこ年鑑」, プランツワールド, 東京, p18-321
- 北本 豊 (1978) キノコの栄養生理 (2), 菌草 24: 29-35
- 北本 豊, 葛西善三郎 (1968) アミスギタケの子実体形成に対する栄養環境の影響, 農芸化学会誌 42: 260-266
- 北本 豊, 村田達雄, 小林 淳, 市川吉夫 (1985) エノキタケの栄養生長および子実体形成における栄養要求性, 鳥取大学農学部研究報告 38: 35-41
- 小出博志 (2001) 三 キノコの種類と栽培法の基本, 「キノコ栽培全科」 (大森清寿, 小出博志編), 農山漁村文化協会, 東京, p29-42
- 小松光雄, 時本景亮 (1982) ほだ木上におけるシイタケの子実体原基形成におよぼす温度および水分の影響, 菌草研究所研究報告 20: 104-112
- Koo CD, Kim JS, Cho NS, Min DS, Ohga S (1999) Effect of moisture content for mycelial growth and primordial formation of *Lentinula edodes* in a sawdust-based substrate. *Mushroom Science and Biotechnology* 7: 169-174
- 黒田健一 (2000) III. 化学, 1. 木材分析, (2) 主成分分析, 「木質科学実験マニュアル」 (日本木材学会編), 文永堂, 東京, p 92-97
- 松井隆尚, 松下洋一, 菅本和寛, 小川喜八郎, 小宮山晶子, 牟田信次 (2001) スギ材テルペノイドのシイタケ菌糸生育阻害作用, 木材学会誌 47: 58-62
- Matsumoto T, Kitamoto Y (1987) Induction of fruit-body formation by water-flooding treatment for sawdust cultures of *Lentinus edodes*. *Transactions of the Mycological Society of Japan* 28: 437-443
- Matsumoto T, Kitamoto Y (1988) Enhancement of respiration by water-flooding treatment of induction of fruiting in sawdust cultures of *Lentinus edodes*. *Transactions of the Mycological Society of Japan* 29: 265-270
- Meguro S, Ishii E, Kawachi S (2002) Cultivation of shiitake in sugi wood meal II: effects of seasoning treatment for wood meal on mycelial growth. *Journal of Wood Science* 48: 516-520
- 水谷和人 (1997) シイタケ菌床栽培における培地水分が子実体発生量および形質に与える影響, 中部森林研究 45: 59-60
- 森 喜作 (1963) 「シイタケ栽培の研究」, 養賢堂, 東京, p1-94
- 中島 健, 善本知孝, 福住俊郎 (1980) スギ材中のシイタケ菌阻害成分, 木材学会誌 26: 698-702
- 中村克哉 (1982) II. 各論, 3. シイタケ, 「キノコの事典」 (中村克哉編), 朝倉書店, 東京, p 205-307
- 中里康和 (1995) シイタケ菌床栽培技術の確立 - スギオガクズによる栽培試験 -, 青森県林業試験場報告 45: 24-31
- 中里康和 (1996) シイタケ菌床栽培技術の確立 - スギオガクズの利用と栄養剤の検討について -, 青森県林業試験場報告 46: 1-12
- 中里康和, 岩村良男 (1993) シイタケ菌床栽培技術の確立 - 品種と栄養剤の比較 -, 平成4年度青森県林業試験場報告 43: 39-83
- 日本木材学会・物理・工学編編集委員会 (1985) I. 物理・工学編, 「木材科学実験書」, 中外産業調査会, 東京, p207-209
- 大賀祥治 (1985) きのこ栽培に関する資源学的研究 (第5報) シイタケほだ木としての熟度と呈色反応, 木材学会誌 31: 772-778
- 大賀祥治 (1989) シイタケ菌床栽培に関する研究 (II) - 菌糸蔓延に対する培地水分環境の影響 -, 日本林学会九州支部研究論文集 42: 309-310
- Ohga S (1992) Adaptability of *Lentinus edodes* strains to a sawdust-based cultivating procedure. *Mokuzai Gakkaishi* 38: 301-309
- 大賀祥治 (1995) シイタケ菌床栽培と菌床の熟成度, きのこの科学 2: 1-13
- Ohga S (1999a) Effect of water potential on fruit body formation of *Lentinula edodes* in sawdust-based substrate. *Journal of Wood Science* 45: 337-342
- Ohga S (1999b) Evaluation of maturity by use of pH indicators in sawdust-based cultures of *Lentinula edodes*. *Journal of Wood Science* 45: 431-434
- Ohga S, Donoghue JD (1998) Evaluation of methods for determining microbial activity and maturity of sawdust-based cultures of shiitake (*Lentinula edodes*). *Mushroom Science and Biotechnology*, 6: 115-123
- 大賀祥治, 實淵喜康 (1987) きのこ栽培に関する資源学的研究 (I) - シイタケ菌床栽培に関する研究 -, 日本林学会九州支部研究論文集 40: 233-234
- Ohga S, Roozendaal FV, Aspinwall M, Miwa M (1992) Yield and size response of the shiitake mushroom, *Lentinus edodes*, depending on incubation time on sawdust-based culture. *Transactions of the Mycological Society of Japan* 33: 349-357

- 大森清寿 (1993) 二 菌床栽培の基礎, 「菌床シイタケの作り方」(大森清寿編), 農山漁村文化協会, 東京, p31-52
- 沖 妙, 渡部広行, 石川久雄 (1981) シイタケ菌 *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. によるリグニンの生分解について, 木材学会誌 27: 696-702
- Oku T, Hiromoto N, Ishiguri F, Andoh M, Itoh T, Shiota A, Yokota S, Yoshizawa N (2001) Effects of the additional corncob meal in sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes* using smoke-heated softwood. *Mushroom Science and Biotechnology* 9: 59-66
- 林野庁経営課特用林産対策室 (2005) 8. しいたけの生産量, 「平成 17 年特用林産基礎資料」, 林野庁, 東京, p 39
- 齊藤 修 (2004) 北関東におけるシイタケ生産のためのコナラ林利用の変遷と今後の見通し, 日本林学会誌 86: 12-19
- 澤 章三 (1991) シイタケの菌床栽培に関する研究 - スギ, ヒノキオガ屑の利用方法について -, 愛知県林業センター報告 28: 118-121
- 篠田 茂, 本間広之, 阿部一好, 岸本隆昭 (1998) シイタケ菌床栽培における培地組成方法の改善 - 主な栄養材添加による培地組成について -, 新潟県森林研究所研究報告 40: 53-57
- 篠田 茂, 本間広之, 松本則行, 阿部一好, 品田隆昭, 武田綾子 (2005) シイタケ菌床栽培における栽培管理技術の高度化試験 - 培地重量の違いが子実体の径級別収量に及ぼす影響について -, 新潟県森林研究所研究報告 46: 39-44
- 塩田敦史, 金田佳隆, 伊藤朋子 (1999) ニュータイプきのこの栽培技術の開発と育種, 栃木県林業センター年報 30: 21-24
- 竹内嘉江 (1998) シイタケの菌床栽培過程における子実体原基の消長と子実体発生に関する試験, 中部森林研究 46: 55-56
- 竹内嘉江 (2000a) 菌床シイタケ栽培における培地重量の影響, 中部森林研究 48: 133-134
- 竹内嘉江 (2000b) 菌床シイタケ栽培における子実体原基の消長, 中部森林研究報告 48: 135-136
- 竹内嘉江, 小出博志, 小坂信行, 松瀬収司, 高木茂 (2004) 菌床シイタケ栽培の安定化と経営の健全化に関する試験, 長野県林業総合センター研究報告 18: 29-53
- 寺下隆夫, 河野又四 (1984) ヒラタケ (*Pleurotus ostreatus*) の培養における各種廃棄物の利用, 近畿大学農学部紀要 17: 113-120
- 寺下隆夫 (1989) 第 7 章 主な食用および薬用きのこの栽培の現状, 7.2.1 シイタケ, 「改定きのこの生化学と利用」(寺下隆夫編), 応用技術出版, 東京, p193-196
- Tokimoto K, Fukuda M, Tsuboi M (1998) Effect of the physical properties of *Lentinula edodes* bedlogs on fruiting body production. *Mycoscience* 39: 217-219
- Tokimoto K, Kawai A (1975) Nutritional aspects on fruiting body development in replacement culture of *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. *Reports of the Tottori Mycological Institute* 12: 25-30
- 時本景亮, 小松光雄 (1982) シイタケの菌糸生長および子実体原基形成におよぼす温度の影響, 日本菌学会会報 23: 385-390
- 時本景亮, 坪井正知, 尾崎栄一, 小松光雄 (1980) シイタケほだ木の腐朽度と子実体形成との関係, 菌草研究所研究報告 18: 189-196
- 特産情報編集部 (2005) 特集 きのこと栽培に用いられるオガ粉・木材チップの動向調査, 「特産情報」, 313: 8-13
- 辻村 進, 北宅善昭, 清田 信, 相賀一郎 (1992) 環境調節施設内における菌床シイタケ子実体形成に対する温度と給水量の影響, 生物環境調節 30: 153-160
- 上野美奈子 (2001) 菌床シイタケ経営に関する研究 (1) - 栽培形態別の特徴について -, 日本林学会九州支部研究論文集 54: 1-2
- Watanabe K (1995) Effects of physical properties of cultures on flushing patterns of fruiting bodies in the sawdust based cultivation of shiitake, *Lentinus edodes* I. *Mokuzai Gakkaishi* 41: 767-773
- 渡辺和夫 (1996) シイタケ菌床栽培 - 子実体発生個数の制御は可能か -, 奈良県林試情報 51: 2-3
- 山中勝次 (1991) 20, シイタケ菌床栽培, 「きのこの基礎科学と最新技術」(きのこ技術集談会編集委員会編), 農村文化社, 東京, p 212-220
- 山中勝次 (1995) きのこと生産ときのこ研究, 木材学会誌 41: 795-804
- Yamauchi T, Eda K, Ayusawa S, Iizuka K, Yokota S, Ishiguri F, Yoshizawa N (2009a) Flushing control of fruit bodies by the temperature and moisture content in sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes*. *Mushroom Science and Biotechnology* 17: 17-21
- Yamauchi T, Eda K, Ayusawa S, Iizuka K, Yokota S, Ishiguri F, Yoshizawa N (2009b) Fruit body flushing from the upper portion of mycelial block in sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes*. *Environment Control in Biology* 47: 47-52
- 山内隆弘, 枝 克昌, 鮎澤澄夫, 長島 葵, 飯塚和也, 横田信三, 石栗 太, 吉澤伸夫 (2008) スギ材適応品種のシイタケ菌床栽培における培養特性, 日本きのこ学会第 12 回大会講演要旨集: p 55
- Yoshizawa N, Itoh T, Ohnishi M, Ishiguri F, Ando M, Yokota S, Sunagawa M, Idei T (1998) Mushroom cultivation using smoke-heated softwood sawdust. *Bulletin of the Utsunomiya University Forests* 34: 69-79
- Yoshizawa N, Itoh T, Takemura J, Yokota S, Idei T (1997) Mushroom cultivation using maitake (*Grifola frondosa* (Fr.) S.F. Gray) cultural wastes. *Bulletin of the Utsunomiya University Forests* 33: 109-116
- 吉澤伸夫, 奥 竹史, 斎藤久美, 石栗 太, 横田信三, 飯塚和也, 石川洋一 (2003) スギ木粉を用いたシイタケ菌床栽培における培地含水率およびリグニン添加の影響, 日本応用きのこ学会誌 11: 173-182

シイタケ菌床栽培の安定化に関する基礎的研究

山内 隆弘

和文要約

第1章 緒言

近年、シイタケ (*Lentinula edodes*) の生産方法は、菌床栽培が主流となっている。一般に、シイタケ菌床栽培は、多くの食用きのこ類と異なり、ビン栽培が適用されておらず、複数回発生を繰り返すため、発生期間が長いこと、菌床6面体全てから子実体が発生すること、培養完了時に栽培袋を全て除去するため、発生管理において菌床が乾燥しやすいこと、発生管理（発芽処理、散水処理）に労力が掛かるなどの問題を抱えている。これらのことから、シイタケの効率的な大量生産は実現していない。

菌床栽培に用いられるコナラ、クヌギ等の広葉樹材の需給バランスの影響により、オガコ価格の高騰が問題になっている。一方、日本において主要な造林樹種であるスギは、間伐材や製材時の端材の多くが未利用のまま廃棄されている。そのため、これらのスギ材をシイタケの菌床栽培に利用できれば、生産コストの低減および資源の有効利用に繋がると考えられる。しかしながら、スギ材を用いてシイタケの菌床栽培を行うことは、一般に困難とされている。

本研究では、シイタケの効率的な大量生産を可能にするため、菌床栽培における子実体原基形成および子実体発生に及ぼす温度および湿度（水分）条件について検討した。得られた知見から、省力化を可能にするための新しい栽培技術を開発し、その技術の有効性と経営への影響について検討した。また、実際に栽培現場において、生産者がこの方法を導入し、商業的に安定した経営を行うために、菌床培地製造条件（最適な栄養剤添加量および培地充填量）並びに高温処理操作の簡略化および効率化を検討した。さらに、針葉樹であるスギ材に着目して、スギ材を利用したシイタケ菌床栽培技術を確立するため、スギ材に適応力の高い菌株の選抜、菌床栽培時の当該菌株の栽培特性、そして培地条件の最適化を検討した。

第2章 シイタケ菌床栽培法の改良とその特徴

シイタケ菌床栽培において、高品質きのこの高収量生産を実現するために、原基形成と子実体発生数および発生部位の調整を可能にする温度、水分条件について検討した。培養完了後の菌床に対して、27℃、7日間の高温処理を行うことで、原基形成数および子実体発生数を減少させることができたが、発生部位の調整は困難であった。この高温処理と70%以上の高含水率条件を併用することで原基形成および子実体発生数だけでなく、発生部位を上面に制御できることが明らかになった。また、子実体発生個数と生重量は、180日間の発生期間中、ほぼ一定の値を示した。以上のことから、この方法を導入することにより、低コストで高品質の子実体を継続的に得ることができるだけでなく、発芽や収穫に費やす労力を低減できることが明らかになった。

第3章 シイタケ菌床栽培技術の改良と安定化

上面栽培法（FFUP法）における最適栄養剤添加量を検討した。その結果、栄養剤の10および13%添加では、子実体収量に大きな違いは認められなかったが、発生後期において、13%では菌床が害菌に侵されて損傷し、収量がやや少なくなる傾向が認められた。これらの結果から、北研600号の上面栽培における栄養剤の添加量は、培地重量比10%が最適であると判断した。

上面栽培法（FFUP法）における最適培地重量を検討した。その結果、総発生個数では差が認められず、また、2.4～3.3kgの範囲において、菌床単位重量当たりの個数および生重量は、ほぼ一定であることが明らかになった。これらの結果から、北研600号の上面栽培では、最適な仕込み時菌床重量は2.6～3.0kgの範囲であると判断した。

上面栽培法（FFUP法）において、必須の処理である高温処理を省略するために、新しい培養方法を検討した。新しい培養方法では、高温処理を省略することができ、標準型上面栽培法と比較して、子実体総収量は変わらないが、高温処理を短縮できるため労力が低減できることに加えて、栽培所要期間を17～30日間短縮できることが明らかになった。

第4章 スギ培地を用いたシイタケの菌床栽培

スギ培地を基材としたシイタケ菌床栽培の可能性を検討するため、既存菌株と比較してスギ材に適応力の高い菌株を選抜育成し、その栽培特性について調査した。スギ培地を基本培地として選抜し、スギ材適応品種HS807を作出した。HS807はコナラ培地と比較して、スギ培地では、培地中の栄養剤を優先的に分解することで菌糸体を増加させていることが示唆された。また、スギ培地では、菌床状態の悪化から2回目以降の発芽処理を行うことが難しく、菌糸体量が重要な因子であることが明らかになった。

つづいて、HS807を供試して、培地へのスギオガコの混合割合が子実体発生に及ぼす影響について検討した。その結果、スギオガコの混合割合を50%以下、発生回数を1回とすることで、コスト削減および森林資源の有効利用を実現する栽培が可能であることが示唆された。

第5章 結論

本研究では、シイタケ菌床栽培の安定化に関する基礎的研究として、菌床栽培の効率化を進めるため、原基形成および子実体発生の制御方法を検討し、実際の栽培への適用を考え、菌床製造培地条件の更なる検討および高温処理操作の簡略化について検討した。また、針葉樹であるスギ材を利用したシイタケ菌床栽培技術を確立するため、スギ材に適応力の高い菌株の選抜、菌床栽培時の当該菌株の栽培特性、そして培地条件の最適化を検討した。得られた結果は以下の通りである。

シイタケ菌床栽培において、培養完了後の菌床に対して、27℃、7日間の高温処理と70%以上の高含水率条件を併用することで、原基形成および子実体発生数

だけでなく、発生部位を上面に制御できることが明らかになった。

上面栽培法（FFUP法）では、菌床上面からのみ子実体が発生することに加えて、子実体発生個数と生重量は、180日間の発生期間中、ほぼ一定の値を示した。従って、この方法を導入することにより、低コストで高品質の子実体を継続的に得ることができるだけでなく、発芽や収穫に費やす労力を低減できることが明らかになった。また、北研600号を用いた上面栽培法（FFUP法）における最適な栄養剤の添加量は、培地重量比10%であり、最適な仕込み時菌床重量は、2.6～3.0kgの範囲にあることが明らかになった。さらに、上面栽培法（FFUP法）において、必須の処理である高温処理を省略できる簡易型上面栽培法は、標準型上面栽培法と比較して、子実体総収量は変わらないが、高温処理を短縮できるため労力が低減できることに加えて、栽培所要期間を17～30日間短縮できることが判明した。

スギ培地を基本培地として選抜し、スギ材適応品種HS807を作出した。HS807はコナラ培地と比較して、スギ培地では、培地中の栄養剤を優先的に分解することで菌糸体を増加させていたが、菌床状態の悪化から2回目以降の発芽処理を行うことが難しく、培養完了時における菌糸体量が重要な因子であることが示唆された。HS807によるスギオガコ混合培地を用いた菌床栽培では、スギオガコの混合割合を50%以下、発生回数を1回とすることで、コスト削減および森林資源の有効利用を実現する栽培が可能であることが示唆された。

以上のことから、本研究で得られた結果を実際の栽培に導入することで、生シイタケ生産の効率化並びに経営安定化を実現でき、また、得られた結果は、将来における生シイタケの工場の大量生産技術確立のための基礎的知見になると考えられる。

Fundamental study on stabilization of sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes*

Takahiro YAMAUCHI

Summary

Introduction

In 2005, 70% of the total production of fresh shiitake mushroom in Japan (65,000 t) was produced by the sawdust-based cultivation method. In general, shiitake mushroom can not be produced by bottle cultivation as the cultivation of other edible mushrooms, such as nameko and enokitake. In the conventional sawdust-based cultivation method of shiitake mushroom, a cultivation bag has to be removed off during fruit body flushing. To prevent the surface of mycelial blocks from drying, immersing and watering operations are required during flushing, which is inefficient for the mass production. Although fruit body of shiitake mushroom can be flushed at all surfaces of

the mycelial block after removing the cultivation bag off, the flushing position of fruit body can not be controlled. Furthermore, because most of fruit body is formed at the first flush in the conventional method, uniform size and good quality of fruit body can not be obtained.

One of the destabilizing factors of sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes* is unavailability for softwood materials. In general, use of sugi wood for the sawdust-based cultivation of *L. edodes* is very difficult.

The present study investigated the effects of the combined treatment of high temperature and water filling of the mycelial blocks on controlling the number of primordium formation and the flushing position. In addition, the effects of these treatments on the improvement of the yield and quality of shiitake fruit body were also investigated. The possibility of mass production of fresh shiitake mushroom using this novel sawdust-based cultivation technique (FFUP method) was discussed. For that purpose, it is necessary to determine the optimal conditions for FFUP method to stabilize the management. In addition, effects of cultivation condition, such as nutrient contents and medium weight on the yield of fruit body in FFUP method were examined to simplify this method and to enhance the efficiency of mushroom cultivation.

Screening and breeding strain suitable for sawdust-based cultivation using sugi medium were performed. Physical and chemical analyses of mycelial blocks were carried out to evaluate incubation properties of the strain suitable for sugi wood cultivation. The possibility of sawdust-based cultivation of *L. edodes* using sugi wood was examined by using the mixed culture media between sugi and konara wood. The results obtained in the present study are summarized as follows:

1. Improvement and some properties of sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes*

In this experiment, the temperature and moisture conditions controlling the number of primordium formation and the flushing position were examined to establish the cultivation techniques of an improved method for producing shiitake mushroom with high yield and quality in the sawdust-based cultivation. The number of primordium formed and fruit body flushed were decreased by using a high-temperature treatment (27°C) for 7 days. However, controlling the flushing position was still difficult. Combined treatment of high temperature and water filling could control the number of primordium and fruit body as well as the position, only on the top position. Thus, this novel method, Fruit body Flushing from the Upper Position (FFUP) of a mycelial block, is considered to be more beneficial than conventional method.

In the improved method, fruit body flushed only from the top position of mycelial blocks. Number and fresh weight of fruit body flushed from the mycelial block cultivated by improved method showed almost constant value during the

flushing period for 180 days. It is concluded that improved cultivation method makes it possible to give a continuous flushing of fruit body with heavy fresh weight, leading to reduction in the cost and labor for budding and cropping operations of fruit body.

2. Stabilization of improved sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes*

2.1 Effects of nutrient addition to the medium on the yield of fruit body in the sawdust-based cultivation by FFUP method

The effects of nutrient addition to the medium on the yield of fruit body in sawdust-based cultivation by FFUP method were examined. As the results, no significant differences in the yield of fruit body were found between the treatments with the addition of 10% and 13% nutrients. However, mycelial blocks with the addition of 13% were infected with mold at the second half of collection. The results obtained in this experiment indicated that the amount of optimal addition of nutrient in FFUP method using Hokken No. 600 strain was 10% (w/w).

2.2 Effects of medium weight on the yield of fruit body in the sawdust-based cultivation by FFUP method

The effects of medium weight on the yield of fruit body in the sawdust-based cultivation by FFUP method were examined. As the results, no significant differences in the number of fruit body were found between all treatments. In addition, the number and fresh weight per kg block showed the almost same values. The results obtained in this experiment indicated that the optimal medium weight in FFUP method using Hokken No. 600 strain is in the range of 2.6 to 3.0 kg.

2.3 Improvement of incubation conditions in the sawdust-based cultivation by FFUP method

The effects of incubation period on the number of primordium and fruit body were examined to improve the incubation conditions in the sawdust-based cultivation by FFUP method. Although the number of primordium formed increased with the increase of incubation period till 80 days, it decreased thereafter. On the other hand, the number of fruit body increased with the increase of incubation period. The results obtained in this experiment indicated that the optimal pre-flushing treatment period in FFUP method using Hokken No. 600 strain is in the range of 70 to 80 days. The simple FFUP method which omits high-temperature treatment gave the same yield compared with that of standard FFUP method, whereas the simple method can laborsave and shorten the cultivation period by 17 to 30 days.

3. Sawdust-based cultivation of *Lentinula edodes* using sugi (*Cryptomeria japonica*) wood

3.1 Screening and some properties of strains suitable

for cultivation using sugi wood

Screening of strains suitable for cultivation using sugi wood was performed to establish the cultivation technique for sawdust-based cultivation using sugi wood in *L. edodes*. As the results, HS807 could be selected successfully as a strain suitable for sawdust-based cultivation with sugi wood. HS807 gave about 6 times higher yield of fruit body than that of Hokken No.600 suitable for sawdust-based cultivation with hardwood. However, the yield was about 1/2 compared with that of sawdust-based cultivation with hardwood. Physical and chemical analyses of mycelial blocks were carried out to evaluate incubation properties of the strain suitable for the cultivation using sugi wood. It was suggested that HS807 preferentially utilize added nutrients compared to sugi wood meal in the medium.

3.2 Effects of mixing rate of sugi wood on the yield of fruiting body by sawdust-based cultivation using HS807 strain

Effects of additional rate of sugi wood to konara wood on the yield of fruit body were examined in the sawdust-based cultivation using HS807 strain. As the results, the degree of medium decay and whiteness used as the indices for the maturation of mycelial block decreased with the increase in mixing rate of sugi wood to konara wood. Similarly, the yield of fruit body also decreased with the increase in mixing rate of sugi wood. The results obtained in this experiment suggested that the optimal mixing rate of sugi wood is 50% or less in sawdust-based cultivation using sugi wood.

Conclusion

In the present study, the results obtained from shiitake mushroom cultivation using FFUP method, HS807 strain, and sugi wood showed a possibility of not only mass production of shiitake mushroom but also efficient cultivation and stabilization of management in the future.