

第2章 食品廃棄物（焼酎粕・でん粉粕）を用いた食用きのこの栽培技術の確立

2-1 はじめに

本格焼酎の生産量が全国一である鹿児島県では、年間19万6千kLの焼酎が製造され、35万4千トン（平成21酒造年度）¹⁾の焼酎粕が発生し、その9割が陸上処理されている。これは、2004年4月に「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律（海防法）」が一部改正され、2007年4月から焼酎粕の海洋投棄が原則全面禁止となり、例外的に投棄するためには「環境大臣の許可」及び「海上保安庁長官の確認」が必要となったためである^{2,3)}。

現在の焼酎粕の陸上処理法の主流は、焼酎粕を固液分離装置で固形画分・液画分に分離した後、固形画分については乾燥後、肥料・飼料として利用している^{4,5)}。一方、液画分については、生物処理、濃縮操作を施し、メタンガスやアルコールを回収後、これらを固形画分の乾燥熱源として利用している^{4,5)}。しかし、乾燥させた固形画分（以下、焼酎粕乾燥固形物）を直接、肥料・飼料として利用するだけでは、製品に十分な付加価値を付与できず、安価な既存製品に対抗できない、焼酎粕の有用成分を十分活かしてきれていないなどの問題が残る。

一方、本格焼酎とともに鹿児島県の基幹産業である甘藷でん粉製造業界においても、その製造過程で発生するでん粉粕の利用法の開発が急務となっている。現在、県内では22万トンの甘藷を処理し、6万8千トンのでん粉を製造している。でん粉製造過程では、でん粉粕が年間4万7千トン発生し、クエン酸原料や飼料、肥料（農地還元）、ボイラーの燃料などに利用されている^{6,7)}。しかし、クエン酸については海外の安価なクエン酸におされ、価格が低迷しており、でん粉粕からのクエン酸製造量は減少傾向にある。また、飼料については水分率が高く、腐敗し易い（水分率75%程度）、単独の飼料価値が低いなどの問題がある。肥料（農地還元）については、でん粉粕に含まれる有用成分を十分に活かしてきれていない問題がある。したがって、焼酎粕と同様、でん粉粕についても、経済的有用性及び付加価値の高い利用法の開発が求められている。

また近年、様々な食品が栄養的側面だけでなく、三次機能として、生体機能の調節や成人病予防の機能性を求められている。中でもきのこは消費者の健康志向を反映して、その機能性に関心が高まっている。一方、甘藷焼酎粕はクエン酸などの有機酸、アミノ酸、無機成分など多く含まれるため、血圧降下作用や抗酸化作用などがあり、その保健的機能性に着目して、高齢化や食生活に伴う様々な生活習慣病を抱える現代人の健康維持に役立つ機能性食品へ利用する研究が行われ、一部実用化されている^{8,9,10)}。でん粉粕についてもセルロースのみでなく、ペクチン、ヘミセルロース、リグニンなどの高分子成分を含み、複合的機能を持つ食物繊維として食品への応用が期待されている⁶⁾。

このような背景の中で、筆者らは、焼酎粕、でん粉粕の成分特性、でん粉粕の体積膨張性に着目し、これらをきのこ培地の原料として活用することにより、きのこの一次機能（栄養特性）、二次機能（嗜好特性）に加えて三次機能及び生産性を向上させることが可能であれば、きのこ産業における産地間・生産者間での価格競争激化による地方の厳しい経営状

況を打開でき、さらにきのこの高付加価値化が可能になるものと考えた。

これまでに、筆者ら^{11,12)}は培地基材におが屑（針葉樹、広葉樹）、栄養材に甘藷焼酎粕乾燥固形物を利用し、焼酎粕中の有用成分を多く含んだ高付加価値きのこを収量性の高い状態で生産可能なことを明らかにした。また、きのこ収穫後に発生する使用済み培地（以下、廃培地）については、発酵 TMR 飼料の粗飼料、濃厚飼料の代替として活用し、乳用牛による給餌試験を実施してきた。その結果、廃培地は家畜飼料の原料として活用することは可能であったが、きのこ菌糸によるおが屑由来の繊維質の分解が弱く、嗜好性は良いものの、消化性、採食性に課題が残された¹³⁾。しかしでん粉粕は一部家畜飼料として利用されていることから、おが屑の代替としてきのこ培地の培地基材に利用可能であれば、収穫後の廃培地も家畜飼料としてさらに活用され易くなると考えられる。また、近年のきのこ産業における産地間・生産者間での価格競争激化による厳しい経営状況の打開策として、地域由来の食品廃棄物を食品生産のための原料として最大限に活用する本方法は受け入れられるものと考えられる。

そこで本研究では、中国で生薬の一つとして古くから利用され、抗腫瘍作用、神経成長因子合成促進作用など、人体に対する機能性を示す成分を有し^{14,15,16,17)}、栽培が比較的容易であり、かつ、エリンギ、ヒラタケ、ブナシメジなど主要品目より高値で販売されているヤマブシタケに着目し、栽培を試みた。まず、甘藷焼酎粕乾燥固形物、でん粉粕の両食品廃棄物を原料としたきのこ栽培用培地を作製し、両原料の最適培地配合条件を検討した。つぎに最適培地配合条件で調製した焼酎粕・でん粉粕培地と従来の焼酎粕培地（甘藷焼酎粕乾燥固形物+広葉樹、針葉樹おが屑）及び標準培地（BL）で栽培した子実体の成分特性、機能性を比較し、培地材料の違いが子実体にどのように影響するか検討した。さらに、最適配合条件から得られた結果をもとに焼酎粕、でん粉粕使用量を明らかにし、焼酎粕培地、標準培地と培地資材経費を比較し、きのこ産業における産地間・生産者間での価格競争激化による厳しい経営状況の打開策として有効か検討した。最後に、焼酎粕・でん粉粕培地の普及促進を図るために、他の各種食用きのこへの利用可能性も検討した。

2-2 焼酎粕・でん粉粕の資源循環システム

焼酎粕・でん粉粕をきのこ培地に活用することで直接、肥料・飼料として利用するよりも高度な利用が可能と考えられる。図 2-1 に焼酎粕・でん粉粕の資源循環システムのフローを示す。固液分離後の焼酎粕（固形画分）はメタンガスやアルコールを燃焼させることで得られる熱源等で乾燥され、いずれも粉末の固形物となる。その固形物とでん粉製造過程で発生するでん粉粕をきのこ培地に利用し、有価物（きのこ）を得る。また、その過程で発生する使用済み培地（廃培地）は家畜の飼料として活用後、肥料化（堆肥化）する。この肥料をさつまいもの栽培等に利用し、芋焼酎やでん粉を製造する。その製造過程で生じた焼酎粕・でん粉粕が再び、きのこ培地として生まれ変わる。このように焼酎粕・でん粉粕を食品生産のための原料として活用し、食品（きのこ）→家畜飼料→肥料と段階的にその品位に応じて利用した方が未利用資源の有効活用、食品リサイクル法、経済効果等の面で優位であり、経済的有用性及び付加価値の高い利用法につながると考えられる。



図 2-1 焼酎粕・でん粉粕の資源循環システム

2-3 材料及び方法

(1) 甘藷焼酎粕乾燥固形物、でん粉粕の最適配合条件の検討

a) 供試菌株

本試験では、ヤマブシタケ (*Hericium erinaceum*; (株) キノックス) を用いた。

b) 培地の調製

表 2-1 に焼酎粕・でん粉粕培地及び標準培地の培地条件を示す。また、表 2-2 に焼酎粕、でん粉粕の成分を示す。焼酎粕・でん粉粕培地では、最適配合条件を明らかにするために、甘藷焼酎粕乾燥固形物 (S 協同組合産; 鹿児島県頰娃町)、でん粉粕 (K 会社; 鹿児島県鹿屋市) をそれぞれ培地乾重量の 20%~80%、76%~16%まで変化させた。また培地の pH を 5.0~6.0 程度に調製するために、貝化石 (鹿児島県吉田町産; 未凝結の貝砂状のアラゴナイト系石灰) を培地乾重量の 4%添加し、これらの材料をミキサーで 30 分間かく拌した。

表 2-1 焼酎粕・でん粉粕培地及び標準培地の培地作製条件

試験区	培地組成 (乾物重量%)				瓶詰め重量 (g)	水分率* (%)	pH*		
	培地基材		栄養材					その他	
	でん粉粕	広葉樹 おが屑	甘藷焼酎粕 乾燥固形物	コーンプラン					
1	16		80		4	660	63.6	5.0	
焼酎粕・ でん粉粕 培地	2	36		60		4	580	64.5	5.0
	3	56		40		4	500	64.9	5.1
	4	61		35		4	460	63.2	4.9
	5	76		20		4	420	63.1	5.1
	標準培地	BL	64		32	4	580	63.4	5.4

*滅菌後の水分率、pH

表 2-2 焼酎粕、でん粉粕の一般成分

培地材料	粗タンパク質	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	可溶無窒素物
	乾物 (%)				
甘藷焼酎粕乾燥固形物	25.4	3.7	10.5	4.5	55.9
でん粉粕	2.2	1.1	16.9	3.2	76.6

さらに、培地水分率が64%程度になるように水道水を加えてかく拌し、調製した。最後にこれらの試料をポリプロピレン製のビン容器（容量：850mL、口径58mm、ウレタン無し）に充填した。一方、標準培地（BL）は15・16年度種苗特性分類調査報告書（やまぶしたけ）¹⁸⁾に準じ、広葉樹（ナラ）と栄養材（コーンブラン）の乾燥重量比が2：1程度になるように混合し、水道水を加えて水分率が64%程度に調製したものをポリプロピレン製のビン容器に580g充填した。なお、標準培地においても焼酎粕・でん粉粕培地と同様、貝化石を添加した。充填後、121℃で3時間高圧滅菌処理を行ったビンに、クリーンルーム内で供試菌をビン当たり約10g接種した。なお、各試験区の供試ビン数は32本とした。

c) 栽培条件

接種したビンは、温度 22±2℃、湿度 75±5%に制御した室内で培養し、作業時のみ蛍光灯を点灯した。培養期間終了後、発生処理として菌掻きを行い、温度 12～14℃、湿度 85～95%に制御した発生室にビンを移し、子実体の形成を促した。キャップは原基形成を確認後、取り外した。なお、本研究では100ルクス（lux）程度の光を1日8時間照射することとした。

d) 調査方法

培養期間中はきのこ菌糸の生長過程を調査するために菌周り日数、総栽培日数を調査した。子実体については、針が形成され胞子の落下が始まっている状態のものを収穫し、生重量を測定した。その後、栄養材10g当たりの収量性を算出した。また、形態的特性を調査するために収穫した子実体を房ごとに縦径と横径、ならびに高さの最大値を計測した¹⁵⁾。子実層針の長さについては、子実体の断面における菌柄（基部）の付根から針の先端部までの長さを各房5本ずつ測定した¹⁸⁾。

(2) 最適配合条件で栽培したヤマブシタケの成分特性

a) 栽培条件

焼酎粕・でん粉粕培地で栽培したヤマブシタケの特性を明らかにするために、最適配合条件で調製した焼酎粕・でん粉粕培地、でん粉粕を広葉樹おが屑に置換した焼酎粕培地、及び標準培地を用いて栽培試験を行った。なお、本試験では、ヤマブシタケを実際に生産販売しているきのこ生産工場（M会社；宮崎県小林市）の施設を利用して実施した。培養は設定温度 22℃±1℃、湿度 75±5%に制御した培養室で28日間行い、その後、発生処理を施し、温度 14℃～16℃、湿度 80～90%の発生室にビンを移し、子実体形成を促した。培養室、発生室内の蛍光灯の点灯は栽培期間全体を通して作業時のみとした。キャップは原基形成を確認後、取り外した。収穫は各条件とも子実層針の長さが18～20mm程度で行った。

b) 子実体調査と子実体成分分析

まず、子実体収穫後、生重量を測定し、栄養材 10g 当たりの収量性を算出した。また、子実体の形態的特性を、2. (1) d) と同様な方法で調査した。つぎに、各培地から得られた子実体の一般成分（水分；常圧加熱乾燥法、タンパク質；ケルダール法（窒素・タンパク質換算係数 6.25）、脂質；酸分解法、灰分；直接灰化法、炭水化物；100-（水分+タンパク質+脂質+灰分））及び食物繊維（酵素・重量法（prosky 法））を新食品分析法¹⁹⁾ に準じて定量し、成分を比較した。また、無機成分（Na、K；原子吸光光度法（Varian Technologies Japan Ltd.；AA-240FS）、Ca、Cu、Fe、Mg、Mn、P、Zn；ICP 発光分析法（Varian Technologies Japan Ltd.；VISTA PRO））、遊離糖、遊離糖アルコール、有機酸（高速液体クロマトグラフ法（SHIMADZU；LC-10ADvp））及びアミノ酸含有量（高速液体クロマトグラフ法（SHIMADZU、LC-20AD）、自動分析法（日本電子、JLC-500/V））についても同様に新食品分析法¹⁹⁾ に準じた。さらに収穫した子実体を凍結乾燥し、粉碎した子実体粉末を用いて化学構造的分類に基づき β -グルカン（酵素法）及びビタミン類（チアミン（ビタミン B1）、リボフラビン（ビタミン B2）、ビタミン B6、ビタミン B12；高速液体クロマトグラフ法、ナイアシン（ニコチン酸相当量）；微生物学的定量法）の定量を（財）日本食品分析センターに依頼し、調査した。

c) 培地中の酵素活性とでん粉含量分析

各培地中の酵素活性を測定し、培地基材にでん粉粕を利用する効果について検討した。供試試料（培地）の 10 倍量の 1% 食塩水で抽出あるいはそれを硫酸アンモニウムで濃縮した液の活性を測定した。酵素反応はメガザイム社の AZCL-多糖類及び AZCL-カゼイン 2mg を基質とし、 α -アミラーゼ、 β 1、3 グルカナーゼ、セルラーゼ、プロテアーゼ活性は 660nm の吸光度の増加を測定した。またペクチナーゼは 0.2% ペクチンを基質とし、ソモジネルソン法で還元糖を定量した。グルコアミラーゼは 0.2% 可溶性でん粉を基質としてグルコースオキシダーゼ法でグルコースを定量した。酵素反応はいずれも 0.1M 酢酸緩衝液 pH 5.0、30°C で反応を行なった。酵素の活性単位は、AZCL-基質の場合は 1 分間に分解される基質を μ g で表した。ペクチナーゼ、グルコアミラーゼは 1 分間に加水分解された還元糖を μ モルで表した。

培地中に残存するでん粉量は、Termamy1120L（Novo 社製）とグルコアミラーゼ（シグマ社製 A-9913）を用いて分解し、遊離グルコースをグルコースオキシダーゼ法で定量した。

(3) ヤマブシタケの機能性

ヤマブシタケは、一般的な食用きのこは異なり、傘が分化せず球塊状で、側面と下面から針を無数に垂らして子実体を形成するきのこであり、発生室内の温度、湿度などの室内環境により、子実体の針の形成、形状が異なる特徴がある。高島²⁰⁾や増野²¹⁾は、発生室内の温度を下げて、加湿器により、空中湿度を 90% 以上に保つと子実体の針が形成され易く、また、生理的機能性が高まることを報告している。ここでは、培地材料及び子実体発生条件の違いから子実体、培地の生理的機能へ与える影響について検討した。

a) 培地条件及び子実体発生条件

各培地の最適培地配合条件をもとに培地を調製し、これをポリプロピレン製のビン容器（容量：850mL、口径 58mm、ウレタン無し）に充填・高圧滅菌処理後、種菌を接種した。接種後、各試験区の培養は設定温度 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $75 \pm 5\%$ に制御した培養室で 28 日間行った。その後、発生処理を施し、各試験区とも、①ヤマブシタケを実際に生産販売しているきの

こ生産工場（M 会社；宮崎県小林市）の発生条件（温度 $16 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $85 \pm 10\%$ ）、及び②針の伸長が期待でき、機能性が高まると考えられる発生条件（温度 $12 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $85 \pm 10\%$ ）^{20, 21)} で子実体の発生を促した。培養室、発生室内の蛍光灯の点灯は栽培期間全体を通して作業時のみとした。キャップは原基形成を確認後、取り外した。

b) 試料採取と分析方法

収穫は各試験区とも孢子の落下を確認後、発生条件①については子実層針の長さが17～20mm程度で、発生条件②については23～26mm程度で行った。各試験区の供試ビン数は32本とした。収穫後、生重量を測定し、栄養材10g当たりの収量性を乾物で算出した。つぎに、子実体の一般成分、食物繊維、及びアミノ酸含有量についても、2-3 (2) b)と同様に新食品分析法¹⁹⁾ に準じて定量した。さらにヤマブシタケ子実体及び培地中の機能性を評価するためにスーパーオキシド消去(SOD)活性、血圧上昇抑制効果評価試験（ACE（アンジオテンシン変換酵素）阻害活性試験）を（財）日本食品分析センターに依頼した。これらの試験には、子実体及び培地を凍結乾燥し、粉碎した粉末を用いた。スーパーオキシド消去活性は電子スピン共鳴（ESR）法で、アンジオテンシン変換酵素(ACE)阻害活性の測定は、Nakanoらの方法²²⁾ に基づき、試験溶液を調製し、ACE活性を測定後、試験溶液を加えない未処理区の活性を100%とした場合の相対ACE活性をもとに評価した。

さらに、上記試験において、機能性が高かった発生条件で栽培したヤマブシタケ子実体及び培地については、RAW264細胞 NO 産生誘導・抑制試験²³⁾、P388白血球細胞増殖抑制試験²⁴⁾を実施した。RAW264細胞 NO産生誘導・抑制試験では、免疫賦活作用に関係したマウスマクロファージ細胞に対する活性化(以下、マクロファージ活性化)の指標としてNO産生誘導能を、また抗炎症作用の評価としてリポ多糖(LPS)刺激により亢進したNO産生を抑制する作用を合わせて調べた。P388白血球細胞増殖抑制試験では、抗癌作用検定用の標準細胞株の一つであるマウス白血球細胞P388を用いて、試料成分に腫瘍細胞の増殖を抑える効果があるかどうか調べた。これらの細胞試験に対しては、100mg/mLの熱水抽出液(遠心上清ろ過液)を調製し、最終的に5mg/mLまたは2.5mg/mLの検体濃度に各細胞培養液で希釈して試験した。

(4) 培地材料経費の比較

焼酎粕・でん粉粕培地の最適配合条件をもとに、培地1万本当たりの焼酎粕、でん粉粕使用量を求め、本培地の材料費を算出し、焼酎粕培地、標準培地と培地材料経費を比較した。なお、焼酎粕、でん粉粕の市場価格については、聞き取り調査を行った。標準培地についてはきのこ年鑑¹⁴⁾を参考に算出した。

(5) 各種食用きのこへの焼酎粕・でん粉粕培地の適用

a) 供試菌株

本試験では、焼酎粕・でん粉粕培地の他の食用きのこへの利用を検討するために、ヒラタケ（H67号、(株)キノックス）、タモギタケ（東北T86号、(株)キノックス）、エリンギ（KE-106号、(株)かつらぎ産業）の3種の種菌を用いた。

b) 培地の調製

表2-4にヒラタケ、エリンギ栽培、表2-5にタモギタケ栽培における焼酎粕・でん粉粕培地、焼酎粕培地及び標準培地の培地条件を示す。焼酎粕・でん粉粕培地では、甘藷焼酎粕乾燥固形物（S 協同組合産、水分率7.2%；鹿児島県頰娃町）、でん粉粕（K 会社脱水粕、

水分率 72.2% ; 鹿児島県鹿屋市) をそれぞれ培地乾重量の 50%、46%とした。また培地の pH を 5.0~6.0 程度に調整するために、貝化石 (鹿児島県吉田町産 ; 未凝結の貝砂状のアラゴナイト系石灰) を培地乾重量の 4%添加し、これらの材料をミキサーで 30 分間かく拌した。さらに、培地水分率が 65%程度になるように水道水を加えてかく拌し、調製した。最後にこれらの試料をポリプロピレン製のビン容器 (容量 : 850mL、口径 58mm、ウレタン無し) に充填した。焼酎粕培地、標準培地についても、栄養材の甘藷焼酎乾燥固形物、米糠の添加率を焼酎粕・でん粉粕培地と同様、培地乾重量の 50%とし、試験に供した。なお、ヒラタケ、エリンギ栽培における焼酎粕培地、標準培地では、培地基材に針葉樹おが屑 (鹿児島県大口市産 ; 約 6 ヶ月間加水堆積したスギおが屑、水分率 68.8%) を使用した。タモギタケ栽培におけるこれらの培地では、培地基材に広葉樹おが屑 (長野県飯山市産 ; ブナおが屑、水分率 32.2%) を使用した。

瓶詰め終了後、高圧滅菌釜を 121℃にセットし、3 時間、ビンの滅菌処理を行った。その後、ビンの温度を室温まで下げ、クリーンルームで供試菌をビンあたり約 8 g 接種した。なお、各試験区の供試ビン数は 32 本とした。

表 2-4 ヒラタケ エリンギの栽培条件

試験区	培地組成(乾物重量%)				瓶詰め重量 (g)	水分率* (%)	
	培地基材		栄養材				その他
	でん粉粕	針葉樹おが屑	甘藷焼酎粕 乾燥固形物	米糠			
焼酎粕・でん粉粕培地	46		50		4	560	64.9
焼酎粕培地		46	50		4	600	64.9
標準培地		46		50	4	580	65.6

*滅菌後の水分率

表 2-5 タモギタケの栽培条件

試験区	培地組成(乾物重量%)				瓶詰め重量 (g)	水分率* (%)	
	培地基材		栄養材				その他
	でん粉粕	広葉樹おが屑	甘藷焼酎粕 乾燥固形物	米糠			
焼酎粕・でん粉粕培地	46		50		4	540	65.2
焼酎粕培地		46	50		4	600	64.9
標準培地		46		50	4	600	65.6

*滅菌後の水分率

c) 栽培条件

接種したビンは、温度 22±2℃、湿度 75±5%に制御した室内で培養し、作業時のみ蛍光灯を点灯した。培養終了後、ヒラタケ、タモギタケについては、菌掻き・注水 (2 時間) 後に、エリンギについては菌掻き後に温度 14±1℃、湿度 90±5%に制御した発生室にビンを移し、子実体の形成を促した。なお、本試験では 100 ルクス (lux) 程度の光を 1 日 8

時間照射することとした。

d) 子実体調査と子実体成分分析

培養期間終了後、発生処理後から収穫までの日数及び総栽培日数を調査した。ヒラタケについては、傘に丸みが残っている状態で、タモギタケ、エリンギについては傘が凹型になる前の6~8分開きを目安に石突きを除き収穫し、収量を調査した。その後、栄養材10gあたりの収量性を算出した。また、子実体の形態的特性及びヒラタケ、タモギタケについては発生本数も調査した。その後、各培地から得られた子実体の一般成分、食物繊維、無機成分及びアミノ酸含有量を2-3 (2) b)と同様な方法で定量した。さらにタモギタケについては一部子実体を凍結乾燥し、粉碎した子実体粉末を用いて化学構造的分類に基づきβ-グルカン(酵素法)の定量を(財)日本食品分析センターに依頼し、調査した。

2-4 結果と考察

(1) 最適培地配合条件の検討

表2-6に栽培試験結果を示す。焼酎粕・でん粉粕培地における菌周り日数は、16日~18日程度であり、配合割合の影響はあまり見られなかった。しかし、標準培地と比較すると2日~4日程度遅くなる傾向にあった。馬替²⁶⁾は、脂肪酸エステルがきのこ菌糸(ヒラタケ)の伸長に及ぼす影響を調査し、パルミチン酸エステル、ステアリン酸エステルが菌糸の伸長を阻害することを明らかにしている。焼酎粕・でん粉粕培地には、米や甘藷原料中に含まれる成分が発酵や蒸留の工程でアルコールと結合した脂肪酸エステルが含まれていることから、これらの成分が菌糸伸長を阻害したものと考えられる。

菌搔きから収穫までの日数は焼酎粕・でん粉粕培地の試験区1~3で22日間程度であり、標準培地(BL)より3日間程度短くなった。また、収量も試験区1~3では標準培地のそれぞれ2.6倍、2.2倍、1.9倍と非常に多かった。さらに栄養材10gあたりの収量性を比較すると、焼酎粕・でん粉粕培地では、試験区1を除き、標準培地より高くなった。特に試験区3は22.1gと収量が最も高く、標準培地の1.9倍であった。菌糸密度は焼酎粕・でん粉粕培地では栄養材(焼酎粕乾燥固形物)の添加量が多いほど培地表面は白く、菌糸密度が高

表2-6 栽培試験結果

試験区	菌まわり 日数	菌搔き	菌搔きから収 穫までの日数	形態的特性				収穫までの 日数	収量(生)	栄養材10g当 たりの収量性	
				子実体横径 (長径)	子実体縦径 (短径)	子実体高さ	子実層針 の長さ				
				(平均値±標準偏差)							
	(日)			(mm)				(日)	(g/瓶)	(g)	
焼酎粕・ でん粉粕 培地	1	16.3±0.5	31	22.1±0.8	222.6±18.6	158.7±23.0	156.2±9.8	25.0±1.5	53.1±0.8	209.3±21.7	10.9
	2	16.9±0.8	31	21.4±0.7	168.2±17.4	108.6±30.7	156.5±18.9	25.2±3.1	52.4±0.7	177.1±14.6	14.3
	3	17.8±0.8	31	21.6±0.5	158.2±24.7	113.6±21.5	144.8±24.3	23.9±1.3	52.6±0.5	155.4±11.9	22.1
	4	17.2±0.4	31	25.0±1.6	151.3±26.8	99.3±21.3	94.5±12.0	22.7±2.7	56.0±1.6	101.0±15.3	17.0
	5	16.5±0.9	31	27.1±1.1	111.9±23.2	68.9±12.1	91.9±20.2	17.9±2.9	58.1±1.1	58.4±7.8	18.8
標準培地	BL	14.2±0.5	31	25.2±0.6	145.2±20.2	92.0±18.1	95.6±13.6	23.5±1.8	56.2±0.6	80.5±8.0	11.9



図 2-2 栽培 18 日目の各試験区の菌周り状況

くなる傾向にあった(図 2-2)。つぎに子実体全体の形を観察すると、その形状は混在型で、子実体の発生における房別れの状態は散状型が多かった(図 2-3 参照)。また栄養材添加率が高いものほど子実体は大きくなったが、特に試験区 1 では子実体が非常に大きく、房が均一に形成されていない場合は、培養瓶のバランスが不安定になり、倒れ易くなった(図 2-4 参照)。また、本試験では子実層針が形成されるまで栽培を行ったため、総栽培日数が 52 日～58 日と非常に長くなった。さらに、収穫時期がやや遅れたことで、子実体の中心部に褐変が見られた。しかし、本試験を通して焼酎粕・でん粉粕培地は、ヤマブシタケの栽培において、収量性が高い効果的な培地であることが明らかになった。また、その最適配合条件としては、培養日数、栄養材 10g 当たりの収量性及び、子実体の形状、作業性などから判断して、試験区 2、3 の焼酎粕添加率 40～60%、でん粉粕添加率 36～56%が最適であると考えられた。



図 2-3 栽培終了時のヤマブシタケ
(試験区 2 ; でん粉粕 36%+焼酎粕乾燥固形物 60%+貝化石 4%)



図 2-4 房が均一に形成されていないヤマブシタケ（試験区 1）
（左：栽培終了時の状況、右：収穫後、子実層針側を上に向けた状態）

(2) 培地材料の違いによる子実体への影響

2-4 (1) で得られた焼酎粕・でん粉粕培地の最適配合条件（焼酎粕乾燥固形物 50%、でん粉粕 46%、貝化石 4%（乾物重量%））、でん粉粕を広葉樹おが屑に置換した焼酎粕培地（焼酎粕乾燥固形物 50%、広葉樹おが屑 46%、貝化石（乾物重量%））、及び標準培地（ホミニーフード 33.3%、広葉樹おが屑 62.7%、貝化石 4%（乾物重量%））を用いて、ヤマブシタケの栽培試験を実施し、培地材料の違いによる子実体への影響を検討した（表 2-7 参照）。

表 2-7 最適培地配合条件

試験区	培地組成(乾物重量%)				瓶詰め重量 (g)	水分率* (%)	
	培地基材		栄養材				その他
	でん粉粕	広葉樹おが屑	甘藷焼酎粕乾燥固形物	ホミニーフード			
焼酎粕・でん粉粕培地	46		50		4	540	62.6
焼酎粕培地		46	50		4	600	62.6
標準培地		62.7		33.3	4	580	62.2

*滅菌後の水分率

表 2-8 にヤマブシタケ子実体の栽培試験結果を示す。菌搔きから収穫までの日数及び総培養日数は焼酎粕・でん粉粕培地では標準培地より 1 日程度長くなる傾向にあり、表 2-3 で示した結果と異なった。この理由として、1) 標準培地で使用する培地基材、栄養材の種類を変更したこと、2) でん粉粕は広葉樹おが屑と比較して膨張・収縮が大きいいため、きのこ発生室内の温度が高く、湿度が低い環境下ではでん粉粕の収縮が激しくなり、菌糸の伸長に影響を及ぼしたことが考えられる。また、焼酎粕培地では焼酎粕・でん粉粕培地よりさらに総栽培日数が長くなる傾向にあった。これは、きのこ菌糸が栄養源として利用可能な基質が異なることが影響していると考えられる。収量については焼酎粕・でん粉粕培地

表 2-8 ヤマブシタケ子実体の栽培試験結果（最適配合条件）

試験区	菌播きまでの日数 (培養日数)	菌播きから収穫までの日数	形態的特性				収穫までの日数 (総培養日数)	収量 (生) (g/瓶)	栄養材10g 当たりの収量性 (g)
			子実体横径 (長径)	子実体縦径 (短径)	子実体高さ	子実体針の長さ			
			(平均値±標準偏差)						
	(日)		(mm)				(日)		
焼酎粕・でん粉粕培地	28	19.5±0.8	105.1±13.8	67.4±8.0	78.9±7.0	19.3±1.4	47.5±0.8	126.5±2.3	12.3
焼酎粕培地	28	20.4±1.0	91.4±11.7	65.1±8.0	70.6±8.1	19.1±1.0	48.4±1.0	92.8±5.5	8.3
標準培地	28	18.8±1.1	85.9±19.2	53.8±17.7	52.4±7.5	18.5±1.8	46.8±1.1	56.3±6.1	7.7

表 2-9 培地栄養材として用いたコーンブラン、ホミニーフードの一般成分

培地材料	粗タンパク質	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	可溶無窒素物
	乾物 (%)				
コーンブラン	11.6	6.9	5.8	2.9	72.8
ホミニーフード	11.0	8.6	5.3	2.8	72.4

が 126.5±2.3g/瓶と最も多く、ついで焼酎粕培地 92.8±5.5g/瓶、標準培地 56.3±6.1g/瓶の順であった。焼酎粕・でん粉粕培地で栽培したヤマブシタケ子実体の収量は標準培地の 2.2 倍であり、表 2-6 と同様な傾向にあった。また、表 2-9 のコーンブランとホミニーフードの成分を比較しても、両材料に大きな差が見られないことから、標準培地の栄養材をコーンブランからホミニーフードに切り替えた影響はないものと考えられる。また焼酎粕・でん粉粕培地及び焼酎粕培地の栄養材 10g 当たりの収量性は、標準培地より高く、ヤマブシタケ栽培においてこれらの培地は効果的であることがわかった。しかし、表 2-6 の栽培試験結果と比較すると、収量が非常に少ない。これは、子実体発生室の温度、湿度などの室内環境が大きく影響していると考えられる。

図 2-5、図 2-6、図 2-7 にヤマブシタケ子実体の栽培状況を示す。いずれの試験区においても子実体の形状は房型で、子実体の発生における房別れの状態は中心型であり、図 2-3、図 2-4 と大きく形状が異なった。これらのことから、ヤマブシタケは発生環境の違いにより大きく形状、収量が変化することがわかった。



写真説明

- ・ 1-2：でん粉粕 56%、焼酎粕 40%、貝化石 4%
- ・ 2-1：でん粉粕 46%、焼酎粕 50%、貝化石 4%
- ・ 3-3：でん粉粕 36%、焼酎粕 60%、貝化石 4%
- ・ BL1-12：広葉樹おが屑 46%、焼酎粕 50%、貝化石 4%
- ・ BL2-11：広葉樹おが屑 62.7%、ホミニーフ

図 2-5 栽培 46 日目のヤマブシタケの栽培状況



図 2-6 栽培 46 日目の焼酎粕・でん粉粕培地及び標準培地で栽培したヤマブシタケの生育状況



図 2-7 栽培 48 日目の焼酎粕培地で栽培したヤマブシタケの生育状況

表 2-10 ヤマブシタケ子実体の一般成分と食物繊維

試験区	タンパク質	脂質	炭水化物	灰分	食物繊維
	g/100g乾物				
焼酎粕・でん粉粕培地 (50 : 46)	20.0	4.9	67.5	7.6	33.7
焼酎粕培地 (50 : 46)	29.9	7.1	52.8	10.2	28.3
標準培地 (33.3 : 62.7)	23.8	6.9	59.3	10.0	32.3

表 2-10 にヤマブシタケ子実体の一般成分及び食物繊維の分析結果を示す。各培地で栽培したヤマブシタケ子実体の成分を比較すると、タンパク質量は焼酎粕培地>標準培地>焼酎粕・でん粉粕培地の順であった。また炭水化物量は焼酎粕・でん粉粕培地>標準培地>焼酎粕培地となり、タンパク質の減少に伴い、炭水化物は増加傾向にあった。食物繊維についても炭水化物と同様な傾向が見られた。脂質、灰分については焼酎粕培地、標準培地では脂質が7%程度、灰分が10%程度であったが、焼酎粕・でん粉粕培地ではこれらの培地より減少した。以上の結果から、ヤマブシタケ栽培において、培地材料を変化させると同一の菌株を使用しても子実体成分組成は大きく変化することが明らかになった。特に、タンパク質量、炭水化物量の変化は顕著であった。

でん粉粕にはきのこ菌糸が基質（炭素源）として利用可能なでん粉や食物繊維がそれぞれ100g 乾物当たり 43.5g、49.7g（セルロース 16.4g、ヘミセルロース 11.3g、ペクチン 20.5g、リグニン 1.5g）含まれている²⁷⁾。このことから焼酎粕・でん粉培地ではきのこ菌糸は栄養材の焼酎粕乾燥固形物に加え、培地基材として用いたでん粉粕中に含まれる成分も栄養源として利用吸収していると考えられる。そこで、培養開始直後（ステージ1）、菌周り完了後（ステージ2）、子実体回収後（ステージ3）、の培地をそれぞれ回収し、でん粉量と酵素活性を調査した。

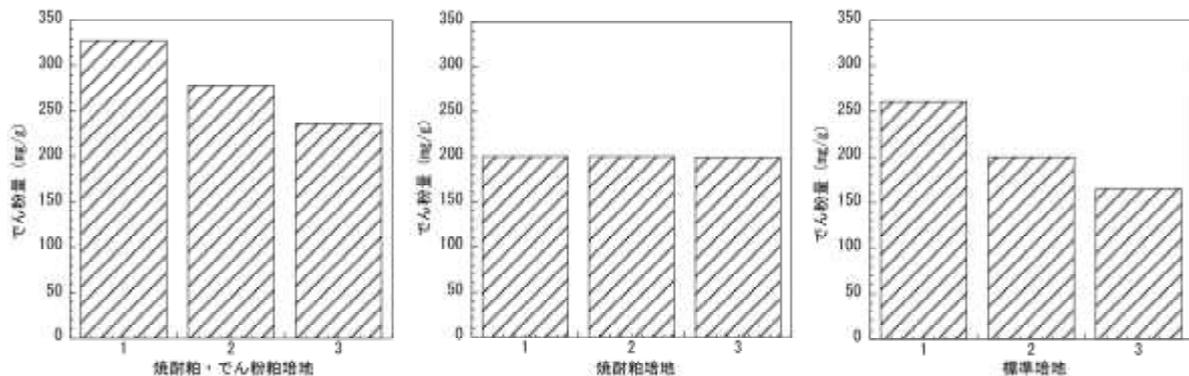


図 2-8 各培地中でのでん粉量の変化
(1 : 培養開始直後、2 : 菌周り完了後、3 : 子実体回収後 (廃培地))

図2-8に各ステージにおけるでん粉量を示す。でん粉量は、焼酎粕・でん粉粕培地と標準培地において培養が進むにつれて減少した。このことからヤマブシタケはでん粉を基質として利用することが明らかになった。しかし、焼酎粕培地においては栽培期間を通して殆どでん粉量の変化は見られなかった。この理由として、1) 焼酎粕培地で栽培したヤマブシタケはタンパク含有量が非常に高いことから、タンパク質由来の炭素や低分子の糖類(単糖)を利用して、2) 焼酎粕培地に含まれるでん粉は焼酎製造過程において、麴、酵母により分解された残存物であるため、ヤマブシタケの菌体外酵素では分解できなかったためと考えられる。

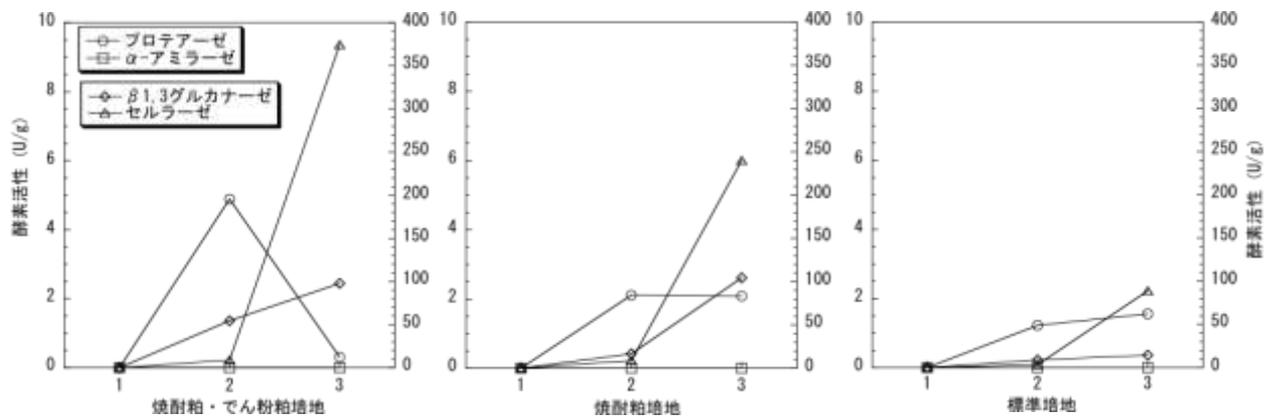


図2-9 AZCL 基質を用いた酵素活性評価

(1: 培養開始直後、2: 菌周り完了後、3: 子実体回収後 (廃培地))

(左軸: α -アミラーゼ、プロテアーゼ活性、右軸: β 1,3 グルカナーゼ、セルラーゼ活性)

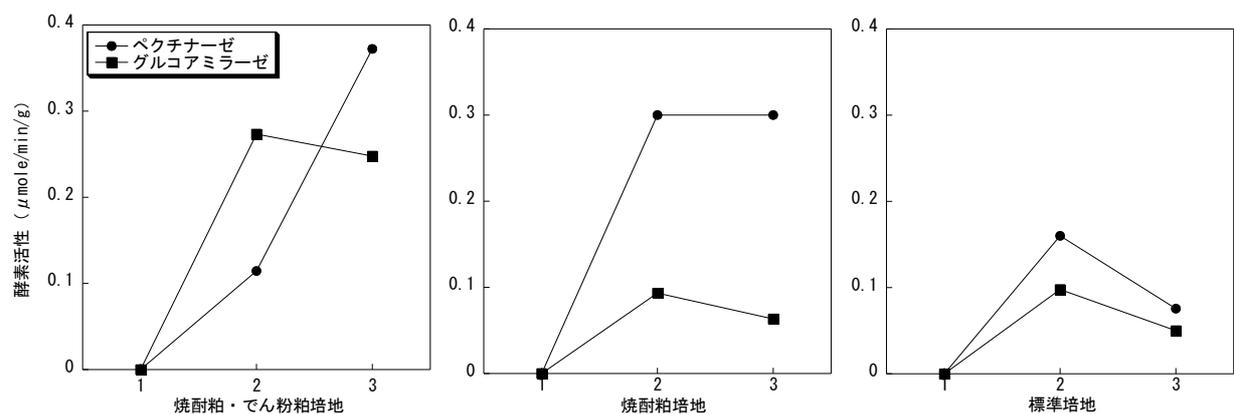


図2-10 Somogyi-Nelson 法及びグルコースオキシダーゼを用いたペクチナーゼ活性及びグルコアミラーゼ活性

(1: 培養開始直後、2: 菌周り完了後、3: 子実体回収後 (廃培地))

次に、でん粉を分解している酵素の推定を行った。その結果、でん粉を主に分解する α -アミラーゼ活性はなかったが、グルコアミラーゼ活性は確認された(図2-9、図2-10参照)。このことから、ヤマブシタケはでん粉を栄養基質として利用するために、グルコアミラーゼが菌体外(培地中)に多く分泌されていると考えられる。また、その他の酵素としては、ペクチン分解酵素のペクチナーゼ、セルロース分解酵素のセルラーゼ、タンパク分解酵素のプロテアーゼ及びヘミセルロース分解酵素の β 1,3グルカナーゼが全ての試験区で確認された。これらのことから、ヤマブシタケはでん粉以外にも食物繊維を炭素源として一部利用することが可能と思われる。

表2-11にヤマブシタケ子実体に含まれる総アミノ酸、遊離アミノ酸の分析結果を示す。焼酎粕・でん粉粕培地、焼酎粕培地で栽培したヤマブシタケに含まれる総アミノ酸量は、標準培地で栽培したものと比較して、それぞれ0.78倍、1.18倍であった。このように培地基材のおが屑をでん粉粕に代替することで総アミノ酸量は大きく変動した。これは上述したように、きのこ菌糸が栽培期間中に利用できる炭素源が異なることが影響していると考えられる。すなわち、焼酎粕・でん粉粕培地ではでん粉粕が焼酎粕由来のタンパク質と比較して資化され易いため、総アミノ酸量が減少したと考えられる。一方、焼酎粕培地では、焼酎粕中のタンパク質由来の炭素や低分子の糖類(単糖)が利用されたため、総アミノ酸量が増加したと考えられる。遊離アミノ酸量についても同様な傾向であった。特に焼酎粕培地で栽培したヤマブシタケは、焼酎粕・でん粉粕培地、標準培地で栽培したものより1.4倍程度多く含まれていることが明らかになった。つぎに各遊離アミノ酸量を比較すると、全ての試験区において、グルタミン酸(Glu)が最も多く、ついでアラニン(Ala)、アスパラギン酸(Asp)が多かった。これらの傾向は、佐藤ら²⁸⁾が113種類のきのこの遊離アミノ酸を調査し、Glu、Ala、Gln(グルタミン)が広く主成分として認められた結果や高島ら²⁹⁾が行ったヤマブシタケの成分分析結果ともほぼ一致した。これらのことから、菌床栽培で発生したヤマブシタケ子実体に含まれるアミノ酸は培地材料の違いによりその総量は大きく変化するが、アミノ酸組成については、あまり影響を受けないことが明らかになった。

表2-11 ヤマブシタケ子実体に含まれる総アミノ酸、遊離アミノ酸

試験区	総アミノ酸 (mg/100g乾物)																	
	必須						準必須				非必須							
	Leu	Ile	Val	Met	Thr	Trp	Phe	Lys	His	Arg	Gly	Ser	Glu	Pro	Tyr	Cys	Ala	Asp
焼酎粕・でん粉粕培地	1,941	966	728	200	689	231	490	626	317	786	663	717	2,049	648	428	171	1,090	1,290
焼酎粕	1,528	843	1,970	302	976	362	732	1,393	512	1,236	1,916	1,889	3,307	995	638	263	1,988	1,950
標準培地	1,968	768	915	257	889	288	682	1,009	425	877	854	915	2,883	800	546	205	1,177	1,760
焼酎粕・でん粉粕培地	152	83	103	22	83	23	21	60	48	97	55	97	510	76	90	N.D.	317	145
遊離アミノ酸																		
焼酎粕	197	110	142	32	102	30	8	197	87	213	87	124	461	102	102	N.D.	497	142
標準培地	131	69	92	27	85	25	31	115	62	154	54	100	485	42	77	N.D.	262	288

表2-12にヤマブシタケ子実体の遊離糖、遊離糖アルコール及び β -グルカンの分析結果を示す。焼酎粕・でん粉粕培地で栽培したヤマブシタケに含まれる遊離糖、遊離糖アルコール量は、28.6g/100g乾物であり、標準培地、焼酎粕培地で栽培したものと比較してそれぞれ1.7倍、1.5倍であった。またいずれの試験区においても遊離糖としてブドウ糖、ト

表 2-12 ヤマブシタケ子実体に含まれる遊離糖、遊離糖アルコール及びβ-グルカン

試験区	果糖	ショ糖	ブドウ糖	トレハロース	アラビトース	マンニトール	アラビトール	β-グルカン
	(g/100g乾物)							
焼酎粕・でん粉粕培地	N.D.	N.D.	2.8	1.1	N.D.	1.9	22.8	24.2
焼酎粕培地	N.D.	N.D.	2.0	1.3	N.D.	1.3	14.9	20.4
標準培地	N.D.	N.D.	1.5	1.3	N.D.	1.4	12.7	22.9

表 2-13 ヤマブシタケ子実体に含まれる有機酸

試験区	クエン酸	酒石酸	リンゴ酸	コハク酸	フマル酸	乳酸	蟻酸	酢酸	ピログルタミン酸	プロピオン酸	酪酸
	(mg/100g乾物)										
焼酎粕・でん粉粕培地	N.D.	N.D.	3,103	276	651	N.D.	N.D.	590	N.D.	N.D.	N.D.
焼酎粕培地	N.D.	N.D.	4,252	394	709	N.D.	N.D.	709	78	N.D.	N.D.
標準培地	N.D.	N.D.	4,461	615	1,150	N.D.	N.D.	231	N.D.	N.D.	N.D.

表 2-14 ヤマブシタケ子実体に含まれる無機成分

試験区	Na	K	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	P	Zn
	(mg/100g乾物)								
焼酎粕・でん粉粕培地	N.D.	3,993	N.D.	0.8	6.3	93.8	0.9	724	3.9
焼酎粕培地	N.D.	5,276	N.D.	2.2	8.3	122.8	1.9	1,047	6.8
標準培地	N.D.	5,369	30.0	1.3	7.6	134.6	1.8	1,146	7.4

レハ

ロース、糖アルコールとして、マンニトール、アラビトールが確認された。つぎに各成分を比較すると、各試験区ともにコク味、甘味を持つアラビトールが最も多く、次いでブドウ糖、マンニトールの順であった。中でも焼酎粕・でん粉粕培地で栽培したヤマブシタケ中のアラビトール量は22.8g/100g乾物と非常に多く、この量は標準培地の1.8倍であった。また、ブドウ糖についても標準培地より1.9倍多く含まれていることがわかった。マンニトールについては、でん粉粕利用により増加傾向にあった。以上の結果から、焼酎粕、でん粉粕は、遊離糖、遊離糖アルコール量を増加させる何らかの誘導物質（成分）を有しているものと推察される。また、吉田ら³⁰⁾は31種類の食用きのこに含まれる遊離糖、遊離糖アルコールを調査し、各種きのこ類の遊離糖、遊離糖アルコールは1-2種類の糖及び糖アルコールにより、7割以上が構成されており、その構成パターンはきのこの種に異なることを報告している。本試験においても同様な傾向が認められた。さらに培地栄養材の種類によっては子実体に苦みが問題となっている³¹⁾が、でん粉粕を利用することで苦みの原因となるアミノ酸ペプチドが減少していると考えられる。β-グルカン量は焼酎粕・でん粉粕培地>標準培地>焼酎粕培地の順であり、広葉樹おが屑をでん粉粕に置換することで、子実体中のβ-グルカン量は増加傾向にあった。また、表 2-10 で示した食物繊維の定量結果から、その7割がβ-グルカンと考えられた。

表 2-13 にヤマブシタケ子実体の有機酸の分析結果を示す。全体的な傾向としてヤマブシタケにはリンゴ酸が最も多く含まれ、その量は、測定した有機酸の 67～69%を占めた。吉田ら³⁰⁾は遊離糖、遊離糖アルコールと同様に、有機酸量についても調査し、総有機酸量の 8 割以上が、2～3 種類の有機酸で構成され、その構成パターンはきのこの種に異なることを報告している。本試験ではリンゴ酸とフマル酸で同様な含有率を示した。なお、焼酎粕・でん粉粕培地で栽培したヤマブシタケは、標準培地及び焼酎粕培地のものと比較して総有機酸量は減少することがわかった。

表 2-14 にヤマブシタケ子実体の無機成分の分析結果を示す。測定した 9 種類の無機成分の総量は、焼酎粕・でん粉粕培地で 4823mg/100g 乾物であり、焼酎粕培地、標準培地と比較して 30%程度減少した。しかし、いずれの試験区においても K が最も多く、ついで P、Mg の順であった。このような傾向は、シイタケ、エノキタケ、ヒラタケ、エリンギ等の食用きのこのこと同様であった^{11, 12, 32, 33)}。子実体各試料中の総無機成分量に K、P が占める割合は、焼酎粕・でん粉粕培地で K : 82.8%、P : 15.0%、焼酎粕培地で K : 81.6%、P : 16.2%、標準培地で K : 80.2%、P : 17.1%であり、培地材料の違いによる構成割合の違いは認められなかった。

表 2-15 ヤマブシタケ子実体のビタミン類

試験区	チアミン (ビタミンB ₁)	リボフラビン (ビタミンB ₂)	ナイアシン (ビタミンB ₃)	ビタミンB ₆	ビタミンB ₁₂
	(mg/100g乾物)				
焼酎粕・でん粉粕培地	1.00	3.08	16.90	386	0.34
焼酎粕培地	1.26	3.54	22.50	614	0.24
標準培地	2.46	3.31	18.70	438	0.69

表 2-15 にヤマブシタケ子実体のビタミン類の分析結果を示す。本試験では、五訂増補日本食品標準成分表³⁴⁾(以下、五訂表)に記載されているビタミン類の中からビタミン B₁、B₂、B₆、B₁₂、ナイアシンについて分析した。全体的な傾向として、チアミン(ビタミン B₁) やリボフラビン(ビタミン B₂) は、五訂表から判断してエノキタケ、ブナシメジ、ヒラタケ、エリンギ等の食用きのこのこと同程度含まれていることがわかった。しかし、ナイアシン(ビタミン B₃) については、今回分析したビタミン類の中では全量の 76.4～82.4%を占めたが、他の食用きのこのことと比較すると非常に少ないことがわかった。ビタミン B₆、ビタミン B₁₂ についても検出されたが、その量は非常に少なく、他の食用きのこのこと同程度であった。

(3) ヤマブシタケの機能性

a) 発生条件の違いによる子実体の収量、成分特性及び機能性評価

表 2-16 にヤマブシタケの栽培試験結果を示す。発生条件②では、発生条件①と比較して、菌搔きから収穫までの日数が 10 日程度長くなり、収量、栄養材 10g 当たりの収量性も 10～15%程度減少した。高畠³¹⁾は、子実層針を伸長させ、老成させると子実体重量が減少することを報告している。本試験においても、子実層針を、時間をかけて十分に発達させた

表 2-16 ヤマブシタケの栽培試験結果

試験区	培養日数	菌播きから収穫 までの日数 (平均値±標準偏差)	総栽培日数 (日)	収量 (g/瓶)	栄養材10g当 たりの収量性 (g)							
						焼酎粕・でん粉粕 培地	①	28	19.5±0.8	47.5±0.8	126.5±2.3	12.8
							②		31.0±0.2	59.0±0.2	112.8±11.6	11.4
焼酎粕培地	①	28	20.4±1.0	48.4±1.0	92.8±5.5	8.7						
	②		30.0±0.6	58.0±0.6	78.7±7.4	7.3						
標準培地	①	28	18.8±1.1	46.8±1.1	56.3±6.1	8.1						
	②		29.3±1.0	57.3±1.0	49.8±5.9	7.1						

* ①：発生温度16±2℃ 湿度85±10%，②：発生温度12±2℃ 湿度85±10%

**発生条件①については発表値¹⁾を使用。

状態であったため、子実体が老成し、実体重量が減少したと考えられる。また、標準培地で栽培したヤマブシタケは、焼酎粕・でん粉粕培地、焼酎粕培地と比較して、子実体の生長が悪く、全体的に針の形成とともに子実体が褐色し、劣化が比較的短時間のうちに進行し易かった。

表 2-17 ヤマブシタケ子実体の一般成分
と食物繊維 (g/100g乾物)

試験区		タンパク質	脂質	炭水化物	灰分	食物繊維
焼酎粕・ でん粉粕 培地	①	20.0	4.9	67.5	7.6	33.7
	②	19.5	5.7	66.3	8.5	37.4
焼酎粕 培地	①	29.9	7.1	52.8	10.2	28.3
	②	33.8	7.4	47.0	11.8	29.4
標準培地	①	23.8	6.9	59.3	10.0	32.3
	②	23.1	5.9	59.8	11.2	37.3

*発生条件①については発表値¹⁾を使用。

表 2-17 にヤマブシタケ子実体の一般成分と食物繊維の分析結果を示す。ヤマブシタケ子実体の一般成分を比較すると、タンパク質量は焼酎粕培地>標準培地>焼酎粕・でん粉粕培地の順であった。また、炭水化物量は焼酎粕・でん粉粕培地>標準培地>焼酎粕培地となり、タンパク質の減少に伴い、炭水化物は増加傾向にあった。食物繊維については、全ての試験区において、発生条件②の方が高かった。これは、子実体の針を伸長させたことで細胞壁成分が増加したためと考えられる。なお、表 2-16、表 2-17 に示した発生条件①の栽培試験結果及び分析結果値は 2-4 (2) に結果を使用した。

表 2-18 にヤマブシタケ子実体の総アミノ酸量、遊離アミノ酸量の結果を示す。アミノ酸量はいずれの試験区においても、発生条件②の方が高い値を示した。特に、焼酎粕培地で栽培した子実体については、その値は顕著であった。この理由として、低温で子実体を栽培すると、菌糸体の代謝活性が低下し、これにより、子実体中のアミノ酸の呼吸基質としての利用が抑制されたためと考えられる。またこれらの結果のうち、焼酎粕・でん粉粕培地、標準培地で栽培した子実体のアミノ酸量と表 2-17 のタンパク質量を比較すると、アミ

ノ酸量は発生条件②で増加したが、タンパク質量は減少した。これはタンパク質アミノ酸以外の窒素化合物量が減少したことによると考えられる。なお、発生条件の違いによるアミノ酸組成への影響は見られず、全ての試験区でグルタミン酸(Glu)が最も多く含まれた。その他の成分では、アスパラギン酸(Asp)、アラニン(Ala)、ロイシン(Leu)が多かった。

表 2-18 ヤマブシタケ子実体の総アミノ酸量、
遊離アミノ酸量 (mg/100g乾物)

	試験区	発生条件①総量	発生条件②総量
	焼酎粕・でん粉粕培地	12,269	13,121
総アミノ酸	焼酎粕培地	18,512	23,093
	標準培地	15,708	16,379
	焼酎粕・でん粉粕培地	1,966	2,674
遊離アミノ酸	焼酎粕培地	2,740	3,573
	標準培地	1,985	2,823

表 2-19 ヤマブシタケ子実体の SOD 活性(単位/g)

試験区	発生条件①	発生条件②
焼酎粕・でん粉粕培地	1,600	2,200
焼酎粕培地	4,400	6,100
標準培地	2,100	1,300

表 2-20 発生条件②における培地の
SOD 活性 (単位/g)

試験区	滅菌後培地	発生前培地	廃培地
焼酎粕・でん粉粕培地	120	180	290
焼酎粕培地	160	140	180
標準培地	50	50	60

表 2-19 にヤマブシタケ子実体の SOD 活性の測定結果を示す。SOD 活性は、活性酸素を消去する能力を示す指標であるが、焼酎粕培地で栽培した子実体で強く、特に発生条件②で 6,100 (単位/g) と高かった。これは子実体中の SOD 様活性酸素消去能が増加したことが影響していると考えられる。

表 2-20 に発生条件②における滅菌後培地、発生前培地、廃培地の SOD 活性を示す。各培地の SOD 活性は全ての試験区で 50~290 (単位/g) と低かった。しかし、表 2-19 で示したように子実体では、非常に高くなった。また、各培地材料の SOD 活性は、焼酎粕乾燥固形物で 730 単位/g、ホーミニフィードで 90 単位/g、広葉樹おが屑で 160 単位/g、甘藷でん粉

粕で 110 単位/g であり、子実体の SOD は 1-2 オーダー高い値になった。

表 2-21 ヤマブシタケ子実体の ACE 活性 (%)

試験区	発生条件①	発生条件②
焼酎粕・でん粉粕培地	60	50
焼酎粕培地	60	40
標準培地	70	60

*凍結乾燥後の試料1gを50%C.H.OH溶液20mlで抽出後、0.1mol/L HEPES緩衝液 (pH8.3) にて10倍希釈して試験溶液 (5mg/ml) を調製。

表 2-22 発生条件②における培地抽出液の ACE 活性 (%)

試験区	滅菌後培地	発生前培地	廃培地
焼酎粕・でん粉粕培地	80	70	80
焼酎粕培地	80	70	90
標準培地	100	90	100

*凍結乾燥後の試料1gを50%C.H.OH溶液20mlで抽出後、0.1mol/L HEPES緩衝液 (pH8.3) にて10倍希釈して試験溶液 (5mg/ml) を調製。

表 2-21 にヤマブシタケ子実体抽出液の ACE 活性を示す。ACE 活性は全ての試験区において未処理区 (ACE 活性 100%) と比較して、針の伸長を促進させた発生条件②で低かった。特に焼酎粕培地では 40% となり、阻害活性は高くなった。このことから培地栄養材に甘藷焼酎粕乾燥固形物を利用した試験区では標準区と比較して、ヤマブシタケ子実体抽出液の ACE 阻害活性が高いことから、子実体中には ACE 阻害活性を高めるアミノ酸ペプチドが多く含まれ易くなることがわかった。

表 2-22 に発生条件②における培地抽出液の ACE 活性値を示す。ACE 活性は、全ての試験区において培地で高く、子実体で低かった。

以上の結果から、ヤマブシタケの機能性は、焼酎粕培地で栽培した子実体で強く、特に発生室内の温度を低下させ、針の伸長を促進させることで高まることがわかった。また、SOD 活性、ACE 阻害活性は、子実体で高く、培地で低いことから、これらの機能性成分は、子実体で合成されるものと考えられる。詳細については、今後検討が必要である。

b) 培養細胞を用いた機能性評価

表 2-23 に発生条件②における培地、子実体抽出液のマクロファージ活性化能の試験結果を示す。NO 産生誘導は標準培地の滅菌後培地と発生前培地で認められたのみであった。このことは標準培地に特有な成分が関与することを示しているが、廃培地及び子実体では誘導能は認められないことから、子実体の形成過程でこの成分は消失している可能性が高い。いずれにしても β -グルカン等のきのこ由来の免疫賦活成分の作用を、今回のマクロファージ活性化を指標とした試験では確認することができなかった。

表 2-23 発生条件②における培地、子実体抽出液の RAW264 細胞 NO 産生誘導能

試験区	NO 産生率 (%)*			
	滅菌後培地	発生前培地	廃培地	子実体
焼酎粕・でん粉粕培地	<10	<10	<10	<10
焼酎粕培地	<10	<10	<10	<10
標準培地	84±4.4	23±0.6	<10	<10

* 各培地及び子実体からの抽出液を添加せずLPSのみを添加した比較対象区のNO産生量に対する相対産生率を示す。
検体濃度：5ng/mL (作用時濃度)，平均±標準偏差，N=3

表 2-24 発生条件②における培地、子実体抽出液の RAW264 細胞 NO 産生抑制作用

試験区	NO 産生率 (%)*			
	滅菌後培地	発生前培地	廃培地	子実体
焼酎粕・でん粉粕培地	95±2.4	46±0.7	27±0.9	33±3.7
焼酎粕培地	89±2.5	62±1.0	55±0.9	11±2.2
標準培地	128±2.3	82±1.7	46±2.9	29±1.7

* 各培地及び子実体からの抽出液を添加せずLPSのみを添加した比較対象区のNO産生量に対する相対産生率を示す。
検体濃度：5ng/mL (作用時濃度)，平均±標準偏差，N=3

表 2-25 発生条件②における培地、子実体抽出液の P388 細胞増殖抑制作用

試験区	細胞増殖率 (%)*			
	滅菌後培地	発生前培地	廃培地	子実体
焼酎粕・でん粉粕培地	22±3.6	10±2.3	<10	<10
焼酎粕培地	17±1.9	14±2.4	<10	<10
標準培地	25±2.4	19±4.2	<10	<10

* 各培地及び子実体からの抽出液を添加しない未処理区の細胞増殖を100%とした場合の相対増殖率を示す。
検体濃度：5ng/mL (作用時濃度)，平均±標準偏差，N=6

表 2-26 発生条件②における子実体抽出液の P388 細胞増殖抑制作用

試験区	細胞増殖率 (%)*
	子実体
焼酎粕・でん粉粕培地	48±5.0
焼酎粕培地	<10
標準培地	50±5.6

* 各培地及び子実体からの抽出液を添加しない未処理区の細胞増殖を100%とした場合の相対増殖率を示す。
検体濃度：2.5ng/mL (作用時濃度)，平均±標準偏差，N=6

表 2-24 に発生条件②における培地、子実体抽出液の抗炎症作用の試験結果を示す。この試験は LPS 刺激により過剰産生させた NO を抑制する作用を調べるもので、いずれの試験区においても、NO 産生率は滅菌後培地ではほとんど抑制されず、発生前培地>廃培地>子実体の順に低下する傾向にあり、抗炎症性の成分が子実体で新たに合成されていると考えられる。また試験区間の比較においては、焼酎粕培地の子実体の NO 産生率は $11 \pm 2.2\%$ と他の試験区の 30%程度に比べ明らかに強い抑制作用を示している点が特徴的である。廃培地の NO 産生抑制は他の試験区よりもむしろ弱いことから、より子実体内に関与成分が濃縮されている可能性も考えられる。なお、これらの試験区による抑制作用の差は、繰り返し試験による再現性及び試験液 1~5mg/mL の範囲での濃度依存性を示したことからも確認されている。

表 2-25 に腫瘍細胞増殖抑制試験の結果を示す。いずれの試験区の培地、子実体においても、強い増殖抑制作用が認められ、特に廃培地と子実体ではほとんど完全に増殖を抑えていることから、培地組成成分に加え子実体で合成されてくる成分も関与していると考えられる。本試験においても、試験液濃度に依存的に抑制作用が増強したが、表 2-26 には試料の作用濃度を半分の 2.5 mg/mL としたときの各試験区における子実体の細胞増殖抑制作用を示した。この作用濃度では、焼酎粕培地は増殖率 10%未満と他の試験区の 50%程度に比べ、より強い増殖抑制作用を示すことが確認された。

以上、培養細胞を用いた試験系においても、SOD 値や ACE 活性阻害と同様に、子実体で新たな機能性成分が合成されること及び焼酎粕培地の試験区で栽培された子実体には最も強い効果を認めることが示された。これらの関与成分の特定は今後の課題ではあるが、本研究で示されたきのこの機能性を強化する作用は、焼酎粕の有効利用を導く上で重要な知見の一つと考えられる。

(4) 培地材料経費の比較

2-4 (2) で用いた焼酎粕・でん粉粕培地 (焼酎粕乾燥固形物 50%、でん粉粕 46%、貝化石 4% (乾物重量%))、でん粉粕を広葉樹おが屑に代替した焼酎粕培地 (焼酎粕乾燥固形物 50%、広葉樹おが屑 46%、貝化石 (乾物重量%))、及び標準培地 (ホミニーフード 33.3%、広葉樹おが屑 62.7%、貝化石 4% (乾物重量%)) を用いて、ヤマブシタケ栽培における材料費を算出した。その結果は表 2-27 に示す。焼酎粕・でん粉粕培地でヤマブシタケを栽培すると、ビン 1 万本当たり、でん粉粕は乾物で 894.2kg (脱水粕で 3,217kg (水分率 72.2%)) 必要となる。でん粉粕は、飼料利用の場合、日持ちがしないことから、でん粉粕に生石灰を加え、水洗いし、脱水後、無償に近い状態 (トラック 1 台で数百円程度) で農家に供給されている。このようにでん粉粕の状態では、付加価値が全くついていない状況にある。したがって、でん粉粕の材料費をトン当たり 1,000 円とした。焼酎粕乾燥固形物はビン 1 万本当たり乾物で 972kg (現物で 1,047kg (水分率 7.2%)) 必要となる。本試験で利用した S 協同組合産の焼酎粕乾燥固形物は原料 (甘藷、麦) に関係なくトン当たり 25,000 円で取引されていることから、この使用量から栄養材費を算出すると 26,185 円となる。さらに pH コントロール材として貝化石 (36 円/kg) を添加しているため、1 万本当たり 2,799 円必要である。これらを合計すると、焼酎粕・でん粉粕培地では、材料費が 1 万本当たり 32,201 円となった。

表 2-27 ヤマブシタケ栽培における材料費 (1 万本/ビン)

培地	培地基材費		栄養材費		その他	計
	でん粉粕 ¹⁾	広葉樹 おが屑 ²⁾	甘藷焼酎粕 乾燥固形物 ³⁾	ホミニ フィード ⁴⁾	貝化石 ⁵⁾	
	円					
焼酎粕・でん粉粕培地	3,217		26,185		2,799	32,201
焼酎粕培地		55,890	29,095		3,110	88,095
標準培地		73,638		46,353	3,007	122,998

*:培地基材kg単価; 1)1円/kg, 2)36円/kg (9,000円/㎡), 3)25円/kg, 4) 60円/kg, 5) 36円/kg

**::でん粉粕, 広葉樹おが屑の水分率をそれぞれ72.2%, 36.0%とした。

***:甘藷焼酎粕乾燥固形物の水分率を7.2%, ホミニフィードの水分率を10.0%とした。

****:焼酎粕・でん粉粕培地の培地詰め量540g, 焼酎粕培地の培地詰め量600g, 標準培地の培地詰め量580g, 培地水分率64.0%で算出した。

焼酎粕培地では、培地基材に広葉樹おが屑（ブナ）を使用しているため、ビン1万本当たり 88,095 円となった。さらに標準培地では材料費が嵩み、122,998 円となった。このことから、ヤマブシタケの栽培において、焼酎粕乾燥固形物を活用することによって、材料費を標準培地の 10 分の 7 程度に。さらにでん粉粕を活用することによって材料費を標準培地の 4 分の 1 程度に抑えることが可能であり、きのこ栽培業者にとっては材料費の軽減と収量増加により収益の増加が見込まれる。またでん粉製造業者にとっては、今まで処理が問題となっていたでん粉粕がおが屑の代替として利活用されることで、処理経費の削減につながり、結果としてでん粉製造コストの低減にもつながるものと考えられる。

(5) 各種食用きのこへの焼酎粕・でん粉粕培地の適用

a) ヒラタケ栽培試験

表 2-28 ヒラタケの栽培試験結果

試験区	培養日数	発生処理後 の日数	総栽培日数	形態的特性*			発生本数*	収量 (生)	栄養材10g あたりの 収量性
				傘の最大径	傘の最大厚さ	柄の最大径			
				(平均値±標準偏差)					
		(日)	(mm)			(g/瓶)	(g)		
焼酎粕・でん粉粕培地	35	11.1±1.1	46.1±1.1	44.3±4.4	16.9±2.5	12.9±2.0	18.5±3.1	79.4±5.6	8.1
焼酎粕培地	35	11.5±0.9	46.5±0.9	44.4±6.7	16.1±1.2	13.0±2.0	19.8±2.8	77.0±4.7	7.3
標準培地	35	12.5±0.5	47.5±0.5	41.7±4.3	13.7±2.6	9.3±1.4	18.3±2.9	72.1±4.9	7.2

*傘径20mm以上の子実体について調査

表 2-28 にヒラタケの栽培試験結果を示す。総栽培日数は、各試験区ともに 46～47 日程度であった。また各試験区で栽培した子実体の形態学的特性を比較すると、焼酎粕・でん粉粕培地及び焼酎粕培地で栽培した子実体では、標準培地のものと比較して傘が厚く、柄が太くなる傾向にあった。収量は焼酎粕・でん粉粕培地で 79.4±5.6g と最も多かったが、各試験区間に顕著な差は見られなかった。栄養材 10g あたりの収量性は、焼酎粕・でん粉粕培地で 8.1g と多く、焼酎粕培地、標準培地よりやや高くなる傾向にあった。筆者等⁶⁾は、これまでに種菌に KM 早生 (加川椎茸 (株)) を用いた場合、栄養材 10g あたりの収量は焼酎粕培地では標準培地の 1.2 倍程度であったことを報告している。種菌に H67 号中生 ((株) キノックス) を用いた本試験では既往の結果と異なる傾向を示したことから、種菌の違いが収量に影響したものと考えられる。また、ヒラタケの培養期間は熟成期間を含め 20 日～30 日程度³⁵⁾とされているが、本試験では H67 号中生の栽培法³⁶⁾にしたがい、35

日間と長期間培養したことで、菌糸の菌糸密度が高い焼酎粕培地では、菌糸の劣化が進み、栄養材 10g あたりの収量が低下したと推察される。

表 2-29 ヒラタケの一般成分及び食物繊維量の分析結果

試験区	タンパク質	脂質	炭水化物	灰分	食物繊維
	(g/100g乾物)				
焼酎粕・でん粉粕培地	45.7	1.9	44.8	7.6	25.7
焼酎粕培地	40.0	1.7	50.5	7.8	28.7
標準培地	32.1	2.3	59.5	6.1	34.4

表 2-29 にヒラタケの一般成分及び食物繊維量の分析結果を示す。タンパク質量は焼酎粕・でん粉粕培地で栽培した子実体で 45.7%と最も高く、ついで焼酎粕培地、標準培地の順であった。ヒラタケ栽培では培地栄養材に高タンパク質の栄養材を使用すると子実体中のタンパク質量が増加することが報告されている³⁷⁾。甘藷焼酎粕乾燥固形物も米糠と比較して高タンパク質であることから¹¹⁾、焼酎粕培地では、焼酎粕に含まれるアミノ酸が子実体に吸収されたため、相対的に炭水化物量が減少したと考えられる。また、焼酎粕・でん粉粕培地では培地基材をおが屑からでん粉粕に代替したことで、焼酎粕培地以上に高タンパク質のヒラタケを栽培できることがわかった。これは、きのこ菌糸がでん粉粕中のでん粉を呼吸基質として利用し、菌糸の代謝により合成されたタンパク質は呼吸基質として利用されなかったことが考えられる。食物繊維は標準培地で栽培した子実体で多くなった。炭水化物に占める食物繊維の割合は全ての試験区において 57～58%程度であり、栄養材による炭水化物組成に違いは見られなかった。

表 2-30 ヒラタケの無機成分分析結果

試験区	P	Ca	K	Mg
	(mg/100g乾物)			
焼酎粕・でん粉粕培地	1,229	N.D.	3,343	160
焼酎粕培地	1,287	N.D.	3,165	160
標準培地	1,107	N.D.	2,649	144

表 2-30 にヒラタケの無機成分の分析結果を示す。無機成分については、各試験区とも、カリウムが最も多かった。また焼酎粕を利用した試験区では、標準培地と比較してカリウム、リン量がやや多くなる傾向を示した。

表 2-31 にヒラタケのアミノ酸分析結果を示す。総アミノ酸量、遊離アミノ酸量についてもタンパク含有量と同様、焼酎粕・でん粉粕培地、焼酎粕培地、標準培地の順であった。特に遊離アミノ酸量は焼酎粕・でん粉粕培地、焼酎粕培地で標準培地よりそれぞれ 1.8 倍、1.5 倍になった。次に各遊離アミノ酸量を比較すると、アラニン (Ala) が最も多く、ついでグルタミン酸 (Glu)、アルギニン (Arg) の順であり、これらの成分は分析した遊離アミノ酸量の 55.4～62.7%を占めた。またこれらの遊離アミノ酸は培地栄養材に焼酎粕を利用することで、標準培地で栽培した子実体と比較して顕著に増加し、特に Arg は 2.3～2.5

倍含まれていた。Arg は、マクロファージの活性化、免疫機能を高める作用があることから、食品の機能性向上に関与するものと考ええる。

表 2-31 ヒラタケのアミノ酸分析結果

試験区		必須						準必須			非必須				総量		
		Leu	Ile	Val	Thr	Pha	Lys	His	Arg	Gly	Ser	Glu	Pro	Tyr		Ala	Asp
(mg/100g乾物)																	
焼酎粕・でん粉粕培地	総アミノ酸	2458	1433	1858	1700	1642	2175	892	2483	1658	1758	5517	1508	1250	2675	3250	32258.2
	遊離アミノ酸	108	58.3	108	142	275	125	192	617	117	292	775	83.3	275	925	91.7	4183.4
焼酎粕培地	総アミノ酸	1873	1087	1405	1318	1167	1643	722	2032	1286	1341	4444	1167	944	2159	2484	25071.4
	遊離アミノ酸	95.2	47.6	87.3	95.2	119	95.2	191	667	95.2	183	754	55.6	214	818	55.6	3571.4
標準培地	総アミノ酸	1813	1097	1362	1347	1174	1604	576	1597	1229	1292	3556	1132	868	1854	2424	22944.5
	遊離アミノ酸	76.4	41.7	76.4	97.2	125	48.6	69.4	271	62.5	125	528	48.6	174	542	27.8	2312.5

以上の結果から、焼酎粕・でん粉粕培地でヒラタケを栽培すると、焼酎粕培地、標準培地より収量性が高く、しかも遊離アミノ酸を多く含むきのこを栽培できることがわかった。また、異なる培地栄養材、培地基材を利用することで、子実体成分を大きく変化させることが可能であることが明らかになった。

b) タモギタケ栽培試験

表 2-32 にタモギタケの栽培試験結果を示す。タモギタケはヒラタケやエリンギとは異なり、培地に菌糸が蔓延（以下、菌周り）後の熟成工程を必要としないため、菌周り後、直ちに発生処理を施した。焼酎粕・でん粉粕培地では培地全体に菌糸が蔓延するのが遅く、菌周りに 27 日間を要した。一方、焼酎粕培地、標準培地では培養 18 日目には菌周りが完了していた。このような傾向は、ヒラタケ栽培¹¹⁾、ヤマブシタケ栽培においても見られ、これらのきのこでは標準培地と比較して菌周り日数は 2~4 日程度長くなった。

馬替²⁶⁾ は、脂肪酸エステルがきのこ菌糸（ヒラタケ）の伸長に及ぼす影響を調査し、パルミチン酸エステル、ステアリン酸エステルが菌糸の伸長を阻害することを明らかにしている。焼酎粕・でん粉粕培地には、甘藷原料中に含まれる成分が発酵や蒸留、貯蔵の過程でアルコールと結合した脂肪酸エステルが含まれていることから、タモギタケ栽培ではこれらの成分が菌糸の伸長を阻害したものと考えられる。

発生処理後から収穫までの日数は、焼酎粕・でん粉粕培地で 6.6 ± 0.5 日と焼酎粕培地、標準培地と比較して 2~3 日程度速かった。総栽培日数は、焼酎粕・でん粉粕培地では、 33.6 ± 0.5 日と焼酎粕培地、標準培地より 5~7 日程度長かった。収量は焼酎粕培地で 81.1 ± 6.6 g と焼酎粕・でん粉粕培地、標準培地よりやや多くなる傾向を示した。栄養材 10g あたりの収量性は焼酎粕を培地栄養材に利用した試験区で 7.6~7.7g と米糠を使用した標準培地より高かった。

表 2-32 タモギタケの栽培試験結果

試験区	培養日数	発生処理後 の日数	総栽培日数	形態的特性*			発生本数*	収量 (生)	栄養材10g あたりの 収量性
				傘の最大径	傘の最大厚さ	柄の最大径			
				(平均値±標準偏差)					
	(日)		(mm)		(g/瓶)	(g)			
焼酎粕・でん粉粕培地	27	6.6±0.5	33.6±0.5	47.5±4.4	17.6±3.0	14.0±2.4	18.5±2.8	71.4±6.4	7.6
焼酎粕培地	18	9.0±1.0	27.0±1.0	49.9±7.4	16.9±4.1	11.7±1.5	21.5±6.4	81.1±6.6	7.7
標準培地	18	10.4±1.5	28.4±1.5	46.9±2.7	15.9±3.8	12.9±1.9	25.3±6.5	71.8±6.5	7.0

*傘径20mm以上の子実体について調査

表 2-33 タモギタケの一般成分、食物繊維の分析結果

試験区	タンパク質	脂質	炭水化物	灰分	食物繊維
	(g/100乾物)				
焼酎粕・でん粉粕培地	34.8	4.5	52.7	8.0	36.6
焼酎粕培地	37.5	2.9	51.9	7.7	34.6
標準培地	39.5	2.9	49.4	8.1	27.9

表 2-34 β-グルカン分析結果

試験区	β-グルカン
	(g/100g乾物)
焼酎粕・でん粉粕培地	24.8
焼酎粕培地	20.1
標準培地	18.4

表 2-33 にタモギタケの一般成分、食物繊維の分析結果を示す。全体的な傾向として、タモギタケでは、一般成分については、各試験区の成分割合に顕著な差は見られなかった。しかしながら、食物繊維については、焼酎粕を培地栄養材に利用した試験区で高くなる傾向を示した。特に、焼酎粕・でん粉粕培地で栽培した子実体の食物繊維量は、標準培地で栽培したものと比較して 30%増加した。このことから、培地材料の焼酎粕、でん粉粕に含まれる成分は子実体中の食物繊維量を増加させることがわかった。またタモギタケは、他の食用きのこと同様、栄養成分として食物繊維が多く、また主な機能性成分としてβ-グルカンを多く含むことが報告されている³⁸⁾。そこで、各試験区で栽培した子実体を凍結乾燥させ、β-グルカンを定量した(表 2-34 参照)。その結果、焼酎粕・でん粉粕培地で栽培した子実体にはβ-グルカンが 24.8g/100g 乾物含まれていることがわかった。この量は標準培地の 1.3 倍程度であった。

表 2-35 にタモギタケの無機成分の分析結果を示す。各試験区とも、ヒラタケと同様にカリウム、リンが多く、特に焼酎粕・でん粉粕培地で栽培した子実体は、灰分に占めるカリウム割合が 59.5%と焼酎粕培地(48.7%)、標準培地(43.6%)で栽培したものと比較して高かった。このことから、培地基材にでん粉粕を利用すると子実体中にカリウムが吸収され易くなることがわかった。

表 2-35 タモギタケの無機成分の分析結果

試験区	P	Ca	K	Mg
	(mg/100g乾物)			
焼酎粕・でん粉粕培地	1,409	N.D.	4,761	213
焼酎粕培地	1,212	N.D.	3,750	171
標準培地	1,343	N.D.	3,529	157

表 2-36 タモギタケのアミノ酸分析結果

試験区		必須						準必須			非必須				総量		
		Leu	Ile	Val	Thr	Phe	Lys	His	Arg	Gly	Ser	Glu	Pro	Tyr		Ala	Asp
		(mg/100g乾物)															
焼酎粕・でん粉粕培地	総アミノ酸	2150	1200	1700	1460	1250	1860	740	1660	1390	1550	4140	1260	1030	2070	2700	26160
	遊離アミノ酸	110	50	80	140	130	110	120	60	90	250	650	60	150	630	20	2650
焼酎粕培地	総アミノ酸	2185	1227	1756	1471	1319	1918	731	1765	1482	1588	4025	1345	1017	1968	2756	26529.4
	遊離アミノ酸	126	50.4	84	135	143	126	92.4	92.4	101	244	521	75.6	135	513	25.2	2462.1
標準培地	総アミノ酸	2110	1206	1562	1432	1233	1863	747	1740	1370	1466	4493	1301	966	1973	2685	26144
	遊離アミノ酸	95.9	41.1	68.5	130	103	103	144	144	82.2	192	760	47.9	137	534	13.7	2595.7

表2-36にアミノ酸分析結果を示す。各試験区とも総アミノ酸は26,000mg/100g乾物程度、遊離アミノ酸は2,460～2,650mg/100g乾物程度であり、培地材料による子実体に含まれるアミノ酸量への影響は見られなかった。

次に各試験区で得られた子実体中のアミノ酸成分を比較すると、総アミノ酸では、グルタミン酸 (Glu) が最も多く、ついで、アスパラギン酸 (Asp)、ロイシン (Leu) の順であった。遊離アミノ酸では総アミノ酸と同様、Glu が最も多く、ついでアラニン (Ala)、セリン (Ser) の順であった。中でも Ala は、総アミノ酸に占める遊離アミノ酸の割合が 27～30%と他の遊離アミノ酸と比較してその割合が非常に高かった。しかしながら、各試験区のアミノ酸組成に違いは見られなかった。

以上の結果から、焼酎粕・でん粉粕培地でタモギタケを栽培すると、総栽培日数が焼酎粕培地、標準培地と比較して 5～7 日程度長くなる傾向にあるが、従来品より栄養材 10g あたりの収量性が高くなり、さらに食物繊維、β-グルカンが増加し、機能性食材として注目されている本きのこの付加価値をさらに向上させること、さらにでん粉粕はおが屑と比較して価格が非常に安価なことを考慮すると、本培地はタモギタケ栽培に利用できるものと考え。

c) エリンギ栽培

表 2-37 エリンギの栽培試験結果

試験区	培養日数	発生処理後 の日数	総栽培日数	形態的特性				収量 (生)	栄養材10g あたりの 収量性
				傘の最大径	傘の最大厚さ	柄の長さ	柄の最大周長		
				(平均値±標準偏差)					
		(日)	(mm)				(g/瓶)	(g)	
焼酎粕・でん粉粕培地	62	-	-	-	-	-	-	-	
焼酎粕培地	44	17.0±0.2	61.0±0.2	98.7±10.4	30.4±5.6	79.2±4.6	119.5±2.1	116.7±12.6	11.1
標準培地	44	21.2±1.2	65.2±1.2	80.7±8.7	21.0±3.5	71.0±5.8	101.6±1.6	83.2±11.0	7.9

表 2-37 にエリンギの栽培試験結果を示す。エリンギの培養日数は菌糸が培地に蔓延後、熟成期間を含め、30～40 日程度³⁹⁾であるが、焼酎粕・でん粉粕培地では菌糸の伸長が悪く、菌周りが完了するまでに 62 日間を要した。このため、焼酎粕・でん粉粕培地では直に子実体形成を促したが、子実体を収穫することはできなかった。長期培養により、菌糸が劣化し、子実体までは至らなかったものと考えられる。この結果から、エリンギ栽培において、焼酎粕・でん粉粕培地の利用は不適であることがわかった。一方、焼酎粕培地、標準培地は、菌周り完了後、熟成期間を 10～15 日間設け、培養期間を 44 日間とした⁷⁾。培養完了後、発生処理を施し、焼酎粕培地、標準培地ではそれぞれ、 17 ± 0.2 日、 21.2 ± 1.2 日で子実体を収穫できた。各培地での収量は焼酎粕培地で 116.7 ± 12.6 g、標準培地で 83.2 ± 11.9 g であった。栄養材 10g あたりの収量性は焼酎粕培地で 11.1g、標準培地で 7.9g であった。焼酎粕培地、標準培地では、従来通りの結果であった¹²⁾。したがって、これらの培地で栽培した子実体の一般成分、食物繊維、無機成分及びアミノ酸分析結果については、本論文では省略した。

以上、焼酎粕・でん粉粕培地の各種食用きのこの適用可能性を調査した結果、ヒラタケ、タモギタケについては、収量性、機能性面などから判断して本培地の利用が可能であり、エリンギについては不適であることが明らかになった。

2-5 おわりに

本研究では、地域に適した環境保全・資源循環型システムを構築するために、甘藷焼酎粕乾燥固形物、でん粉粕の食用きのこ栽培への利用可能性を調査した。また、各種培地で栽培したきのこ子実体の成分特性、機能性を調査し、焼酎粕、でん粉粕を利用することによるきのこの高付加価値化を検証した。さらに、焼酎粕・でん粉粕培地と焼酎粕培地、標準培地とで培地資材経費を比較し、本システムに実現可能性を評価した。以下に得られた主な結果を示す。

- 1) 焼酎粕添加率 40～60%、でん粉粕添加率 36～56%、貝化石 4%の割合で培地を調製し、ヤマブシタケを栽培すると、収量は標準培地の 1.9～2.2 倍になることがわかった。
- 2) ヤマブシタケは発生室内の温度、湿度などの室内環境により大きく形状、収量が変化することがわかった。
- 3) ヤマブシタケ栽培において、培地材料を変化させると同一の菌株を使用しても子実体成分組成は大きく変化することが明らかになった。特に、タンパク質量、炭水化物量の変化は顕著であった。
- 4) ヤマブシタケはでん粉粕に含まれるでん粉を栄養基質として利用することがわかった。また、そのでん粉はグルコアミラーゼにより分解され、菌体内に取り込まれていると考えられた。
- 5) 焼酎粕・でん粉粕培地で栽培したヤマブシタケに含まれる遊離糖、遊離糖アルコール量は、 28.6 g/100g 乾物であり、標準培地、焼酎粕培地で栽培したものと比較してそれぞれ 1.7 倍、1.5 倍であった。特にアラビトール量は 22.8 g/100g 乾物と非常に多く、この量は標準培地の 1.8 倍であった。また、ブドウ糖についても標準培地より 1.9 倍多く含まれていることがわかった。
- 6) ヤマブシタケの栽培において、発生室内の温度を低下させ、針を伸長させると全ての

試験区で総栽培日数は長くなり、収量は低下した。しかし、食物繊維量、総アミノ酸量は増加し、さらに ACE 阻害活性、SOD 活性は高くなった。特に焼酎粕培地で栽培した子実体では強くなる傾向にあった。また、これらの機能性は、子実体で高く、培地で低いことから、菌体外に殆ど機能性成分は分泌されていないと考えられた。

- 7) 培養細胞を用いた試験系においても、全ての試験区において、子実体で高い抗炎症作用及び抗腫瘍作用が認められた。特に、焼酎粕培地の試験区で栽培した子実体には最も強い効果が認められた。
- 8) 焼酎粕・でん粉粕培地でヤマブシタケを栽培すると、子実体収量は増加した。しかし、機能性については、標準培地で栽培したものと同程度かそれ以上であり、おが屑をでん粉粕に代替することによる更なる機能性向上効果は認められなかった。
- 9) 焼酎粕・でん粉粕培地は、ヤマブシタケだけでなく、ヒラタケ、タモギタケ栽培にも適用可能なことが子実体の収量性、成分特性等から判断して明らかになった。
- 10) 焼酎粕・でん粉粕培地で栽培したヒラタケには、遊離アミノ酸が多く、特に、特に Arg は標準培地で栽培したものに比べ 2.3~2.5 倍含まれていた。Arg は、マクロファージの活性化、免疫機能を高める作用があることから、食品（きのこ）の機能性向上が示唆された。
- 11) 焼酎粕・でん粉粕培地で栽培したタモギタケには、 β -グルカンが多く含まれ、機能性食材として注目されている本きのこの付加価値をさらに向上させることができた。
- 12) 広葉樹おが屑の代わりにでん粉粕を利用することで、きのこ栽培業者にとっては、材料費の大幅な削減、またでん粉製造業者にとっては、でん粉粕の用途の拡大が期待でき、委託処理経費の軽減にもつながるものと考えられた。

参考文献

- 1) 鹿児島県酒造組合連合会：平成 21 酒造年度本格焼酎原料別製成数量と蒸留粕の処理別・月別数量、2010.
- 2) 情報データベース：廃棄物の海洋投棄の規制強化へ 改正海防法が成立、http://www.japanfs.org/index_j.html, Japan for Sustainability.2004.
- 3) 木場信人：鹿児島県における焼酎粕の現状と今後の課題、鹿児島大学水産学部紀要特別号、pp.1-5、2007.
- 4) 鮫島吉廣：焼酎副産物資源化システムの構築、日本醸造協会誌、98 巻、7 号、pp. 481-490、2003.
- 5) 川内酒造協同組合：稼働 1 年余、24 時間フル操業で 1 日 130 トンを処理、環境施設、No. 97、pp. 30-35、2004.
- 6) 田之上隼雄：かんしょでん粉工場合理化への取り組み状況、でん粉情報、11 月号、No. 14、pp. 1-14. 2008.
- 7) 鹿児島県：平成 21 年度環境と調和した農業の取組実績、<http://www.pref.kagoshima.jp/sangyo-rodonoogyo/gizyutu/kankyo/taisei/torikumihousinn.html>、2010.
- 8) 藤井力：焼酎粕の機能性及び焼酎粕利用処理技術の現状と課題、日本醸造協会

- 誌, 102(2)、pp. 111-118、2009.
- 9) 瀬戸口眞治、渡悦美、亀澤浩幸、下野かおり、間世田春作：焼酎粕の栄養成分評価と飲料への利用、鹿児島大学水産学部紀要（特別号）、pp. 56-60、2007.
 - 10) Kouta FUNAMOTO, Yuji KOMIZU, Hideaki ICHIHARA, Osamu TANOUE, Koichi GOTO, Ryuichi UEOKA: Antitumor and Immunostimulatory Effects of Residual Powder from Barley-*Shochu* Distillation Remnants, *Journal of health science*, 54(3), pp. 287-293, 2008.
 - 11) 山内正仁、今屋竜一、増田純雄、山田真義、木原正人、米山兼二郎、原田秀樹：甘藷焼酎粕乾燥固形物を利用したきのこ栽培技術の開発に関する研究、土木学会環境工学論文集、Vol. 42 pp. 545-553. 2005.
 - 12) 山内正仁、今屋竜一、山田真義、増田純雄、木原正人、米山兼二郎、原田秀樹：甘藷焼酎粕乾燥固形物を利用した高付加価値きのこ(エリンギ)の実用化に関する研究、土木学会環境工学論文集、Vol. 44 pp. 481-490. 2007.
 - 13) 橋口享児、山内正仁、山田真義、大久保秀樹、長野京子、小村洋美：きのこ生産を核とした焼酎粕乾燥固形物の多用途再生技術の開発、平成 19 年度地域資源活用型研究開発事業研究報告書、経済産業省、pp. 31-36. 2008.
 - 14) Stamets, P. : *Growing Gourmet and Medical Mushrooms*, Ten Speed Press, CA, USA, pp. 387-394. 2000.
 - 15) 水野卓、河合正充：キノコの化学・生化学、東京、学会出版センター、p. 309. 1992.
 - 16) 川岸洋和：神経成長因子の合成を促すキノコの 2 次代謝産物、日菌報、42、pp. 11-16. 2001.
 - 17) 川岸洋和：きのこの生理活性と機能、シーエムシー出版、pp. 240-247. 2005.
 - 18) 全国食用きのこ種菌協会：平成 15・16 年度種苗特性分類調査報告書-きのこ（やまぶしたけ）-、pp. 1-14. 2005.
 - 19) (社)日本食品科学工学会 新食品分析法編集委員会：新・食品分析法、光琳. 1997.
 - 20) 高畠幸司：ヤマブシタケの子実体生育に伴う数種生理的機能性の変化、富山技研報、18、pp. 16-21、2005.
 - 21) 増野和彦：ヤマブシタケの栽培法の検討-子実体発生温度-、第 41 回日林中支論、pp. 169-170、1993.
 - 22) Daisuke NAKANO et al. ; Antihypertensive Effect of Angiotensin I-Converting Enzyme Inhibitory Peptides from a Sesame Protein Hydrolysate in Spontaneously Hypertensive Rats, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 70(5), pp. 1118-1126, 2006.
 - 23) 宝寄山裕道、野田遊：マクロファーシ系培養細胞を用いた鶏卵由来成分の免疫賦活機能評価法、北海道立畜産試験場研究報告、25, pp. 16-23, 2003.
 - 24) 山口昭弘、堀籠悟、津田愛子、吉田泉、木船信行、神部武重、渡井正俊：in vitro 試験系による食品の生物学的活性評価について、健康・栄養食品研究、12(2)、pp. 19-27, 2009.
 - 25) 株式会社特産情報きのこ年鑑編集部：2008 年度版きのこ年鑑、pp. 271-274、p. 259、2008.

- 26) 馬替由美：きのこ栽培における乳化剤の培地添加の検討、森林総合研究所所報 No. 129、[http://www. ffpri. affrc. go. jp/shoho/n129-99/129-8. htm](http://www.ffpri.affrc.go.jp/shoho/n129-99/129-8.htm)、1999.
- 27) 高峰和則、阿部淳一、岩屋あまね、間世田春作、檜作進：甘藷澱粉粕からの食物繊維の新しい製造方法とその物理的特性、J. Appl. Glycosci., Vol47, No. 1, pp. 67-72. 2000.
- 28) 佐藤恵理、青柳康夫、菅原龍幸：キノコ類の遊離アミノ酸組成について、日本食品工業学会誌、第 32 巻、第 7 号、pp. 509-521、1985.
- 29) 高島幸司、奥崎政美、根岸由起子、佐々木弘子、菅原龍幸：ヤマブシタケの菌床栽培における子実体成分に及ぼす菌株・栄養材の影響、日本食生活学会誌、Vol. 11、No. 4、pp. 370-374、2001.
- 30) 吉田博、菅原龍幸、林淳三：食用キノコ類の遊離糖、遊離糖アルコール及び有機酸、日本食品工業学会誌、第 29 巻、第 8 号、pp. 451-459. 1982.
- 31) 高島幸司：ヤマブシタケの栽培指針-ヤマブシタケの栽培と利用-、富山県林業技術センター林業試験場、pp. 18-24、pp. 26-27、2005.
- 32) 川井英雄、菅原龍幸、藤代聡子、松沢睦子、青柳康夫、細貝祐太郎：木に発生する食用キノコの無機質含有量-土に発生するものとの比較-、日本食品工業学会誌、第 37 巻、第 6 号、pp. 468-473. 1990.
- 33) 川井英雄、菅原龍幸、松沢睦子、角屋敷佳代子、青柳康夫、細貝祐太郎：食用キノコの無機質含有量、日本食品工業学会誌、第 33 巻、第 4 号、pp. 250-255. 1986.
- 34) 文部科学省科学技術学術審議会資源調査分科会：五訂増補日本食品標準成分表、文部科学省、
[http://www. mext. go. jp/b_ menu/ shingi/ gi jyutu/ gi jyutu3/ toushin/ 05031802. htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802.htm)、2005.
- 35) 株式会社特産情報：2010 年度版きのこ年鑑別冊 最新きのこ栽培技術、pp. 162-166、2010.
- 36) 株式会社キノックス：ヒラタケ（シメジ）の空調栽培・ビン栽培法、
[http://www. kinokkusu. co. jp/saibai/ sa- abi- hira. html](http://www.kinokkusu.co.jp/saibai/sa-abi-hira.html)
- 37) 川井英雄、松沢睦子、伝川祐子、佐々木弘子、春日敦子、青柳康夫；菌床栽培ヒラタケ及びマイタケの子実体成分と培地との関係、日本食品工業学会誌、Vol. 41、No. 6、pp. 419-424、1994.
- 38) 株式会社流通システム研究センター：食品の機能性分析、-野菜・果実・きのこの成分と生理機能研究の現状-、pp. 197-199、2005.
- 39) 大森清寿、小出博志：キノコ栽培全科、社団法人 農山漁村文化協会、pp. 172-177、2008.