

(16) 食品廃棄物（焼酎粕・でん粉粕）を培地に利用したヤマブシタケの生育と子実体成分特性

山内 正仁^{1*}・山田 真義¹・八木 史郎²・増田 純雄³・山口 隆司⁴

¹鹿児島工業高等専門学校 土木工学科 (〒899-5193 鹿児島県霧島市隼人町真幸1460-1)

E-mail:yamauti@kagoshima-ct.ac.jp

²鹿児島大学農学部 生物資源化学科 (〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-24)

³宮崎大学工学部 土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西1-1)

⁴長岡技術科学大学大学院 環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

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およびこれらの材料の最適培地配合条件を検討した。その結果、焼酎粕添加率 40～60%，でん粉粕添加率 36～56%，貝化石 4%（いずれも乾物重量%）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 倍に増加した。つぎに焼酎粕・でん粉粕培地と焼酎粕培地および標準培地で栽培した子実体の成分特性を比較すると、同一の菌株を使用しても培地材料により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。またでん粉粕は培地基材として利用可能とともに、栄養材としての効果も培地中のでん粉減少量および酵素活性を調査することで認められた。子実体の機能性としては培地栄養材に焼酎粕乾燥固形物を利用することで、ACE 阻害活性が 1.3 倍程度高まることがわかった。焼酎粕・でん粉粕培地の培地材料費は標準培地の 1/4 程度であり、材料費の大幅な削減が期待できる。

Key words : shochu lees, starch waste, *Hericium erinaceum*, cultural characteristics, recycling system

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 21 万 8 千 kL の焼酎が製造され、39 万 2 千トン（平成 19 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。

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^{2,3)}。一方、液画分については、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^{2,3)}。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 14 万 5 千トンの甘藷を処理し、4 万 5 千トンの

でん粉を製造している⁴⁾。でん粉製造過程では、でん粉粕が年間 3 万 1 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⁵⁾。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、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、経済的有用性および付加価値の高い利用法の開発が求められている。

このような背景の中で筆者らは、焼酎粕・でん粉粕ともに栄養価、安全性の高い農作物由来の副産物であることに着目し、これらを原料にして付加価値の高い食品を新たに作り出すことが可能となれば、食品リサイクル法上においても高度な有効利用法となり、かつ新規用途開発につながると考えた。この方針のもと、焼酎粕にはアミノ酸類、ミネラル、食物繊維、ビタミンなどの成分が多く含まれており、これらと同様な成分が食用きのこに多く含まれている点、また、でん粉粕は繊維質に富み保

水性が高く、体積が大きく、おが屑と同様な特性を持つ点から、これらの性質を統合し両原料（焼酎粕乾燥固形物・でん粉粕）をきのこ栽培用培地として利用可能であろうとの推察に至った。

これまでに、筆者ら^{6,7)}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⁸⁾。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の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考えられる。

本研究では、焼酎粕乾燥固形物・でん粉粕を食用きのこ培地の栄養材、培地基材として活用することによって、地域に適した環境保全・資源循環型システムを構築することを最終目的とし、ここではまず、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およびこれらの材料の最適培地配合条件を検討した。つぎに最適条件で調製した焼酎粕・でん粉粕培地と焼酎粕培地および標準培地（BL）で栽培した子実体の成分特性を比較・検討した。最後に、これらの結果をもとに、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。

2 材料および方法

(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、培養菌糸体および子実体に、免疫賦活、抗腫瘍作用および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含有することが報告され^{9,10,11,12)}、かつ、エリンギ、ヒラタケ、エノキタケ、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 (*Hericium erinaceum*; (株) キノックス) を用いた。

b) 培地の調製

表-1 に焼酎粕・でん粉粕培地および標準培地の培地条件を示す。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、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 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、試験区 1～4 については培地水分率が 64%程度になるように水道水を加えてかく拌し、調製した。試験区 5 についてはでん粉粕の水分率が高く最終的な培地水分率の 64%程度に調整できないため、通風乾燥機（60℃）ででん粉粕に含まれる水分を減少させて用いた。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）¹³⁾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を 64%程度に調整したものを充填した。

表-1 培地条件

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	コーンブラン	貝化石			
焼酎粕・ でん粉粕 培地	1	16	80		4	660	63.6	5.0
	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

*減菌後の水分率、pH

供試ビン数：各試験区32本

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) 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¹³⁾。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¹³⁾。

(2) 最適配合条件で栽培したヤマブシタケの特性

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、およ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。各試験区の供試ビン数は32本とした。

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))および食物繊維(酵素・重量法(prosky法))を新食品分析法¹⁴⁾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))およびアミノ酸含有量(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¹⁴⁾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)の定量を(財)日本食品分析センターに依頼し、調査した。

c) 子実体の機能性評価

ヤマブシタケ子実体の機能性を評価するためにスーパーオキシド消去活性能、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、β-グルカンの測定と同様、凍結乾燥試料を用いた。スーパーオキシド消去活性能は電子スピン共鳴(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¹⁵⁾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。

d) 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-多糖類およびAZCL-カゼイン2mgを基質とし、α-アミラーゼ、β1,3-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pH5.0、30℃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μg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) 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¹⁶⁾を参考に算出した。

3. 結果と考察

(1) 最適培地配合条件の検討

表-2 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回日数は、16~18 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 2~4 日程度遅くなる傾向にあった。馬替¹⁷⁾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。

菌掻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 当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。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-1 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 参照)。また、本試験

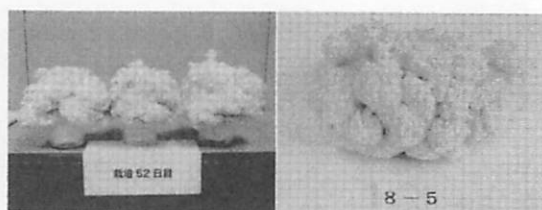


図-1 栽培終了時のヤマブシタケ

(試験区 2; でん粉粕 36%+焼酎粕乾燥固形物 60%+貝化石 4%)

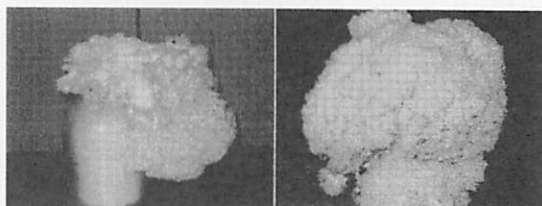


図-2 房が均一に形成されていないヤマブシタケ (試験区 1)

(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)

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 52~58 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 当たりの収量性および、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。

(2) 培地材料の違いによる子実体への影響

3. (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%))、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%))、および標準培地(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

表-2 栽培試験結果

試験区	菌まわり 日数	菌掻き	菌掻きから収 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）
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	165.4±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

検体数: 各試験区24本

表-3 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	菌掻き までの 日数	菌掻きから 収穫までの 日数	形態的特性				収穫までの日数 (総栽培日数)	収量 (生)	栄養材10 g 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)					
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

検体数: 各試験区24本

子実体への影響を検討した。

表-3 にヤマブシタケ子実体の栽培試験結果を示す。菌掻きから収穫までの日数および総栽培日数は焼酎粕・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 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 と同様な傾向にあった。このことから、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・でん粉粕培地およ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 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。

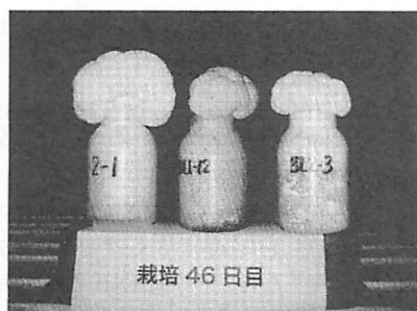


図-3 栽培46日目のヤマブシタケの栽培状況

(左から、焼酎粕・でん粉粕培地、焼酎粕培地、標準培地)

図-3 に栽培46日目の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-1、図-2 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。

表-4 にヤマブシタケ子実体の一般成分およ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、炭水化物量は顕著であった。

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¹⁸⁾。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)、菌周りを完了後(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-4 に各ステージにおけるでん粉量を示す。

表-4 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	20.0	4.9	67.5	7.6	33.7
焼酎粕培地	29.9	7.1	52.8	10.2	28.3
標準培地	23.8	6.9	59.3	10.0	32.3

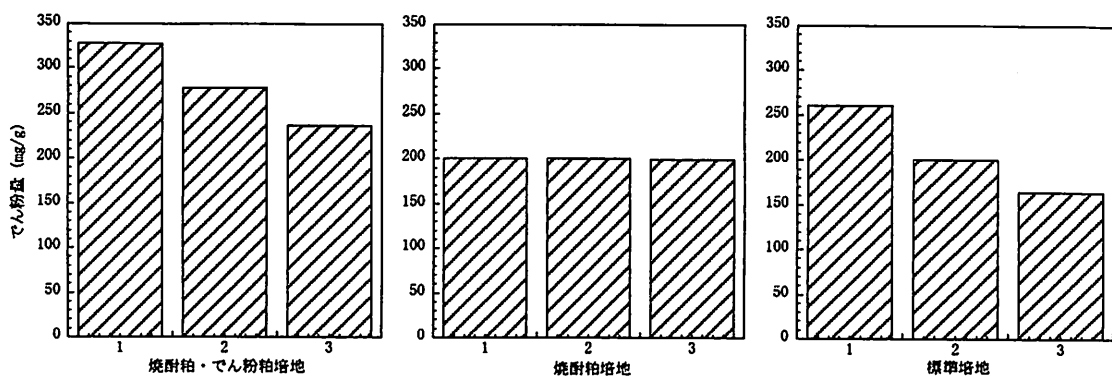


図-4 各培地中でのでん粉量の変化

(1: 培養開始直後, 2: 菌周りを完了後, 3: 子実体回収後 (廃培地))

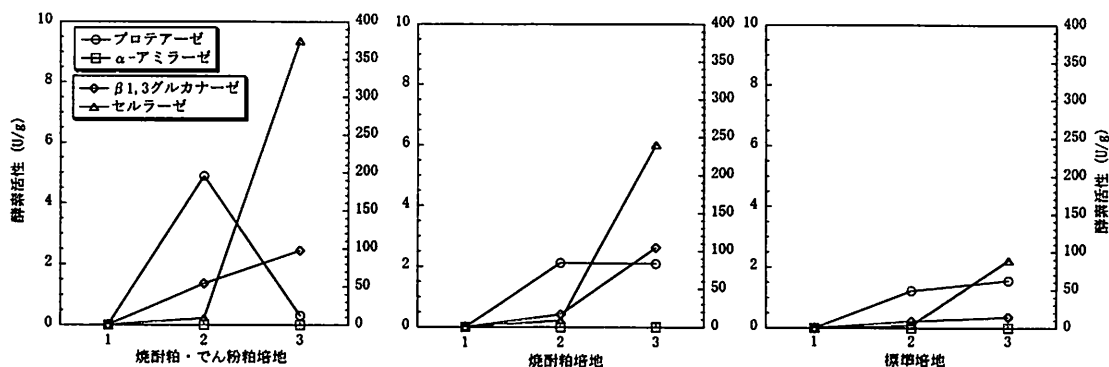


図-5 AZCL基質を用いた酵素活性評価

(1: 培養開始直後, 2: 菌周りを完了後, 3: 子実体回収後 (廃培地))

(左軸: プロテアーゼ, α-アミラーゼ活性, 右軸: β1,3 グルカンナーゼ, セルラーゼ活性)

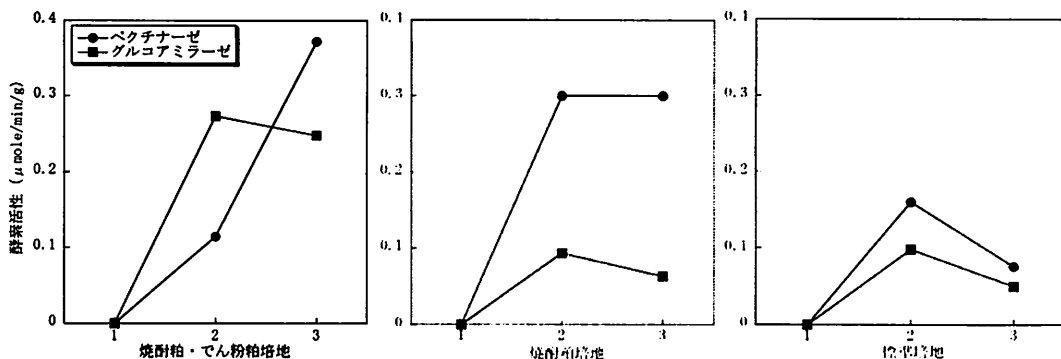


図-6 Somogyi-Nelson 法およびグルコースオキシダーゼを用いたペクチナーゼ活性およびグルコアミラーゼ活性

(1: 培養開始直後, 2: 菌周りを完了後, 3: 子実体回収後 (廃培地))

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)を利用しているため、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、麹、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。

つぎに、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-5、図-6参照)。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

表-5 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

(mg/100g乾物)

試験区		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
総アミノ酸	焼酎粕・でん粉粕培地	1,041	566	738	200	669	231	490	828	317	786	683	717	2,069	648	428	171	1,000	1,290
	焼酎粕	1,528	843	1,079	302	976	342	732	1,323	512	1,236	1,016	1,039	3,307	945	638	263	1,488	1,850
	標準培地	1,308	708	915	257	869	288	662	1,069	423	877	854	915	2,885	800	546	205	1,177	1,700
遊離アミノ酸	焼酎粕・でん粉粕培地	152	83	103	22	83	23	21	90	48	97	55	97	510	76	90	N.D.	317	145
	焼酎粕	197	110	142	33	102	30	8	197	87	213	87	134	661	102	102	N.D.	457	142
	標準培地	131	69	92	27	85	25	31	115	62	154	54	100	485	62	77	N.D.	262	208

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およびヘミセルロース分解酵素のβ1,3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-5 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¹⁹⁾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畠ら²⁰⁾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-6 にヤマブシタケ子実体の遊離糖、遊離糖アルコールおよび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²¹⁾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、各種きのこの遊離糖、遊離糖アルコールは1～2種類の糖およ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²²⁾が、でん粉粕を利用することで苦みの原因と

表-6 ヤマブシタケ子実体に含まれる遊離糖、遊離糖アルコールおよびβ-グルカン

試験区	果糖	ショ糖	ブドウ糖	トレハロース	アラビノース	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-7 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.

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-4 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。なお、今回分析した β -グルカンは強い免疫賦活作用を持つ(1,3)(1,6)- β -D-グルカンだけでなく、セルロースやヘテログルカンなど広範囲のグルカンを測定したため、高機能性を有する β -D-グルカン量については今後測定する予定である。

表-7 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²¹⁾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、標準培地およ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-8 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4,823mg/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

表-8 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

表-9 ヤマブシタケ子実体のスーパーオキシド(SOD)消去活性値

試験区	スーパーオキシド消去活性 (単位/g)
焼酎粕・でん粉粕培地	1.6×10^3
焼酎粕培地	4.4×10^3
標準培地	3.1×10^3

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同様であった^{6,7,23,24)}。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-9 に各培地で栽培したヤマブシタケ子実体のスーパーオキシド(SOD)消去活性値を示す。SOD値は、活性酸素を消去する酵素量を示す指標であるが、本試験で使用了ヤマブシタケのSOD値は焼酎粕培地で 4.4×10^3 (単位/g)と最も高く、ついで標準培地 3.1×10^3 (単位/g)、焼酎粕・でん粉粕培地 1.6×10^3 (単位/g)の順であった。このことから、栄養材として焼酎粕乾燥固形物を利用すると、ヤマブシタケ子実体の活性酸素消去能は高まるが、広葉樹おが屑をでん粉粕に置換すると、その効果は低下することがわかった。子実体中のタンパク含有量が影響していると考えられる。しかし、いずれの試験区においても、ヤマブシタケ子実体の活性酸素消去能は他の食用きのこや食品と比較して高いことがわかった。

図-7 にヤマブシタケ子実体のACE(アンジオテンシン変換酵素)阻害活性試験の結果を示す。焼酎粕・でん粉

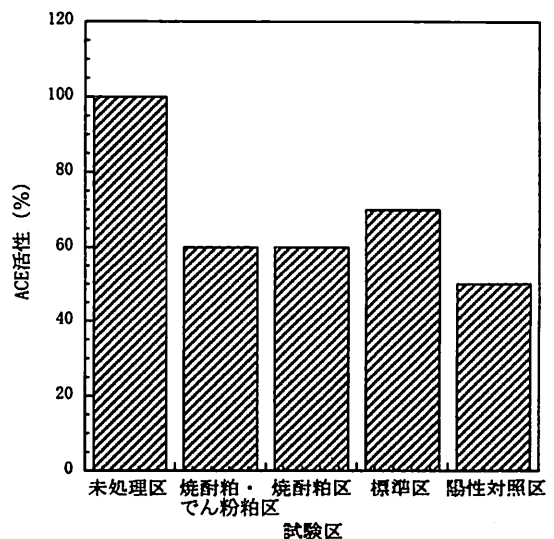


図-7 ヤマブシタケ子実体抽出液のACE阻害活性

表-10 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。

粕培地, 焼酎粕培地で栽培した子実体の抽出液では ACE 活性は未処理区の 60%であった。一方, 標準培地で栽培した子実体の抽出液では ACE 活性は未処理区の 70%であった。このことから, ヤマブシタケには, ACE 阻害活性成分が存在することが明らかになった。また, 培地栄養材に甘藷焼酎粕乾燥固形物を利用することで, 同一の菌株においても ACE 阻害活性は高まることから, 甘藷焼酎粕乾燥固形物を含む培地から得た子実体には ACE 活性を阻害するペプチドが多く含まれていると考えられた。

(3) 培地材料費の比較

3. (2) で用いた焼酎粕・でん粉粕培地, 焼酎粕培地, および標準培地を用いて, ヤマブシタケ栽培における材料費を算出した。その結果を表-10 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。

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高み, 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, きこの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。

4. 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ことを最終目的に, 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およびこれらの材料の最適培地配合条件を検討した。また焼酎粕・でん粉粕培地と焼酎粕培地および標準培地で栽培した子実体の成分特性を比較・検討した。さらに, これらの培地の資材経費を比較し, 経済性を評価した。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、28.6g/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。特にアラビトール量は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。
- 6) ヤマブシタケには、ACE阻害活性成分が存在することがわかった。また、培地栄養材に甘藷焼酎粕乾燥固形物を利用することで、同一の菌株においてもACE阻害活性は1.3倍程度高まることがわかった。
- 7) 広葉樹おが屑の替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、でん粉粕の用途拡大が期待できる。

以上の結果から、でん粉粕をおが屑の代替として利用することで、でん粉粕の用途拡大、培地材料費の大幅な削減、および焼酎粕廃培地を利用した家畜飼料における課題などを解決できると考えられる。今後は他の食用きのこ栽培への利用も検討し、①きのこ培地、②家畜飼料、③作物生産のための堆肥・肥料として段階的に利用するバイオマスのカスケードを確立し、農業・畜産業が盛んな地域における新規資源循環システムを構築したい。

謝辞：本研究は、平成20年度環境省廃棄物処理等科学研究費補助金（課題番号K2018）の交付を受けて実施した。またヤマブシタケの栽培試験を実施するにあたり、（有）村田産業（代表取締役社長：吉留高志氏）より、栽培施設の使用を快く許可して頂いた。また、奈良県森林技術センター小島増博士にはヤマブシタケの栽培方法等について多くの助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 鹿児島県酒造組合連合会：平成19酒造年度本格焼酎原料別製成数値と蒸留粕の処理別・月別数値、2008。
- 2) 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。
- 3) 川内酒造協同組合：稼働1年余、24時間フル操業で1日130トン进行处理、環境施設、No.97、pp.30-35.2004。
- 4) 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、6月号、No.14、pp.7-21.2008。
- 5) 鹿児島県：平成20年度環境と調和した農業の取組方針及び平成19年度取組状況。
<http://www.pref.kagoshima.jp/sangyo/>

- rodo/nogyo/gizyutu/kankyo/taisei/torikumihousinn.html, 2008。
- 6) 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。
- 7) 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。
- 8) 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。
- 9) Stamets, P.: Growing Gourmet and Medical Mushrooms, Ten Speed Press, CA, USA, pp.387-394.2000。
- 10) 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。
- 11) 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。
- 12) 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。
- 13) 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（やまぶしだけ）-, pp.1-14.2005。
- 14) (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。
- 15) Nakano et al.: Biosci. Biotechnol. Biochem., 70, pp.1118-1126.2006。
- 16) 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。
- 17) 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>, 1999。
- 18) 高峰和則、阿部淳一、岩屋あまね、問世田春作、檜作進：甘藷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., Vol.47, No.1, pp.67-72.2000。
- 19) 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。
- 20) 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。
- 21) 吉田博、菅原龍幸、林淳三：食用キノコ類の遊離糖、遊離糖アルコールおよび有機酸、日本食品工業学会誌、第29巻、第8号、pp.451-459.1982。

- 22) 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. 2005.
- 23) 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.
- 24) 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.

(2009. 5.22 受付)

Growth and Component Characteristics of Yamabushitake (*Hericium erinaceum*) using Food Waste (*Shochu Lees and Starch Waste*)

Masahito YAMAUCHI¹, Masayoshi YAMADA¹, Fumio YAGI², Sumio MASUDA³, and Takashi YAMAGUCHI⁴

¹Dept. of Civil Engineering, Kagoshima National College of Technology

²Biochemical Science and Technology, Kagoshima University

³ Dept. of Civil and Environmental Engineering, Miyazaki University

⁴Dept. of Environmental Systems Engineering, Nagaoka University of Technology

The possibility of the use of dried lees of sweet-potato *shochu* and starch waste for growing edible mushrooms was studied as well as their optimal additive rates. Growing Yamabushitake (*Hericium erinaceum*) in the media containing 40–60% of *shochu* lees, 36–56% of starch waste and 4% of fossilized shells (dry weight %) produced 1.9–2.2 times increase in yield compared with a standard medium. The components of the fruit body were compared for the *shochu*-lee, starch waste + *shochu* lees, and standard media, which showed that the components of the fruit body greatly differed by the medium material(s) used. The protein and carbohydrate contents were particularly influenced by medium type. It was shown that starch waste could be used as a medium substrate and that its effect as a nutrition material was confirmed by observing the reduction of starch in the media and its enzymatic activity. With regard to the functions of the fruit body, the angiotensin-converting enzyme (ACE) inhibitory activity increased by 30% when using *shochu* lees. The cost of *shochu* lees or starch waste as medium materials is one fourth of that of the standard medium; a significant reduction in material cost can be expected.