

第8章 結論

甘藷残渣である焼酎粕、でん粉粕は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。本研究ではこれらの食品残渣を用いたキノコ培地を作製し、そこに多量に含まれる有用物質を利用吸収した高機能性キノコの栽培技術を確認する。また、廃培地に含まれる菌糸代謝産物等を分析し、諸特性を明らかにする。さらに廃培地の飼料特性を把握し、発酵 TMR 化による飼料調製技術と家畜への給与技術を確認すると同時に、家畜排泄物についても堆肥化を行い、製造した堆肥の肥料効果を確認する。また、廃培地を家畜飼料に利用することによる飼料コスト削減効果等についても明らかにする。最後に廃培地の高温高速乳酸発酵飼料製造技術の実現に向けて焼酎粕を基質とした高温嫌気性発酵槽内から高温乳酸菌の分離・培養を試みる。以上の試験を実施することで、地域資源を最大限に活用した物質・経済合致循環モデルの構築を目指した。3 年間の研究期間で、焼酎粕・でん粉粕利用による高機能性キノコ栽培条件の確立と子実体（キノコ）、培地の分析においては、最適配合条件で培地を作製し、子実体発生条件等の違いによるキノコ（ヤマブシタケ）の機能性成分に与える影響を検討した。また、他の食用キノコへの本培地の適用を検討した。廃培地については一般分析の他、菌糸からの分泌酵素等の分析、機能性成分の探索を行った。また、焼酎粕・でん粉粕特有の臭いがキノコ菌糸の伸長に伴い消失することについて、菌体内外の各種酸化還元酵素を定量し、消臭メカニズムを調査した。焼酎粕を基質とした高温嫌気性発酵槽内からの高温乳酸菌の分離・培養と生理学的特徴については、高温嫌気性発酵槽内、焼酎粕原液、焼酎粕貯留タンクから分離した高温乳酸菌を、DNA 解析等分子生物学的手法を用いて同定を行い、それらの生理学的特徴を調査した。廃培地の家畜飼料としての有効利用化技術の検討については、廃培地の飼料特性を成分分析により把握し、廃培地と配合飼料及び粗飼料を混合した発酵 TMR 飼料を作製後、その発酵品質及び飼料成分組成を調査した。また、作製した発酵 TMR 飼料及び TMR 飼料は乳用牛で消化試験を実施し、採食性と消化性の検討を行った。廃培地由来の家畜排泄物の堆肥化試験及び作物栽培試験については、廃培地含有発酵 TMR 飼料を給与した家畜の排泄物を採集し、簡易堆肥化バックを用いて堆肥化を行い、品温・水分などをモニターするとともに、成分分析を行い良好な堆肥化が達成されたか否かを調査した。また、廃培地を直接土壌還元することが可能か調査するために、コマツナ種子を用いた発芽試験を実施した。従来型処理システムと本提案システムの経済評価については、従来どおり焼酎粕を直接飼料・肥料として利用した場合及びでん粉粕をクエン酸原料等に利用した場合と機能性食品（キノコ）生産後に飼料・肥料に再利用した場合とで、製品が生み出す経済効果を比較・評価した。

以下に、主要な結果を示す。

- 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。
- 13) 焼酎粕・でん粉粕培地の臭いは、アセトイン、酪酸、ジアセチルを核として、これらに加え、酢酸やプロピオン酸、脂肪酸エステルなどの物質が混ざり合うことで、独特の不快感な臭いを発することが明らかになった。
- 14) 2) 焼酎粕・でん粉粕培地中の臭気物質は、培養が進むにつれて減少し、菌周り完了（培養 30 日目）頃には、ほぼ消失しており、きのこ収穫時までには主要臭気物質（アセトイン、酪酸、ジアセチル）は消失していることが明らかになった。
- 15) 3) 焼酎粕・でん粉粕培地の臭いは、きのこ菌糸を培養することで、“酸っぱい臭い（不

快な臭い)”から“きのこの匂い(いい匂い)”へ、においの質が変わり、培地本来の不
快な臭いはきのこ菌糸を培養することで、低減することが明らかになった。

- 16) 4) 臭気物質の消失は、菌体外酵素の働きによる消失の可能性は低く、きのこ菌糸そ
のものに臭気物質が取り込まれた後、分解されると考えられた。
- 17) 焼酎粕やでん粉粕の成分がヤマブシタケ子実体に取り込まれる過程で、初期の抗炎症作
用以外にも、細胞の増殖・分化・遊走や免疫応答に係わる様々な遺伝子の発現に影響を
与えることが、今回の DNA チップ解析により初めて明らかとなった。
- 18) 分離株の乳酸発酵特性の評価を行ったところ、L-乳酸産生型が OSO 株、OKC 株、
KW 株、KS1 株、KS2 株、KS3 株、D-乳酸型が OSF 株、DL-乳酸型が KL 株であるこ
とが分かった。
- 19) 分離株の経時的乳酸生成能力を調査した結果、*Lactobacillus* 属の分離株は乳酸濃度
10 g/L 以上、pH を 4.0 以下まで低下させた。また、高温性の分離株は中温性の分離株
と比較して比較的早い時間で乳酸の生成が律速になっていた。
- 20) でんぷん粕廃培地の消化性や採食性は、他の廃培地と比較して高いと推察され、蛋白
及びエネルギー飼料として利用できる可能性が示唆された。
- 21) 廃培地発酵 TMR 飼料については、廃培地の混合が乳酸発酵促進に効果があることが
明らかとなった。
- 22) 廃培地発酵 TMR 飼料の緬羊、乳用牛による給与試験では、採食性についての問題は
認められなかった。
- 23) 焼酎粕・でんぷん粕廃培地の貯蔵目安は、冬場で 1 週間程度であることがわかった。
- 24) 鶏ひなの成長試験の結果から、廃菌床の安全性に問題はないがないことが明らかとな
った。
- 25) 鹿児島県の乳牛の平均的な飼養頭数の 50 頭規模で乾乳期における飼料の削減額を算
出すると、きのこ廃培地代替 5%区で 66,000 円、10%区で 117,000 円となった。
- 26) 焼酎粕やでん粉粕を利用した廃菌床は標準廃菌床に比べて窒素含有率が高く、炭素率
が低いので、フスマを利用した標準廃菌床よりは農地還元しやすいものと考えられた。
- 27) 廃菌床を施用してコマツナを栽培すると、いずれの廃菌床でも窒素飢餓がみられた。
焼酎粕廃菌床とでん粉粕廃菌床の炭素率は 20 以下であり、これらの施用で窒素飢餓が
みられたのは易分解性の有機物が多いためではないかと考えられた。また地温の低い秋
冬季に栽培すると、窒素不足の症状はみられたが窒素飢餓は起こらなかった。
- 28) 廃菌床を施用して 3 カ月ほど放置してコマツナを栽培すると窒素飢餓はみられず、土
壌中の無機態窒素含量からみると、窒素の急激な有機化が終了し緩やかな無機化が起こ
るような状態になっているものと考えられた。
- 29) 廃菌床を給餌した牛の牛ふんは、通常の牛ふんと同様に堆肥化することができ、廃菌
床に比べると窒素、リン、カリウムの含有率が高まり炭素率は低下して、より農地還元
し易くなった。また堆肥化の際、廃菌床を水分調整資材として利用できることも実証で
きた。
- 30) 焼酎粕廃菌床やでん粉粕廃菌床、廃菌床を給餌した牛ふん堆肥でコマツナを栽培する
と、窒素供給量が化学肥料区の 2 倍になるよう施用しても生育は化学肥料区に劣り、こ
れは窒素供給が少ないことによるものであった。これらの資材の窒素肥効率を検討する
必要があると考えられる。

付録

2008 年度

研究発表

- 1) 大田智也、野元雄介、**山田真義**、**山内正仁**、山口隆司：甘藷焼酎粕・でん粉粕利用によるきのこ栽培技術の開発、第43回日本水環境学会年会講演集、p. 625. (2009. 3)
- 2) 松元皓隆、松里大樹、**山田真義**、**山内正仁**、**八木史郎**：きのこ菌糸による焼酎粕・でん粉粕栽培中の臭気成分除去機構の解明、平成20年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp. 1015-1016 (2009. 3)
- 3) **山内正仁**、大田智也、野元雄介、**山田真義**、**増田純雄**、**八木史郎**：甘藷焼酎粕・でん粉粕利用による高機能性きのこ栽培条件の確立、平成20年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp. 1013-1014 (2009. 3)

依頼原稿

山内正仁；かんしょでん粉かすの有効利用について-きのこ栽培への利用-、でん粉情報 2008年11月号 No. 14、独立行政法人農畜産業振興機構、pp. 10-17 . (2008年11月)

知的所有権の取得状況

・特願 2009-036007・キノコ菌糸を用いた臭気成分除去方法・**山内正仁**、**山田真義**・独立行政法人国立高等専門学校機構 (2009年2月19日特許申請)

2009 年度

研究発表

- 1) **山内正仁**、**山田真義**、**八木史郎**、**増田純雄**、山口隆司：食品廃棄物(焼酎粕・でん粉粕)を用いたヤマブシタケの栽培条件の確立とその成分特性、土木学会環境工学研究論文集、Vol. 46、pp. 117-127、2009. 11 (審査付き論文)
- 2) 黒田恭平、**山田真義**、上瀉口知世、**八木史郎**、山口隆司、**山内正仁**：高温メタン発酵槽からの高温乳酸菌の分離の試み、第44回日本水環境学会年会講演集、p. 275、2010. 3
- 3) 大田智也、**山田真義**、**山内正仁**、**八木史郎**：ヤマブシタケ廃培地中の酵素活性の挙動、第44回日本水環境学会年会講演集、p. 704、2010. 3
- 4) 松元皓隆、**山田真義**、**山内正仁**、**八木史郎**：ヤマブシタケ栽培によるでん粉粕、焼酎粕

中の悪臭成分の消去、第44回日本水環境学会年会講演集、p.704、2010.3

5) 大田智也、小村洋美、大六野洋、八木史郎、山田真義、山内正仁：焼酎粕廃培地の飼料化に関する研究、平成21年度土木学会西部支部研究発表会、CD-ROM、2010.3

6) 野元雄介、大田智也、山田真義、小村洋美、長野京子、山内正仁：焼酎粕の高付加価値化を目指した用途拡大循環システムの開発、第46回環境工学研究フォーラム講演集、pp.22-24、2009.11

7) 大田智也、野元雄介、山内正仁、山田真義、増田純雄：食品廃棄物（さつまいも残渣）を用いた食用きのこ栽培に関する研究、土木学会第64回年次学術講演会、pp.81-82、2009.9

8) 山内正仁：キノコ生産を核とした食品廃棄物の多用途再生技術、第7回全国高専テクノフォーラム予稿集、独立行政法人国立高等専門学校機構、pp.15-16、2009.7

2010年度

研究発表

1) 山内正仁、八木史郎、山田真義、山口昭弘、増田純雄、山口隆司：食品廃棄物を培地材料に利用することによるきのこ（ヤマブシタケ）の機能性向上効果、土木学会環境工学研究論文集、Vol.47、pp.603-608、2010.

2) 黒田恭平、山田真義、山口隆司、川上周司、八木史郎、山内正仁：焼酎蒸留粕からの高温乳酸菌の分離の試みと利用方法の一考察、第21回廃棄物資源循環学会研究発表会、pp.315-316、2010.

3) 山内正仁、山田真義、八木史郎、大六野洋、松野愛子、小村洋美：きのこ生産による食品廃棄物（焼酎粕・でん粉粕）の資源循環システムの構築、日本きのこ学会第14回大会講演要旨集、p.91、2010.

4) 山田真義、黒田恭平、上瀉口知世、山内正仁、山口隆司、八木史郎：自然環境下以外からの高温乳酸菌の分離の試みと利用方法の一考察、土木学会第65回年次学術講演会、pp.327-328、2010.

5) 大田智也、野元雄介、山田真義、山内正仁、八木史郎、山口昭弘：食品廃棄物で栽培したヤマブシタケ子実体の機能性成分に関する研究、土木学会第65回年次学術講演会、pp.303-304、2010.

6) 松元皓隆、山田真義、山内正仁、八木史郎、増田純雄：きのこ菌糸を用いた焼酎粕・でん粉粕由来の悪臭物質の除去に関する研究、土木学会第65回年次学術講演会、pp.301-302、2010.

7) 野元雄介、福彩乃、山田真義、木原正人、山内正仁：甘藷焼酎粕を利用したシイタケの菌床栽培、土木学会第65回年次学術講演会、pp.299-300、2010.

8) 野元雄介、平生志康、山田真義、木原正人、八木史郎、増田純雄、山内正仁：甘藷焼酎粕乾燥固形物を用いたシイタケ菌床栽培技術の開発、平成22年度土木学会西部支部研究発表会、pp.893-894、2011.

9) 松元皓隆、村山陵、山田真義、八木史郎、増田純雄、山内正仁：きのこ菌糸による食品

廃棄物の悪臭物質の動態調査、平成 22 年度土木学会西部支部研究発表会、pp. 895-896、2011.

依頼原稿

- 1) 山内正仁：焼酎粕を使ったきのこ栽培を起点としたリサイクル技術の開発、文部科学省教育通信、No. 253 10月号、pp. 20-21、2010.
- 2) 山内正仁：焼酎粕利用で地元企業と新産業創出を目指す、産学官連携ジャーナル、Vol. 6、No. 5、pp. 24-25、2010.

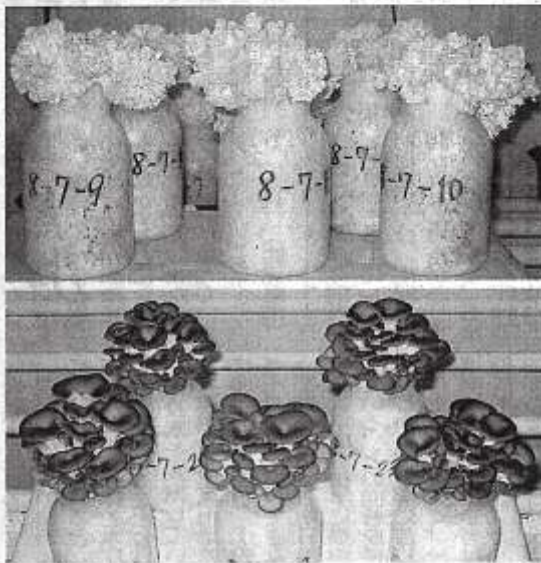
受賞

- ・日本きのこ学会第 14 回大会「優秀ポスター発表賞」受賞
- ・一般社団法人廃棄物資源循環学会第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会「優秀ポスター賞」受賞
- ・財団法人クリーン・ジャパン・センター「平成 22 年度リサイクル技術開発本多賞（第 15 回）」受賞

サツマイモ 資源循環に光

鹿児島工業高等専門学校(霧島市)の山内正仁准教授らの研究グループが、原料用サツマイモの残さ(焼酎かす、でんぷんかす)のみを培地に利用したキノコ栽培実験に成功した。2009年度以降、廃菌床(収穫後の培地)の家畜飼料化にも取り組む予定で、実現すれば「キノコ栽培を軸にした循環システムが構築できる」(山内准教授)としている。

鹿高专グループ成功



焼酎・でんぷんかす培地に

残さ100%でキノコ栽培

使用後、飼料化も研究

サツマイモ残さを培地に育ったヤマブシタケ(写真上)とヒラタケ(同下)

(山内正仁准教授提供)

山内准教授らは〇四年、焼酎かすにおがくすを混ぜた培地技術を確認。〇七年からは飼料化を目指して研究を続けていたが、牛がおがくすを消化できない点に課題があった。そこで繊維質が多く、保水性の高いでんぷんかすの代替利用を思いついたという。

栽培に成功したのは、ヒラタケとヤマブシタケの二種類。焼酎かすとでんぷんかすを六対四の割合で混ぜた培地で栽培、四十一・四十五日で収穫可能な状態まで成長。米ぬかなどを使う慣行培地と比べ、菌糸の密度が高い肉厚なキノコができた。

今後、焼酎かすは健康食品や建築資材などに再利用する試みが進んでいるが、でんぷんかすはクエン酸抽出のほかにも活用されるケースはなかったという。

山内准教授らは〇四年、今後は鹿児島大学農学部と共同で成分分析を進め、慣行栽培との差異を明らかにする。特にヤマブシタケはもともと高い機能性を持つとされており、サツマイモ残さ培地で有用成分が増加したことが確認できれば、予防医療資材としての活用が期待できそうだ。

県などによると、〇六年度の焼酎かす、でんぷんかすの発生量はそれぞれ四十四万ト、三万ト。焼酎かすは健康食品や建築資材などに再利用する試みが進んでいるが、でんぷんかすはクエン酸抽出のほかにも活用されるケースはなかったという。

本研究課題に関係する研究成果が掲載された新聞記事
(南日本新聞 平成20年7月11日)

