

N-8 焼酎粕の高付加価値化を目指した 用途拡大型循環システムの開発

○野元 雄介¹・大田 智也¹・山田 真義¹・小村 洋美²
長野 京子³・山内 正仁^{1*}

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孝1460-1)

²鹿児島県農業開発総合センター 畜産試験場 (〒895-4461 鹿児島県霧島市国分上之段2440)

³鹿児島県大隅地域振興局 (〒893-0011 鹿児島県鹿屋市打馬2-16-6)

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

1. はじめに

焼酎粕に含まれる固形画分は、乾燥後、肥料・飼料として利用されている。しかしながら、肥料・飼料として利用しただけでは、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ため、付加価値の高い経済的有用性を秘めた利用技術の開発が求められている。筆者らの研究グループでは、焼酎粕が農作物由来の副産物であり、栄養価、安全性の高い食品産業廃棄物であることに注目し、焼酎粕を原料に付加価値のある食品を生産し、これを起点とした焼酎粕の多用途再生技術を提案した。具体的には、焼酎粕乾燥固形物を栄養材としたきのこ培地（以下、焼酎粕培地）を作製し、焼酎粕中の有用成分を吸収した高付加価値きのこを生産した後に、使用済み培地（以下、廃培地）を家畜飼料、肥料・堆肥へとその品位に応じてカスケード利用する技術である。

現在までに焼酎粕培地でエリンギ、ヒラタケの栽培試験を実施し、従来品より優位に勝る高付加価値きのこを収量性の高い状態でしかも低コストで生産できることを明らかにした。しかしながら、焼酎粕培地できのこを量産化するにあたり、培地水分率が 58-60%を超えると、培地の粘性により、従来の瓶詰め装置での培地充填が困難になるという工業的課題が残された。また、本技術を構築するためには、焼酎粕廃培地の飼料特性および飼料としての利用可能性を家畜で検証する必要もある。

そこで本研究では、まず従来の瓶詰め装置で充填可能な水分率で試料（焼酎粕培地）を調製し、それを瓶詰め後、培地中央部分に通気用の穴を開けると同時に蒸気

（水分）を注入し、培地水分率を所定の水分率に調整可能な装置を開発し、本装置の最適稼働条件を検討した。また、最適稼働条件を用いてきのこ（エリンギ）の量産化試験を試みた。さらに焼酎粕廃培地の家畜飼料への利用可能性を調査するために、廃培地の成分分析後、発酵 TMR 飼料を調製し、家畜を用いた消化・採食試験を実施した。

2 試験方法

(1) 蒸気（水分）注入型穴あけ機の最適稼働条件の検討

焼酎粕培地を作製するにあたり、焼酎粕乾燥固形物 60%、針葉樹おが屑 36%、貝化石 4%（乾物%）の割合で材料を混合し、これに水道水を加えて水分率 58%に調整後、PP 瓶に 500g ずつ従来の瓶詰め装置で充填した。その後、図-1 に示した蒸気（水分）注入型穴あけ機を用いて、瓶詰めされた試料に通気用の穴を開けると同時に散水と蒸気注入をそれぞれ 20mL ずつ変化させて培地水分率を 65%に調整した。焼酎粕培地における本装置の最適稼働条件は、蒸気注入時間と散水量、蒸気注入時間と培地内温度、および水分率調整後、121℃で 3 時間滅菌後の培地内の水分率分布を測定し、これらの結果をもとに決定した。なお本試験では、蒸気注入圧力を 0.4

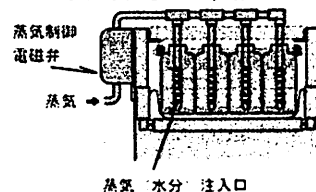


図-1 蒸気（水分）注入型穴あけ装置

～0.6MPaに設定した。

(2) 蒸気注入による滅菌時間の検討

(1)で得られた最適稼働条件で培地を作製し、培地内に蒸気を注入することにより培地滅菌時間の短縮が可能か検討した。従来、培地を4,000～5,000本瓶詰めするにあたり70～90分程度を要することから、本試験では121℃による培地の高圧滅菌処理は蒸気注入後90分経過後から行った。また焼酎粕培地を手詰めにより瓶内に充填する場合、あらかじめ水分率を65%に調整した試料をPP瓶に600g充填し、試験に供した。

(3) 栽培試験

蒸気（水分）注入型穴あけ機の最適稼働条件を用いて培地水分率を65%（最終培地重量600g）に調整する方法と従来の手詰めによる方法とで焼酎粕培地を瓶詰めし、培地充填方法の違いによるきのこ栽培への影響を調査した。培地試料充填後、高圧滅菌釜を121℃にセットし、手詰めした焼酎粕培地については3時間、また機械詰めした焼酎粕培地については(2)の試験結果を基に培養瓶の滅菌処理時間を決定した。その後、瓶の温度を室温まで下げ、クリーンルームで供試菌（株）かつらぎ産業；KE-106号）を瓶あたり約8g接種した。

接種した瓶は、温度 $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $75\pm 5\%$ 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、菌掻きによる発生処理を行い、温度 $16\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $95\pm 5\%$ に制御した発生室に瓶を移し、子実体（きのこ本体）の形成を促した。

(4) 廃培地の飼料化試験

a) 廃培地の飼料特性

栽培試験終了後、廃培地を瓶容器から掻き出し、それを65℃の通風乾燥機で48時間乾燥させた。その後、カッティングミルと微粉砕器で0.5mmのメッシュを通過するよう粉砕し、一般成分、繊維成分、無機成分の分析に供した。

b) 綿羊による消化性および採食性

細断型ローラーで調製した発酵TMR飼料を家畜に給与し、消化性および採食性を調査した。本試験では、牛のように大量の飼料を摂取する動物を用いると、労力、設備、経費を伴うため、消化機構が類似しており、一定条件下において乳牛と同一の消化率を示すサフォーク種雄綿羊4頭を用い、1試験区11～12日間（予備試験7～8日間、本試験4日間）の全糞採取法による消化試験を実施した。また、採食開始時から30分間の乾物摂取量を測定し、採食性の検討を行った。なお試験飼料は、廃培地0%区、5%区、10%区の3区とした。採取した試料（試験飼料、糞、残飼）は、分析に供した。

3 実験結果及び考察

(1) 蒸気（水分）注入型穴あけ機の最適稼働条件の検討

図-2に焼酎粕培地における蒸気注入時間と散水量の関係を示す。また、図-3に蒸気注入時間と培地内温度の関係を示す。散水なしの条件では、蒸気注入時間が非常に長くなり、瓶内の圧力上昇により、試料が瓶外に吹き出し、水分率65%に調整することはできなかった。また散水量60mL、80mLの条件では、培地内の平均温度はそれぞれ45℃、75℃程度であったが、培地内に温度のばらつきが見られた。散水量40mL、20mLの条件では培地内温度は100℃近くとなり、培地内の温度のばらつきは見られなかった。また、この時の培地内水分率は、瓶上部から下部にかけて65%程度となり、試料を瓶内に手詰めした試験区と同様な分布を示した。これは、培地内温度が100℃近くまで上昇したことで、散水した水分が蒸気とともに培地上部へと浸透したためと考えられる。このことから、水分率58%で焼酎粕培地を調製した場合、散水量40mL、蒸気注入量60mL（注入時間：22.5秒）が本装置の最適稼働条件であることがわかった。

(2) 蒸気注入による滅菌時間の検討

図-4に高圧滅菌釜内における温度変化を示す。釜内温度の121℃に蒸気を注入した培地で85分後、注入なしの

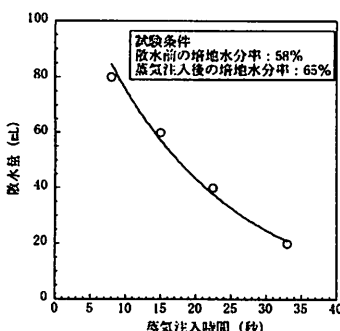


図-2 蒸気注入時間と散水量

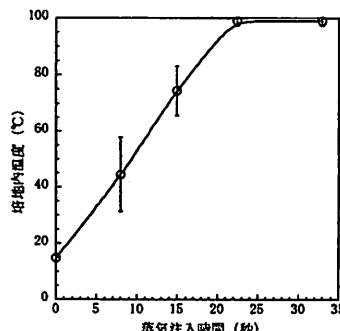


図-3 蒸気注入時間と培地内温度

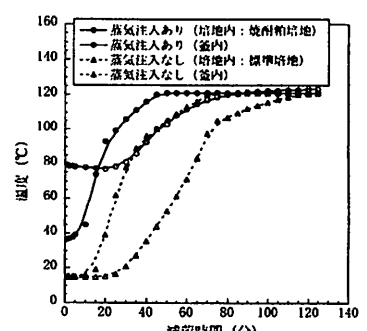


図-4 高圧滅菌釜内における温度変化

培地で125分後に到達した。きのこの瓶栽培では、断熱効果が高いポリプロピレン製の容器が使用されているため、培地試料の滅菌時間を2～3時間としている。本装置で培地に蒸気を注入し高圧滅菌処理を行うと、滅菌時間を40分程度短縮できることがわかった。

(3) 栽培試験

表-1 に散水と蒸気注入により水分率を 65%に調整した焼酎粕培地（機械詰め）と手詰めした焼酎粕培地で栽培したエリンギの試験結果を示す。瓶詰め方法の異なる両者を比較すると、子実体の収量、子実体特性に顕著な差は見られなかった。このことから、焼酎粕培地を用いたきのこ（エリンギ）の量産化において問題とされていた培地材料の水分率が高くなるにつれて粘性が高まり、瓶詰め工程で均一に培地を充填することが困難になるという工業的課題を、蒸気注入型穴あけ機を利用することで解決可能なことがわかった。

(4) 廃培地の飼料化試験

a) 廃培地の飼料特性

表-2に廃培地の飼料成分組成を示す。廃培地は、粗蛋白質が乾物中16.5±1.51%と高く、フスマ（17.7%）と同程度の数値を示した。また、繊維成分であるADFおよびNDFもそれぞれ49.3±3.05%、59.9±3.51%と高く、蛋白飼料としてだけでなく、粗飼料的な特性を含んでいることが明らかとなった。ADFは消化性と、NDFは乾物摂取量と負の相関があることが知られており、このことから、廃培地自体の消化性や採食性は低いと推察された。しかし、カリウムについては、乾物中1.30±0.32%程度とイタリアンサイレージ（3.86%）や稲ワラ（1.95%）、大豆粕（2.40%）より低い数値を示し、低カリウム飼料として利用できる可能性が示唆された。

b) 飼養による消化性および採食性

本試験では、濃厚飼料の一部代替として混合し、乾乳牛用飼料として設計した。表-3に発酵180日後のTMR飼料成分と、各成分消化率、TDN 含量および代謝体重あたりの乾物摂取量を示す。飼料成分の CP、EE、CA については廃培地の添加の有無に限らず、概ね同等程度の成分値に調整できた。しかし、ADF、NDF などの繊維成分については廃培地の添加により低下する傾向があった。消化性については、NDF および OCB といった繊維成分の消化率が、5%および 10%区ともに対照区（0%区）と比較して有意に低い数値を示し、廃培地中のおが屑由来

の繊維成分が原因と考えられた。TDN については、廃培地混合により低下する傾向が見られたが、有意差はなかった。乾物摂取量については、0%区と比べて有意差はなかったものの、5%区で低くなる傾向が見られた。しかし、これは馴致期間が影響していると考えられ、また10%区では 0%区と比較してもほぼ同程度であったため、採食性に問題はないと考えられる。以上の結果から、廃培地を使用した 5%区、10%区では対照区（0%区）と比較して消化率はやや低いが、TDN 含量については有意差が認められなかったこと、採食性の指標である乾物摂取量については 10%区と対照区（0%区）を比較して問題ないことから、濃厚飼料の一部代替として廃培地を 5～10%混合した発酵 TMR 飼料は給与可能であることがわかった。

表-3 TMR飼料成分と消化率、TDN 含量および乾物摂取量（乾物%）

表-2 焼酎粕廃培地の飼料

成分組成（乾物%）

分析項目	分析回数	分析回数	成分値 (%)
水分	10	37	56.8 ± 2.17
CP	10	37	16.5 ± 1.51
EE	10	31	0.99 ± 0.20
CA	10	37	8.26 ± 0.65
ADF	10	37	49.3 ± 3.05
NDF	10	37	59.9 ± 3.51
Ca	7	26	1.83 ± 0.15
P	7	26	0.16 ± 0.02
Mg	7	26	0.10 ± 0.01
K	7	25	1.30 ± 0.31

		廃培地混合割合		
		0%	5%	10%
飼料成分組成	水分	64.8	64.0	61.0
	CP	10.3	9.7	10.1
	EE	2.7	2.7	2.0
	CA	6.5	6.5	6.5
	ADF	36.9	35.3	35.5
	NDF	67.1	65.3	61.4
消化率	OCB	64.4	62.9	61.6
	CP	57.6	53.3	56.7
	EE	68.0	66.3	64.1
	NDF	62.4	55.0	56.2
	OCB	56.7	49.9	51.9
	TDN	60.1	52.4	56.8
代謝体重あたり乾物摂取量 (g/30min)		15.3	12.8	15.3

異符号間には有意差あり (Tukey法, p<0.05)

4. おわりに

本研究で得られた主な知見を示す。

- 1) 蒸気（水分）注入型穴あけ機の開発により、焼酎粕培地の量産化技術が確立された。また、本方法でエリンギを栽培しても従来法（手詰め）と同様な子実体収量、特性が得られた。事業化に向けた課題が解決できた。
 - 2) 飼養を用いて焼酎粕廃培地含有発酵TMR飼料の給与試験を行い、消化性、採食性について調査した。その結果、消化率は廃培地を使用した試験区では対照区よりやや低かったが、TDN含量については、有意差は認められなかった。また、採食性については対照区とほぼ同程度であった。以上のことから、廃培地を5～10%混合した発酵TMR飼料は家畜への給与は可能であることがわかった。
- 以上のことから、焼酎粕を食品（きのこ）→家畜飼料→肥料と段階的にその品位に応じて利用する、地域資源循環システムの構築は可能である。

表-1 エリンギ栽培試験結果

処理方法	両側り日数	両側り	両側りから収穫までの日数	収穫日数	収穫量 (kg)	発生本数	子実体特性			
							全の最大値		下の最大値	
							(g/個)	(個/株)	(mm)	(mm)
焼酎粕培地	31.8 ± 1.6	43	15.4 ± 1.1	50.1 ± 1.1	150.5 ± 15.1	2.9 ± 0.7	84.2 ± 7.9	25.3 ± 1.5	23.0 ± 2.7	26.0 ± 3.3
散水10ml、蒸気注入10ml (機械詰め)	25.3 ± 1.7	43	15.5 ± 1.1	50.5 ± 1.1	150.1 ± 10.1	2.9 ± 0.8	85.0 ± 6.1	21.8 ± 2.8	24.0 ± 2.9	27.8 ± 2.6