

焼酎粕廃菌床の土壤還元特性

鹿児島高専 (正) 山内正仁 山田真義 木原正人 福元雄大
鹿児島大学 烏尼木仁 樗木直也 宮崎大学 増田純雄

1. はじめに

本格焼酎を製造する過程で発生する焼酎粕は現在、固液分離装置で固形画分、液画分に分離後、固形画分については、乾燥後、肥料・飼料として利用されている。一方、液画分については、生物処理、濃縮操作を施し、メタンやアルコールを回収してこれらを固形画分の乾燥の熱源として利用されている。しかし、上述の処理システムにより得られる固形画分を肥料・飼料として利用するだけでは製品に付加価値が付与できず、安価な既存製品との競合にも劣り、未だ市場に十分に普及しない現状にある。今後は、焼酎粕(固形画分)を活用して、経済的有用性及び付加価値の高い製品として用途開発することが求められる。筆者等は焼酎粕乾燥固形物を栄養材としたきのこ菌床を作製し、焼酎粕に含まれる有機酸、アミノ酸類、ミネラル等を多量に含み、菌糸密度、重量共に従来品より有意に勝る高付加価値きのこの栽培技術確立した。しかし、きのこ栽培後に使用済み菌床(廃菌床)が残るため、廃菌床の有効利用法を検討する必要がある。

本研究では、焼酎粕廃菌床を直接土壤に還元することが可能であるか、また、現在肥料として利用されている焼酎粕原液、焼酎粕乾燥固形物と比較して作物に対して効果的であるかを調査するために、エリンギ廃菌床を用いてコマツナ種子発芽試験、栽培試験を実施した。

2. 実験方法

2.1 発芽試験：焼酎粕廃菌床(甘藷焼酎粕乾燥固形物 60%、針葉樹おが屑 36%、貝化石 4%) (試料①)、基本培地(BL)の廃菌床(米糠 20%、フスマ 20%、コーンコブ 20%、針葉樹おが屑 40%) (試料②)、甘藷焼酎粕乾燥固形物(粉末) (試料③)、甘藷焼酎粕(原液) (試料④)を用いてコマツナの種子発芽試験

を行った。まず、試料①～③については生試料 10 g を 100 mL のポリ広口瓶に入れ、蒸留水を 100 mL 加えて 30 分間振とうした。その後、ろ紙(No. 2)でろ過し、ろ液の EC を測定した。試料④については、5,000rpm で 10 分間遠心分離を行い、傾斜法で上澄みを取り、ろ紙(No. 2)でろ過後、ろ液の EC を測定した。次に、シャーレ(直径 9cm、高さ 15mm)中にドット状粘着剤付発芽シート(直径 84mm、厚さ 0.26mm)を敷き、コマツナの種子 50 粒を 9mm 間隔で接着させた。その後、抽出液 10 mL を添加し、インキュベーター(温度 30℃、暗黒条件下)で 72 時間培養した。対照区としては蒸留水を 10 mL 添加したものを準備した。72 時間後、シャーレを取り出し、発芽率及び外観を表-1 に示す評価方法で評価した。

2.2 栽培試験：栽培試験には鹿児島県農業試験場(鹿児島市下福元町)の畑土壌(中粗粒灰色台地土)を、1 日(10/19～10/20)室内で一昼夜乾燥後、径 3mm の篩を通過させて供試した。土壌理化学性は表-2 の通りである。試験区には発芽試験で使用した試料(窒素として 150mg)を風乾した畑土壌 800g に混和し、直径 13.5cm のポリポットに詰めた廃菌床(焼酎粕)区(試験区①)、廃菌床(BL)区(試験区②)、甘藷焼酎粕乾燥固形物区(試験区③)、甘藷焼酎粕(原液)区(試験区④)と化学肥料($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を使用)を混和したものを詰めた化学肥料区(以下、試験区⑤)、畑土壌のみを詰めた無肥料区(試験区⑥)を準備した。各試験区の土壌 pH は、5.5～5.9 であった。10 月 22 日にポット当たりコマツナ種子(品種：ごせき晩生) 5～6 粒を播種し、鹿児島大学農学部のガラスハウス内で栽培した。発芽後、間引きを行い、ポットあたり 3 株に調整し、イオン交換水を灌水しながら、ガラスハウス内で 11 月 20 日まで栽培した。栽培終了後、草丈、最大葉幅、最大葉長を調査した。その後、作物体を採取、乾燥し、乾物重量を測定した。さらに、T-N 量をサリチル酸—硫酸分解法により定量した。なお、栽培はいずれの区も 3 連で行った。

3. 実験結果と考察

3.1 発芽試験：表-3 に試料抽出液の電気伝導率(EC)と pH の測定結果を示す。EC が 2.0ds/m 以上の場合、それが発芽阻害要因になることが知られている。試料③焼酎粕乾燥固形物(粉末)と試料④焼酎粕(原液)では EC がそれぞれ 3.16、5.82ds/m であり、この時点で塩濃度が高く、根に障害を及ぼすと予測される。そこで、本試験では試料③、④については藤原、山口等の方法にしたがい、EC が 2.0～4.0ds/m の範囲にある焼酎粕乾燥固形物については蒸留水で 2 倍希釈、4.0～10.0ds/m の範囲にある焼酎粕(原液)については 5 倍希釈したものを試験に用いた。表-4 に発芽率、葉・根・細根の状態を観察した結果を示す。発芽率は蒸留水で培養した対照区に対する比率(%)で表すが、発芽評価及び外観評価は表-1 により配点して表した。発

表-1 発芽率及び外観の評価方法

発芽評価		外観評価		総合評価
発芽率*	配点	外観	配点	
100%	5	葉・根・細根を確認	5	発芽率+外観評価の合計で示し、総合評価8未満は発芽抑制に注意が必要
80%以上100%未満	4	葉・根を確認	4	
60%以上80%未満	3	葉あるいは根のどちらか一方確認	3	
60%未満	2	芽を切る	2	
0%	1	未発芽	1	

* 発芽率：蒸留水で栽培した対照区に対する比率(%)で表す。

表-2 土壌の理化学性

pH	EC	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N
(H ₂ O)	(dSm ⁻¹)	(mgkg ⁻¹ 乾土)		
5.81	1.02	1,100	10.4	21.6

表-3 各試験区の抽出液の EC と pH

試料番号	試料名	EC (ds/m)	pH
①	廃菌床(焼酎粕)	0.74	5.60
②	廃菌床(BL)	1.41	5.80
③	甘藷焼酎粕乾燥固形物	3.16	4.11
④	焼酎粕原液	5.82	3.85
—	対照区(蒸留水)	0.00	5.86

芽率は試料①、②においてそれぞれ 102.9%、103.7%であり、対照区を上回った。したがって、配点を 5 点とした。また、試料③、④についてはそれぞれ 93.4%、93.9%であったため、配点を 4 点とした。このように発芽率は全ての試験区で高く、配点は 4 点以上であった。発芽後の根の状態は、試料①、②については葉、根を確認することができた。また、主根の伸びも良く、対照区よりも長く、根の褐変も見られなかった。しかし、試料③、④については、主根の伸びが悪く、明らかに生育の障害が認められた。この原因として、試料③、④の pH は 4.0 前後であり、試料①、②の pH より低いことから、抽出液の pH が根の伸長に影響を及ぼしたためと考えられる。そこで、試料③、④の pH を NaOH で pH 5.6 に調整し、同様な試験を行った。表-5 にその結果を示す。発芽率は前回と同様、4 点と高かった。根の状態は試料③では葉、根の両方とも確認できるものがほとんどで、主根も pH 調整前の 2.1mm から 12.0mm まで伸長した。しか

し、試料①、②や対照区に比べて根の長さは約 1/2 程度にとどまり、pH 以外の何らかの障害要因があるものと推察された。試料④については、前回と同様、主根が短く、改善されなかった。柯等は培養日数の異なる甘藷焼酎粕（原液）添加土壌中にコマツナ種子を播種し、72 時間経過後の茎、根の長さを測定している。その結果、培養日数の短い土壌（培養 0～3 日）では、生育が障害されることを確認し、その原因が甘藷焼酎粕に含まれるエタノール、有機酸（酪酸）であることを明らかにしている。また、灘嶋等是有機酸による水稻、小麦の種子根長に及ぼす障害作用について調査し、酪酸、吉草酸、カプロン酸、カプリン酸により根の伸長が障害され、その強さは低級脂肪酸(VFA)の中では炭素数の増加につれて増大することを明らかにしている。そこで、試料①～④に含まれる有機酸(VFA)及びエタノールを定量した。表-6 にその結果を示す。試料①、②については有機酸及びエタノールは検出されなかった。試料③については、酢酸、酪酸がそれぞれ 760.8mg/100g 乾物、49.1mg/100g 乾物検出された。試料④については試料③の有機酸に加えてカプロン酸及びエタノールが検出された。これらのことから、試料③の甘藷焼酎粕乾燥固形物における発芽障害要因としてはその中に含まれる酪酸が影響していると考えられる。また、試料④の甘藷焼酎粕（原液）には焼酎粕を固液分離して得られる焼酎粕乾燥固形物よりも酪酸が多く含まれること、カプロン酸、エタノールをも含有すること等から、これらの有害物質（VFA、エタノール）が相乗的に働き、根の伸長が強く抑制されたと考えられる。焼酎粕乾燥固形物を栄養材とした菌床には、低級脂肪酸以外にもクエン酸、コハク酸、リンゴ酸等の有機酸が含まれていたが、エリンギ栽培終了後の菌床（廃菌床）である試料①からは全く検出されなかった。このことから、焼酎粕乾燥固形物に含まれていた有機酸類は全て菌糸の生長及び子実体形成中に利用・分解されたと考えられる。

3.2 栽培試験：表-7 に栽培終了時におけるコマツナの生育結果と乾燥重量、窒素吸収量を示す。草丈、最大葉幅、最大葉長は、化学肥料区（試験区⑤）が最も生育が良く、ついで試験区①、試験区②の順であった。乾燥重量は化学肥料区＞廃菌床（焼酎粕）区＞甘藷焼酎粕乾燥固形物区、無肥料区＞廃菌床（BL）区＞焼酎粕（原液）区の順に有意差が認められた。焼酎粕を用いた試験区①、③、④と試験区⑥（無肥料区）を比較すると、甘藷焼酎粕原液を混合した試験区④の乾燥重量は、試験区⑥の 0.3 倍であったが、試験区①、③については、それぞれ 1.3、1.0 倍であった。窒素吸収量についても同様な傾向を示した。以上のことから、焼酎粕廃菌床は土壌に混合後、直ぐに作物栽培に利用することが可能であると考えられる。また、焼酎粕廃菌床の方が焼酎粕乾燥固形物を直接肥料として利用するよりも作物の乾物重量、窒素吸収量が高かった。これは、1) 焼酎粕廃菌床の方が根の伸長が良いため、2) 焼酎粕廃菌床に含まれる焼酎粕由来の有機態窒素が白色腐朽菌により分解され、無機化され易くなっていたためと考えられる。

4. おわりに

本研究では、焼酎粕廃菌床を直接土壌に還元することが可能であるか、また、焼酎粕廃菌床が焼酎粕原液、焼酎粕乾燥固形物と比較して作物に対して効果的であるかを調査するためにコマツナの発芽試験及び栽培試験を実施した。その結果、直接、土壌に焼酎粕原液や焼酎粕乾燥固形物を混和し、作物を栽培した場合、特に焼酎粕原液ではエタノールや酪酸、カプロン酸等の有機酸類の影響で作物の生長が障害されるため、焼酎粕原液はこれらの物質が土壌微生物により分解されるまでは作物栽培へ利用することは難しいと考えられた。しかし、焼酎粕廃菌床の場合、これらの物質が全て菌糸の生長及び子実体形成に利用されるため、作物への影響は無く、土壌混合後、直ぐに作物栽培に利用できることが明らかになった。

表-4 発芽率、葉・根・細根の状態観察結果

試料番号	試料名	発芽率 (%)	根の長さ (mm)	発芽評価	外観評価 (点)	総合評価
①	廃菌床（焼酎粕）	103.7	28.6±2.2	5	3.8	8.8
②	廃菌床（BL）	102.9	29.3±2.7	5	4.0	9.0
③	甘藷焼酎粕乾燥固形物	93.4	2.1±0.6	4	2.9	6.9
④	焼酎粕原液	93.9	0.7±0.1	4	2.8	6.8
—	対照区（蒸留水）	—	20.4±1.3	—	—	—

表-5 発芽率、葉・根・細根の状態観察結果 (pH5.6)

試料番号	試料名	発芽率 (%)	根の長さ (mm)	発芽評価	外観評価 (点)	総合評価
③	甘藷焼酎粕乾燥固形物	99.3	12.0±3.6	4	4.0	8.0
④	焼酎粕原液	85.0	1.1±0.1	4	2.7	6.7
—	対照区（蒸留水）	—	21.9±1.9	—	—	—

表-6 各試験区に含まれる有機酸(VFA)及びエタノールの定量結果

試料番号	試料名	Acetate	Propionate	n-Butyrate	Caproic acid	Ethanol
①	廃菌床（焼酎粕）	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
②	廃菌床 (BL)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
③	甘藷焼酎粕乾燥固形物	760.8	N. D.	49.1	N. D.	N. D.
④	甘藷焼酎粕原液	4667	403	325	884	2000

注) ①～③：(mg/100g乾物)、④：(mg/L)

表-7 コマツナの生育結果と乾燥重量、窒素吸収量

試験区	草丈	最大葉幅	最大葉長	乾燥重量	窒素吸収量
	(cm)			(g pot ⁻¹)	(mg pot ⁻¹)
廃菌床（焼酎粕）	20.8±2.3	6.4±0.5	12.3±1.4	1.79 ^b	72.94 ^b
廃菌床 (BL)	15.2±1.0	5.2±0.8	9.6±0.6	1.10 ^d	36.87 ^d
甘藷焼酎粕乾燥固形物	20.2±0.8	5.9±0.5	11.8±1.3	1.44 ^c	58.51 ^c
甘藷焼酎粕原液	13.5±0.9	4.3±0.5	8.7±0.8	0.45 ^e	19.04 ^e
化学肥料	27.0±1.0	9.1±1.0	18.5±2.2	2.60 ^a	182.28 ^a
無肥料	15.1±1.0	5.0±0.4	7.9±1.5	1.40 ^c	38.56 ^d

*異なる英小文字の記号は、5%水準で有意差あり。n=3。(Fisher's PLSD検定)