

第6章 廃培地の家畜飼料としての有効利用化技術の検討

6-1 はじめに

廃培地の飼料化については、家畜の嗜好性、品質、栄養価及び保存性が課題としてあげられるため、これらを考慮した利用方法の検討が必要となる。廃培地は水分が55-60%と高く、乾燥飼料として利用するには、コストがかかると考えられるため、サイレージ（発酵飼料）化が適している。また、廃培地単体でのサイレージでは、発酵品質のバラツキ、栄養価や採食性の偏りが予想されるため、濃厚飼料や粗飼料等と混合し発酵させた発酵TMR（Total Mixed Ration）飼料の調製利用が最適である。そこで本研究では、でんぷん粕を用いた廃培地の成分分析を行い、従来の廃培地と比較し、飼料特性を把握する。さらに、これらの分析結果を基に、発酵TMR飼料を調製、飼料成分の調査及び家畜を用いた消化・採食試験を実施し、飼料調製及び給与技術の確立を目的とした。次に廃菌床を利用拡大するために、利用者が細断型ロールベア等を保有し発酵TMR飼料の調製利用が可能な農家に限定されるため、廃菌床単体（生）での利用についても検討する必要があると考えられるため、その貯蔵性の確認と生での給与技術の確立について、単体での貯蔵性試験及び家畜を用いた採食試験を実施し、廃菌床の調製及び給与技術について検討する。

6-2 実験方法

飼料特性把握のため、各種培地及び廃培地を 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（Retsch 社、SM100）と微粉碎器（Retsch 社、ZM100）で 0.5mm のメッシュを通過するよう粉碎し、分析に供した（図 6-1 参照）。

水分、粗蛋白質（CP）、粗脂肪（EE）、粗灰分（CA）は、一般成分分析法¹⁾で、酸性デタージェント繊維（ADF）、中性デタージェント繊維（NDF）はデタージェント分析法¹⁾で、無機成分（カルシウム、リン、マグネシウム、カリウム）については、粉碎試料を硝酸・過塩素酸分解法により湿式灰化後、リンについては分光光度計で、それ以外は原子吸光光度計により測定した¹⁾。

また、その分析結果をもとに廃培地を 0、5、10%混合した発酵 TMR 飼料を作成し、同様に分析に供した。

次に、各廃培地及び発酵 TMR 飼料を 100g ずつ真空保存袋に詰め、小規模発酵試験法²⁾により調製し、分析に供した。調製直後 TMR 飼料と貯蔵期間中及び開封後の飼料から分析用抽出液を調製³⁾し、pH をガラス電極法³⁾（サーモエレクトロン（株）、OrionR3-Star デスクトップ型 pH/ORP 計）で、揮発性塩基態窒素（VBN）を水蒸気蒸留法¹⁾（FOSS 社、Kjeltec2400）で、乳酸は内部標準物質にチグリニン酸を用いて高速液体クロマトグラフ法⁴⁾（島津製作所、SPD10Avp）で測定した。

また、家畜による消化性・採食性把握のため、細断型ロールベアラ（（株）タカキタ、MR810）で調製した発酵 TMR を給与し調査した（図 6-1、図 6-2、図 6-5、図 6-6、図 6-7 参照）。消化性については、サフォーク種雄緬羊と乳用牛を用い、全糞採取法¹⁾による消化

試験を実施した。採食性については、緬羊では採食開始から 30 分間の乾物摂取量を測定する方法で、乳用牛では消化試験の間の摂取量を測定する方法で検討を行った。

また、廃菌床単体（生）での貯蔵性を確認するため、廃培地をドラム缶（120 L、容積重 489kg/m³）に好氣的条件下で貯蔵（図 6-3）し、21 日間、一定量（約 5 kg）を表面から取り出し、分析に供した。調製直後 TMR 飼料と貯蔵期間中及び開封後の飼料から分析用抽出液を調製¹⁾し、pH をガラス電極法³⁾（サーモエレクトロン（株）、OrionR3-Star デスクトップ型 pH/ORP 計）で、揮発性塩基態窒素（VBN）を水蒸気蒸留法¹⁾（FOSS 社、Kjeltec2400）で、乳酸は内部標準物質にチグリン酸を用いて高速液体クロマトグラフ法⁴⁾（島津製作所、SPD10Avp）により測定した。

次に、廃菌床の安全性試験を財団法人畜産生物科学安全研究所に委託した。試験は鶏ひなを用い、「飼料の安全性評価基準 鶏ひなの成長試験」に伴って実施した。鶏ひなを対照群（廃菌床無添加）、廃菌床フレッシュ品 4%添加群、廃菌床フレッシュ品 20%添加群、廃菌床 10 日品 4%添加群、廃菌床 10 日品 20%添加群の 5 群に分け、一般状態の観察（食欲、糞便性状、羽毛の状態及び活力）及び体重、増体重、飼料摂取量、飼料要求率について、測定又は算出した。

また、消化性については、サフォーク種雄緬羊と乳用牛を用い、全糞採取法¹⁾による消化試験を実施した。採食性については、緬羊では採食開始から 30 分間の乾物摂取量を測定する方法で乳牛では、9 時と 15 時 30 分の 2 回に分けて給与し、ミネラル、ビタミンは添加給与とし、残飼量が出るように給与量を調整する飽食給与とした。（図 6-4、図 6-5、図 6-6 参照）

併せて、廃培地を家畜飼料として利用することによる経済性評価を、試験結果から算出した飼料費をもとに乳牛での標準的なモデルでの経済性について検証を実施した。コスト試算の際に用いた飼料価格は、試験時の価格を用いた。



図 6-1 発酵 TMR 飼料の混合調整状況



図 6-2 発酵 TMR 飼料の梱包・ラッピング状況



図 6-3 ドラム缶に貯蔵した廃菌床（生）



図 6-4 TMR 飼料に使用した原材料
(A)イタリアン S、(B)トウモロコシ S、(C)きのこ廃菌床



図 6-5 TMR 飼料の調整状況



図 6-6 TMR 給与・採食試験の状況



図 6-7 消化試験実施状況

6-3 結果と考察

表 6-1 に廃培地及び廃培地発酵 TMR 飼料の飼料成分組成を示した。

でんぷん粕廃培地は、粗蛋白質が乾物中 16%と高く、フスマと同程度の数値を示した。また、繊維成分である ADF、NDF 及び Ob は、他の廃培地より低く、Oa は高いことが明らかとなった。この結果から、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。また、カリウムについても、乾物中 0.95%程度とイタリアンサイレージ (3.86%)⁵⁾やフスマ (1.34%)⁵⁾より低く、低カリウム飼料として利用できる可能性が示唆された。

廃培地発酵 TMR 飼料については、いずれも粗蛋白質が乾物中 15%、繊維成分である ADF、NDF はそれぞれ、乾物中 31%、55%程度であった。NDF、OCW、Oa、Ob は、廃培地の混合割合が増えるにつれて、低下する傾向にあった。また、カリウムについても、

廃培地混合区で低下する傾向にあった。

表 6-1 廃培地サイレージ及び廃培地発酵 TMR 飼料の飼料成分組成

サンプル名	乾物中%												
	Mois	CP	EE	CA	ADF	NDF	OCW	Oa	Ob	Ca	P	Mg	K
標準培地	82.0	3.1	1.3	4.2	45.7	71.2	65.7	3.8	61.9	0.65	0.09	0.07	0.00
焼酎粕培地	82.4	12.9	2.8	5.9	47.6	71.7	68.5	10.9	57.5	1.26	0.18	0.09	1.10
でんぶん粕培地	82.6	13.3	2.5	8.3	36.9	42.7	45.1	21.3	23.8	2.52	0.18	0.11	1.09
標準廃培地	58.0	2.8	1.0	4.5	51.5	81.8	79.2	2.9	76.3	0.94	0.07	0.09	0.00
焼酎粕廃培地	57.8	13.4	1.6	6.0	52.2	74.4	71.4	2.7	68.7	1.34	0.14	0.10	0.63
でんぶん粕廃培地	53.5	16.3	1.6	11.1	35.4	40.1	39.7	12.2	27.5	3.63	0.16	0.12	0.95
でんぶん粕廃培地0%TMR	55.2	14.3	3.4	12.8	31.8	57.4	57.3	13.7	43.6	0.86	0.31	0.19	4.05
でんぶん粕廃培地5%TMR	56.6	15.0	3.6	13.7	31.1	57.1	54.5	11.0	43.5	1.03	0.30	0.19	3.90
でんぶん粕廃培地10%TMR	58.9	15.3		14.6	31.1	55.3	51.8	10.2	41.6	1.24	0.29	0.19	3.91
焼酎粕	94.5	23.6	9.1	7.3	—	—	—	—	—	0.45	0.37	—	2.75
でんぶん粕	90.6	2.1	1.1	3.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
イタリアンサイレージ・播草・出穂期	87.1	12.5	4.6	10.6	36.2	61.1	—	—	—	0.47	0.35	0.15	3.86
トウモロコシサイレージ・黄熟期・西日本	72.4	8.0	2.9	5.8	29.0	47.5	—	—	—	0.23	0.25	0.14	1.71
アルファルファヘイキューブ	11.0	17.5	1.8	12.3	34.5	43.8	—	—	—	1.33	0.29	0.30	2.52
フスマ	11.3	17.7	4.5	5.8	14.2	38.8	—	—	—	0.13	1.10	0.50	1.34

Mois: 水分, CP: 粗蛋白質, EE: 粗脂肪, CA: 粗灰分, ADF: 酸性デタージェント繊維, NDF: 中性デタージェント繊維

OCW: 総繊維, Oa: 高消化性繊維, Ob: 低消化性繊維, Ca: カルシウム, P: リン, Mg: マグネシウム, K: カリウム

二重線下段は、日本標準飼料成分表(2001年版)より抜粋。ただし、焼酎粕Ca, P, K値は当場分析値。

トウモロコシサイレージCa, P, Mg, K値は、成熟期・全国の数値。

表 6-2 廃培地の発酵品質

	貯蔵 日数	pH	新鮮物中%							V-Score	
			水分	VBN/TN	乳酸	酢酸	プロピオン酸	酪酸	吉草酸	点数	評価
標準廃培地	30	4.82	56.6	4.5	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	98	良
焼酎粕廃培地	30	4.73	57.0	1.5	0.07	0.00	0.08	0.11	0.00	91	良
でんぶん粕廃培地	30	4.71	54.0	1.6	0.18	0.00	0.12	0.11	0.00	92	良
でんぶん粕廃培地0%TMR	30	4.69	54.3	12.1	1.73	2.11	0.89	0.07	0.00	66	可
でんぶん粕廃培地5%TMR	30	4.58	55.1	13.8	2.32	2.50	1.31	0.09	0.00	63	可
でんぶん粕廃培地10%TMR	30	4.35	56.8	11.9	2.82	2.17	1.28	0.11	0.00	64	可
標準廃培地	60	4.83	57.6	0.4	0.00	0.00	0.05	0.04	0.00	97	良
焼酎粕廃培地	60	4.93	58.0	1.7	0.10	0.04	0.12	0.17	0.00	88	良
でんぶん粕廃培地	60	4.72	54.6	1.3	0.22	0.00	0.14	0.13	0.00	90	良
でんぶん粕廃培地0%TMR	60	4.60	52.2	11.6	1.66	2.70	1.22	0.03	0.01	71	可
でんぶん粕廃培地5%TMR	60	4.42	53.2	12.3	2.14	2.39	1.30	0.03	0.02	67	可
でんぶん粕廃培地10%TMR	60	4.17	55.7	11.2	2.50	2.05	1.33	0.05	0.04	69	可
標準廃培地	90	4.77	58.0	0.0	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00	100	良
焼酎粕廃培地	90	4.60	57.4	1.0	0.10	0.44	0.14	0.10	0.00	89	良
でんぶん粕廃培地	90	4.62	51.0	0.8	0.27	0.00	0.27	0.12	0.00	90	良
でんぶん粕廃培地0%TMR	90	4.86	53.5	11.8	1.43	2.85	1.25	0.05	0.01	66	可
でんぶん粕廃培地5%TMR	90	4.42	55.6	12.0	2.17	2.47	1.28	0.06	0.01	67	可
でんぶん粕廃培地10%TMR	90	4.26	56.2	10.3	2.35	2.20	1.25	0.08	0.01	72	可
評価基準	pH	良:4.2以下 普通:4.2~4.5 劣:4.6以上									
	乳酸	1.5~2.5%									
	酪酸	優:0.1%以下 良:0.1~0.2% 普通:0.3~0.4% 劣:0.4%以上									
	VBN/TN	優:12.5%以下 良:12.5~15% 中:15.1~17.5% 不良:17.6~20.0%以上 極度に不良:21.0%以上									
	V-score	良:80点以上 可:60~80点 不可:60点未満									

VBN/TN:全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合

表 6-2 に貯蔵 30 日から 90 日目の発酵 TMR 飼料の発酵品質を示した。

いずれの廃培地においても、pH は 4.20 を超えており、乳酸含量も低かった。しかし、サイレージの劣化を示す酪酸含量、VBN/TN は低く、吉草酸も検出されなかった。また V-Score による評価は、全て良であった。これらの結果から、貯蔵 90 日目の時点では、廃培地の劣化はないことが明らかとなった。

廃培地発酵 TMR 飼料については、廃培地の混合割合が増えるにつれて、pH の低下、乳酸含量の増加がみられた。V-Score による評価はいずれも可で、貯蔵 90 日目における廃培地発酵 TMR 飼料の劣化はないことが明らかとなった。今後も、経時的に発酵品質を調査し、長期貯蔵が可能であるか検討する。

表 6-3 に廃培地発酵 TMR 飼料の消化率、TDN 含量及び乾物摂取量を示した。

廃培地発酵 TMR 飼料の消化性は、10%区で粗蛋白質（CP）消化率が低下するものの、繊維成分である、ADF、NDF、OCW、Oa、Ob は、いずれの区もほぼ同程度であった。TDN 含量は、0%区と 5%区で差はなかった。綿羊における代謝体重当りの乾物摂取量は、廃培地の混合割合が増えるにつれて増加しており、廃培地発酵 TMR 飼料の嗜好性は良いと考えられた。

表 6-3 綿羊による消化率、TDN 含量及び乾物摂取量

	消化率%								代謝体重当り 乾物摂取量 g/30min
	乾物	CP	ADF	NDF	OM	OCW	Oa	Ob	
でんぷん粕廃培地0%TMR	59.8	63.2	59.0	61.9	62.6	54.8	85.6	45.1	18.8
でんぷん粕廃培地5%TMR	59.2	62.2	59.1	63.3	62.2	53.5	79.9	46.9	22.2
でんぷん粕廃培地10%TMR	58.4	57.5	59.3	63.6	61.7	53.0	80.4	46.3	23.1

OCW:細胞壁物質(総繊維), Oa:高消化性繊維, Ob:低消化性繊維, OM:有機物。

表 6-4 に乳牛での給与試験の結果を示す。

でんぷん粕廃培地 5～10%混合した発酵 TMR 飼料を、乳牛に給与した結果、嗜好性に問題はなく、粗飼料と濃厚飼料の代替として利用できることが分かった。

表 6-4 乳牛による消化率及び乾物摂取量

	乾物 摂取量	消化率% 乾物
でんぷん粕廃培地0%TMR	16.2	63.6
でんぷん粕廃培地5%TMR	15.8	61.6
でんぷん粕廃培地10%TMR	15.8	63.5

次に廃菌床を利用拡大するために行った、廃菌床単体（生）での利用についても検討の結果を述べる。

表 6-5 に貯蔵 0 日から 21 日目の廃培地の経時的変化について示した。廃培地は期間を通じて pH に変化はなく、変敗の指標となる VBN は検出されなかった。しかし、官能評価では、8 日目で甘味・芳香臭がなくなり、11 日からカビ臭が発生、その後は 14 日目に白カビの発生が確認された。これらの結果から、貯蔵 7 日間程度は廃培地に官能的变化がないことが確認された。

表 6-5 焼酎粕・でんぷん粕廃培地の経時的品質の変化

貯蔵 日数	pH	新鮮物中%							官能的评价	
		水分	VBN/TN	乳酸	酢酸	フロピオン酸	酪酸	吉草酸	臭い	カビの発生
0	4.82	60.8	0.0	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	甘味・芳香臭	なし
8	4.87	61.8	0.0	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	甘味・芳香臭なし	〃
14	4.81	62.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	〃	カビ発生(極薄)
21	4.76	62.3	0.0	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	カビ臭強	〃
評価基準	pH	良:4.2以下 普通:4.2～4.5 劣:4.6以上								
	乳酸	1.5～2.5%								
	酪酸	優:0.1%以下 良:0.1～0.2% 普通:0.3～0.4% 劣:0.4%以上								
	VBN/TN	優:12.5%以下 良:12.5～15% 中:15.1～17.5% 不良:17.6～20.0%以上 極度に不良:21.0%以上								

※貯蔵日数間のpH、水分、有機酸に有意差なし(p<0.05)

※VBN/TN:全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合



図 6-5 ドラム缶貯蔵時（14 日目）に発生したカビ

鶏ひなの成長試験の結果、どの廃菌床添加群も、一般状態に異常は認められなかった。4%添加群では体重、増体重、飼料摂取量、飼料要求率のいずれも対照群との間に有意差は認められなかった。20%添加群では、飼料摂取量の高値及び飼料要求率の高値が認められたが、廃菌床添加飼料の代謝エネルギー量が基礎飼料に比べ低かったことが原因で、廃菌床の有害性を示す変化ではないと考えられた。以上の結果から、廃菌床の安全性に問題はないものと考えられた。

次に乳用牛を用いでんぷん粕培地、でんぷん粕廃培地を 10%混合した TMR 飼料を、乳牛に給与した飼養成績を表 6-6 に、ルーメン pH 及び血液性状を表 6-7 に示す。

でんぷん粕廃培地 TMR 飼料の乾物摂取量、乳量・乳脂肪は、でんぷん粕培地 TMR より有意差が見られた。乳量及び乾物摂取量は廃培地 TMR 飼料が有意に低かった。乳脂肪についてはでんぷん粕廃培地が有意に低かったものの、ルーメン pH には有意差は無く正常範囲にあり、平均値も 5.00 で問題となる数値ではなかった。血液性状については、BUN で試験区 11.8mg/dl に対し対照区 8.8mg/dl と試験区のほうが高く差が認められたが、両区とも正常範囲内であり、廃培地の給与が原因と考えられる変化は認められなかった。

以上のことより、鶏ひなでは採食性に問題はなかったものの、乳牛では廃培地の直接給与は乾物摂取量が低下し、その結果乳量が低下することがわかった。これにより畜種による採食性の違いがあると思われる。

きのこの栽培期間において、臭気成分であるアルデヒド等が増大傾向を示すが、乳牛での試験では、でんぷん粕廃培地 TMR 飼料への切り替えの際に、臭いを気にする牛もあり、嗜好性へ影響したのではないかと推測された。家畜の嗅覚と採食性に関する知見は極めて少ないが、緬羊での試験で酪酸とグルタミン酸が嗜好性を向上させるという報告⁵⁾もあることから、今後検証が必要であると思われる。

表 6-6 飼養成績

項目	でんぷん粕培地	でんぷん粕廃培地	有意差
乾物摂取量(kg/日)	17.8	16.1	*
乳量(kg/日)	20.1	17.5	*
乳成分率(%)			
乳脂肪	4.86	5.01	*
無脂固形	8.98	8.98	ns

ns: 有意差なし *: P<0.05 +: P<0.1

表 6-7 ルーメン PH 及び血液性状

項目	でんぷん粕培地	でんぷん粕廃培地	有意差
ルーメンPH	6.58	6.63	ns
ASTJ(IU/L)	60	56.2	ns
BUN(mg/dl)	9.7	8.4	*
GLU(mg/dl)	76.8	77.2	ns
TCHO(mg/dl)	154.5	150.2	+
Ca(mg/dl)	10.3	10.1	ns

ns:有意差なし * :P<0.05 + :P<0.1

表 6-5 乾乳牛 1 頭あたりの飼料費

飼料	(単位:円)		
	対照区	5%区	10%区
トウモロコシS	272.4	272.4	272.4
イタリアンS	155.7	139.8	132.8
きのこ廃菌床		1.3	2.7
ルーサンペレット	14.9	7.2	
ビートパルプ	20.5	20.5	20.5
一般ふすま	16.2	16.2	16.2
大豆粕	14.9	14.9	11.0
合計(円/日・頭)	494.5	472.3	455.5
		▲ 22	▲ 39

* 単価については、H21年12月現在の価格

表 6-5 に試験結果から算出した乾乳牛 1 頭あたりの飼料費 (円/日) を示した。

きのこ廃培地を利用しない対照区では、494.5 円/日であり、きのこ廃培地を濃厚飼料・粗飼料の代替として利用した 5%区、10%区ではそれぞれ、472.3 円/日、455.5 円/日となった。次に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。このことから、きのこ廃培地を濃厚飼料・粗飼料の代替として活用すると飼料費を削減することが可能であり、収益性の改善が図られる。

6-4 おわりに

廃培地の飼料特性を把握後、発酵 TMR を調製し、緬羊・乳用牛で消化・採食試験を実施した後、廃培地の貯蔵性の把握と、乳用牛で採食試験を実施し実施した。最後に、廃培地を飼料原料として利用することによる経済性について試算し、以下の知見が得られた。

1) 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。

- 2) 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。
- 3) 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い。
- 4) 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。
- 5) 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
- 6) 直接給与では、乳用牛では嗜好性が劣る。
- 7) 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。

参考文献

- 1) 自給飼料品質評価研究会編：三訂版粗飼料の品質評価ガイドブック，(社)日本草地畜産種子協会，pp.65-67，pp.68（2009）．
- 2) 田中治，大桃定洋：プラスチックフィルムを用いた小規模サイレージ発酵試験法（パウチ法）の開発，日草誌，Vol.41，No.1：pp.55-59（1995）．
- 3) 日本草地学会編：草地科学実験・調査法，全国農村教育協会，p.281（2004）．
- 4) 加藤勲，吉沢貞男，浜口健治，安藤功一：高速液体クロマトグラフィーによるコーンサイレージ中の有機酸定量法，日畜会報 Vol.53，No.9，pp.642-644（1982）．
- 5) (独)農業技術研究機構編：日本標準飼料成分表（2001年度版），(社)中央畜産会，p.72，p.134，p.138，p.140（2002）．
- 6) 土肥宏志：草食家畜の嗜好性と化学因子，日畜会報（1996）