



日本中央競馬会
特別振興資金助成事業

ISSN 1344-1744

畜産環境技術研究所年報

第4号
(平成12年度)



財団法人 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所

ま え が き

わが国の畜産が将来に亘って持続的に発展するためには、生産性の向上や高品質畜産物の生産と併せて、家畜ふん尿の適切な処理・利用を図ることにより、畜産に起因する悪臭、水質汚染等の防止に的確に対応することがきわめて重要な課題となっております。

このような情勢を踏まえ、畜産環境整備機構は、財団法人全国競馬・畜産振興会の助成を受けて、平成7年度から「畜産環境保全経営技術開発普及促進事業」を実施し、本事業の一環として平成8年7月には畜産環境保全問題に的確に対処するため、福島県西郷村の農林水産省家畜改良センター（現：独立行政法人家畜改良センター）用地を借用し、同敷地内に畜産環境技術研究所を設立して、研究開発活動を開始致しました。

また、平成12年度から5年間の予定で、新たに「簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業」が開始されました。

研究所では、畜産環境問題に関する諸課題について体系的に整理し、毎年度その研究成果と進捗状況についてとりまとめ、広く関係者の皆様のご意見をいただくこととして、畜産環境技術研究所年報を発刊致しております。本年報は研究成果等、平成12年度の活動状況をとりとまとめたもので、当研究所の姿を垣間見ていただくとともに、環境と調和した畜産推進の一助となれば幸甚に存じます。

畜産環境問題を巡る情勢につきましては、ご案内のとおり平成11年7月に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」等、いわゆる環境三法が成立し、家畜排せつ物の素掘り、野積の解消等が喫緊の課題とされ、これら諸問題解決のため、低コストな家畜排せつ物の処理技術開発等、畜産環境問題に関する試験研究はますます重要になるものと考えられます。

当機構並びに研究所と致しましてもこれらの負託に応えるべく、より一層の努力を重ねて皆様のご期待に応える所存でありますので、関係各位の更なるご指導、ご鞭撻をよろしくお願い致します。

平成13年7月

財団法人 畜産環境整備機構
理事長 岩崎 充利

目 次

I. 総務関係

1. 研究所設立の経緯と沿革 1
2. 組織図 3
3. 施設および主要機械器具
 - 1) 建 物 5
 - 2) 主要機械器具 6

II. 研究活動

1. 研究活動の概要11
2. 平成12年度事業報告19
3. 主な研究成果23
 - 1) 肉豚へのアミノ酸添加低タンパク質飼料の給与による尿量、窒素排泄量
およびアンモニア発生量の低減効果23
 - 2) 養豚飼料へのリンゴジュース粕添加による尿中窒素排泄量の低減31
 - 3) 豚の排糞量推定のための指標物質としてのセライト添加酸不溶性灰分の評価37
 - 4) 豚舎污水处理施設から排出される処理水の色度に影響を及ぼす細菌の検索44
 - 5) 微生物相による畜舎污水浄化機能の簡易評価法の開発49
 - 6) 微生物の呼吸作用を指標とする腐熟度判定技術および簡易測定装置の試作55
 - 7) 鶏ふん焼却灰のリン源としての飼料利用の鶏における実証試験61
4. 委員会・会議等の開催69
5. 職員の普及活動等71
6. 資料
 - 研究所内写真73
 - 研究所案内

I 総務関係

1. 研究所設立の経緯と沿革

畜産分野における国際化の進展および環境規制の強化が予想される中で、我が国の畜産は、生産性の向上や高品質な畜産物の生産と併せて、深刻化する畜産環境問題への対応が極めて重要な課題となっている。

こうしたことから畜産環境問題の発生要因研究から、その問題解決を図るための技術開発・普及までを包含する総合的な環境保全技術体系および地域社会とのかかわりの中で、畜産環境問題の発生の効率的な防止を図る等地域社会との調和を重視した畜産経営技術の確立が求められている。

このため、農林水産省のご指導のもとに日本中央競馬会および財団法人全国競馬・畜産振興会からの助成を受け、平成7年度から「畜産環境保全経営技術開発普及事業」を当機構が担当することとなり、平成8年7月1日から福島県西白河郡西郷村の農林水産省家畜改良センター（現：独立行政法人家畜改良センター、以下同じ）内の国有地を借地して「畜産環境技術研究所」を開設することとなった。

研究の拠点となる研究所本体の建物は、鉄筋コンクリート平屋建て延べ面積795㎡で、

平成7年11月設計、平成8年1月工事着工し、平成8年7月竣工した。

また、実験棟（家畜排泄物高度処理・加工実験施設）鉄骨平屋建て延べ面積700㎡の建物が平成10年2月設計、平成10年3月着工、平成10年7月竣工した。

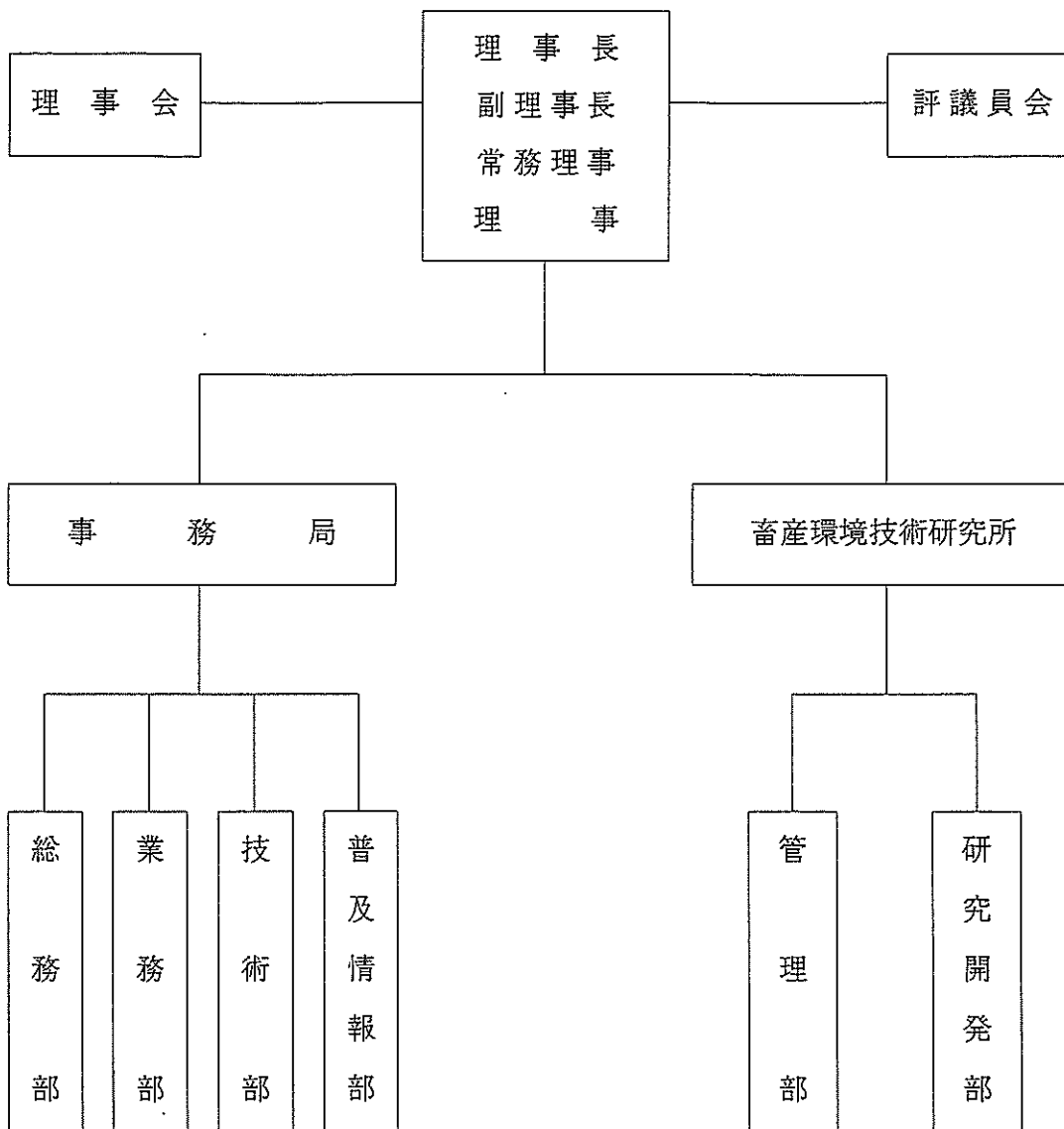
本研究事業においては、個々の畜産経営における低コストかつ安定的な家畜ふん尿処理・利用技術および環境保全のための総合的な飼養管理体系の開発に視点を置いて「畜産環境保全経営技術開発検討委員会、専門部会委員会、小委員会」での研究開発課題について検討のうえ、各年度の研究開発課題の推進に努めている。

さらに、平成12年度から5年間の予定で、新たに「簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業」が開始された。これは、簡易低コスト処理施設開発実証事業、効率的処理技術等情報システム整備事業および堆きゅう肥の品質実態調査事業からなっており、当該事業の「中央・地方検討委員会」で検討のうえ、事業の推進に努めている。

2. 組織図

組織図

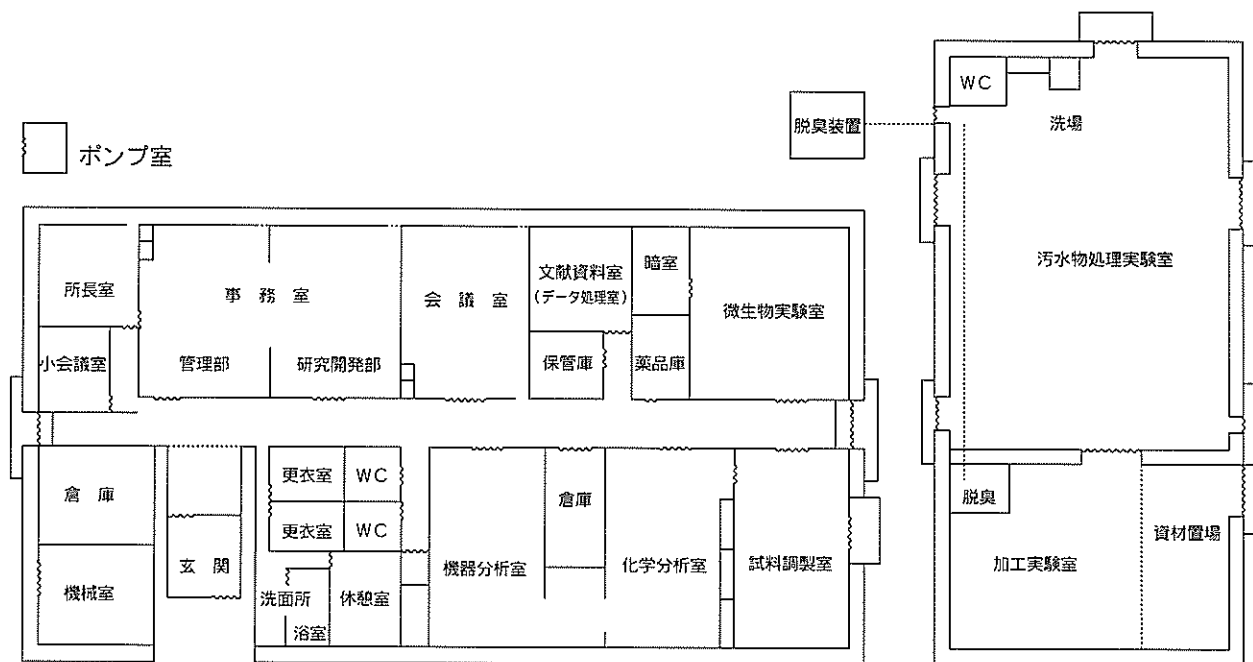
(平成13年7月1日現在)



3. 施設および主要機械器具

1) 建 物 (畜産環境保全経営技術開発部促進事業関係)

区 分	名 称	構 造
事務所建	研究所本体	鉄筋コンクリート 平屋建 794.65m ²
倉庫建	ポンプ室	鉄筋コンクリート 平屋建 10.89m ²
倉庫建	実 験 棟	鉄骨平屋建 700.00m ²



研究所建物平面図

2) 主要機械器具 (畜産環境保全経営技術開発普及促進事業関係)

配置場所	名 称	型式・メーカー	備 考
試料調製室	デジタル熱風乾燥機	池本理化RKI-18-503	
	熱 風 乾 燥 機	RKI-10-0614	
	粉 碎 器	池本理化ウイレー式 RKI-20-1133	
	粉 碎 器	ク ミル式 RKI-20-1131	
化学分析室	高速振動試料粉碎器	シー・エム・テイTI-100	
	純水製造装置	REG-40-TOC	
	高速冷却遠心機	CR-21E	
	卓上遠心機	GT5PL	
	電子化学天秤	MC-210S	
	ケルダールスタンダードセット	三田村理研 FA-20PN	
	ロータリーエバポレーター	柴田科学 R-124-AW-2	
イオン化合物低級脂肪酸捕集セット	GLサイエンス SP-203		

配置場所	名 称	型式・メーカー	備 考
機器分析室	ガスクロマトグラフィー	日立G5000A	
	N C ア ナ ラ イ ザ ー	バリオEL	
	I C P 発 光 分 析 装 置	日立P-4000	
	分 光 光 度 計	日立U-2001	
	イオンクロマトグラフ	日本ダイオネクスDX-120	
	全有機炭素自動分析装置	TORAY MOdel TOC-650	
	ガスクロマトグラフ	日立G-3900DSL-FN	
微生物 実験室	高性能光学顕微鏡	AX-80-63	
	低 温 恒 温 機	SL-P4	
	〃	SL-4	
	オ ー ト ク レ ー プ	IMC-3032L	
	ク リ ー ン ベ ン チ	CCV-1300E	
	B O D メ ー タ ー	B2001	
	振 と う 培 養 装 置	AT-12S	
	超低温フリーザー	ULT-1786	
	真空凍結乾燥機	FZ-6SF	
	乾熱滅菌乾燥機	IDK-100	
	倒立型システム顕微鏡	オリンパスIX50-11PH	
	低 温 恒 温 機	LTI-1000ED	
	嫌気性培養装置	平山製作FA-6	
	炎 光 光 度 計	東京光電 ANA135	
	デジタル温度計	ANA-148C型	
コンプリートシステム	日本バイオレット		

配置場所	名 称	型式・メーカー	備 考
実 験 棟	バイオトロン人工気象器	いすず製作所 SU-12	
	ペーパーレスレコーダー	大倉電器 VM5100A	
	〃	〃	
	クリーンコンプレッサー	井内盛栄堂 175L/min	
	堆肥保温発酵装置	早坂理工HA-30110B	
	〃	〃	
	制 御 装 置	〃	
	データ処理装置	〃	
	空気供給装置	〃	
	多板式固液分離機	日鉄鉱業 RF-230S	
	フォークリフト	コマツFB10RS-10	
	豚代謝ケージ	イワタ式2型	
	〃	〃	
	〃	〃	
	〃	〃	
	豚代謝ケージ	イワタ式3型	
〃	〃		
万能混合攪拌機	(株)東北ダルトン25AM-or型		
実 験 施 設	脱窒リアクター	共和化工 KBM-5	交流共同研究

3) 主要機械器具（簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及事業関係）

配置場所	名 称	型式・メーカー	備 考
機器分析室	高速液体クロマトグラフ	島津LC-VPシリーズ	
試料調製室	冷 蔵 庫	バイオ冷蔵庫ALS682F	
〃	〃	〃	
〃	フ リ ー ザ ー	超低温フリーザー REVCO ULT-350 87 ℓ	
〃	〃	〃	
微生物実験室	恒 温 器	PVH-221	
科学分析室	電位差自動滴定装置	DMSティトリーノ 716/1-20	

Ⅱ 研 究 活 動

1. 研究活動の概要

1) 畜産環境保全経営技術開発普及促進事業

平成12年度においても次の様な考え方に基づいて研究に取り組んだ。

(1) 技術開発の考え方

わが国の畜産は、国際化の一層の進展および環境規制の強化が予想される中で、生産性の向上や高品質農畜産物の生産と併せて、地球環境に調和した安定的な畜産経営を育成することが喫緊の課題となっている。

このため、家畜の生産から出荷に至る生産過程で発生する環境問題を精査・解明し、適切な環境保全管理を行う必要がある。

本研究事業においては、個々の畜産経営における低コストかつ安定的な家畜ふん尿処理・利用技術および環境保全のための総合的な飼養管理体系の開発に視点を置くこととする。なお、研究開発の効率的推進の観点から、脱臭資材等を活用した悪臭防止技術、リン、窒素等環境負荷物質の回収技術および堆きゅう肥の利用促進を図るための品質判定技術、高付加価値化技術の開発については重点的に取り組むこととする。

(2) 研究内容

I 悪臭防止技術の開発

1. 臭気発生機構の解明と防臭効果判定手法の開発

- ①臭気発生機構の解明
- ②悪臭軽減効果判定手法の開発

2. 悪臭防除資材の探索・評価・改良

①悪臭防除資材の評価と効率的利用技術の開発

②脱臭微生物の分離・改良

II 高濃度畜舎污水の低コスト処理・利用技術の開発

1. 微生物および膜の組み合わせ利用による高濃度成分の除去技術の開発(共同研究)

2. 人工湿地法による畜舎污水の低コスト処理システムの開発

3. 栄養塩類等回収物質の有効利用技術の開発

4. 動物生産污水の処理に関する微生物学的研究(委託)

III 堆きゅう肥の品質向上技術の開発

1. 堆きゅう肥の品質評価基準の策定

2. 堆きゅう肥の高付加価値化技術の開発

3. 馬房敷料を活用した土壌改良資材の実用化(委託)

4. 抗生物質等投与家畜生産堆きゅう肥中の

抗生物質等の消長ならびに植物への影響(委託)

IV 環境保全技術体系の開発

1. 施設・機器の経営・技術的評価

①家畜ふん尿処理機械の基本性能等調査(委託)

2. 家畜ふん尿の低コスト処理・利用技術の体系化

①畜産ふん尿の吸着率を高める木質系敷料の改良と木酢液による脱臭技術

- の開発(委託)
- ②家畜ふん尿の処理利用技術の実態解析
 - ③家畜ふん尿等の低コスト処理技術体系化
3. 総合的畜産環境保全技術体系の開発
- ①畜産農業が有する外部経済効果の評価(委託)
 - ②「HACCP」の概念を活用した環境保全型畜産技術体系の開発
- (3) 研究実施期間 平成7～平成14年度
- (4) 期待される成果
- ①悪臭成分の分解・脱臭を促進するための基幹的要因が解明され、脱臭資材による効率的な悪臭除去技術が確立される。
 - ②家畜排泄物に起因する窒素、リンなどの過度な環境負荷物質が除去され、また、回収物は肥料資源として有効に利用される。
 - ③堆きゅう肥の品質向上と安定化により流通が促進され、地力の維持・改善が図られ、農産物の持続安定生産が可能となる。
 - ④家畜排泄物などの処理・利用技術の体系化が進められ、良質畜産物の基盤となる総合的な畜産環境保全指針が策定される。
- (5) 平成12年度の研究計画
- 前年度からの継続課題を実施するとと

もに、下記の課題について重点的に取り組む。

- ①臭気発生機構の解明
- ②堆きゅう肥の高付加価値化技術の開発

2) 簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及事業

(1) 技術開発の考え方

平成11年7月22日に、畜産環境問題の解決を図り、今後のわが国畜産の健全な発展に資することを目的として、「家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律」が成立し、また、肥料取締法の一部改正により、堆肥の品質表示制度が導入された。

これに伴い、今後5年間実施される野積み、素掘り等の家畜排せつ物の不適切な管理の解消と有効利用の促進に対応するため、家畜排せつ物処理施設の計画的かつ着実な整備とともに、その適切な堆肥化処理・利用等に係る畜産環境保全技術の普及定着が強く求められている。

しかし、家畜排せつ物処理は生産性の向上等に直接結びつくものではないことから、畜産農家においては、より低コストな処理施設の整備や効率的な処理・利用技術に対する要望が極めて強い。これらのことから畜産現場の実態や農家の経営状況を踏まえた簡易で低コストの処理施設の開発・普及や技術指導、さらには堆肥の品質確保が急務となっている。

このため、本事業では、都道府県の協力を得ながら、簡易で低コストな家畜排せつ

物処理施設や家畜排せつ物処理・利用方法について情報を収集・活用しつつ、その開発・実証等を行い、また収集した情報の提供システムを構築する。あわせて、全国の堆肥の品質を調査・分析する。

(2) 事業内容

①簡易低コスト処理施設開発・実証

- ・農家のニーズに対応しつつ、地域の特性を踏まえた簡易で低コストな処理施設の開発、実証を行う

②効率的処理技術等情報システムの整備

- ・家畜排せつ物処理、利用の優良事例等の情報収集、分析提供
- ・情報提供システムの整備

③堆肥の品質実態調査

- ・堆肥の抗生物質、病原性微生物等含有について全国的な実態調査、分析

(3) 実施期間 平成12～16年度

(4) 期待される成果

- ①農家のニーズに対応し、地域の特性を踏まえた簡易・低コスト処理施設が開発、実証される。
- ②全国の家畜排せつ物処理、利用の優良事例等がデータベース化され、提供される。
- ③堆肥の品質表示に係る成分、抗生物質、病原性微生物等含有について全国的な実態が明らかになる。

(5) 平成12年度の事業計画

①簡易低コスト処理施設開発・実証

研究所としては熊本県菊池郡旭志村の酪農家に堆肥脱臭装置付の低コスト強制通気式堆肥舎を建設し、13年度以降九州農業試験場総合研究部総合研究第3チームと共同研究の形で調査を行う。

②効率的処理技術等情報システムの整備

情報ニーズ調査、都道府県から事例の収集、データベースへの入力支援システムの開発および検索システムの開発を行う。

③堆肥の品質実態調査

都道府県からの紹介等により214箇所の堆肥センターについて堆肥サンプルの提供を依頼し、あわせて原料、副資材等の堆肥の品質・性状に関連すると考えられる項目をアンケート調査する。

堆肥の分析項目は全窒素、全炭素、pH、電気伝導度、銅、亜鉛の化学成分、スルファジメトキシム、ペニシリンプロカイン、ストレプトマイシン等の抗生物質、O157、サルモネラ等の病原性微生物とする。

「畜産環境保全のための総合的技術体系の策定」の実施計画

(平成7～14年度)

畜産環境技術研究所

研究内容	研究年次								担当機関	備考
	7	8	9	10	11	12	13	14		
I 悪臭防止技術の開発										
1. 臭気発生機構の解明と防臭効果判定手法の開発										
①臭気発生機構の解明										
②悪臭軽減効果判定手法の開発										
2. 悪臭防除資材の探索・評価										
①悪臭防除資材の評価と効率的利用技術の開発										
②脱臭微生物の分離・改良										
II 高濃度畜舎汚水の低コスト処理・利用技術の開発										
1. 微生物及び膜の組み合わせ利用による高濃度成分の除去技術の開発										
①豚舎排水高度浄化処理技術の開発									共和化工	交流共同研究
②汚水処理過程における汚泥等微生物相の消長と機能										
③好気性処理時における処理水の色度について										
④高濃度汚水の好気性消化処理										
⑤微生物相による畜舎汚水浄化機能の簡易評価法の開発										
2. 人工湿地法による畜舎汚水の低コスト処理システムの開発										
3. 栄養塩類等の回収物質の有効利用技術の開発										
4. 動物生産汚水の処理に関する微生物学的研究									東北大学	委託

研究内容	研究年次								担当機関	備考
	7	8	9	10	11	12	13	14		
Ⅲ 堆きゅう肥の品質向上技術の開発										
1. 堆きゅう肥の品質評価基準の策定										
①堆きゅう肥成分の変動の解明ならびに品質評価法の開発			—							
②寒冷時における良質堆肥生産条件の解析			—							
2. 堆きゅう肥の高付加価値化技術の開発				—						
3. 馬房數量を活用した土壤改良資材の実用化	—								大津機工	委託
4. 抗生物質等投与家畜生産堆きゅう肥中の抗生物質等の消長ならびに植物への影響		—							畜産生物科学安全研究所	委託
Ⅳ 環境保全技術体系の開発										
1. 施設・機器の経営・技術的評価										
①家畜ふん尿処理機械の基本性能等調査		—							生研機構	委託
2. 家畜ふん尿等の低コスト処理・利用技術の体系化										
①家畜ふん尿の処理利用技術の実態解析		—								
②畜産ふん尿の吸着率を高める木質系敷料の改良と木酢液による除臭効果		—							九州産業	委託
③家畜ふん尿等の低コスト処理技術の体系化				—						
④鶏糞焼却灰の飼料利用の実証試験					—					
3. 総合的畜産環境保全技術体系の開発										
①畜産農業が有する外部経済効果の評価	—								農政調査委員会	委託
②「HACCP」の概念を活用した環境保全型畜産技術体系の開発			—							

研究課題

I

- 悪臭防止技術の開発**
- 悪臭軽減効果判定手法の開発 (8～10年)
 - 悪臭防除資材の評価と効率的利用技術の開発 (9～11年)
 - 脱臭微生物の分離・改良 (11～14年)
 - 臭気発生機構の解明 (10～12年)

研究内容

- 供試ふん尿の水分、温度、通気を制御し、臭気成分の経時的採取が可能な小型実験装置を開発する。
- 上記装置を用い捕集した臭気成分分析値と官能検査値を基に、臭気の簡易判定手法を確立する。
- 各種悪臭防除資材について、温度、水分、好気・嫌気等の条件及びふん尿の成分組成の差異と悪臭の防除効果の関連を明らかにする。
- 微生物資材について、種の同定を行うと共に高機能微生物の収集・保存を行う。また、脱臭等本来の機能を発現するための条件、有用微生物を増殖するための条件等を明らかにする。
- 畜種、給与飼料、畜舎環境、ふん尿処理法・処理過程等諸要因が臭気成分、臭気濃度に及ぼす影響を明らかにする。

期待される成果

- ・悪臭低減効果を in vitro法により、簡易に判定することが可能となり、市販資材等の効果判定が容易になる。
- ・各種脱臭資材の使用効果、適正使用量及び使用方法が明らかとなり、資材の効率的な利用が可能となる。
- ・有用な脱臭微生物群が検出され、その効率的活用が期待される。
- ・畜種、飼料、畜舎環境、ふん尿処理過程等における臭気成分、臭気発生量に及ぼす諸要因が解明され、「HACCP」の概念に基づく環境保全技術体系を開発するための基礎知見が得られる。

II

- 高濃度畜舎汚水の低コスト処理・利用技術の開発**
- ◎微生物及び膜の組み合わせ利用による高濃度成分の除去技術の開発 (9～11年)
 - 人工湿地法による畜舎汚水の低コスト処理システムの開発 (8～13年)
 - 栄養塩類等の回収技術の有効利用技術の開発 (10～13年)

- ◎固定化担体、機能膜等からなる高濃度畜舎汚水浄化処理装置（共和化工(株)開発）による豚舎汚水の有機物、窒素、リンの除去効果及び脱色効果等を明らかにする。
- 窒素・リン、汚泥濃度、気温及び微生物等が上記装置の浄化機能に及ぼす影響を明らかにする。
- 浄化装置内の微生物及び膜による浄化機能を維持・促進するための管理技術体系を開発する。
- ヨシ、パピルス、ガマ等水生植物及び湿地の有する浄化機能を活用した高濃度畜舎汚水の低コスト処理システムを開発する。
- 人工湿地、汚水処理装置内の植物あるいは微生物を紹介して栄養塩類、有機物等を回収する技術を開発する。また、その回収物の有効利用法を確立する。

- ・膜処理装置により、菌体濃度を高く維持できるため、汚水の高負荷運転が可能になる。また、従来の活性汚泥法に比べ、大幅な省力化と処理能力の向上が期待できる。さらに、コストの低減ができれば、養豚経営において広く普及することが見込まれる。
- ・自然の浄化機能を活用することにより、生態系の保全と両立する畜舎汚水の低コスト処理が可能となる。
- ・窒素、リン等が回収され、肥料として有効に利用される。

研究課題

III

堆きゅう肥の品質向上技術の開発

○堆きゅう肥の品質評価基準の策定

(9～10年)

○堆きゅう肥の高付加価値化

(10～13年)

●抗生物質等投与家畜生産きゅう肥中の抗生物質等の消長ならびに植物への影響 (8～10年)

研究内容

○堆きゅう肥の水分、窒素、炭素、灰分等の成分及び腐熟度を近赤外線反射分光分析法により、迅速に測定する手法を開発する。また、堆きゅう肥の性状、主要な成分を基に、品質を簡便に判定するための基準を作成する。

○各種堆きゅう肥について、肥効、作物の発芽試験、生長阻害等の検討を行うと共に、既往の知見を加え、作物毎の肥料成分調整、成型技術等の指針を作成する。

●家畜排泄物中の抗生物質等動物医薬品が植物の生長に及ぼす影響、植物体中への残留量等を明らかにする。

IV

環境保全技術体系の開発

●家畜ふん尿処理機械の基本性能等調査 (8年)

○家畜ふん尿の処理利用技術の実態解析 (8～9年)

●畜産ふん尿の吸着率を高める木質系敷料の改良と木酢液による脱臭技術 (8～9年)

●畜産農業が有する外部経済効果の評価 (7～8年)

○家畜ふん尿等の低コスト処理・利用技術の体系化 (10～14年)

○HACCPの概念を活用した環境保全型畜産技術体系の開発 (9～14年)

●畜種や飼養管理形態毎に排せつ物処理機械の性能、構造、耐久性、処理コスト等を調査する。

○主要な畜産地帯における畜産環境の実態を調査し、家畜の生産から出荷に至る過程における飼養管理技術の問題点を抽出し、その改善方向を明らかにする。

●従来の木質系敷料に改良を加えて吸着度の高い敷料製造法を開発すると共に、木酢液、炭素末の除臭効果を実証する。

●畜産農業が有する外部経済効果を数値的に測定・評価する手法を開発すると共に、地域と調和した畜産農業の発展方向の指針を策定する。

○畜産農家における飼料生産、飼料給与、生産物の出荷、家畜ふん尿の処理・利用等畜産物生産の一連の工程において発生しうる環境問題を精査・分析し、環境保全のための重要管理事項を設定する。

○畜産環境問題に関わる情報、試験研究データを収集・整理し、環境保全型畜産技術のモデルを策定すると共に、生産現場への適用ガイドラインを策定する。

期待される成果

・近赤外線分光分析装置を用いた堆きゅう肥の品質評価法が確立されると共に、堆きゅう肥の性状、成分及び従来品の品質判定基準等を盛り込んだ簡易評価手法が作成される。

・耕種農家等にニーズに応じた堆きゅう肥の成分調整、成型化等により、堆きゅう肥の流通・利用が促進される。

・動物医薬品の堆きゅう肥としての処理過程における消長、植物体中への残留量等、抗生物質等投与された家畜排せつ物の安全処理を行うための基礎知見が得られる。

・家畜ふん尿処理機械の投資額、維持費、性能等が明らかとなり、家畜ふん尿処理機械の導入、処理システムの構築に際しての基礎知見が得られる。

・家畜の生産から出荷における飼養管理技術、家畜排せつ物処理の実態と問題点が明らかになると共に、技術開発の方向付けを行う上での基礎知見が得られる。

・木質系敷料のふん尿の吸着性が改善されると共に木酢液、木酢粉末による悪臭防除効果が実証される。

・畜種、個々の経営体の飼養条件、環境条件等に対応した環境保全型システムの構築、導入が可能となる。

・畜産経営の安定的発展と環境保全に資する。

「簡易低コスト家畜排泄物処理施設等開発・普及促進事業」の実施計画

(平成12～16年度)

畜産環境技術研究所

事業内容	事業年次					備考
	12	13	14	15	16	
I 簡易低コスト処理施設開発・普及 (研究所直営分)						
1. 現地選択・実証施設設置						
2. 現地調査						
II 効率的処理技術等情報システムの整備						
1. データ収集、入力						
2. データベース構築						
3. インターネットによる情報提供の試行						
4. インターネットによる情報提供						
III 堆肥の品質実態調査						
1. サンプル収集、分析						
2. データベース構築						
3. 堆肥成分表策定・改定						

2. 平成12年度事業報告

1) 畜産環境保全経営技術開発普及促進事業

平成12年度の当該事業のあらまは以下の通りである。

(1) 悪臭防止技術の開発

臭気発生機構の解明として、平成11年度に引き続き実験を行い、肉豚へのアミノ酸添加の低蛋白質飼料の給与によって、尿量と窒素排せつ量が減るばかりでなく、ふん尿混合物からのアンモニア発生量が1/3程度に低減されることを明らかにした。

また、市販飼料へのリンゴジュース粕の配合によって尿中への窒素排せつ量が約30%減るとの結果を得た。これらの成果は、「環境に優しい飼養法」の理論的裏付けとなるものであり、この技術の現場への普及に弾みがつくことが期待される。これに関連して、平成12年度より、畜産試験場からの委託研究として脱臭微生物資材の評価試験法の標準化についての課題に取り組んでおり、これまでに、実験室規模でのアンモニア発生量簡易測定装置の開発等の成果をあげている。

(2) 高濃度畜舎汚水の低コスト処理・利用技術の開発

平成11年度までに共和化工(株)との交流共同研究によって高濃度のふん尿混合水を効率的に浄化させる技術を開発したが、処理水に茶褐色の着色が残るため化学的な脱色法について引き続き研究した。新しい試み

として、処理水の脱色機能を有する細菌の検索も行っている。また、汚水処理施設の運転状況の簡易判定を目的として、家畜改良センターの施設を対象に微生物相の消長、とくに硝化細菌や脱窒菌などのいわゆる機能性細菌の季節変化について調べ、いくつかの成果が得られた。

(3) 堆きゅう肥の品質向上技術の開発

堆肥の腐熟度判定法として、堆肥中の微生物の活動を酸素消費量で簡易に測る方法についてデータを蓄積し、十分実用に耐えうるものとの結論に達した。携帯可能なコンパクトな測定装置とすることにより、堆肥センター等の堆肥生産現場での利用、普及が期待される。

(4) 環境保全技術体系の開発

平成12年度より、HACCPの概念にもとづき、堆肥化施設のプロセス管理基準の確立に向けた課題に取り組んでいる。平成12年度には堆肥原料以外に、初期の水分（容積率）調整、副資材の種類と量、切り返しまたは通気量の制御など堆肥化過程の管理状況とでき上がった堆肥成分の関係について、「簡易低コスト」事業と連動させたアンケート調査を実施して調べている。

また、単年度課題として、鶏ふん焼却灰の飼料利用の試験を実施した。無機リンの代わりに焼却灰を配合して給与しても、ヒナおよびブロイラーの発育には有意差がなく、採卵鶏の産卵率および異常卵の発生にも差が認められず、飼料のリン源として有

効利用できることが示唆された。

2) 簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業

平成12年度から開始されたため、事業推進のための準備等が中心となったが、実施した事業のあらまは以下のとおりである。

(1) 簡易低コスト処理施設開発実証事業 (研究所直営分)

当研究所では、これまで堆肥の腐熟度の簡易評価法をはじめとした堆肥化の研究を進めてきた。これらの成果を現場に適応するため、簡易・低コストの実規模堆肥化施設における堆肥化過程を評価することとしている。

12年度は熊本県菊池郡旭志村の酪農家に堆肥脱臭装置付の低コスト強制通気式堆肥舎を建設し、13年度以降九州農業試験場総合研究部総合研究第3チームと共同研究の形で調査を行うこととした。

①実証施設の規模等

実証堆肥化施設の規模：乳用牛飼養頭数100頭

飼養方式：フリーストール方式

堆肥化方式：ローダー切返し方式

発酵期間：1次発酵(高温発酵)4週間、強制通気式

：2次発酵(中温発酵)5ヶ月間、内強制通気1ヶ月

脱臭方式：仕上がり堆肥による悪臭吸着方式、悪臭吸着堆肥の後熟用通気装置

②調査項目

- ・ 1次発酵期間中の堆肥の発酵品質
(水分、有機物分解率、窒素成分組成等)
- ・ 発酵中のアンモニア、揮発性有機酸の発生濃度等
- ・ 仕上がり堆肥の一般成分(堆肥の品質表示項目に係る水分、有機物、全窒素、全炭素、pH、電気伝導度、硝酸態窒素、銅、亜鉛、リン酸、カリ、マグネシウム)
- ・ その他堆肥の品質・性状に関連すると考えられる事項(原料、副資材、水分、堆肥化施設の種類、堆積中の最高温度とその持続時間、堆積期間、切り返しの回数等)

(2) 効率的処理技術等情報システムの整備

①情報ニーズ調査

畜産環境アドバイザー養成研修、中央畜産研修(畜産環境)の開催に際し、研修生の協力をいただきながら情報ニーズのアンケート調査を実施した。この結果、最も多かったニーズはいわゆる処理技術等の事例を知りたいということであった。

②都道府県から事例の収集

平成12年度は、都道府県から推薦のあった117箇所(事例)について情報ニーズを参考に調査表を作成しアンケート調査を行った。66箇所(事例)から回答があり、データベースに入力した。

③入力支援システム

アンケート調査の内容は、文章だけ

ではなく、フローチャート、写真、地図などが含まれている。このため、これらのデータの入力、修正等を容易にするための支援システムを開発した。

なお、アンケートにはアンケート様式をあらかじめ入力したフロッピーディスクを添付し、極力フロッピーでの提出を依頼した。

④検索システム

データ入力と並行して検索システムの開発を行った。検索システムはキーワード検索、メニュー検索および概念検索方式の3方式をサポートする予定であるが、12年度はメニュー方式による検索システムのプロトタイプを作成した。

(3) 堆肥の品質実態調査

平成12年度においては、都道府県からの紹介等により145箇所の堆肥センターから堆肥サンプルの提供を受け、分析を実施した。地域別調査堆肥センター数は下記のとおりである。

地 域	箇所数
北海道	5
東北農政局管内	34
関東農政局管内	22
北陸農政局管内	10
東海農政局管内	7
近畿農政局管内	6
中国四国農政局管内	26
九州農政局管内	33
沖縄総合事務局	2

合 計 145箇所

これらのサンプルについて下記の項目の調査を行った。

①堆肥センター等の調査項目

堆肥センターの施設の概要に加えて、送付されたサンプルについて堆肥の品質・性状に関連すると考えられる項目、すなわち原料、副資材、水分、堆肥化施設の種類、堆積中の最高温度（その持続時間）、堆積期間、切り返しの回数、強制通気の有無、堆肥の用途（販路または配布先）等について調査した。

②堆肥の分析項目

- ・一般成分：堆肥の品質表示項目に係わる全窒素、全炭素、pH、電気伝導度、硝酸態窒素、銅、亜鉛、リン酸、カリ、マグネシウム等
- ・抗生物質：スルファジメトキシム、ペニシリンプロカイン、ストレプトマイシン、カナマイシンおよびオキシテトラサイクリンで、分析にあたっては、スルファジメトキシムは研究所で、他は専門の分析機関に委託した。
- ・病原性微生物：調査する病原性微生物の種類はO157、サルモネラおよびクリプトスポリジウムとし、このうちクリプトスポリジウムは他機関に委託した。

3) その他

研究成果ではないが、平成11年度から始まった畜産環境アドバイザー緊急養成事業に研究所としても主体的に取り組んでいる。

また、例年通り、家畜改良センター本所および各牧場等から浄化処理汚水の分析依頼を受けて実施した。

3. 主な研究成果

課題名

I 悪臭防止技術の開発

1. 臭気発生機構の解明と防臭効果判定手法の開発

① 臭気発生機構の解明

肉豚へのアミノ酸添加低タンパク質飼料の給与による尿量、窒素排泄量およびアンモニア発生量の低減効果

担当者：山本朱美、高橋栄二、古川智子、伊藤 稔、岡田光弘、古谷 修

緒 言

家畜から排出される窒素やリンなどの物質による環境負荷の軽減が大きな課題になっている。生雲によれば、わが国で家畜から排出される窒素の量は年間77万トンに達している（1999年度）¹⁾。耕地面積当たりによれば約150kg/haであり、この量は、EUが2003年からの基準としている170kg/ha²⁾よりも少ないが、家畜の飼養頭数には地域的な偏りがあるため、地域によっては平均の2～3倍にもなっており、耕地の受容量を超えている。

このような状況下で、窒素やリンの排泄量そのものを減らす多くの試みがみられるようになっている³⁾。このうち、窒素の排泄量については、低CP飼料に不足するアミノ酸を添加して給与することによって、豚の生産性を損なわずに窒素の排泄量を30～45%減少させ得ることが明らかになっており⁴⁻⁶⁾、この技術はすでに養豚の現場で実証、普及されつつある⁷⁾。

糞尿処理ではとくに液分の処理が問題であるが、低CP飼料の給与によって尿量が減少するとの報告がある^{6, 8)}。また、糞尿から発生するアンモニアは悪臭物質の一つであり、とくに欧州においては、アンモニア

の揮散が土壤等の酸性化を引き起こす物質であるとして、その発生の低減が強く求められている。窒素排泄量とアンモニアの発生量には関係のあることが示唆されており⁹⁾、低CP飼料の給与により窒素排泄量が低減されることが明らかになっている。しかしながら、低CP飼料の給与によって尿量やアンモニア発生量を低減させる試みはほとんどない。

ここでは、肉豚飼料のタンパク質含量を飼養標準の2/3程度に低め、アミノ酸添加によってアミノ酸バランスを整えた飼料を給与すると、尿からの窒素排泄量が50%程度にまで減るばかりではなく、糞尿混合物からのアンモニア発生量が36%にまで低減されることを明らかにしたので報告する。

材料および方法

1. 供試飼料

供試飼料の配合割合および成分組成を表1に示した。CP含量が16.4%（標準CP飼料）および10.9%（低CP飼料）の2種類の飼料を用いたが、どちらも飼料中の各必須アミノ酸含量が要求量（日本飼養標準・豚、1998）¹⁰⁾の120%以上となるようにし、低CP飼料ではリジン、メチオニン、トレオニンおよび

表1 供試飼料の配合割合および成分組成

	標準CP飼料	低CP飼料
配合割合 (%)		
トウモロコシ	62.5	74.0
ダイズ粕	15.7	—
大麦	8.40	8.40
フスマ	8.40	11.66
魚粉	3.30	3.30
炭酸カルシウム	1.05	1.05
第二リン酸カルシウム	—	0.23
塩化ナトリウム	0.30	0.30
ビタミン・ミネラル混合物 ¹⁾	0.35	0.35
塩酸L-リジン	—	0.439
DL-メチオニン	—	0.089
L-トレオニン	—	0.147
L-トリプトファン	—	0.035
成分組成 ²⁾		
CP (%)	16.4	10.9
DE (kcal/g)	3.30	3.30
TDN (%)	74.9	74.9
カルシウム	0.65	0.66
非フィチンリン	0.25	0.26
有効リジン	0.77	0.77
有効メチオニン+シスチン	0.51	0.47
有効トレオニン	0.53	0.49
トリプトファン	0.21	0.17

1) 飼料1 kg中の含量；硝酸チアミン1.5mg、リボフラビン10.5mg、塩酸ピリドキシン 0.75mg、ニコチン酸アミド9mg、D-パントテン酸カルシウム16.4mg、塩化コリン86.4mg、ビタミンA10,000IU、ビタミンD₃2,000IU、酢酸dl- α -トコフェロール10mg、Mn50mg、Fe50mg、Cu10mg、Zn50mg、I1mg

2) CPは実測値、それ以外は日本標準飼料成分表（1995）にもとづく計算値

トリプトファンの4種類のアミノ酸を添加した。また、飼料中の可消化エネルギー含量および可消化養分総量は両飼料とも計算

値で、それぞれ、3.30kcal/gおよび74.9%であった。

2. 供試豚と飼育条件

体重約35kgの去勢雄豚4頭を代謝ケージに収容し、市販飼料で1週間の馴致を行い、その後、2頭ずつに分け、標準CP飼料あるいは低CP飼料を28日間不断給飼した。飲水は自由とした。飼料摂取量と飲水量は毎日、体重は週に2回測定した。同様の実験を時期を変えてさらに2反復行い、各処理区で6頭ずつ合計12頭を供試した。

3. 窒素出納試験

試験開始後8～12日の4日間に窒素出納試験を行った。試験期間中は毎日、排泄された糞と尿の全量を採取して重量を測定し、その1/10量を分析用試料として直ちに冷蔵保存した。4日間に採取した糞および尿はそれぞれについて混合し、糞は通風乾燥機により60℃で乾燥後風乾状態にしてからウイレー粉砕機により粉砕し、分析試料とした。

4. 化学分析、アンモニア発生量の測定および統計処理

飼料、糞および尿の試料の水分および窒素含量の分析は、AOAC法に準じた方法¹¹⁾により行った。

アンモニアの発生量の測定は以下の方法

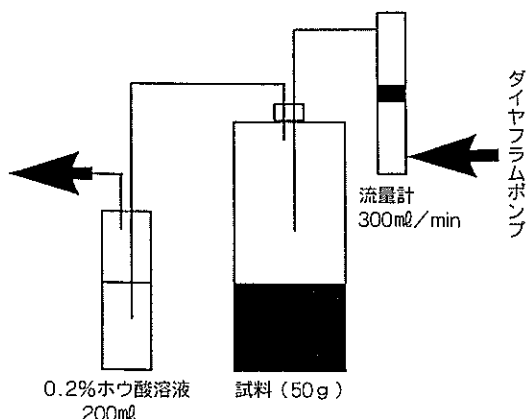


図1 アンモニア発生量測定装置の概略図

によった、すなわち、試験終了日の28日目の午前中に排泄された新鮮な糞および尿を1頭につき、それぞれ、150gおよび100mlを採取した。試料は速やかに冷蔵保存した。

保存した試料は室温(約25℃)に戻して、糞および尿を50g、あるいは糞と尿を重量比で1:2の割合で混合して、2本のガラス管の付いたゴム栓付きガラス容器(500ml)に50gを入れた。アンモニア発生量の測定は図1に示した装置によって行った。容器に試料を入れて24時間室温で保った後、ダイヤフラムポンプにより300ml/minの速度で5分間通気し、ヘッドスペースガス中に発生したアンモニアを0.2%ホウ酸溶液に吸収させた。0.2%ホウ酸溶液中のアンモニア濃度は、Lopez et al.が引用しているFawcett and Scottのインドフェノール法¹²⁾に準じて測定した。アンモニアの発生量は、ホウ酸溶液に吸収された総量で示した。

処理の有意性の検定は、飼料および試験時期を因子とする2元配置法によるF検定¹³⁾によった。

結果および考察

1. 発育成績、飲水量および尿量

飼育28日間における増体量、飼料摂取量、飼料要求率および飲水量と4日間の窒素出納試験における尿量の成績を表2に示した。

発育には飼料のCP水準で差は認められなかった。この結果は、これまでの報告³⁾と一致しており、飼料のCP含量を標準的飼料の2/3程度に下げても、アミノ酸要求量さえ満足していれば発育に支障がないことを示

表2 飼料のCP水準が発育成績、飲水量および尿量に及ぼす影響

	標準CP飼料	低CP飼料	SE
増体量 (g/日)	661	651 (99)	38
飼料摂取量 (g/日)	1950	1949 (100)	82
飼料要求率	3.02	3.00 (99)	0.14
飲水量 (ml/日)	3559	3079 (87)	322
尿量 (g/日)	1744	1159 (67)	284

() は標準CP飼料区との相対値

表3 飼料のCP水準が糞および尿への窒素排泄量に及ぼす影響

	標準CP飼料	低CP飼料	SE
飼料摂取量 (g/日)	2018	2070 (103)	103
窒素摂取量 (g/日)	53.0	36.1 (68)	2.1
糞中窒素排泄量 (g/日)	10.0	8.2 (82)	0.6
尿中窒素排泄量 (g/日)	18.1	9.1 (50) **	1.1
総窒素排泄量 (g/日)	28.1	17.4 (62) **	1.5

() は標準CP飼料区との相対値

** P < 0.01

している。

飲水量は低CP飼料給与で低くなる傾向にあり、標準CP飼料の87%であった。また、尿量は低CP飼料では67%にまで減る傾向を示した。飼料のCP含量が豚の飲水量および尿量に及ぼす影響について検討した報告は少ないが、Pfeiffer et al.⁸⁾ および Suzuki et al.⁹⁾ は肉豚でCP含量を2/3程度に低下させると飲水量が20%程度減り、尿量は35~50%減ったとしており、今回の結果はこれとほぼ同様の成績であった。低CP飼料で飲水量および尿量が少なくなる理由としては、タンパク質が体内で分解される場合の熱量増加に対処し、また、タンパク質の分解、排

泄物質である尿素の血中濃度を一定以下に抑えるために水分が必要であるが、低CP飼料ではそれが少なくすむことが考えられる。糞尿処理の現場で、このように低CP飼料の給与で尿量が大幅に減る意味は大きい。

2. 糞および尿への窒素排泄量

飼料のCP水準が糞および尿への窒素排泄量に及ぼす影響について表3に示した。窒素出納期間中の飼料摂取量はCP水準により差が認められなかったため、窒素摂取量は飼料中のCP含量をそのまま反映し、低CP飼料では標準CP飼料の68%であった。低CP飼料では、糞への窒素排泄量が標準CP飼料の82%と低くなり(P<0.10)、尿への窒

素排泄量は50%であり、また、総窒素排泄量は62%と、いずれも標準CP飼料の場合に比較して有意に ($P < 0.01$) 低くなった。

肉豚におけるアミノ酸添加の低CP飼料による窒素排泄量の低減については多くの報告があるが、斎藤は一連のデータをまとめ、低CP飼料による糞および尿への窒素排泄量の低減率は平均、それぞれ、12%および35%であるとしている³⁾。しかしながら、その窒素排泄量の低減効果は対照飼料のCP含量をいかに設定するかによって異なる。すなわち、対照飼料と低CP飼料とのCP含量の差が大きいほど窒素排泄量の低減効果は大きく現れる。そのため、斎藤は³⁾、飼料中のCP含量が1%低下するごとの尿および糞尿への窒素排泄量の低減率を算定し、それぞれ、11%および7%としている。本実験では、窒素の排泄量の低減は尿で50%、糞尿で38%であり、標準飼料と低CP飼料のCP含量の差は5.5%であったので、これらから飼料CP1%当たりの窒素排泄低減率を算出すると、尿および糞尿でそれぞれ9.1%および6.9%となり、これは斎藤が算定した値とほぼ等しい。最近、高木らは、体重約60kgの肥育豚を用いて大規模な実証試験を実施

しているが、CP15%の飼料を対照として、それよりCPが4%低いアミノ酸添加の飼料を給与し、窒素の排泄量は、糞では23%、尿では46%減り、糞尿込みでは40%低減されたとしている⁷⁾が、飼料CP1%当たりに換算すれば斎藤が算定した値に近い。実際の飼養条件においては、飼料のCP含量を1%低下させることによって尿への窒素排泄量は10%程度低減され、糞尿込みにすればそれよりやや少ないと考えて大きな間違いはないと思われる。

3. 糞尿からのアンモニア発生量

表4に糞、尿および糞尿混合物から24時間に発生したアンモニア量を示した。糞あるいは尿単独で発生するアンモニアはいずれも0.1mg以下ときわめて微量であったが、糞尿を混合するとアンモニアの発生が顕著になり、発生量は低CP飼料では標準CP飼料の場合に比較して36%にまで有意に ($P < 0.01$) 低減されることがわかった。

阿部らは、妊娠前期の豚にCP12.5%の標準的な飼料とCP10%の低CP飼料を給与して、アンモニアの揮散量が低CP飼料では約60%にまで低減したと報告している¹⁴⁾。妊娠中期までのタンパク質(アミノ酸)の要

表4 飼料のCP水準が糞、尿および糞尿混合物からのアンモニア発生量に及ぼす影響

	標準CP飼料	低CP飼料	SE
糞のアンモニア発生量 (mg)	<0.1	<0.1	
尿のアンモニア発生量 (mg)	<0.1	<0.1	
糞尿混合物のアンモニア発生量 (mg)	21.2	7.7 (36) **	1.0

() は標準CP飼料区との相対値

** $P < 0.01$

求量は、現行の日本飼料標準¹⁶⁾ よりもかなり少なくてもよいことが明らかになっており¹⁵⁾、飼料給与の精密化によって窒素排泄量およびアンモニアの発生量が減ることが期待される。

豚の尿中の窒素化合物のうち約97%が尿素の形態で存在する¹⁶⁾ が、豚舎から発生するアンモニアは、糞中のタンパク態の窒素ではなく、主としてこの尿中に含まれる尿素に由来している¹⁷⁾。これは、尿中の尿素が糞中に含まれる尿素分解酵素であるウレアーゼと反応する結果である。尿中への尿素の排泄量は飼料中のCP含量の影響を受けるため、低CP飼料の給与によりアンモニア発生量は減ることになる。

以上のことから、飼料中のアミノ酸バランスを整えた低CP飼料を豚に給与することによって、発育成績には影響せず、尿量、糞尿への窒素排泄量および糞尿混合物からのアンモニア発生量が低減されることが示された。

要 約

肉豚に、欠乏するアミノ酸を添加した低タンパク質飼料を給与し、尿量、糞尿への窒素排泄量およびアンモニア発生量に対する影響を調べた。体重約35kgの去勢豚12頭を代謝ケージに収容し、標準タンパク質飼料(CP16.4%、標準CP区)またはアミノ酸添加低タンパク質飼料(CP10.9%、低CP区)をそれぞれ6頭に28日間にわたり不断給与した。試験開始後8～12日目に窒素出納試験を実施し、また、28日目に糞および尿を

採取してアンモニアの発生量を調べた。

1. 増体量、飼料摂取量および飼料要求率ではCP水準による差は認められなかったが、飲水量は低CP区で標準CP区の約87%と少なくなり、尿量は低CP区で67%に低減する傾向を示した。
2. 糞および尿への窒素排泄量は、低CP区では標準CP区に比較してそれぞれ82%および50%に、また、総窒素排泄量は62%に減った。
3. 糞尿混合物からの発生アンモニア濃度は、混合1日目で、低CP区は標準CP区の36%と著しく低くなった。
4. 以上の結果より、飼料中のアミノ酸バランスを整えた低CP飼料を肉豚に給与すれば、発育成績は損なわずに、糞尿への窒素排泄量が減るばかりでなく、尿量およびアンモニア発生量も低減されることが示された。

謝 辞

本研究は、福島県畜産試験場および同県立農業短期大学校との共同研究として実施した豚における窒素排泄量の低減に関わる研究の一部である。記して関係各位に謝意を表す。また、本試験を行うに当たり、ご協力をいただいた荒井康裕氏に深謝します。

引用文献

- 1) 生雲晴久：養鶏における環境問題、平成12年度鶏疾病特別講習会資料、家畜衛生試験場、2000。

- 2) 古谷 修：EU、とくにスウェーデン、デンマークおよびオランダにおける畜産環境問題の現状、日豚会誌、37, 139-149, 2000.
- 3) 斎藤 守：ニワトリおよびブタからの環境負荷物質の低減化に関する栄養飼料学的研究の動向、日畜会報、72、J177-J199, 2001
- 4) 古谷 修・渡部正樹・阿部博行・清水俊郎・大門博之・佐藤圭子・今田哲雄・佐藤金一：アミノ酸添加低蛋白質飼料の給与による肉豚における窒素排泄量の低減、日豚会誌、34, 15-21, 1997.
- 5) Tachibana, F., and H. Ubagai: Effect of reducing crude protein and energy content in diets with amino acid supplementation on nitrogen balance, performance and carcass characteristics in pigs, Anim. Sci. Technol. (Jpn.), 68, 640-649, 1997.
- 6) Suzuki, K., X.C. Cheng, H. Kano, T. Shimizu and Y. Sato: Influence of low protein diets on water intake and urine and nitrogen excretion in growing pigs, Anim. Sci. Technol. (Jpn.), 69, 267-270, 1998.
- 7) 高木久雄・花積三千人・風早祐次・池田卓夫・山崎廣明・米持千里：肉豚の肥育期における窒素排泄量の低減に関する検討、平成10年度流通飼料畜産環境改善機能高度化推進事業報告書、3-47、(社)日本科学飼料協会、東京、1999.
- 8) Pfeiffer, A., H. Henkel, M.W.A. Verstegen and I. Philipczyk: The influence of protein intake on water balance, flow rate and apparent digestibility of nutrients at the distal ileum in growing pigs, Livestock Production Science, 44, 179-187, 1995.
- 9) Sutton, A.L., K.B. Kephart, M.W.A. Verstegen, T.T. Canh and P.J. Hobbs: Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification, J. Anim. Sci., 77, 430-439, 1999.
- 10) 農林水産省農林水産技術会議事務局編：日本飼養標準・豚(1998版)、中央畜産会、1998.
- 11) 森本 宏(監修)：動物栄養試験法、養賢堂、東京、1971.
- 12) Lopez, S., E. Llamazares and J.S. Gonzalez: Determination of ammonia nitrogen in the urine of small ruminants, J. Sci. Food Agric., 78, 95-101, 1998.
- 13) 吉田 実：畜産を中心とする実験計画法、養賢堂、東京、1975.
- 14) 阿部則夫・杉浦千佳子・小原孝博・中村慶逸：繁殖豚における窒素・リン排泄量の低減技術の開発(3)繁殖豚における窒素・リン排泄量同時低減技術、青森県畜産試験場試験研究成績書(平成10~11年)、26-29、2000.
- 15) 梶 雄次・羽鳥恭章・古谷 修・石橋晃：未経産豚の妊娠期および授乳期におけるリジン要求量、日畜会報、63、955-963、1992.
- 16) Schulte, D.D.: Critical parameters for emissions. In Proceedings of the

- international symposium: Ammonia and odour control from animal production facilities, eds. J.A.M. Voermans and G.J. Monteny, 23-34, Vinkeloord, The Netherlands, 1997.
- 17) Aarnink, A.J.A., P. Hoeksma and E.N.J. van Ouwerkerk: Factors affecting ammonium concentration in slurry from fattening pigs. In Proceedings of the Congress on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences, eds. M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen and J.H.M. Metz, 413-420, Pudoc, Wageningen, 1993.

課題名 I 悪臭防止技術の開発
 1. 臭気発生機構の解明と防臭効果判定手法の開発
 ① 臭気発生機構の解明

養豚飼料へのリンゴジュース粕添加による尿中窒素排泄量の低減

担当者：山本朱美、伊藤 稔、古川智子、古谷 修

緒 言

栄養的制御によって、環境負荷物質である窒素やリンの排泄量そのものを減らす多くの試みがみられるようになった¹⁾。このうち、窒素の排泄量については、低CP飼料に不足するアミノ酸を添加して給与することによって、豚の生産性を損なわずに窒素の排泄量を30~45%減少させ得ることが明らかにされており²⁻⁶⁾、この技術はすでに養豚の現場で実証、普及されつつある⁷⁾。

一方、Canh et al.⁸⁾は、ビートパルプのような非澱粉多糖類(non-starch polysaccharide, NSP)を多く含む飼料を給与すると尿中への窒素排泄量が減少し、逆に糞中への窒素排泄量が増えることを明らかにしている。

これは、NSPが多量に大腸に流入することによりそれをエネルギー源として腸内細菌の増殖が活発になるが、その際にタンパク質合成の窒素源として尿素循環⁹⁾により消化管に分泌される尿素が使われるためである。

リンゴジュース粕の大部分はNSPで、化学的組成はビートパルプに類似している¹⁰⁾。そこで、Canh et al.⁸⁾の成績と同様に、リンゴジュース粕にも尿窒素排泄量の低減効果があるものと考えて、一般的飼料に配合して豚に給与し、尿中窒素排泄量が著しく低

減されることを見出したので報告する。

材料および方法

1. 供試飼料および試験豚の飼育条件

供試飼料はトウモロコシとダイズ粕を主体とした飼料(標準飼料)およびこれに乾燥したリンゴジュース粕を30%配合(リン

表1 標準飼料の配合割合(%)

トウモロコシ	69.80
フスマ	3.00
脱脂米ヌカ	3.00
ダイズ粕	19.71
動物性油脂	2.00
炭酸カルシウム	1.20
第3リン酸カルシウム	0.60
食塩	0.28
塩化コリン(50%)	0.07
DL-メチオニン	0.03
塩酸L-リジン	0.11
ビタミン・ミネラル混合物 ¹⁾	0.20

1) 飼料1kg中含量：ビタミンA 7,140IU、ビタミンD₃ 1,428IU、酢酸DL- α トコフェロール4.7mg、メナジオン亜ナトリウム5.3mg、硝酸チアミン0.17mg、リボフラビン1.58mg、塩酸ピリドキシン0.17mg、シアノコバラミン15.1 μ g、ニコチン酸アミド6.2mg、D-パントテン酸9.8mg、葉酸0.52mg、d-ビオチン35 μ g、Mn 15.98mg、Fe 267.66mg、Cu 9.81mg、Zn 49.74mg、Co 1.12mg、I 0.24mg

ゴ粕飼料)した2種類で、標準飼料の配合割合を表1に示した。

体重が約40kgの去勢雄豚(LWD)4頭を個別に代謝ケージに収容し、2頭ずつ各飼料に割り当てた。飼料は、標準飼料区では体重の3.0%に相当する量、また、リンゴ粕飼料区では体重の3.0%に相当する標準飼料に加えて、リンゴジュース粕を体重の0.9%になるように朝1回給与した。飲水は自由とした。

代謝ケージへの馴致期間として7日間を設け、この間は体重の3%量に相当する標準飼料を給与した。引き続き、試験期間を14日間設け、9日間の予備試験の後、窒素出納試験を5日間行った。なお、飼料給与量は試験開始時の体重にもとづいて決めた。

その後、供試豚へ給与する試験飼料を逆にして、同様に14日間の試験を反復して行った。さらに、2期目として、時期を変えて別の4頭の豚を供試して同様の試験を反復実施した。したがって、1飼料区で8頭の豚の成績が得られた。なお、2期目には、乾物消化率も測定した。

2. 糞および尿の処理、化学分析および統計処理

窒素出納試験の期間中に排泄された糞および尿は毎日全量を集めて重量を測定し、そのうちの1/10量を分析用試料として4℃で保存した。5日間の糞および尿はそれぞれ混合して分析試料としたが、糞の場合は通風乾燥機により60℃で乾燥後、風乾状態に戻してから、ウィレー粉砕機により粉砕した。

飼料、糞の風乾試料および尿の窒素濃度の分析は定法¹¹⁾によった。また、試験結果の有意性の検定は繰り返しのある二元配置による分散分析¹²⁾で行った。

結果および考察

標準飼料およびリンゴ粕飼料のCP含量は、それぞれ、16.0%および13.4%であった。また、リンゴジュース粕そのもののCP含量は4.61%で、飼料成分表¹⁰⁾の8.5%やEwing¹³⁾の7.0%よりも少なく、山田ら¹⁴⁾の3.4%よりもやや多かった。

標準飼料とリンゴ粕飼料を肥育豚に給与した場合の飼料摂取量および窒素出納を表

表2 リンゴジュース粕の添加が窒素排泄量に及ぼす影響1)

	標準飼料	リンゴ粕飼料	SE
飼料摂取量 (kg/d)	1.26	1.67 (133) **	0.04
窒素摂取量 (g/d)	31.9	35.3 (110) *	1.0
糞中窒素排泄量 (g/d)	5.3	10.9 (204) **	0.3
尿中窒素排泄量 (g/d)	16.8	10.7 (64) **	0.8
総窒素排泄量 (g/d)	22.1	21.6 (98)	0.7

1) 各飼料で8頭の平均値、()は標準飼料に対する相対値

** P<0.01、* P<0.05

表3 リンゴジュース粕の添加が乾物および見かけのCP消化率に及ぼす影響

	消化率 (%) ¹⁾	
	乾物	CP
標準飼料	83.0 ± 1.9	83.3 ± 1.5
リンゴ粕飼料 ²⁾	77.4 ± 1.1	68.9 ± 2.2
リンゴジュース粕	58.7 ± 4.7	-106.1 ± 25.3

1) 乾物消化率は4頭、CP消化率は8頭の平均値±標準偏差

2) 標準飼料にリンゴジュース粕を30%配合

2に示した。試験期間中は全ての個体で残飼は認めらず、飼料摂取量はリンゴ粕飼料区で約30%多くなった。窒素摂取量は飼料給与量が多い分、リンゴ粕飼料給与で高くなったが、その差は約10%であった。1日当たりの総窒素排泄量は標準飼料区で22.1g、リンゴ粕飼料区で21.6gとほとんど差はなかった。しかしながら、尿中窒素排泄量はリンゴジュース粕の添加により、標準飼料を給与した場合に比べ64%にまで減少した。逆に糞中窒素排泄量はリンゴジュース粕の添加により、約2倍に増加した。

表3に各供試飼料およびリンゴジュース粕そのものの乾物および見かけのCP消化率を示した。なお、リンゴジュース粕の消化率は、標準飼料にリンゴジュース粕を添加しても標準飼料の消化率は変わらないとの前提で算出した。見かけのCP消化率は、標準飼料の83.3%に対してリンゴ粕飼料では68.9%と低くなり、リンゴジュース粕のCP消化率は-106.1%と大幅にマイナスとなった。飼料成分表¹⁰⁾ではリンゴジュース粕のCPの消化率をゼロとしている。2期目に実施した乾物消化率では、リンゴジュース粕

そのものは4頭の平均値で58.7%となり、CP消化率に比較して高かった。リンゴジュース粕の消化率は、可溶無窒素物58%、粗繊維48%とされており¹⁰⁾、ここで得られた乾物消化率はほぼ妥当な値と考えられる。リンゴジュース粕の澱粉および糖の含量はそれぞれ、2および15%と少なく¹³⁾、炭水化物のほとんどがNSPであるため、消化されたものの大部分は菌体タンパク質合成のエネルギーとして使われたものと考えられる。

Canh et al.⁸⁾は、ビートパルプのようなNSPを多く含む飼料を給与すると尿中への窒素排泄量が減少し、逆に糞中への窒素排泄量が増えることを明らかにしている。これは、NSPが多量に大腸に流入することによりそれをエネルギー源として腸内細菌の繁殖が活発になるが、その際にタンパク質合成の窒素源として尿素循環⁹⁾により消化管に分泌される尿素が使われるためであるとされている。リンゴジュース粕の化学的組成はビートパルプに類似しており¹⁰⁾、Canh et al.⁸⁾のビートパルプ、ダイズ皮等のNSPを多量に含む飼料原料を用いた成績と同様に、リンゴジュース粕にも尿窒素排泄量の低減効

果があることが確かめられた。

NSPの給与によって糞中に増える窒素の大部分は菌体タンパク質と考えてよい⁸⁾。この窒素は直接飼料の不消化物に由来するものではなく、いわゆる糞中代謝性窒素である。リンゴ粕飼料の給与によってCPの見かけの消化率が大幅に負になったのはこの代謝性窒素の増加に起因している。

Canh et al.¹⁵⁾ は、飼料中のNSP含量を増加させると糞と尿の混合物からのアンモニア発生量が直線的に低下することを報告している。これは、NSPの給与によって尿中への窒素排泄量が減ることによっている。豚の尿中の窒素化合物のうち約97%が尿素の形態で存在する¹⁶⁾ が、アンモニアの発生は、この尿中の尿素が糞中に含まれる尿素分解酵素であるウレアーゼと反応する結果である¹⁷⁾。山本ら⁵⁾ も、低CP飼料の給与により尿中窒素排泄量とともに糞尿混合物からのアンモニア発生量が著しく減ることを報告している。本研究において、一般的な標準飼料へのリンゴジュース粕の30%の添加により、尿中への窒素排泄量が約30%低減されることが明らかになったが、アンモニア発生量への影響についての実証は今後の課題である。鈴木らはリンゴジュース粕を10%添加した飼料で肥育試験を行い、発育および飼料の利用性はやや劣ったが、養豚飼料原料として十分に利用できることを報告している¹⁸⁾。また、山田らは、同じくリンゴジュース粕10%添加で、発育と肉質を調べているが、発育には差がなく、脂肪軟化を防ぐ可能性を示唆している¹⁹⁾。発育や肉質に

ついてはさらなる検討が必要であろう。

要 約

養豚飼料へのリンゴジュース粕の添加が尿中窒素排泄量に及ぼす影響について検討した。開始時体重が約40kgの去勢雄豚8頭を供試し、4頭にはCP16%のトウモロコシとダイズ粕を主体とする標準的飼料を体重の3%給与し（標準飼料区）、他の4頭には同量の標準飼料とともに乾燥リンゴジュース粕を体重の0.9%の割合で添加して給与した（リンゴ粕区）。豚は代謝ケージに収容し、9日間の予備試験の後、5日間にわたって全量の糞尿を採取して窒素出納を調べた。

1. 1日当たりの窒素摂取量は標準飼料区およびリンゴ粕区で、それぞれ、31.9 gおよび35.3 gであった。
2. 尿中窒素排泄量は、それぞれ、16.8 gおよび10.7 gとリンゴ粕区で約35%低くなった($P<0.01$)が、逆に、糞中窒素排泄量は、それぞれ、5.34 gおよび10.9 gとリンゴ粕区で多くなった($P<0.01$)。
3. 総窒素排泄量は、それぞれ、22.1 gおよび21.6 gで差が認められなかった。

謝 辞

本研究は、福島県畜産試験場および同県立農業短期大学校との共同研究として実施した豚における窒素排泄量の低減に関わる研究の一部である。記して関係各位に謝意を表す。また、本試験を行うに当たりご協力をいただいた青木幸尚氏に深謝します。

引用文献

- 1) 斎藤 守：ニワトリおよびブタからの環境負荷物質の低減化に関する栄養料学的研究の動向、日畜会報、72、J177-J199、2001
- 2) 古谷 修・渡部正樹・阿部博行・清水俊郎・大門博之・佐藤圭子・今田哲雄・佐藤金一：アミノ酸添加低蛋白質飼料の給与による肉豚における窒素排泄量の低減、日豚会誌、34、15-21、1997.
- 3) Tachibana, F., and H. Ubagai: Effect of reducing crude protein and energy content in diets with amino acid supplementation on nitrogen balance, performance and carcass characteristics in pigs, Anim. Sci. Technol. (Jpn.), 68, 640-649, 1997.
- 4) Suzuki, K., X.C. Cheng, H. Kano, T. Shimizu and Y. Sato: Influence of low protein diets on water intake and urine and nitrogen excretion in growing pigs, Anim. Sci. Technol. (Jpn.), 69, 267-270, 1998.
- 5) 山本朱美・高橋栄二・古川智子・伊藤稔・石川雄治・山内克彦・山田未知・古谷修：肉豚へのアミノ酸添加低タンパク質飼料の給与による尿量、窒素排泄量およびアンモニア発生量の低減効果、日豚会誌、投稿中
- 6) 農林水産省農林水産技術会議事務局編：日本飼養標準・豚(1998版)、中央畜産会、1998.
- 7) 高木久雄・花積三千人・風早祐次・池田卓夫・山崎廣明・米持千里：肉豚の肥育期における窒素排泄量の低減に関する検討、平成10年度流通飼料畜産環境改善機能高度化推進事業報告書、3-47、(社)日本科学飼料協会、東京、1999.
- 8) Canh, T.T., M.W.A. Verstegen, A.J.A. Aarnink and J.W. Schrama: Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs, J. Anim. Sci., 75, 700-706, 1997.
- 9) Mosenthin, W.C., H. Sauer, H. Henkel, F. Ahrens and C.F.M. de Lange: Tracer studies of urea kinetics in growing pigs: II. The effect of starch infusion at the distal ileum on urea recycling and bacterial nitrogen excretion, J. Anim. Sci., 70, 3467-3472, 1992.
- 10) 農林水産省農林水産技術会議事務局編：日本標準飼料成分表(1995年版)、中央畜産会、1995.
- 11) 森本 宏(監修)：動物栄養試験法、養賢堂、東京、1971.
- 12) 吉田 実：畜産を中心とする実験計画法、養賢堂、東京、1975.
- 13) Ewing, W.N. : The Feeds Directory, Vol.1, Empress Publishing Netherlands, The Netherlands, 2000.
- 14) 山田未知・相楽朝美・小山有子・金澤忍・山田幸二・山内克彦：乾燥リンゴジュース粕給与による飼育豚の発育性および脂肪組織と筋肉の脂肪酸組成への影響について、福島農短大研報、(9)、1-5、2001.
- 15) Canh, T.T., A.L. Sutton, A.J.A. Aarnink,

- M.W.A. Verstegen, J.W. Schrama and G.C.M. Bakker: Dietary carbohydrates alter the fecal composition and pH and the ammonia emission from slurry of growing pigs, *J. Anim. Sci.*, 76, 1887-1895, 1998.
- 16) Schulte, D.D.: Critical parameters for emissions. In Proceedings of the international symposium: Ammonia and odour control from animal production facilities, eds. J.A.M. Voermans and G.J. Monteny, 23-34, Vinkeloord, The Netherlands, 1997.
- 17) Aarnink, A.J.A., P. Hoeksma and E.N.J. van Ouwerkerk: Factors affecting ammonium concentration in slurry from fattening pigs. In Proceedings of the Congress on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences, eds. M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen and J.H.M. Metz, 413-420, Pudoc, Wageningen, 1993.
- 18) 鈴木義邦・杉本忠宏・高橋敏能・加藤剛夫：リンゴ搾汁乾燥粕の豚用飼料原料としての利用について、日豚会誌、29, 107, 1992.

課題名 I 悪臭防止技術の開発

1. 臭気発生機構の解明と防臭効果判定手法の開発

① 臭気発生機構の解明

豚の排糞量推定のための指標物質としてのセライト添加酸不溶性灰分の評価

担当者：古谷 修、山本朱美、伊藤 稔、古川智子

緒 言

群飼、不断給飼等の実際的な飼養条件下における豚の排糞量や窒素排泄量を推定するには、指標物質法による消化試験が行われている。指標物質法では、飼料の摂取量および糞の排泄量の定量的な測定が必要ないという大きな利点がある。豚の消化試験では一般に酸化クロムが指標物質として用いられているが、酸化クロムの糞中への回収率が必ずしも完全ではないとする報告があり¹⁻³⁾、このことは、酸化クロムを指標として算出した消化率は、全糞採取法に比較して低く見積もられることを意味する。

McCarthy et al.²⁾ は酸化クロムに代わる豚の消化試験の指標物質として酸不溶性灰分 (AIA) を用い、AIA法の信頼性が高いことを報告している。最近、Kavanagh et al.⁴⁾ も、AIA法と酸化クロム法を比較し、AIA法の方がすぐれることを認めている。この方法では、酸化クロムとは異なり飼料に自然に含まれるAIAを定量するため、外部から指標物質として添加する必要がなく、また、定量法が酸化クロムに比べて簡便であるなどの利点がある。しかしながら、AIA法の場合にも、エネルギーやCPの消化率は全糞採取法に比較して低くなることが報告

されており²⁾、このことはAIAに多少なりともロスが生じていることを示唆している。古谷らは、AIAの糞への回収率が89.8%と低かったことを報告し³⁾、また、杉本は飼料の種類によっては信頼性の低い場合もあるとしている⁵⁾。さらに、Bakker and Jongbloed⁶⁾ はAIAの回収率が97~183%と大きく変動したとしている。AIA法では一つの化学物質を対象とするのではなく、一般には4N-塩酸溶液に不溶の灰分の総量をAIAとして測っているためその定量性に問題がある⁶⁾。また、AIAの主体はケイ酸であるが、一般的な養豚飼料原料のケイ酸含量は比較的的低く、これらのことがAIAの回収率の不安定性の要因になっていると考えられる。McCarthy et al.²⁾ および Gebert et al.⁷⁾ はAIAの給源として化学的に安定なセライトを飼料にそれぞれ0.5%および1.5%添加しているが、セライトを添加する必要はないとの報告⁸⁾ もみられる。

本研究では、AIA測定の簡便性の利点を生かし、かつ、より信頼のおける豚の消化試験法を開発することを目的に、セライトを添加したAIAの指標物質としての価値を評価した。

材料および方法

1. 供試飼料および供試豚

供試飼料は、トウモロコシとダイズ粕を主体とした飼料（標準飼料）およびこれに乾燥リンゴジュース粕を30%配合（リンゴ粕飼料）した2種類で、標準飼料の配合割合を表1に示した。これらの飼料に2%のセライト（Celite-545）を外付けで添加した。

体重約40kgの去勢雄豚4頭を個別に代謝ケージに収容し、2頭ずつ各飼料に割り当てた。飼料給与は1日に朝1回で、給与量は、標準飼料区では体重の3%、また、リンゴ粕飼料区では同量の標準飼料にリンゴ

表1 標準飼料の配合割合 (%)

トウモロコシ	69.80
フスマ	3.00
脱脂米ヌカ	3.00
ダイズ粕	19.71
動物性油脂	2.00
炭酸カルシウム	1.20
第3リン酸カルシウム	0.60
食塩	0.28
塩化コリン (50%)	0.07
DL-メチオニン	0.03
塩酸L-リジン	0.11
ビタミン・ミネラル混合物 ¹⁾	0.20

1) 飼料1kg中含量：ビタミンA 7,140IU、ビタミンD₃ 1,428IU、酢酸DL- α トコフェロール 4.7mg、メナジオン亜ナトリウム5.3mg、硝酸チアミン0.17mg、リボフラビン1.58mg、塩酸ピリドキシン0.17mg、シアノコバラミン15.1 μ g、ニコチン酸アミド6.2mg、D-パントテン酸9.8mg、葉酸0.52mg、d-ビオチン35 μ g、Mn 15.98mg、Fe 267.66mg、Cu 9.81mg、Zn 49.74mg、Co 1.12mg、I 0.24mg

ジュース粕を30%添加したため体重の3.9%となった。飲水は自由とした。1期間の試験は14日間として、1期目の試験終了後、4頭の豚の給与飼料を変えて同じ試験を繰り返した。各試験では、14日間のうち最後の5日間に毎日全量の糞を採取した。体重は各試験開始時と終了時に測定し、開始時の体重で飼料給与量を決めた。

採取した糞は60℃の通風乾燥機で乾燥した後、水分を平衡させ、粉碎して、乾物、粗タンパク質およびAIAの分析試料とした。また、2期目の試験では、毎日採取した糞の試料毎にAIA法により乾物消化率を算出し、その日間変動を調べた。

2. 化学分析

AIAの分析はThonneyらの方法⁸⁾を改変して以下のように実施した。

- 1) 試料をAIAが200~400mg含まれるように100mlのビーカーに秤取し、予備灰化後、マッフルに入れて500℃で12時間灰化した。予備灰化は、ドラフト中で電熱ヒーターを用いて試料を炭化させたが、ビーカーを急激に冷やすと破損することがあるので注意が必要である。また、生糞では水分が多いため、100℃で予備乾燥を行ってから炭化させた。
- 2) 灰化物を含むビーカーに2N-塩酸を50ml加え、ホットプレートで5~10分間煮沸した。
- 3) 直ぐさま、100℃で一晩乾燥させて秤量皿ごとの恒量(A)を求めておいた濾紙(東洋濾紙5A)を用いて濾過した。熱水でよく洗浄し、濾液が中性になったこと

をpH試験紙で確かめた上で、濾紙ごと秤量皿に戻し、100℃で1晩乾燥させて秤量した（B）。

4) AIA含量は、BからAを差し引き、これを試料量で除して算出した。

なお、ブランクを推定するため、試料を入れずに同様の操作を行ったが、BはAよりも1mg程度少なくなっただけで、無視しても差し支えないことがわかった。また、灰化後に黒い炭化物が残っているようにみえたので、灰化温度を600℃に上げて灰化を試みたが、AIAの重量はまったく変わらず、500℃の灰化でよいことを確認した。

乾物および粗タンパク質の分析は常法によった。

結果および考察

1. 供試飼料の化学成分

標準飼料、リンゴ粕飼料およびリンゴジュース粕そのもののCP含量は、それぞれ、16.0%、13.4%および4.61%であった。セライトおよび標準飼料のAIA含量は、それぞれ、95.6%および0.048%であり、リンゴジュース粕のAIA含量はゼロとみなされた。実験に供試したセライト2%添加の標準飼料およびリンゴ粕飼料のAIA含量は、それぞれ、1.92%および1.91%であり、供試飼料に含まれるAIAの大部分はセライト由来であった。

2. AIAの糞への回収率

AIAの糞への回収率を表2に示した。標

表2 糞へのAIAの回収率および乾物と粗タンパク質の消化率の比較

豚番号	AIA回収率(%)	乾物消化率(%)		粗タンパク質消化率(%)	
		全糞採取法	AIA法	全糞採取法	AIA法
標準飼料（セライト2%添加）					
1	96.8	81.9	81.3	81.7	81.1
2	89.7	86.2	84.5	86.0	84.5
3	106.5	81.1	82.3	83.0	84.2
4	100.5	82.7	82.8	83.6	83.9
平均	98.4	83.0	82.7	83.6	83.4
SD	6.1	1.9	1.2	1.6	1.4
リンゴ粕飼料（セライト2%添加）					
1	95.9	76.6	75.6	69.5	68.1
2	94.6	76.2	75.0	69.0	67.3
3	92.9	78.9	77.3	71.4	69.3
4	98.4	77.9	77.5	67.6	67.0
平均	95.5	77.4	76.4	69.4	67.9
SD	2.0	1.1	1.1	1.4	0.9

準飼料とリンゴ粕飼料における回収率は、それぞれ、98.4%および95.5%で、平均すると97%となった。この値は、給与飼料のこぼれや採糞時のAIAのロスを考慮すればほぼ妥当なものと考えられる。著者らは、豚による試験で、AIAの回収率が90%とやや低いことを観察しており³⁾、杉本⁵⁾もビートパルプで繊維含量を高めた飼料では回収率が10%程度低くなったと報告している。また、Bakker and Jongbloed⁶⁾はAIAの回収率が給与飼料によって97~183%と大きく変動するため、AIAは指標物質として適当でないとしている。これらの場合には、いずれもセライト添加は行わず、飼料原料中に含まれるAIAのみを内部指標物質として用いている。寺田らも、反芻家畜でのAIAの回収率は85~152%と変動し、これは給与飼料中のAIA含量およびその存在形態によって影響を受け、AIA含量の高い稲わらを1~2割加えることにより安定したAIA回収率が得られたとしている¹⁰⁾。本実験では、ケイ酸が主体で化学的に不活性な物質であるセライトを飼料に外付けで2%添加し、良好なAIAの回収率を得た。McCarthy et al.²⁾は養豚飼料のAIA含量は0.2~0.8%程度であると推定しており、また、AIAの回収率が大幅に変動したBakker and Jongbloed⁶⁾の実験で用いた飼料のAIA含量は0.12~0.35%であった。このようにAIA含量が低い飼料の場合には試料を10g用いたとしてもそこに含まれるAIAは10~20mg程度であり、このような少量のAIAを精度よく定量するにはかなりの困難がともなう。セライトを添加

しなくても良好なAIA回収率が得られたとの報告もみられる⁸⁾が、AIAを消化試験の指標物質として使用するには、セライトを飼料に添加して化学的に安定、かつ十分量のAIAを含有させることが必要であると考えられる。

AIAの定量は、試料を4N-塩酸で処理した後に灰化するのが一般的であるが²⁾、小牧らは逆に灰化後に2N-塩酸で処理する方法がもっとも信頼性が高く、操作も効率的であるとしている¹¹⁾。本実験では、Van Keulen and Youngの方法¹²⁾に準じて、試料を灰化した後に2N-塩酸で処理する方法によった。この方法によれば、試料の灰分の測定が同時にできるとともに、試料を直接塩酸で処理した場合に発生する臭気から免れることができるなどの利点がある。一方、本実験のように灰化後に酸で処理する方法によると、試料を4N-塩酸で処理した後に灰化する方法に比較して可溶化される灰分の割合が高まり、AIA含量が低くなる。本実験に用いた標準飼料そのもののAIA含量は0.048%と少なく、リンゴジュース粕のAIA含量はほとんどゼロであった。このように、AIAの定量を2N-塩酸を用いて行う場合には、飼料へセライトを添加して、AIA含量を補うことが必須である。

3. 全糞採取法とAIA法による消化率の比較

全糞採取法およびAIA法による乾物と粗タンパク質の消化率を同様に表2に示した。

指標物質法(AIA法)によるある栄養成分の消化率は次式により算出される。

消化率(%)=100-

$$\frac{\text{飼料中AIA含量}}{\text{糞中AIA含量}} \times \frac{\text{糞中成分含量}}{\text{飼料中成分含量}}$$

× AIA回収率(%)

指標物質法では、この式の回収率の代わりに100とするのが一般的であり、表2に示したAIA法による消化率も、本実験で得られたAIA回収率ではなく100の値を用いて算出したものである。その結果、標準飼料の豚番号2のように回収率が89.7%と低いにもかかわらず100を代入すると全糞採取法に比較して指標物質法による消化率は低くなり、逆に、豚番号3では回収率が100%を超えていたため、AIA法の消化率の方が高くなっている。しかしながら、本実験では、AIAの回収率は平均97%であり、100%と仮定しても消化率の平均値にはほとんど差がなく、実用的には問題にならない。したがって、AIAは糞への回収率からみれば指標物質としての条件を十分満たしていると考えられる。表2には、各飼料に供試した4頭の消化率の標準偏差を示したが、AIA法の方が個体のばらつきが小さい傾向が認められた。

4. AIA法による乾物消化率の日間変動

指標物質法の検討に当たっては、すでに述べた指標物質の糞への回収率とともに、消化率の日間変動および採糞時刻にともなう日内変動が問題になる。図1には、各供試飼料につき2頭ずつの5日間の採糞期間における乾物消化率の経日変化を示したが、日間変動は小さく、豚番号1、2、3および4での5日間の乾物消化率の標準偏差は、

それぞれ、1.5、0.4、0.8および1.9であった。杉本⁵⁾も、ビートパルプ配合飼料の場合を除き日間変動はきわめて小さく、採糞期間は1~2日で十分であるとしている。また、採糞開始までに要する予備期間は4日でもよい⁵⁾。今回の試験では消化率の日内変動はみていないが、1日2回給飼の場合には消化率の日内変動はきわめて小さいとの報告があり²⁾、不断給飼あるいは1日2回以上の制限給飼であれば、1日のうちの採糞時刻はとくに問題にしなくてもよいと考えられる。しかしながら、1日1回給飼では、AIAの時刻による排泄パターンが対象とする栄養素のそれとずれが生じる可能性があり、そのことが消化率に日内変動をもたらすので、採糞時刻についての検討が必要で

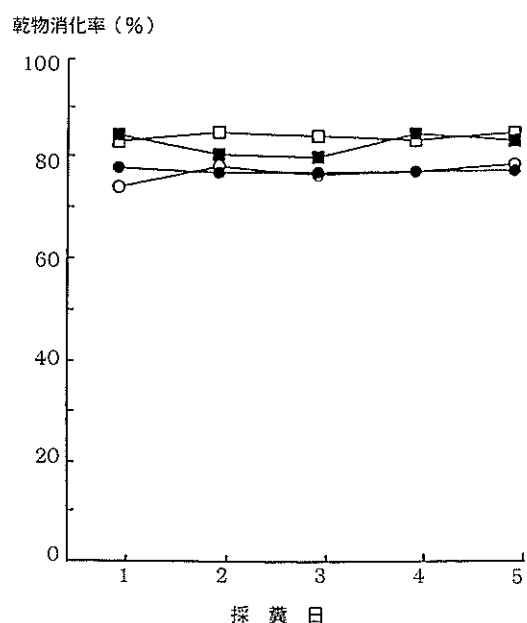


図1 酸不溶性灰分 (AIA) 法による乾物消化率の日間変動

採糞日は9日間の予備試験後の日数

- 豚番号1：リンゴ粕飼料、
- 豚番号2：リンゴ粕飼料、
- 豚番号3：標準飼料、
- 豚番号4：標準飼料

ある。

豚の消化試験においては酸化クロムを指標物質とする方法が一般的に用いられているが、操作の煩雑さに加えて、6価のクロムとして定量するため廃液処理が問題となる。これに対して、セライトを添加したAIA法は、分析操作はきわめて簡便であり、糞への回収率ならびに排泄パターンの日間および日内変動も、不断給飼あるいは1日2回以上の制限給飼であれば、指標物質としての条件を満足させており、豚の消化試験の指標物質として十分使用できるものと考えられる。

要 約

豚の消化試験の指標物質として酸可溶性灰分 (AIA) について評価した。4頭の去勢雄豚を代謝ケージに収容し、2頭にはトウモロコシとダイズ粕を主体とし、セライトを2%添加した標準飼料、別の2頭には標準飼料に30%の乾燥リンゴジュース粕を配合し、セライトを2%添加した飼料 (リンゴ粕飼料) を体重のそれぞれ3%および3.9%になるように給与した。飲水は自由とした。9日間の予備飼育の後5日間にわたり全糞を採取し、AIAの糞中への回収率と乾物および粗タンパク質 (CP) の消化率を測定した。同じ試験を、各供試豚への給与飼料を入れ替えて反復実施し、1飼料区4頭の成績とした。

1. 標準飼料およびリンゴ粕飼料のAIAの回収率は、それぞれ、98.4%および95.5%となった。

2. AIA法による乾物消化率は、標準飼料およびリンゴ粕飼料で、それぞれ82.7%および76.4%となり、全糞採取法のそれぞれ83.0%および77.4%とよく一致した。また、CPの消化率は、AIA法のそれぞれ83.4%および67.9%に対して全糞採取法ではそれぞれ83.6%および69.4%となった。
3. AIA法による乾物消化率の5日間の日間変動はきわめて小さかった。
4. 以上の結果より、セライトを2%添加したAIAは、豚の消化率測定の指標物質として十分使用できるものと考えられた。

謝 辞

本研究は、福島県畜産試験場および同県立農業短期大学校との共同研究として実施した豚における窒素排泄量の低減に関わる研究の一部である。記して関係各位に謝意を表す。

また、本試験を行うに当たりご協力をいただいた青木幸尚氏に深謝する。

引用文献

- 1) Moore, J.H.: Diurnal variations in the composition of the faeces of pigs on diets containing chromium oxide, Brit. J. Nutr., 11, 273-288, 1957.
- 2) McCarthy, J.F., F.X. Aherne and D.B. Okai: Use of HCl insoluble ash as an index material for determining apparent digestibility with pigs, Can. J. Anim. Sci., 54, 107-109, 1974.

- 3) Furuya, S., S. Takahashi and K. Kameoka:
Use of chromic oxide-paper as an indicator
in digestibility studies with pigs, *Jpn. J.
Zootech. Sci.*, 53, 99-104, 1982.
- 4) Kavanagh, S., P.B. Lynch, F. O' Mara and
P.J. Caffrey: A comparison of total
collection and marker technique for the
measurement of apparent digestibility of
diets for growing pigs, *Anim. Feed Sci.
Technol.*, 89, 49-58, 2001.
- 5) 杉本 亘之：豚の消化試験における指標
物質としての酸化クロム粉末、酸化ク
ロムペーパーおよび酸不溶性灰分の検
討、*日畜会報*、55, 924-929、1084.
- 6) Bakker, G.C.M., and A.W. Jongbloed: The
effect of housing system on apparent
digestibility in pigs, using the classical and
marker(chromic oxide, acid-insoluble ash)
techniques, in relation to dietary
composition, *J. Sci. Food Agric.*, 64, 107-
115, 1994.
- 7) Gebert, S., G. Bee, H.P. Pfirter and C.
Wenk: Phytase and vitamin E in the feed of
growing pigs: 1. Influence on growth,
mineral digestibility and fatty acids in
digesta, *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.*,
81, 9-19, 1999.
- 8) McCarthy, J.F., J.P. Bowland and F.X.
Aherne : Influence of method upon the
determination of apparent digestibility in
the pig, *Can. J. Anim. Sci.*, 57, 131-135,
1977.
- 9) Thonney, M.L., B.A. Palhof, M.R.
DeCarlo, D.A. Ross, N.L. Firth, R.L.
Quaas, D.J. Perosio, D.J. Duhaime, S.R.
Rollins and A.Y.M. Nour: Sources of
variation of dry matter digestibility
measured by the acid insoluble ash marker,
J. Dairy Sci., 68, 661-668, 1984.
- 10) 寺田文典・岩崎和雄・田野良衛・針生
程吉：反芻家畜における消化率測定
のための内部指示物質としての酸不溶性
灰分の利用、*畜試研報*、(36)、75-80、
1979.
- 11) 小牧 弘・鈴木 健・森本 宏：豚に
おけるAIAを内部指示物質とする消化
率測定の研究、*日大農獣医学術研報*、
(38)、248-255、1981.
- 12) Van Keulen, J., and B.A. Young:
Evaluation of acid-insoluble ash as a natural
marker in ruminant digestibility studies, *J.
Anim. Sci.*, 44, 282-287, 1977.

課題名 II 高濃度畜舎汚水の低コスト処理・利用技術の開発
1. 微生物及び膜の組み合わせ利用による高濃度成分の除去技術の開発
③ 好気性処理時における処理水の色度について
豚舎污水处理施設から排出される処理水の色度に影響を及ぼす細菌の検索

担当者：高橋栄二、古川智子、山本朱美、岡田光弘、伊藤 稔、古谷 修

研究期間：平成9～12年度

緒 言

我々はこれまで豚舎污水活性汚泥処理施設の細菌叢の調査を行い、季節による変動を明らかにしている⁶⁾。本污水处理施設から排出される処理水質は法令で定められた基準値をほぼ満たしているが、腐植物質と考えられる茶褐色の色素が残る問題がある。

そこで、本試験は豚舎污水活性汚泥処理施設から排出される処理水の色度に影響を及ぼす細菌を処理過程の曝気槽および土壌から検索した。

材料および方法

試料として用いた処理水は養豚農家の豚舎污水活性汚泥処理施設から得た。処理水は2000年2月23日から2000年7月31日まで計16回採取した。処理水の化学的酸素要求量(COD)、生物化学的酸素要求量(BOD)、全窒素(T-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)は公定法(JIS K0102)⁵⁾により測定した。

処理水の色度に影響を及ぼす細菌は本処理施設の曝気槽内および研究所周辺の裸地から採取した黒ボク土壌からの分離を試みた。色度の測定はフィルター滅菌した処理水を用い、試料添加後3日目に3000rpm、20

分遠心分離した後、分光光度計(日立、U-2001)にて700～400nmの波長を20nm毎に測定し、その結果に基づき公定法(JISK 0102)⁵⁾により色度(刺激値Y)および主波長を算出した。なお、培地には、普通寒天培地(好気性菌)、ストレプトセル寒天培地(*Streptococcus*)、MRS寒天培地(*Lactobacillus*)、サブロー寒天培地(真菌)、グルコース・アスパラギン培地(鉄還元菌)、5%ウマ血清添加BL寒天培地(*Bifidobacterium*)、BTB乳糖寒天培地(腸内細菌群)、GAM寒天培地(嫌気性菌)およびKS寒天培地(放線菌)、低栄養要求性細菌用培地は土壤微生物実験法¹⁾を参考にして、LochheadとChaseの培地(B培地)、酵母エキス含有培地(Y培地)、土壌浸出液含有培地(S培地)、酵母エキス・土壌浸出液含有培地(YS培地)および100倍希釈肉エキス培地(DNB培地)を用いた。

結果および考察

1. 処理水の色度および曝気槽に存在する細菌数との関係

処理水の主波長は472～477nmの範囲にあり、ほぼ一定であった。この結果、処理水

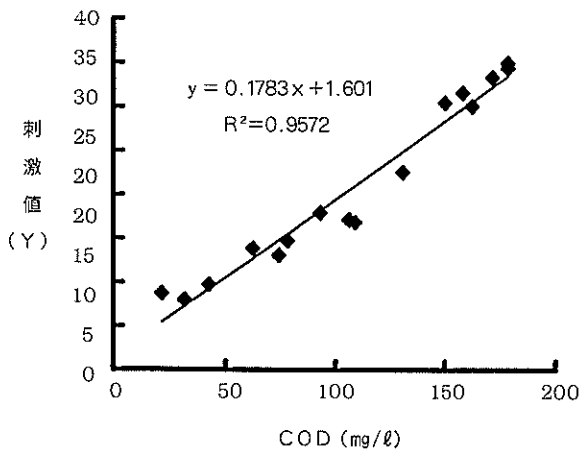


図1 処理水の刺激値(Y)とCODの相関図

の色度は色の種類が変化するものではないことが示された。図1は処理水の色のもるさを示す刺激値(Y)と処理水のCODとの相関図である。刺激値とCODとの間に有意な正の相関が認められた。このため、以下の解析には色度の指標として刺激値(Y)を用いた。処理水の色度とCODと正の相関が認められたことから、処理施設の曝気槽において色度に関与する細菌を特定することにより、色度だけではなく、処理水質を推定することも可能であると考えられた。なお、処理水の刺激値とBOD、T-N、NH₄-Nとの間には相関は認められなかった。

2. 曝気槽からの検索

表1は曝気槽における細菌数と処理水の刺激値との相関係数を示している。真菌、放線菌および鉄還元菌数と色度との間に正の有意な相関が認められた。我々は本処理施設の曝気槽における真菌および放線菌数と処理水のCODとの間に正の相関が認められたことを見い出しており、これらの細菌が処理水の色度に影響を及ぼしている可能

性が考えられた。

曝気槽から選択培地および非選択培地を用いてコロニーを分離し、その各々についてフィルター滅菌した処理水に添加したが、処理水の色度を低減させる株を単離することはできなかった。

次いで、色度を低減できないのは栄養源が不足している可能性が考えられたため、フィルター滅菌した処理水に各選択培地から寒天を除いた成分を添加し、そこに曝気槽の汚水を5%添加した。

なお、*Lactobacillus*、*Streptococcus* および *Bifidobacterium* は曝気槽から分離した純粋培養株を用いた。その結果 *Bifidobacterium* および *Streptococcus* は色度を有意に低減させることが示された。また、嫌気性菌および *Lactobacillus* は色度を増加させることが認められた(表2)。この結果、処理施設の曝気槽内では条件を整えば嫌気性菌および *Lactobacillus* は色度の増加に関与し、*Bifidobacterium* および *Streptococcus* は色度低減に関与するものと推察された。

純粋培養した放線菌を、培地成分を添加した処理水に添加することにより、有意に色度が低減することが認められた(図2)。*Trigo and Ball* は放線菌による土壌中および堆肥のリグノセルロース分解が腐植物質の前駆物質となることを報告している⁷⁾。一方、放線菌の *Streptomyces* は腐植物質の分解に関与していることが示されている^{3, 4)}。本処理施設の曝気槽における放線菌数と処理水の色度との間に正の相関が認められており、曝気槽において放線菌は腐植物質の

表1 曝気槽の細菌数と処理水の色度(Y)との相関

	相関係数
好気性菌	0.30
大腸菌群	0.40
嫌気性菌	-0.23
<i>Streptococcus</i>	-0.40
<i>Lactobacillus</i>	-0.15
<i>Bifidobacterium</i>	-0.24
脱窒菌	0.36
アンモニア酸化細菌	-0.01
アンモニア同化細菌	0.47
真菌	0.61*
鉄還元菌	0.58*
放線菌	0.75***
硫酸還元菌	0.47

*; P<0.05, ***; P<0.001

表2 曝気槽における処理水の色度に影響を及ぼす細菌の検索

	対照区に対する割合(%) ¹⁾	
好気性菌	140.98±	5.44
嫌気性菌	124.36±	6.57*
真菌	60.45±	9.56
<i>Lactobacillus</i> (好気)	108.85±	1.97*
<i>Lactobacillus</i> (嫌気)	108.41±	2.19
<i>Streptococcus</i> (好気)	80.68±	1.72*
<i>Streptococcus</i> (嫌気)	87.47±	0.54
<i>Bifidobacterium</i>	91.82±	1.16*
放線菌	119.62±	5.32*
腸内細菌	106.71±	5.76
アンモニア同化細菌	79.5±	6.39

*; P<0.05

1) フィルター滅菌した処理水に各選択培地から寒天を除いた成分を添加し、そこに曝気槽の汚水を5%添加したものを対照区とした。

生成および分解に参与しているものと推察されたが、処理水は腐植物質の前駆物質がほとんどないと考えられるため、腐植物質の分解だけが生じた結果、色度が低減したと考えられる。

純粹培養した真菌を培地成分を添加した処理水に添加することにより、有意に色度が低下することが認められた(図3)。放線菌と同様に曝気槽における真菌数と処理水の色度との間に正の相関が認められている。真菌の中には腐植物質を分解するものが報告されており²⁾、曝気槽において真菌は放線菌と同様に処理水の色度に影響を及ぼしている可能性が考えられた。

3. 土壌からの検索

図4は処理水に滅菌および非滅菌土壌を

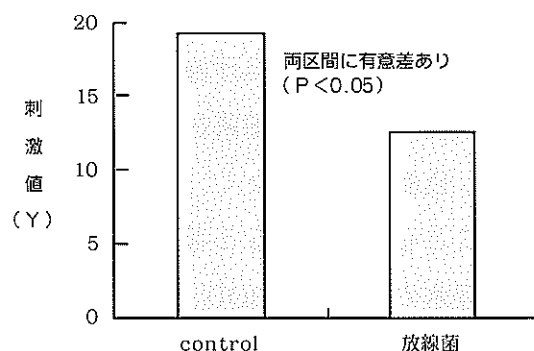


図2 処理水の色度に及ぼす放線菌の影響

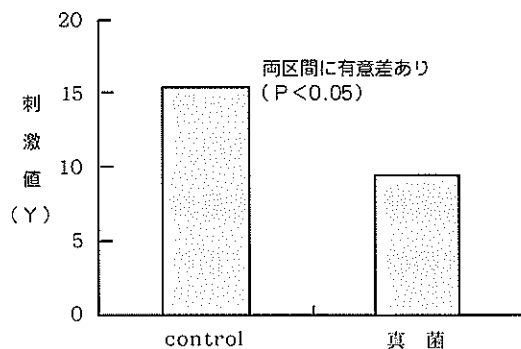


図3 処理水の色度に及ぼす真菌の影響

2.5%添加した時の処理水の色度の値を示した。滅菌した土においても色度の低減が認められたが、土壌添加により有意に処理水の色度を低減させることが示された。このことから、土壌の中に処理水の色度を低減させる細菌が含まれることが示唆された。また、滅菌した土による色度の低減は吸着によるものと考えられ、滅菌した活性炭を

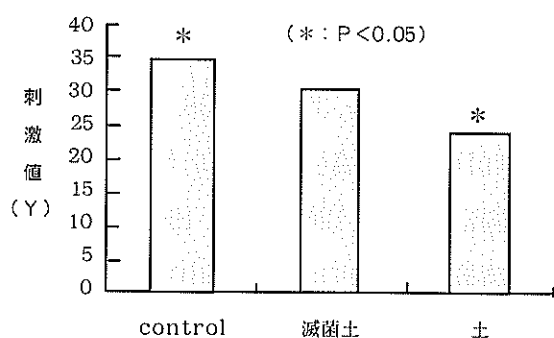


図4 処理水の色度に及ぼす土壌添加の影響

表3 処理水の色度に影響を及ぼす土壌細菌の検索

	滅菌土に対する割合(%)	
好気性菌	92.0±	11.41
嫌気性菌	120.3±	1.66**
真菌	153.8±	5.56*
放線菌	37.4±	0.27**
<i>Pseudomonas</i>	100.0±	3.36
腸内細菌	44.8±	7.22*
アンモニア同化細菌	66.6±	3.40***
DNB	83.9±	8.09
B	97.0±	7.63
Y	111.3±	6.81
S	97.6±	7.11
YS	115.6±	9.98

*; P<0.05, **; P<0.01

***; P<0.001

処理水に添加した時も処理水の色度低減が認められている。しかし、土壌から選択培地および非選択培地を用いてコロニーを単離し、その各々についてフィルター滅菌した処理水に添加したが処理水の色度を低減させる株を分離することはできなかった。

表3は各選択培地から寒天を除いた成分を処理水に添加し、そこに土壌を2.5%添加した時の色度に及ぼす影響を示しており、滅菌した土壌を対照とした。放線菌用培地、腸内細菌用培地およびアンモニア同化細菌用培地では色度の低下が認められ、嫌気性菌用培地および真菌用選択培地はともに土壌を添加すると色度の上昇が認められた。しかし、土壌から真菌を分離し、培地成分を添加した処理水に加えたが、色度を上昇させる株は分離されず、曝気槽から分離した真菌と同様いずれも色度を低減させた。この結果、寒天を除いた真菌用培地で生存し、機能を発現するが真菌用寒天培地ではコロニーを形成しない細菌が色度の上昇に関与している可能性が考えられた。また、試験した5種類の低栄養要求細菌用培地では色度にほとんど影響を及ぼさなかったが、DNB培地成分の添加によりわずかに色度が低減する傾向が見られた。DNB寒天培地ではわずかに放線菌がコロニーを形成するため、放線菌による色度低減と考えられた。

本試験の結果、処理水の色度に影響を及ぼすと考えられるいくつかの細菌が示された。しかし、実験室規模の試験結果であるため、野外でこれらの細菌が機能しているかは明らかでなく、今後はこれらの細菌を

畜舎污水处理施設で機能させる条件を明らかにすることが必要であると考えられる。

要 約

豚舎污水活性汚泥処理施設から排出される処理水の色度に影響を及ぼす細菌の検索を行った。

1. 曝気槽に存在する細菌から検索した結果、処理水に培地成分を添加すると、*Bifidobacterium*、*Streptococcus*および真菌は色度（刺激値）を低減させることが認められ、嫌気性菌は色度を上昇させることが示された。
2. また、処理水の色度と曝気槽の真菌、放線菌および鉄還元菌数との間に正の有意な相関が認められた。
3. 土壌細菌では放線菌が処理水の色度を著しく低減させることが明らかとなった。

引用文献

- 1) 土壌微生物研究会編. 新編 土壌微生物実験法. P380-390. 養賢堂. 東京. 1992.
- 2) Gramass G, Ziegenhagen D, Sorge S. Degradation of soil humic extracts by wood- and soil-associated fungi, bacteria, and commercial enzymes. *Microbial Ecology*. 37: 140-151. 1999.
- 3) Khandelwal KC, Gaur AC. Degradation of humic acids, extracted from manure and soil by some *Streptomyces* and fungi. *Zentralblatt fur Bakteriologie* 135: 119-122. 1980.
- 4) Kontchou CY, Blondeau R. Biodegradation of soil humic acids by *Streptomyces viridosporus*. *Canadian Journal of Microbiology*. 38: 203-208. 1992.
- 5) 財団法人規格協会. JISハンドブック 環境測定. P1054-1266. 東京. 1997.
- 6) 高橋栄二、古川智子、山本朱美、岡田清、岡田光弘、渡邊昭三、古谷 修、木本博志. 豚舎污水の活性汚泥処理施設における細菌叢とその季節変動. *日本畜産学会報*. 71: J362-J369. 2000.
- 7) Trigo C and Ball AS. Is the solubilized product from the degradation of lignocellulose by actinomycetes a precursor of humic substances? *Microbiology*. 140: 3145-3152. 1994.

課題名 II 高濃度畜舎汚水の低コスト処理・利用技術の開発
 1. 微生物及び膜の組み合わせ利用による高濃度成分の除去技術の開発
 ⑤ 微生物相による畜舎汚水浄化機能の簡易評価法の開発

担当者：高橋栄二、古川智子、山本朱美、岡田光弘、伊藤 稔、古谷 修
 研究期間：平成12～13年度

緒 言

生活排水および畜舎汚水の活性汚泥処理施設による処理過程における微生物の種類および数と処理水質との関係については、これまで原生動物および後生動物を中心に研究がなされており、これら生物の種類および数は運転状況を反映していることが明らかにされている^{4,5)}。一方、秋山ら¹⁾は生活排水の活性汚泥処理施設の曝気槽の細菌叢を蛍光 in situ ハイブリダイゼーション法により網および亜網レベルで調査し、処理水質と相関がないことを報告している。

我々⁸⁾は精密濾過膜を用いた豚舎汚水活性汚泥処理施設の細菌叢を調査し、試料により細菌数および種類が変動することを明らかにしている。この処理施設においては運転状態が良好の時に出現するとされる原生動物および後生動物は認められないにも

関わらず、処理水質は法令基準値をほぼ満たすものであった。一方、活性汚泥処理施設は微生物、特に細菌の機能を利用した浄化処理であり、処理過程における属レベル程度の細菌の種類または数の変動は処理水質を反映している可能性が考えられる。そこで豚舎汚水活性汚泥処理施設の処理過程における様々な細菌、並びに研究の蓄積が少ない真菌について、これらの数と処理水質との関連を調査し、細菌および真菌の計数が処理水質を判定する一つの指標となりうるか検討した。

材料および方法

1. 活性汚泥処理施設

本処理施設の概要は図1に示した。豚舎から排出されるふん尿混合物をスクリーンプレス脱水機にかけ、原水槽 (No.A, 22m³)

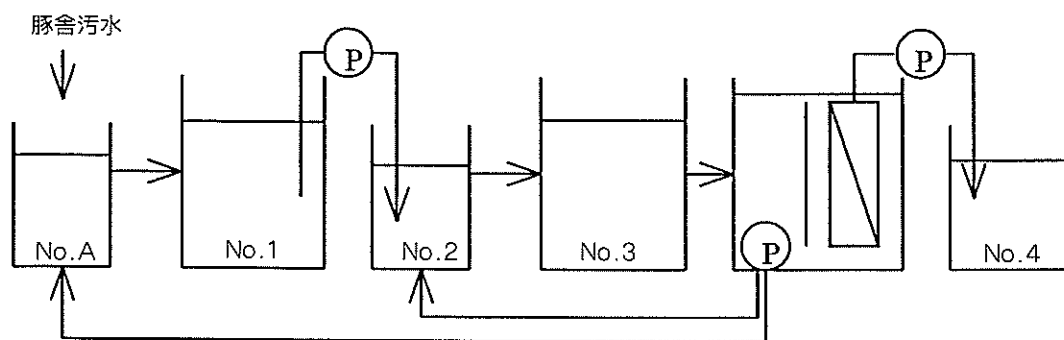


図1 豚舎汚水活性汚泥処理施設の概要

No.A:原水槽、No.1:汚水調整槽、No.2:嫌気槽、No.3:曝気槽、No.4:処理水槽

に貯留させる。次いで汚水調整槽 (No. 1, 22m³) に貯留させた後、嫌気槽 (No.2, 5m³)、および間欠曝気 (曝気1時間、停止1時間) させることで好氣的状態にある曝気槽 (No. 3, 22m³) を通過させた。次いでリンの除去を目的として、無機凝集剤 (ポリ硫酸第二鉄) を添加した後、精密濾過膜としてポリオレフィンを原料にした微多孔性の平膜 (孔径0.4mm、膜面積17.0m²) を通過させて汚泥と処理水に分離させる。処理水は処理水槽 (No.4, 0.8m³) に貯留させている。精密濾過膜を通過させる時に生じた汚泥は、返送汚泥として嫌気槽に循環させ、余剰汚泥として原水槽に循環させている。

2. 試料の採取、運搬ならびに前処理の方法

試料は2000年2月27日から2000年7月31日までの間に汚水調整槽、嫌気槽、曝気槽および処理水槽の汚水および処理水を計16回採取した。試料の採取は午前10時に行い、試料は滅菌した容器に採取し、碎氷とともに保冷箱に収容して実験室に運搬した。試料のフロックの分散にはホモジナイザー (井内:100V 40W) および超音波ホモジナイザー (SMT:UH-50) を用いた。

3. 水質分析

水質分析は公定法 (JIS K0102)⁷⁾により測定した。分析項目は生物化学的酸素要求量 (BOD)、化学的酸素要求量 (COD)、全窒素 (T-N)、アンモニア態窒素 (NH₄-N) および硝酸・亜硝酸態窒素 (NO_x-N) とした。

4. 細菌および真菌の計数

細菌数は非選択培地および選択培地を用

いて培養して計数した。すなわち好気性菌は普通寒天培地 (日水製薬、東京) を用い、35℃で2日培養し、大腸菌群数はデスオキシコール酸塩培地 (日本製薬、東京) を用い、35℃で20時間培養した。嫌気性菌はGAM寒天培地 (日水) を用い、嫌気ジャーにて35℃で2日培養した。*Streptococcus*はストレプトセル培地を用いて35℃で2日培養し、*Lactobacillus*はMRS寒天培地を用い、35℃で2日培養した。*Bifidobacterium*はBL寒天培地 (日水) に5%ウマ血清を添加した培地を用い、35℃で2日嫌気培養して計数した。真菌はサブロー培地 (日水) を用いて35℃で24時間培養した。脱窒菌はPYN培地を用い、28℃で10日培養し、BTBの青変およびダーラム管にガスがたまったものを陽性とし、最確値法で計数した。アンモニア酸化細菌数は、Alexander and Clark方法²⁾により最確値法で計数した。アンモニア同化細菌は安藤らの方法により計数した³⁾。鉄還元菌はグルコース・アスパラギン培地を用いて30℃で7日培養し、最確値法で計数した。放線菌はKS培地を用いて30℃で10日培養して計数した。硫酸還元菌はm-ISA培地を用いて37℃で10日嫌気培養し、最確値法で計数した。

結果および考察

表1に処理水における各水質項目について、最小値および最大値を示した。処理水質は法令基準値をほぼ満たしていたが、処理水のCOD、T-Nについては一部の試料においてわずかに基準値を越えていた。

表1 汚水処理施設の各段階における水質

槽	℃	pH	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)
汚水調整槽	7.7~25.8	6.93~8.08	1852.3~9695.4	999.9~1939.9
嫌気槽	9.1~31.3	6.79~8.32	608.1~3333.3	1454.9~2000.5
曝気槽	12.9~31.8	6.93~7.99	795.2~2727.3	1884.0~2010.4
処理水槽	9.1~30.1	7.77~9.02	0.56~16.8	21.4~178.7

槽	T-N(mg/ℓ)	NH ₄ (mg/ℓ)	NO _x -N (mg/ℓ)	Coliform(logCFU/ml)
汚水調整槽	952.6~3632.6	788.4~2704.4	n.d.	<2.0~2.30
嫌気槽	508.6~1859.4	27.5~568.4	n.d.	<2.0~3.53
曝気槽	539.4~2245.0	18.3~605.0	n.d.	2.0~3.97
処理水槽	18.41~132.2	2.8~113.7	4.8~55.9	<1.0~3.32

n.d.; not determined.

表2 曝気槽のpH、水温と処理水質との関係

	pH	水温(℃)
BOD	0.77***	0.44
COD	0.76***	0.92***
T-N	0.66**	0.59*
NH ₄ -N	0.70**	0.59**
NO _x -N	-0.61*	-0.42

*; P<0.05, **; P<0.01, ***; P<0.001

表2は曝気槽のpHおよび水温と処理水質との相関を示している。曝気槽のpHと処理水質との相関は、BOD (r=0.77、P<0.001)、COD (r=0.76、P<0.001)、T-N (r=0.66、P<0.01) およびNH₄-N (r=0.70、P<0.01) のいずれとも正の相関関係が認められ、NO_x-Nとは負の相関が認められた (r=-0.61、

表3 曝気槽における細菌および真菌の数と曝気槽の水質項目との関係

	pH	℃	BOD	COD	T-N	NH ₄ -N
好気性菌	0.53*	0.34	-0.13	0.04	-0.14	-0.05
大腸菌群	0.19	0.31	-0.49	-0.10	-0.12	0.14
嫌気性菌	0.19	0.13	-0.61*	-0.33	-0.43	0.31
<i>Streptococcus</i>	-0.19	-0.14	-0.23	-0.01	-0.24	-0.12
<i>Lactobacillus</i>	-0.31	-0.26	0.26	0.13	0.25	-0.18
<i>Bifidobacterium</i>	0.01	-0.12	-0.19	-0.49	-0.49	0.49
脱窒菌	0.52*	0.23	-0.32	0.15	-0.06	0.20
アンモニア酸化細菌	-0.02	0.13	0.03	0.05	-0.10	-0.81***
アンモニア同化細菌	0.24	0.50*	-0.01	0.33	0.42	0.03
真菌	0.71**	0.40	0.42	0.83***	0.67*	0.78**
鉄還元菌	0.29	0.39	-0.15	0.28	0.69*	0.37
放線菌	0.20	0.58*	0.01	0.55*	0.78***	-0.31
硫酸還元菌	0.14	0.38	0.33	0.44	0.51	-0.02

*; P<0.05, **; P<0.01, ***; P<0.001

P<0.05)。曝気槽の水質と処理水質との相関は、COD (r=0.92、P<0.001)、T-N (r=0.59、P<0.05)、NH₄-N (r=0.59、P<0.01) との間には有意な相関が認められた。この結果、精密濾過膜を用いた豚舎汚水活性汚泥処理施設の現場では曝気槽のpHおよび水温を測定することにより、簡易に処理水質を判定することが可能であると示唆された。また、曝気槽のpHに影響を及ぼす細菌またはpHおよび水温の変化に敏感な細菌を計数することで処理水質を推定する指標細菌として利用できる可能性が考えられた。

表3は曝気槽における細菌および真菌の数と曝気槽の水質との相関を示している。曝気槽のpHと好気性菌、脱窒菌および真菌数との間に正の相関が認められた。曝気槽のBODと嫌気性菌数との間に負の相関 (r=-0.61) が見られた。曝気槽のCODと真菌と

の間には正の相関 (r=0.83) が認められ、放線菌数との間にも正の相関 (r=0.55) が認められた。曝気槽のT-Nと真菌、鉄還元菌および放線菌数との間にはいずれも正の相関が見られた。曝気槽のNH₄-Nとアンモニア酸化細菌数との間には負の相関 (r=-0.81 P<0.001) が認められ、真菌とは正の相関 (r=0.78) が認められた。一方、アンモニア同化細菌数とNH₄-Nとの間に明らかな相関は認められなかった (r=0.03)。牛舎汚水ラグーン処理施設ではアンモニア同化細菌によるNH₄-Nの除去が示唆されている⁶⁾が、本処理施設においてはアンモニア酸化細菌がNH₄-Nの除去に主に関与していると推察された。

曝気槽の細菌および真菌の数と処理水質との相関を表4に示した。処理水のBODは好気性菌、嫌気性菌、脱窒菌数と正の相関

表4 曝気槽における細菌および真菌の数と処理水質との関係

	BOD	COD	T-N	NH ₄ -N	NO _x -N
好気性菌	0.50*	0.37	0.42	0.42	-0.09
大腸菌群	-0.07	0.31	-0.05	-0.14	-0.13
嫌気性菌	0.49*	-0.08	-0.20	-0.13	0.02
<i>Streptococcus</i>	0.33	-0.32	-0.32	-0.26	0.05
<i>Lactobacillus</i>	-0.14	-0.20	-0.26	-0.19	-0.03
<i>Bifidobacterium</i>	0.01	-0.17	-0.22	-0.27	0.21
脱窒菌	0.65**	0.38	0.04	0.26	-0.54*
アンモニア酸化細菌	-0.08	0.05	0.14	-0.04	0.27
アンモニア同化細菌	-0.02	0.48	0.43	0.47	-0.25
真菌	0.42	0.58*	0.62*	0.57*	-0.72*
鉄還元菌	0.19	0.49	0.04	0.39	-0.59*
放線菌	-0.28	0.66**	0.37	0.25	-0.25
硫酸還元菌	-0.19	0.41	0.35	0.35	-0.07

*; P<0.05, **; P <0.01

関係にあることが示された。処理水のCODと真菌、放線菌数との間にはいずれも正の相関が見られた。処理水のT-NおよびNH₄-Nと真菌数との間には正の相関が認められた($r=0.62$ 、 $r=0.57$)。また、処理水のNO_x-Nと脱窒菌、真菌および鉄還元菌数との間にはいずれも負の相関関係にあることが明らかとなり、真菌との相関($r=-0.72$ 、 $P<0.05$)は曝気槽のpHと処理水のNO_x-Nとの相関よりも高い相関関係にあった。

曝気槽の好気性菌、嫌気性菌および脱窒菌の数は、処理水のBODと連動して増減することが明らかとなった。しかし、これらの細菌が増加すると処理水のBODが上昇するのか、活性汚泥槽へのBODの流入量が増加するとこれらの細菌が増加するか、もしくはこの両方なのかは不明である。一方、曝気槽の真菌数は、処理水のCOD、T-N、NH₄-NおよびNO_x-Nのいずれとも有意な相関関係にあることが明らかとなった。したがって、曝気槽における真菌数は、精密濾過膜を用いた豚舎活性汚泥処理施設の処理水質を判定する指標として優れていると考えられた。

本試験の結果、本処理施設の処理過程における細菌および真菌の数と処理水質との間に相関があることが示された。この技術には、原生動物が常在していない污水处理施設にも適用できる優位性がある。しかし、まだ情報の蓄積が少ないことに加え、細菌の計数方法が煩雑であるなど、実用化に向けて解決しなくてはならない問題点があり、これらの解決が望まれる。

要 約

活性汚泥処理は微生物機能を利用した浄化処理であり、処理過程の細菌の種類および数は処理水質に反映される可能性が考えられる。そこで精密濾過膜を用いた豚舎污水活性汚泥処理施設の曝気槽において様々な細菌を計数し、処理水質との相関を調べた。

1. 曝気槽のpHと処理水質(生物化学的酸素要求量; BOD、化学的酸素要求量; COD、全窒素; T-N、アンモニア態窒素; NH₄-Nおよび亜硝酸・硝酸態窒素; NO_x-N)は相関関係にあり、曝気槽のpHと好気性菌、脱窒菌および真菌数との間に正の相関関係が認められた。
2. 処理水のBODは曝気槽の好気性菌、嫌気性菌、脱窒菌数との間に正の相関が認められ、処理水のCODは曝気槽の真菌および放線菌数と正の相関にあり、T-NおよびNH₄-Nは曝気槽の真菌数と正の相関にあった。
3. 処理水のNO_x-Nは曝気槽の脱窒菌、真菌および鉄還元菌数のいずれとも負の相関関係が認められた。
4. 本試験の結果、精密濾過膜を用いた豚舎污水活性汚泥処理施設の曝気槽におけるいくつかの細菌数は処理水質を反映することが示唆された。

引用文献

- 1) 秋山隆志、佐藤弘泰、味埜 俊、松尾友矩. FISH法を用いた下水処理場活性汚泥中の細菌群集構造解析. 水環境学

- 会誌. 23: 271-278. 2000.
- 2) Alexander M, Clark FE. Methods of soil analysis Part2. 1st ed. 1477-1483. American Society of Agronomy Inc. Madison. 1965.
- 3) 安藤太助・阿部 孝・幸田 力・扇元敬司・中井 裕. ラグーンフローラの季節変動. 動物環境レメディエーション. 131-136. 養賢堂. 東京. 1999.
- 4) Curds CR, Cockburn A. Protozoa in biological sewage-treatment process- II. Protozoa as indicators in the activated sludge process. Water Research. 4:237-249. 1970.
- 5) Jenkins SH. Role of protozoa in the activated sludge process. Nature. 150: 607. 1942.
- 6) Nakai Y, Abe T, Kohda C, Ando T. Water characteristics and microbial flora in a lagoon system for wastewater from a paddock of dairy cattle. Animal Science Journal. 70: 38-42. 1999.
- 7) 財団法人規格協会. JISハンドブック環境測定. P1054-1266. 東京. 1997.
- 8) 高橋栄二・古川智子・山本朱美・岡田清・岡田光弘・渡邊昭三・古谷 修・木本博志. 豚舎汚水の活性汚泥処理施設における細菌叢とその季節変動. 日本畜産学会報. 71: J362-J369. 2000.

課題名 Ⅲ 堆きゅう肥の品質向上技術の開発

2. 堆きゅう肥の高付加価値技術の開発

微生物の呼吸作用を指標とする腐熟度判定技術および簡易測定装置の試作

担当者：古川智子、伊藤 稔、岡田光弘、高橋栄二、山本朱美、古谷 修

協力機関：家畜改良センター

研究期間：平成12～13年度

緒 言

家畜ふん尿の資源としての利用促進には、使いやすい、良質の堆肥を作ることはいうまでもないが、個々の畜産農家や堆肥センター等で製造されている堆肥の品質には著しい違いがあるため、これらの品質を的確に評価する手法が必要になる。現在のところ、公定法としての品質評価法は定められていないが、堆肥の品質評価に当たっては腐熟度がきわめて重要な指標となる¹⁾。

堆肥（ふん尿等の堆積物）の腐熟とは、原料資材中の易分解性の有機物が好気性微生物によって発酵、分解される過程のことである。この過程で発熱して堆積物の温度は70～80℃まで上昇するが、微生物が利用できる易分解性有機物が消費し尽くされ、もはや発熱しなくなれば堆肥は完全に腐熟したものと判断してよい。したがって、堆積物の温度変化は腐熟の確実な指標であるが、それには温度上昇と下降のパターンを把握する必要があるため、堆肥の製品のみからの判定はこの方法では不可能であり、簡易判定法とは言い難い。

堆肥の完熟が、微生物に有効利用される易分解性有機物が消耗し尽くされた状態であ

るとすれば、その含有量が腐熟度判定の有力な指標になるに違いない。この考えのもとで、従来から、有機物や還元糖などの化学分析が行われているが、微生物が利用し得る易分解性有機物との間にはやや開きがある。そこで、堆肥中の微生物の呼吸活動から易分解性有機物の含量を知り、腐熟度を判定する方法が考えられている。

その一つは、米国のWoods End Research社により開発されたSOLVITA（商品名）である。一定量の試料を容器に入れ、室温で4時間培養、その間に発生する二酸化炭素の量を特殊な物質の発色により標準色調を用いて8段階に格付けする方法である。このキットによる腐熟度の判定は、米国やデンマークで広く普及している²⁾。

当研究所では、平成11年度までに、微生物の呼吸活動から腐熟度を判定する点は同じであるが、二酸化炭素の生成量ではなく、酸素の消費量から判定する手法を開発した²⁾。二酸化炭素の定量的な測定はかなり大掛かりな装置になるが、酸素消費量は市販の溶存酸素計（DOメーター）によって比較的簡単に測定できるのがこの方法のメリットであり、堆肥の腐熟度が、簡易に、かつかな

り確実に判定できる見通しが得られている。

そこで、平成12年度においては、酸素消費量に影響する要因を解明するとともに、堆肥センター等でも使用できることを目的に、携帯可能な簡易測定装置の試作についても検討した。

材料および方法

1. 微生物の酸素消費量による腐熟度判定の原理

堆肥が未熟のうちは微生物によって分解される有機物が多量に存在するため、微生物の活動は活発で、酸素消費量も多いが、腐熟が進むにつれて易分解性有機物の残量が少なくなるため、酸素消費量も少なくなる。したがって、密閉容器に入れた堆肥の一定条件、一定時間における酸素消費量を溶存酸素計を用いて測定することにより比較的簡易に腐熟度が判定できる。

2. 測定装置

測定装置は、試料を充填する密閉可能な

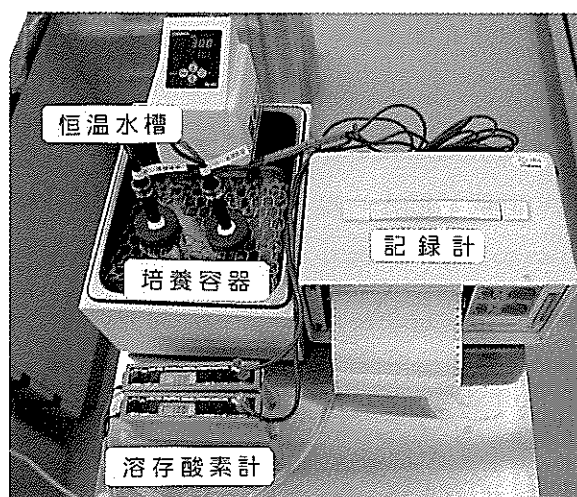


写真1 微生物の酸素消費量にもとづく堆肥の腐熟度測定装置
(2連で測定している)

容器(培養びん)、酸素濃度を測定する溶存酸素計、恒温水槽および酸素濃度の変化を経時的に把握する記録計から構成される(写真1)。培養びんは、ガラスびん(容量約300ml)で、蓋には溶存酸素計のセンサー部分を投入する穴をあけ、シリコンゴムを充填して密閉できるようにした。恒温水槽は、市販の卓上型のもので、培養びんの固定にステンレスワイヤーを使用した。

3. 腐熟度測定の一般的な手順

堆肥の試料を目開き10mmの篩に通し、水分を調整する。培養びんに試料を40~50g秤取りし、培養温度(30~40℃)まで温め、溶存酸素計のセンサーをセットして培養びんを密閉する。一定時間培養した後、培養前後の酸素濃度から酸素消費量を算出する。

4. 酸素消費量に影響する要因の検討

酸素消費量の測定誤差、試料の堆積期間、水分含量、培養温度、試料の量、堆肥の原料(畜種)等について検討した。

また、本装置は、腐熟度が進むにつれて酸素消費量が低下するのは易分解性有機物が減ることによるとの前提に立っており、これを実証するため、完全に近い堆肥に微生物の栄養源である普通寒天培地を添加して、酸素消費量の増加を確かめた。

結果および考察

1. 酸素消費量における変動要因の検討

1) 反復測定の実差

堆肥の腐熟度を2つの培養びんを用いて、反復測定した場合の実差の程度を調べた。

堆肥は、場合によっては塊になりやすい

ため、それが測定誤差となるが、堆肥をそのまま供試したものと、10mmの篩を通して均一化して用いたものを比較したところ、篩を通すことで測定誤差は小さくなった(図1)。試料のばらつきさえなければ、本手法はきわめて精度が高い方法といえる。

大気中の酸素濃度は約21%であるが、測定時間とともにほぼ直線的に低下する。この場合には開始から5時間測定しているが、直線性が把握できさえすれば、30分程度の測定で十分である。

2) 堆積期間の違いによる酸素消費量

理屈としては、未熟の堆肥と完熟に近い堆肥では酸素消費量が異なることは明らか

であるが、この手法を現場で腐熟度判定に使うには、測定値間にかなりはっきりした違いがなければ、その判定は不確実なものになる。そこで、未熟な堆肥(堆積2日後)とほぼ完熟に近いもの(同34日後)、その中間の堆肥(同27日後)の酸素消費量を比較したところ、図2に示したように、未熟堆肥は酸素濃度が急激に下降したが、完熟に近いものはきわめて緩慢で、27日後のものはその中間となった。したがって、本手法は腐熟の程度をかなり精度よく把握できると考えられる。

3) 堆肥の水分含量の影響

堆肥の水分含量が発酵にきわめて大きく

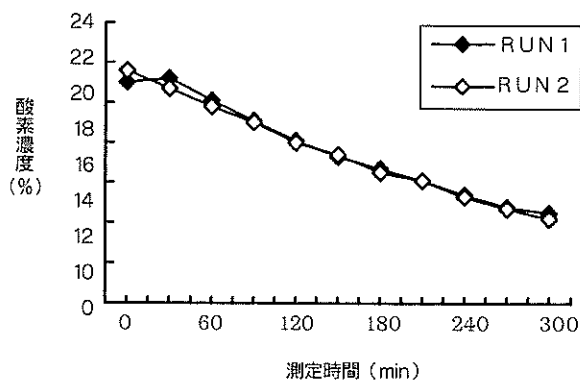
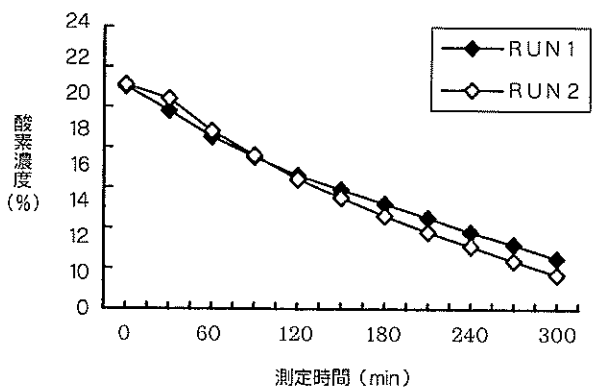


図1 2連による測定誤差(試料をそのまま測定(左)と均一化(10mmの篩通過)して測定(右)した場合)

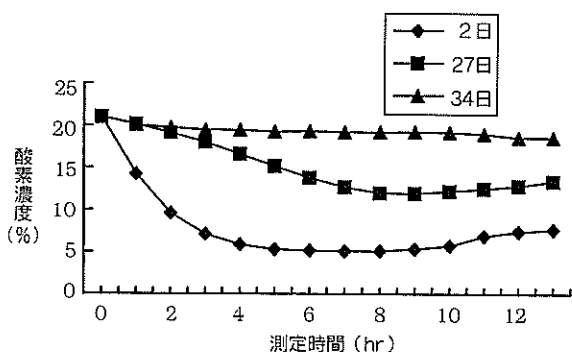


図2 堆積期間の違いによる酸素消費量の差

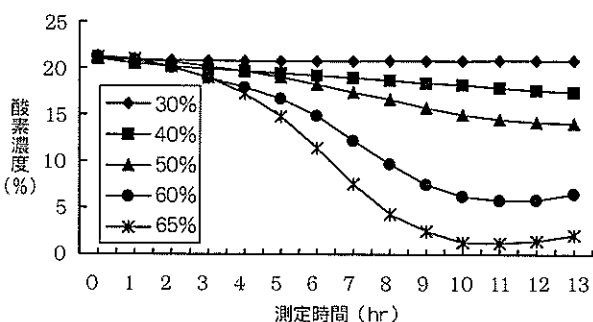


図3 堆肥の水分含量による影響(水分30~65%)

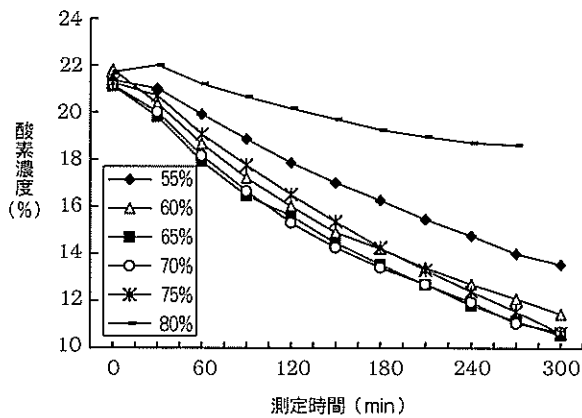


図4 堆肥の水分含量による影響
(水分55~80%)

影響することはよく知られた事実である。本手法においても、好気性微生物の働きをみているため、試料の水分含量について検討した。

まず、水分含量が30~70%の範囲で調べた。既述の堆積27日後の堆肥を風乾し、これに段階的に水を加えて水分含量が30, 40, 50, 60および70%になるように調整した。これらの5種類の試料の酸素消費量を測定したところ、図3のようになり、酸素濃度の下降は水分含量が高いほど著しく、水分30%では酸素消費はほとんどなかった。

ついで、水分含量を55, 65, 70, 75および80%で比較した。元々の試料の水分が55%であったため、水を加えて調整した。その結果、水分含量が55および80%の場合は他よりも下降が明らかに緩慢であったが、60~75%ではほとんど差が認められなかった(図4)。

2回の実験を通じて、堆肥の水分含量は少なすぎても多すぎても測定値は低くなり、水分含量は60~75%の範囲にあるのが望ましいと考えられた。

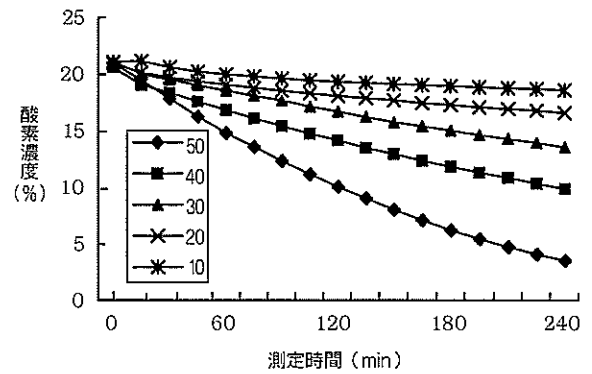


図5 測定温度による影響 (10~50℃)

なお、図3と図4では、酸素濃度の変化のパターンが培養初期で異なり、図3では初期の反応が緩慢であった。この理由の一つとして、最初の実験では、試料を予め風乾したため、微生物が正常に活動するまでに時間が掛かったことが考えられる。

4) 培養温度の影響

微生物の活動は温度依存性があるが、本装置も微生物の呼吸作用を測っているため、温度によって測定値が変化することが考えられた。そこで、培養温度を10~50℃の範囲で測定したところ、温度が高い方が酸素消費量は多かった(図5)。したがって、培養温度は一定値に決める必要がある。

5) 堆肥のサンプル量

これまでの測定ではサンプル量を40gと一定に決めて実施したが、ここではサンプル量を5~50gまで変えて酸素消費量を比較した。その結果、図6に示したように、サンプル量に比例してほぼ直線的に高まった。5gの場合は、単位重量当たりの酸素消費量が高くなったが、酸素との接触面積との関係があると考えられた。

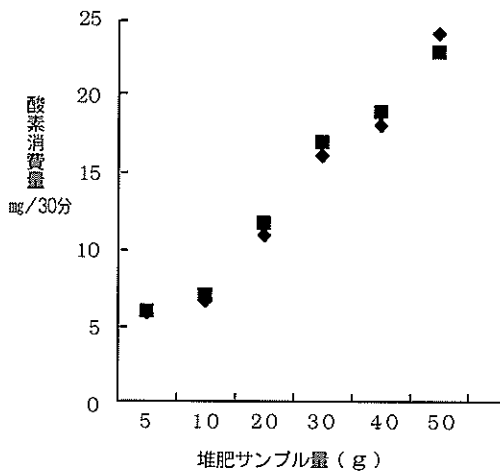


図6 堆肥のサンプル量の違いが酸素消費量に及ぼす影響

なお、酸素消費量の算出ではサンプル量による培養びん内の容量の違いを補正した。ここで用いた堆肥の比重は1.1であった。

2. 豚糞および鶏糞の堆肥での試験

腐熟度の判定装置は主に牛糞堆肥を用いて検討しているが、豚糞あるいは鶏糞の堆肥でも問題なく酸素消費量が測定できた。

3. 堆肥への微生物の「エサ」の添加

本腐熟度判定装置は、易分解性有機物含量を微生物の呼吸作用（酸素消費量）で測定している。したがって、腐熟が進んだ堆肥でも、「エサ（易分解性有機物）」を外部から添加すれば、再び呼吸作用が活発になるはずである。そこで、かなり腐熟が進んだ堆肥を用い、これに粉末の普通寒天培地を10%添加して酸素消費量を測定した。その結果、35℃で30分保持してから測定した酸素消費量（ $\mu\text{g}/\text{min}/\text{g}$ ）は、無添加および添加で、それぞれ、6.68および9.95となり、寒天培地添加で有意に（ $P < 0.05$ ）酸素消費量が高まった。さらに、35℃で8時間保持した後に測定した酸素消費量は24.5に高ま

ったが、24時間後でも20.1でそれ以上高くはならなかった。無添加の場合は、35℃での保持時間に関係なく低値のままであった。

4. 今後の課題

微生物の酸素消費量から腐熟度を簡易に、かつかなり確実に判定する技術開発の見通しが得られた。本法は、腐熟程度の基本である易分解性有機物含量を直接的に対象物質としており、また、腐熟度判定に使用する微生物は特殊のものではなく、対象試料の堆肥化に活躍した、あるいは活躍しつつある微生物群をそのまま使っていることが強みである。そのため、広範囲の堆肥への適用が可能と考えられるが、さらに検討すべき事項として以下のことがあげられる。

本手法は、微生物による酸素消費量から堆肥の腐熟度を簡易に判定することが目的である。したがって、この方法でどれだけ確実に腐熟度が判定可能かを評価するため、発芽試験や幼植物試験との関連についても調べる必要がある。

本装置は恒温水槽や大型の記録計を備えており、このまま気軽に持ち運ぶわけにはいかない。堆肥センター等の現場での適用を考えれば、測定装置のコンパクト化、ポータブル化も今後の課題である。

要 約

堆肥の腐熟度判定装置における微生物の酸素消費量に及ぼす変動要因について調べた。

1. 2連による測定誤差はきわめて小さかった。

2. 堆肥の堆積期間によって酸素消費量は大きく異なり、この手法によって堆肥の腐熟度が精度よく判定できると考えられる。
3. 測定する堆肥の水分含量は60～75%に調整するのが望ましい。
4. 測定温度は10～50℃の範囲で高い方が酸素消費量は多かった。
5. 酸素消費量はサンプル量に比例した。
6. 完熟に近い堆肥に寒天培地を添加すると酸素消費量が高まった。

引用文献

- 1) 原田靖生：堆肥の品質評価について、畜産環境情報、第7号、2～7、1999.
- 2) 岡田 清・古川智子・渡邊昭三：堆きゅう肥成分の変動要因の解明ならびに品質評価法の開発、畜産環境技術研究所年報、第2号、101～106、1999.

課題名 IV 環境保全技術体系の開発

2. 家畜ふん尿等の低コスト処理・利用技術の体系化

①鶏ふん焼却灰のリン源としての飼料利用の鶏における実証試験

担当者：古谷 修、山本朱美、伊藤 稔、岡田光弘、古川智子、高橋栄二

研究期間：平成12年度

緒 言

家畜飼料の無機リン源として利用されているリン鉱石は飼料資源の一つであるが、その埋蔵量には限りがあり¹⁾、その効率的な利用が望まれている。一方では、家畜から排出される窒素やリンなどの物質による環境負荷の低減が重要な課題になっている。

リンによる環境負荷の低減の一つの手段として、飼料へのフィターゼの添加がある。豚や鶏といった非反芻家畜では、植物飼料原料中に含まれるリンであるフィチン酸塩をほとんど利用できないが、これを分解する酵素であるフィターゼの添加によってリンの利用性が高まる²⁾ことが、豚²⁾ および鶏³⁾で明らかにされ、この技術が実用化されつつある⁴⁾。

鶏ふんは一般に肥料として利用されているが、最近、とくに大規模養鶏場にあっては、堆肥化よりも手間がかからないため、鶏ふんの焼却処理が行われるようになってきている。この場合、ダイオキシン発生の問題があるため、900℃程度の比較的高温で処理するのが普通である。また、従来より鶏ふんボイラーでの利用もみられ、英国では鶏ふんエネルギーによる発電が実用化されている⁵⁾。しかしながら、これらの結果生じる焼却（燃焼）灰は、一部は肥料として利

用されている^{6)、7)}ものの、十分な用途がなくその処分に苦慮しているのが現状である。

鶏ふん中のリンの大部分はフィチン酸塩であるが、焼却処理により無機リン化されるため、豚や鶏でも利用可能になる。したがって、焼却灰を豚や鶏の飼料のリン源としてリサイクル利用すれば、リン資源の節約とともに、環境負荷軽減につながることになる。

鶏ふん焼却灰を飼料に用いて家畜の発育を調べた報告はないが、目加田らはヒナの趾灰分量を指標として、鶏糞焼却灰のリンの利用率は第一リン酸カルシウムの88%と高いことを報告している⁸⁾。著者らは、これまでに、ブロイラーおよび産卵鶏の鶏ふん焼却灰のカルシウムとリンの比率は約2:1で、これはブロイラーや豚における両者の要求量の比率ときわめて類似しており、また、焼却灰を飼料の無機リン源として用いてもヒナの発育には何ら支障がないことを明らかにした⁹⁾。そこで、今年度は、ブロイラーおよび産卵鶏において鶏ふん焼却灰のリン源としての利用について実証試験を実施した。

ここでは、平成11年度に実施したヒナによる予備試験の結果も含めて、鶏ふん焼却灰の飼料としての利用性について報告する。

材料および方法	等から提供を受けたブロイラーおよび産卵
1. 鶏ふん焼却灰のミネラル組成	鶏のふんを800℃で灰化してミネラルの組成をみた。
家畜改良センター、国および県の試験場	

表1 試験飼料の配合割合と化学組成 (ヒナ)

飼料原料 (%)	無機リン飼料	焼却灰飼料
黄色トウモロコシ	55.8	54.0
コーングルテンミール	18.0	18.0
大豆粕	12.0	12.0
脱脂米ヌカ	6.3	6.3
魚粉	4.5	4.5
炭酸カルシウム	1.11	0.59
第二リン酸カルシウム	1.13	—
鶏糞焼却灰	—	3.50
その他 ¹⁾	1.16	1.11
化学組成		
カルシウム (%)	1.03	1.03
非フィチンリン (%)	0.53	0.53
粗タンパク質 (%)	26.5	26.5
代謝エネルギー (Mcal/kg)	3.10	3.07

1) 塩化ナトリウム、ビタミン・ミネラル混合物、結晶アミノ酸

表2 試験飼料の配合割合と化学組成 (ブロイラー)

配合割合 (%)	無機リン飼料	焼却灰飼料
黄色トウモロコシ	54.05	53.6
大豆粕	22.0	22.0
コーンスターチ	14.6	14.6
コーングルテンミール	18.0	18.0
魚粉	4.5	4.5
炭酸カルシウム	2.0	2.0
第二リン酸カルシウム	0.74	—
鶏糞焼却灰	—	1.23
その他 ¹⁾	1.03	1.03
化学組成		
カルシウム (%)	0.85	0.85
非フィチンリン (%)	0.36	0.36
粗タンパク質 (%)	19.0	19.0
代謝エネルギー (Mcal/kg)	3.10	3.10

1) 塩化ナトリウム、ビタミン・ミネラル混合物、結晶アミノ酸

2. ヒナによる発育試験

ヒナによる発育試験に用いた飼料の配合割合を表1に示した。第二リン酸カルシウムを1.13%添加した飼料（無機リン区）およびその代わりに鶏糞焼却灰を3.50%添加した飼料（焼却灰区）を1週齢のヒナに1週間給与して発育を比較した。なお、いずれの区においても非フィチンリンの充足率は要求量の110%とした。

3. ブロイラーによる飼養試験

供試飼料の配合割合を表2に示した。3週齢の雌ブロイラー（チャンキー）40羽を10羽ずつの4群に分け、各区を2群に割り当てた。無機リン区では飼料に第二リン酸カルシウムを添加し、焼却灰区ではブロイラー鶏糞の焼却灰を飼料中に添加し、飼料中の非フィチンリンの充足率が要求量の95%となるようにした飼料を調製し、4週間に

わたり不断給餌した。なお、非フィチンリンの含量を要求量の95%に抑えたのは、リンの利用性を第二リン酸カルシウムと焼却灰のリンで比較するには、要求量よりやや低いレベルの方がより確実と考えられたからである。また、開放鶏舎の環境温度は最低19℃、最高35℃で、暑熱環境下の試験であった。

4. 産卵鶏による飼養試験

供試飼料の配合割合を表3に示した。66週齢の産卵鶏（ロードアイランドレッド）32羽を8羽ずつの4群に分け、各区を2群に割り当て、単飼で4週間の飼養試験を行った。無機リン区では飼料に第二リン酸カルシウムを添加し、焼却灰区では産卵鶏の鶏糞焼却灰を飼料中に添加し、飼料中の非フィチンリンの充足率が要求量の95%となるようにした。なお、試験開始時の各群の

表3 試験飼料の配合割合と化学組成（産卵鶏）

配合割合 (%)	無機リン飼料	焼却灰飼料
黄色トウモロコシ	68.02	68.25
コーンゲルテンミール	4.60	4.60
大豆粕	13.5	13.5
脱脂米ヌカ	2.24	2.24
魚粉	1.60	1.60
炭酸カルシウム	8.50	7.07
第二リン酸カルシウム	0.70	—
鶏糞焼却灰	—	1.90
その他 ¹⁾	0.84	0.84
化学組成		
カルシウム (%)	3.60	3.60
非フィチンリン (%)	0.32	0.32
粗タンパク質 (%)	16.5	16.5
代謝エネルギー (Mcal/kg)	2.80	2.80

1) 塩化ナトリウム、ビタミン・ミネラル混合物、結晶アミノ酸

平均産卵率は焼却灰区の方がやや低かった。また、開放鶏舎の環境温度は最低17℃、最高36℃で、暑熱環境下での試験であった。

結果および考察

1. 鶏ふん焼却灰のミネラル組成

鶏ふん焼却灰のミネラル組成を、豚および鶏での要求量とともに表4に示したが、ブロイラーおよび産卵鶏ともカルシウムとリンが多く、カリウム、マグネシウムと続いた。産卵鶏の方がカルシウムとリンが多いが、これは飼料中の含量を反映したものである。カルシウムとリンの比率はブロイラーや肥育豚での日本飼養標準における比率である約2:1とほぼ等しく、このことは、鶏ふん焼却灰を飼料に一定量配合すれば、

カルシウムとリンのいずれの要求量もほぼ満足されることを示している。産卵鶏の場合は、カルシウム要求量はリンの約10倍であるので、焼却灰のみでは足りず、カルシウムの添加が必要になる。

2. ヒナによる発育試験

ヒナの発育では、飼料摂取量、増体量、飼料効率のいずれにおいても全く差が認められなかった(表5)。図1にヒナの体重の変化を示した。

3. ブロイラーによる飼養試験

試験の結果を表6に示したが、両区の発育成績に有意差は認められず、鶏ふん焼却灰のリンの利用性は第二リン酸カルシウムと大きな違いはないものと推察された。図2に試験期間中のブロイラーの体重の変化

表4 焼却灰の主要ミネラル組成と豚と鶏のミネラル要求量との関係(%)

	Ca	P	K	Mg	Na	Cl
焼却灰の主要ミネラル組成						
ブロイラー	7.70	3.55	1.65	0.97	0.67	0.34
産卵鶏	12.3	5.47	1.35	1.15	0.97	0.46
豚と鶏の主要ミネラル要求量						
肥育豚 ¹⁾	0.55	0.25*	0.20	0.04	0.10	0.08
ブロイラー ²⁾	0.90	0.45*	0.35	0.06	0.20	0.20
産卵鶏 ³⁾	3.40	0.35*	0.15	0.05	0.12	0.12

* 非フィチンリン要求量 1)30-70kg 2)0-3週齢 3)産卵期

表5 ヒナの発育成績に及ぼす影響(%)

	飼料摂取量 (g/羽/日)	増体量 (g/羽/日)	飼料要求率
無機リン区	65.3	43.2±4.1	1.52
焼却灰区	67.3	43.7±3.4	1.54

平均値±標準偏差

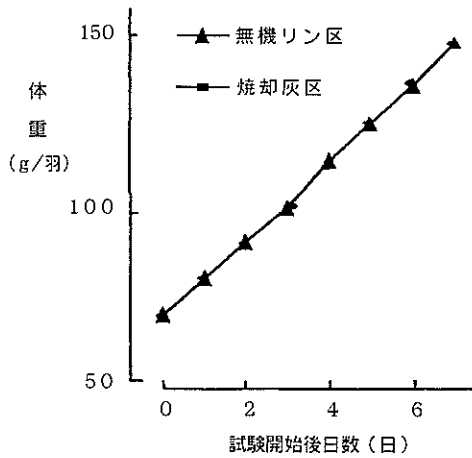


図1 試験期間中のヒナの体重変化⁹⁾

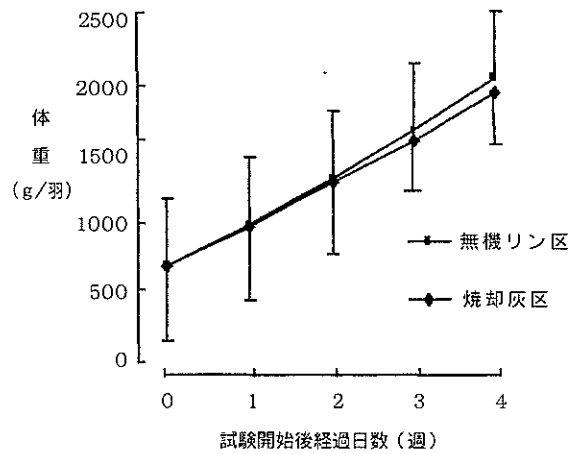


図2 試験期間中のブロイラーの体重変化
平均値±標準偏差

表6 ブロイラーの発育成績に及ぼす影響 (21~49日齢)

	飼料摂取量 (g/羽/日)	増体量 (g/羽/日)	飼料要求率
無機リン区	110	49.0±3.8	2.24
焼却灰区	107	46.0±4.0	2.32

平均値±標準偏差

表7 産卵鶏の飼養成績に及ぼす影響 (66~70週齢)

	飼料摂取量 (g/羽/日)	飼料要求率	体重変化 (g)
無機リン区	89.4	2.00	-14.0±62.4
焼却灰区	89.9	2.13	-23.0±39.2

平均値±標準偏差

表8 産卵鶏の産卵成績に及ぼす影響 (66~70週齢)

	産卵率 ¹⁾ (%)	産卵日量 (g/羽)	卵殻強度 (kg)	異常卵 ²⁾ (個)
無機リン区	67.9±5.9	45.7±3.1	2.40±0.28	4
焼却灰区	63.3±10.2	42.1±6.4	2.47±0.34	3

平均値±標準偏差

¹⁾ 試験開始時の無機リン区および焼却灰区の産卵率は、それぞれ、64.4%および61.9%であった。

²⁾ 試験期間中に発生した破卵および軟卵の総数を異常卵として示した。

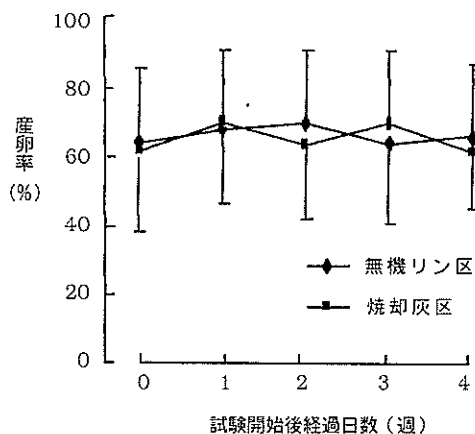


図3 試験期間中の産卵率の変化
平均値±標準偏差

を示した。

4. 産卵鶏による飼養試験

試験の結果を表7および8に示した。飼料摂取量、飼料要求率、体重変化、産卵率、産卵日量、卵殻強度等に試験区による有意の差は認められなかった。焼却灰区で、産卵率、産卵日量ともやや低い傾向が認められたが、図3に示した試験期間中の産卵率の変化からも、両区にはほとんど差がなかったと考えられる。また、暑熱環境下においては、血漿中の重炭酸塩濃度が低下し、卵殻強度が低下したり、破卵や軟卵といった異常卵が多くなることが知られているが、両区において卵殻強度や異常卵の発生数に差は認められなかった(表8)。

要 約

鶏糞焼却灰のリン源としての飼料価値について、化学分析とともに、ヒナによる発育試験、ブロイラーおよび産卵鶏による飼養試験を実施して評価した。

1. 鶏糞焼却灰のカルシウムとリンの比率

は約2:1であり、これは肥育豚およびブロイラーが要求する比率にほぼ等しいことがわかった。

2. ヒナ、ブロイラーおよび産卵鶏を用いた試験においては、無機リン添加飼料と焼却灰添加飼料で発育成績あるいは産卵成績に有意の差は認められなかった。
3. これらの結果と、目加田らのヒナの趾灰分量を指標とした鶏糞焼却灰のリンの利用率が第一リン酸カルシウムの88%であったとの成績⁸⁾を合わせ考えると、鶏糞焼却灰は、養鶏飼料の無機リン源として有効利用できると考えられる。
4. 鶏糞焼却灰を飼料として再利用することにより、現在飼料に添加されている無機リン源の節約とともに、環境への負荷の低減が図られる。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、鶏糞の採取およびヒナの飼育器の使用にご協力いただいた農林水産省家畜改良センター、農林水産省畜産試験場、福島県南家畜衛生保健所、また、ブロイラーおよび産卵鶏の飼養試験は福島県養鶏試験場と共同で実施したことを付記し、関係各位に深謝する。

引用文献

- 1) 畑 孝夫、リンの資源および利用の現状と将来. 季刊肥料、28:33-57. 1990.
- 2) 斎藤 守、豚におけるフィターゼの利用によるリン排泄量の低減とフィターゼの効果的利用法、栄養生理研究会報、

- 42:141-154,1999.
- 3) 武政正明ら、飼料への酵母由来「フィターゼ」の添加による鶏ヒナ排泄リン量の低減、日本家禽学会誌、33:104-111.1996.
 - 4) 高木久雄ら、肉豚およびブロイラーにおける窒素およびリン排泄量の低減に関する検討、平成11年度流通飼料畜産環境改善機能高度化推進事業報告書、(社)日本科学飼料協会、2000.
 - 5) 渡邊昭三、鶏糞発電の状況 —イギリス—、平成12年度家畜ふん尿処理利用研究会資料、農林水産省畜産試験場、2000.
 - 6) 千葉行雄ら、鶏糞焼却灰の利用肥料特性と肥効、東北農業研究、39:139-140. 1986.
 - 7) 小林 寛ら、金肥を節減した牧草および飼料作物の栽培法 4. 鶏灰の成分及び施用実態調査、福島県畜産試験場年報(1989)、69-70. 1989.
 - 8) 目加田博行ら、ブロイラー鶏ふん焼却灰のリン含量と利用率、日本家禽学会誌、21:227-230. 1984.
 - 9) 山本朱美ら、鶏糞焼却灰の無機リン源としての飼料利用、日本畜産学会報、71:j514-j517. 2000.

4. 委員会・会議等の開催

1) 畜産環境保全経営技術開発推進検討委員会の開催

日 時 平成12年 7 月25日

場 所 (財)畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所

議 題

- 1) 研究開発実施状況について
- 2) 新規事業の概要説明
- 3) その他

2) 畜産環境保全経営技術開発推進検討委員会の開催

日 時 平成13年 3 月12日

場 所 (財) 畜産環境整備機構 第1会議室

議 題

- 1) 平成12年度研究開発事業の実施状況について
- 2) 平成13年度事業実施計画について
- 3) 平成13年度予算の概要

5. 職員の普及活動等

5. 職員の普及活動等

学術論文

1. 高橋栄二、古川智子、山本朱美、岡田 清、岡田光弘、渡邊昭三、古谷 修、木本博志 (2000) : 豚舎污水の活性汚泥処理施設における微生物叢とその季節変動、日畜会報、71: J362-J369.
2. 山本朱美、古川智子、高橋栄二、岡田光弘、古谷 修 (2000) : 鶏糞焼却灰の飼料用無機リン源としての飼料利用、日畜会報、71:J516-J519.
3. 古谷 修 (2000) : 調査報告 : EU、とくにスウェーデン、デンマークおよびオランダにおける畜産環境問題の現状、日豚会誌、37:139-149.

学会発表

1. 岡田光弘 (2000) : 畜舎污水处理実証実験、日本畜産環境研究会フォーラム、6月
2. 山本朱美、高橋栄二、古川智子、伊藤 稔、(石川雄治)、(山内克彦)、(山田未知)、古谷 修 (2000) : 肉豚への低タンパク質飼料給与による窒素排泄量、尿量およびアンモニア発生量の低減、第74回日本養豚学会、10月
3. 山本朱美、高橋栄二、古川智子、伊藤 稔、古谷 修 (2000) : 飼料の低タンパク質化による窒素排泄量とアンモニア発生量の低減、畜産環境保全に関する技術開発成果発表会、11月
4. 山本朱美 (2000) : 鶏糞焼却灰の飼料化再利用技術、平成12年度家畜ふん尿処理・利用研究会、11月
5. 山本朱美、青木幸尚、高橋栄二、古川智子、伊藤 稔、(石川雄治)、(山内克彦)、(山田未知)、古谷 修 (2001) : 豚におけるリンゴジュース粕添加飼料給与による尿中窒素排泄量の低減、日本畜産学会第98回大会、3月
6. 山本朱美、高橋栄二、古川智子、伊藤 稔、(猪狩 勉)、(矢口弘子)、(岡崎充成)、古谷 修 (2001) : 鶏ふん焼却灰のプロイラーおよび産卵鶏におけるリン飼料資源としての利用、日本畜産学会第98回大会、3月

普及誌等

1. 畜産環境技術研究所 (2000) : 堆肥の腐熟度の簡易判定法、畜産環境情報、第10号、17~20.
2. 畜産環境技術研究所 (2000) : 豚舎からのアンモニア発生低減技術の開発、畜産環境情報、第11号、12~14.
3. 岡田光弘 (2000) : 環境問題五十年の歩み、日本の養豚、7月号

4. 伊藤 稔 (2000) : 近年における畜産技術の進歩ー畜産環境対策技術、畜産技術、2000年特別号
5. 古谷 修 (2000) : スウェーデン、デンマークおよびオランダにおける畜産環境問題、畜産環境情報、第11号、22~28.
6. 山本朱美 (2001) : オランダにおける畜産環境問題、とくに飼料給与面からの環境負荷低減の取り組み、畜産環境情報、第12号、25~28.
7. 伊藤 稔 (2000) : 畜産環境技術の現状、日本農業新聞、平成12年8月31日号

書籍・単行本

1. 山本朱美 (2000) : 豚・飼料給与法による窒素・リン・悪臭対策、農業技術体系・畜産編、追録第19号、第8巻、農文協

講演

1. 伊藤 稔 (2001.2) : 近年の畜産環境技術の進歩、静岡県畜産堆肥共励会畜産環境講演会、(社)静岡県畜産会

畜産環境アドバイザー養成研修講師

1. 岡田光弘 (2000.6) : 堆肥化施設の設計審査技術研修 (平成12年度第1回)
2. 岡田光弘 (2000.6) : 堆肥化施設の設計審査技術研修 (平成12年度第2回)
3. 山本朱美 (2000.12) : 臭気対策技術及び新規処理技術研修 (平成12年度第1回)
4. 山本朱美 (2001.1) : 臭気対策技術及び新規処理技術研修 (平成12年度第2回)

応嘱委員等

1. 古谷 修 : 農業資材審議会委員 (農林水産省)
2. 古谷 修 : 農業資材審議会専門委員 (農林水産省)
3. 古谷 修 : 平成12年度流通飼料畜産環境改善機能高度化推進事業における企画検討委員会委員 (日本科学飼料協会)
4. 古谷 修 : 平成12年度飼料安全性・環境改善対策事業推進委員会委員 (中央畜産会)
5. 伊藤 稔 : 中央環境審議会水質部会、排水規制等専門委員会委員 (環境庁)
6. 伊藤 稔 : 畜産技術情報提供システム検討会委員 (畜産技術協会)
7. 伊藤 稔 : 畜産情報ネットワーク検討委員会委員 (農畜産振興事業団)

6. 資 料



研究所全景



機器分析室



化学分析室



微生物実験室



データ処理室



実験棟全景



実験棟内部



畜産環境アドバイザー養成研修会（各種分析・測定研修）



財団法人 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所年報
 第4号 (平成12年度)
 平成13年7月19日発行

発行: 財団法人 畜産環境整備機構
 〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-19-13(スピリットビル4階)
 ☎ 03(3459)6300
 FAX 03(3459)6315

編集および連絡先: 財団法人 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所
 〒961-8061 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字小田倉原 1
 ☎ 0248(25)7777(代)
 FAX 0248(25)7540

メールアドレス: ilet@shirakawa.ne.jp

ホームページ: <http://group.lin.go.jp/leio/index.html>

印刷所: 有限会社 ワタベ印刷所
 〒961-0936 福島県白河市大工町18
 ☎ 0248(22)3241