

畜産で利用される臭気対策資材の 効果判定方法

平成17年3月

農林水産バイオリサイクル研究 畜産エコチーム 微生物サブチーム

農林水産技術会議事務局

農業・生物系特定産業技術研究機構 畜産草地研究所

はじめに

畜産の経営において、悪臭の発生は常に頭を悩ます問題であるが、その対策のひとつとして市販の臭気対策資材が広く利用されている。しかし、極めて種類が多いこと、実際の効果については曖昧なものも多い模様であることから、どの資材が有効であるかの判断を求める声がかねてより多く寄せられている。

このような背景から、これまでに数多くの資材の効果判定試験が実施されてきた。しかしながら、試験方法は様々であり、データの相互比較の困難等の問題が生じている。

委託プロジェクト、農林水産バイオリサイクル研究「畜産エコチーム」の課題「家畜排せつ物処理過程における悪臭等環境負荷物質低減技術の開発」（微生物サブチーム）では、2002～2004年の期間に以下の3つの実行課題を実施した。

- ①豚における微生物資材評価試験法の標準化と効果の判定（A1311a）
- ②鶏における微生物資材評価試験法の標準化と効果の判定（A1311b）
- ③臭気低減微生物を利用した高品質堆肥生産技術の開発（A1313）

このうち、A1311a,b では、豚および鶏の排せつ物の臭気低減を謳った飼料添加型資材、散布型資材の効果判定のための試験方法を開発し、これを用いて市販品を含む幾つかの資材の効果判定試験を実施した。また A1311a では、堆肥熟度の判定装置を用いて、堆肥化促進を謳った添加型資材の効果判定の試みも行った。

一方、A1313 においては、高濃度の悪臭が発生する家畜ふんの堆肥化処理において、添加利用を想定した臭気低減微生物を分離し、実験室規模での堆肥化試験において効果の検証を行った。

本報告書では、これらの試験方法について操作の手順を概説するとともに、これらを用いた資材等の効果判定試験の結果を併せて記載した。自治体の諸機関の担当者をはじめ畜産の臭気対策に係わる方々の参考となれば幸いである。

平成 17 年 3 月

農林水産バイオリサイクル研究 畜産エコチーム
微生物サブチーム

目 次

1	概論	1
2	豚の臭気対策資材の効果判定法	6
	実施要領	6
	（実施例 1）散布型の市販悪臭防止資材の添加効果の評価	16
	（実施例 2）経口投与型資材としての炭化脱脂米ぬかの添加効果の評価	17
3	鶏の臭気対策資材の効果判定法	20
	実施要領	20
	（実施例）微生物資材の効果判定試験	24
4	小型堆肥化試験装置による堆肥化処理での臭気発生評価法	28
	実施要領	28
	（実施例）微生物を用いた堆肥化処理からのアンモニア発生低減	32
5	堆肥化促進資材の「コンポテスター」による評価法	37
	実施要領	37
	（実施例）市販発酵促進微生物資材の添加効果の評価	40
6	いくつかの論点に対する担当者の見解	45
7	発表文献一覧	48

1 概論

1. 家畜排せつ物の臭気

畜産由来の悪臭の主要な発生源は家畜排せつ物である。排せつ物の臭気は非常に多様な化学物質が混合された複合臭であり、100 を超える物質が確認されているが、中でも、アンモニア、低級脂肪酸類（VFA）、硫黄化合物類、インドール類、アミン類、アルデヒド類等は嗅覚閾値が低く、発生濃度が高いことから、臭気の主体となるものとみなされている^{1, 2)}。畜種によって臭気の質は異なるが、主要な悪臭物質は基本的に共通しており、畜種による差異はこれらの主要悪臭物質の濃度・混合割合の違いと、微量の畜種特有の物質の存在によるものと考えられている。豚ではVFAの濃度が高く、高級アルコール類、インドール類も高い。鶏ではふんと尿が同時に排泄されるためアンモニアが高いのが特徴的であり、他にアミン類も高い。牛ではVFAが主体であり、豚、鶏に比べると臭気の濃度は低い、水分が高いことから尿と混合してスラリー状になりやすく、このような場合は強い臭気を発生する。

排せつ物の臭気は、経営の各場面で排せつ物がどのような状態にあるかによって、濃度や質が大きく変化してくる。例えば新鮮排せつ物の臭気はVFAが主体であるが、スラリー状態で長期保管されている場合は硫化水素の高濃度発生が起こる。また堆肥化処理ではアンモニア、硫黄化合物類（メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル）の高濃度発生が起こり、VFAは低下する。このような臭気発生の違いは、排せつ物が好気的条件にあるか嫌気的条件にあるか、およびそれぞれの条件下でどのような微生物が有機物の分解に関与するかによって基本的に左右される。

2. 畜産の悪臭問題と市販臭気対策資材の状況

家畜排せつ物から発生する悪臭に対する苦情は、年間1500～2000件に達しており、畜産経営に起因する苦情の60%前後を占めていることから、畜産由来の代表的な環境問題とみなされている。

悪臭の発生に対しては経営の各場面で様々な対策がとられているが、そのひとつとして、市販の臭気対策資材の利用がある。現在、畜産経営やふん尿処理施設での臭気対策を目的として、数多くの添加型臭気対策資材が市販されている³⁻⁵⁾。素材としては微生物、植物の抽出物、腐植質、鉱物類、化学物質、炭化物等が用いられているが、中でも臭気低減能を有する微生物を含むとする微生物資材が多い。資材の利用方法としては飼料や飲水に添加して家畜に給与するもの、排せつ物に直接撒布・混合するものに分かれており、利用の場面は畜舎、堆肥化処理、尿汚水貯留槽、汚水処理等である。このうち飼料・飲水添加型の資材は、臭気低減の他に、家畜の健康増進、生産性改善、生産物の品質向上等、いわゆるプロバ

イオティクス的な効果を合わせて謳っているものが多い。

これらの資材は、脱臭処理に比べて安価であり、使用方法も簡易であることから、農家の関心が高く、広く利用されているが、実際の効果については曖昧なものも多い模様である。特に微生物資材には、含まれている微生物の種類や臭気低減のメカニズムが不明確なものが多く、その有効性には疑問も呈されている⁵⁻⁷⁾。

3. 市販資材の評価

簡易な臭気対策としての市販資材への関心の高さを反映して、資材の有効性の評価を望む声は多く、これまでに自治体の試験機関を中心に資材の使用場面を想定した多くの効果判定試験が行われてきた⁸⁾。しかしながら、試験はそれぞれ自前で対応可能な範囲で行われており、方法や判断の基準は様々である。このため、同じ資材を試験しても評価が分かれたり、データの相互比較が困難である等の問題が生じている。

(1) 実験系・実験装置

飼料・飲水添加型資材については、実際に資材を家畜に給与し、排泄されたふん尿の臭気を測定した試験が数多く報告されている。散布型資材についても、ふん尿に散布して発生臭気を測定した報告が多い。臭気測定の方法としては、畜舎で測定しているものと、排せつ物を一旦回収して測定しているものがある。後者の代表例として本多らの開発した 100L ビニール袋法⁹⁻¹¹⁾があるが、この方法は平成 4～11 年に実施された「家畜ふん尿処理技術実用化調査事業（バイオ・新素材利用技術開発型）」（農水省畜産局）の中で標準法として指定されたことから、岡山¹²⁾、栃木¹³⁾等、自治体の研究機関で同法を用いた資材の効果判定試験が数多く報告されている。また、同様の方法で袋のスケールを変えて実施した報告もある。この他、連続通気式の臭気発生装置を用いたもの¹⁴⁻¹⁶⁾、パーミエータによる標準悪臭ガスを用いて臭気吸着型資材の評価を行ったもの¹⁷⁾等がある。

堆肥化処理で利用する資材については、家畜ふんに資材を添加して堆肥化を行い、発生臭気を評価した試験がいくつか報告されている¹⁸⁻²³⁾。処理の規模は、室内での数キロ～数十キロの処理¹⁹⁻²³⁾から、トン単位の処理^{18, 20)}まで様々である。また、処理方式として自然通気式のもの^{19, 21, 22)}と強制通気式のもの^{18, 20, 23)}がある。臭気測定の方法としては、試料の一部または全体を一定時間密閉状態に保持し、発生した臭気を測定しているもの¹⁸⁻²²⁾、強制通気の排気を採取・測定しているもの^{20, 23)}に分かれる。

汚水の貯留・処理で利用する資材については、木庭らが実際の施設や実験室規模の装置で行った一連の試験を報告しており²⁴⁾、この中では、採取した試料を室内で一定時間密閉状態に保持し、発生した臭気を測定する方法がとられている。この他、現場の施設での測定と、採取試料を 100L ビニール袋法で測定したデータを合わせて示したもの¹⁰⁾もある。

(2) 臭気の評価

先に述べたように、家畜排せつ物の悪臭は多くの化学物質が混合した複合臭であるため、単一物質の評価では対応できない。また、悪臭対策としての有効性を評価するためには、人間の嗅覚による評価も必要となる。

悪臭物質については、含有物質を網羅的に調べるのは困難であることから、主要な物質を選択して調べるのが一般的である。対象としては前記の主要悪臭物質が考えられるが、中でも 4 種類の VFA（プロピオン酸、n-酪酸、i-吉草酸、n-吉草酸）、4 種類の硫黄化合物類（硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル）およびアンモニアの 9 種類は悪臭防止法の特定悪臭物質に指定されており²⁸⁾、悪臭規制の上からも重要であることから、基本的な測定項目となっている。また、嗅覚測定の尺度は、臭気強度、快・不快度等様々なものがあるが、中では三点比較臭袋法に基づく臭気指数が客観性が高く、悪臭規制の基準として採用されている²⁵⁾。このことから、上記 9 種類の物質と臭気指数の測定を併用すれば、排せつ物の臭気を概略的に評価できるものと考えられる。近年の資材の効果判定試験の報告では、これらの測定結果を一組として示しているものが多い。

上記の特定悪臭物質については、悪臭防止法の中で公定分析法が定められており、これに準じて分析を行う²⁵⁻²⁷⁾。また、簡易法として各種の悪臭物質に対応した検知管がある。このうち、アンモニアの検知管は汎用性があるが、他のものは現場や試験で観察される濃度に比べて検出濃度レベルが高すぎるため、利用できる状況・条件が限られている。

一方、嗅覚測定については、三点比較臭袋法による臭気指数の測定が公定法となっており、これに従って行う²⁵⁻²⁷⁾。また、嗅覚測定の代替法として、ニオイセンサーを用いた畜産臭気の評価も試みられているが、堆肥化処理由来の臭気のような高濃度で均一性の高い臭気を除いて臭気指数との相関は高くない模様であり、汎用には至っていない^{28, 29)}。近年、複合臭に対応する臭気測定装置も開発されており、これらの利用は検討の余地のある課題である。

(3) 効果判定試験のかかえる問題点

家畜排せつ物から発生する臭気の厳密な定量評価を行うには、温度、湿度、風速等を一定に保持し、臭気の拡散がおこらない条件下で試験を行う必要がある。また、このような条件下でも、同じ試料で複数の測定を行ってみると、測定値がある程度のばらつきを示すのが普通である。このため、資材の評価においては、常に対照区を設定し、区の反復や試験の反復によって数多くの測定を行い、統計処理等を含めた比較を行うことが必要と考えられる。

しかしながら、規模の大きい実験系、特に畜舎や屋外堆積式の堆肥化等では、環境条件の影響を大きく受けることから、管理や測定のタイミングを一定に揃えても測定値のばらつきが大きく、資材の影響を見出しにくい。また、大規模の試験は管理や試料の取り扱いに多くの労力を要することから、対照区の設定、区や

試験の反復に制限があるのも難点である。

また、前記のような主要悪臭物質の測定と嗅覚測定を合わせて行うには、多くの手間と時間がかかる。特に嗅覚測定は、多くの機材と6人以上のパネルを必要とするため、頻繁な実施は困難である場合が多い。

このようなことから、資材の評価を行う場合は、最初の段階として小規模で一定条件を確保できる実験系で主要悪臭物質を中心に測定・比較を行い、何らかの効果が見出されるかを検証するのが妥当と考えられる。本報告では、このような観点から案出した実験方法を概説した。

(農業・生物系特定産業技術研究機構 畜産草地研究所 黒田 和孝)

引用文献

- 1) Mackie, R. I., Stroot, P. G., and Varel, V. H.: Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. J. Anim. Sci. 76, 1331-1342 (1998).
- 2) 羽賀清典：悪臭の種類と発生源 畜産環境保全論 pp.98-100 養賢堂 東京 (1998)
- 3) 羽賀清典：微生物等を原料とする各種資材の特徴と使い方 農文協編 畜産環境対策大事典（第2版）pp.595-637 農文協 東京 (2004)
- 4) 羽賀清典：マニユア・マネージメント（DAIRYMAN 秋季臨時増刊号）pp.51-57 デーリイマン社 札幌・東京 (1996)
- 5) McCrory, D. F. and Hobbs, P. J. : Additives to reduce ammonia and odor emission from livestock wastes: A review. J. Environ. Qual., 30, 345-355 (2001)
- 6) 斉藤雅典：糞尿処理と微生物、果たしてスーパー微生物はいるか？ DAIRYMAN 臨時増刊号 マニユア・マネージメント、p.44～45、デーリイマン社、札幌 (1996)
- 7) 斉藤雅典：土壌微生物と物質循環 3. 家畜排せつ物の処理・利用に微生物を活用できるか？ 日本土壌肥科学雑誌 73, 453-459 (2002)
- 8) 羽賀清典：豚ふん尿処理技術に関する最近の研究から 畜試研報 60, 1-20 (2001)
- 9) 本多勝男、宮崎光加、米持勝利：各種資材の抑臭・消臭能力判定（平成4年度）神奈川畜試平成4年度畜産環境試験成績書 p.15-32 (1993)
- 10) 本多勝男、宮崎光加、矢島潤 (1994) 各種資材の抑臭・消臭能力判定（平成5年度）神奈川畜試平成5年度畜産環境試験成績書 p.15-26
- 11) 本多勝男、宮崎光加、矢島潤 (1995) 各種資材の抑臭・消臭能力判定（平成6年度）神奈川畜試平成6年度畜産環境試験成績書 p.18-30
- 12) 岡山総畜センター：平成5～8年度 家畜ふん尿処理利用新技術実用化事業実績報告書「脱臭資材による家畜ふん尿の抑臭」(1997)

- 13) 河原雅広、豊田知紀、矢野裕一、杉本俊昭、増山文男：家畜ふん尿の悪臭防止に関する試験（脱臭新素材の臭気低減及び経済性に関する試験）、栃木畜試研報 12, 49-80 (1996)
- 14) 伊藤元、横山郁代、園部修、生田徳男：悪臭防除試験(2) ー養豚飼料に混合した各種資材の効果ー、岐阜畜試研報 20, 20-24 (1993)
- 15) 古屋元宏、石田昌弘、北村雅彦、小宮山恆、安武純孝：畜産公害防止技術の開発 悪臭防止技術の確立（市販消臭資材の効果判定）、山梨畜試研報 40, 90-112 (1993)
- 16) 長井久美、西坂公一：8. 畜舎消臭技術の開発、山形畜試研報 41, 28-32 (1994)
- 17) 鈴木睦美、高橋朋子、福光健二：脱臭剤（資材）の効果判定用装置の開発とその利用（第Ⅱ報） 群馬畜試研報 1, 131-135 (1994)
- 18) 中島一男、原田武：脱臭剤(E 剤)を利用した堆肥の発酵処理、奈良畜試研報 17, 115-130 (1990)
- 19) 河原雅広、豊田知紀、矢野裕一、杉本俊昭、増山文男：家畜ふん尿の悪臭防止に関する試験(脱臭新素材の臭気低減及び経済性に関する試験)、栃木畜試研報 12, 49-80 (1996)
- 20) 吉尾卓宏、羽成勤、小沢光男、内田三郎、山形勝吉、林隆、谷田部隆、相馬由和：豚ふん堆肥化過程における脱臭方法（悪臭防止試験）、茨城養豚試研報 10, 1-36 (1997)
- 21) 樋渡隆、西川光博、上原俊彦、宮菌保典：家畜ふん尿の堆肥化による高度利用技術の確立、鹿児島畜試研報 330, 33-45 (1997)
- 22) 高橋朋子、山田正幸、鈴木睦美、浦野義雄、福光健二：微生物資材が堆肥発酵に及ぼす効果：群馬畜試研報 5, 50-56 (1998)
- 23) 田崎稔、豊田知紀、小池則義、阿部正夫、杉本俊昭：家畜排せつ物処理利用技術の開発 ー畜舎間連施設からの低コスト脱臭技術の確立ー、栃木畜試研報 18, 9-24 (2002)
- 24) 木庭研二、酒見武典：豚尿汚水の悪臭・水質汚濁防止対策技術に関する研究 (1)市販の微生物等資材を用いた処理試験、熊本農研セ・畜研試験成績書（平成7年度） 227-233 (1996) 他
- 25) 環境法令研究会編：環境六法（平成16年版）p. 860-909 (2004)
- 26) 環境庁大気保全局大気生活環境室編：特定悪臭物質測定マニュアル（財）日本環境衛生センター 川崎 (1996)
- 27) 石黒辰吉：臭気対策の基礎と実際 p.57-114 オーム社 東京 (1997)
- 28) 高原康光、伊藤元、渡辺公司、水野拓：ニオイセンサーによる畜産臭気の評価、臭気の研究 29, 260-267 (1998)
- 29) 渡辺千春、辻満雄：ニオイセンサーの畜産分野における応用の可能性、滋賀畜試研報 2, 1-9 (1995)

2 豚の臭気対策資材の効果判定法

家畜排せつ物に起因して発生する環境問題の苦情では、悪臭に関するものも多々ある。そのため、この悪臭を低減させる目的で多くの資材が開発されている¹⁾が、評価試験法が標準化されていないため、それらの効果判定において困難がともなっている。

従来、臭気の測定は 100L ビニール袋法²⁾で行われているが、大量の試料が必要、手数も掛かるため、反復数を十分に取ることができず、統計的処理も困難であった。そのため、ある資材一つを取ってみても、ある機関では添加効果がみられ、他の機関では効果がみられなかったといった事例もまれではない。また、豚は一般に群飼として平飼いするところから、採尿は困難であり、主として尿中窒素から生成されるアンモニアの発生量の測定には問題があった。

そこで、本研究では、豚の個体毎にふんおよび尿を採取し、反復数を十分に取って統計的処理により資材の添加効果の有無が明確になるようにするとともに、比較的少量の試料を用いて実験室内での測定が可能な評価方法を開発した。臭気物質のうち低級脂肪酸および硫黄化合物はふんからの発生をみればよいが、アンモニアはふん尿混合物からの発生が重要であるので、本法ではこれを可能とした。また、臭気対策資材には、経口投与型および散布型があるが、このいずれにも対応できるものとした。

この評価試験法によって、臭気対策資材の使用効果の有無がより客観的に、より簡便に評価できるものとする。

実施要領

1. 評価試験法の概要と資材評価の考え方

経口投与型資材の評価では、豚をふん尿分離採取が可能な代謝ケージに個別に収容し、資材添加あるいは無添加飼料を給与し、一定期間後にふん尿を採取する。小型容器にふんあるいはふん尿混合物を一定量入れて、一定時間の臭気発生量を測定する。散布型資材の場合は、一般的な飼育条件下のふんおよび尿が得られればそれを供試して、一定量の資材を散布すれば、その後の処理は経口投与型資材の評価に準じればよい。

測定臭気は、アンモニア、低級脂肪酸および硫黄化合物の3項目に限定する。本来、畜産臭気は複合臭であるため、官能的な評価が必要であるが、測定したいいずれかの臭気に対照区と有意差が認められた場合は、官能評価を考慮することにする。これら3項目に有意差が無く、官能評価に差が出ることはまず考えられない。

本法では、臭気発生量の絶対値は問題にせず、対照区との比較において資材使用の効果을 相対的に評価する。したがって、資材使用の有無以外の実験条件は同一にすることを絶えず留意しておく必要がある。

2. 経口投与型資材の評価

(1) 飼養管理法

1) 供試豚

体重 35～50kg の雄の去勢子豚 8 頭を用い、平均体重がなるべく同じになるように、4 頭ずつの 2 群に分け、試験飼料区と対照飼料区に割り当てる。同腹である必要はなく、品種も問わない。供試頭数や代謝ケージの数に制限がある場合は、4 頭を供試し、2 頭ずつの 2 期に分けて実施してもよい。

注：供試頭数

アンモニア揮発量の測定では、豚の個体差の変動係数は 15～30%であるので、資材添加により測定平均値が 1/2 に低下した程度でも、4 頭の供試頭数で十分な有意差は検出できる。しかし、低級脂肪酸類の変動係数は一般に 50%程度と大きいので、4 頭の供試頭数では測定平均値が 1/3 以下にならないと有意差として検出できない。したがって、それより小さい差で有意差を検出しようとするれば供試頭数を増やす必要がある。硫黄化合物類の個体変動については十分検討されていないが、低級脂肪酸程度と考えておけばよいと思われる。

2) 管理

供試豚を代謝ケージに収容する。収容直後は、前後で回転することがあるのでできるだけ背は低く抑えて回転できないようにする。本試験期間中は 1 日の尿を全量収集するため、試料がこぼれないように、十分な容量のバケツもしくはタライ等を置く。窒素出納試験においては尿の容器に硫酸を添加する場合があるが、pH の低下はアンモニア揮散量を低下させるので行わない。

なお、ふんからの低級脂肪酸あるいは硫黄化合物の揮散を対象とするのであれば、代謝ケージに収容する必要はなく、群飼でよい。ただし、個体毎に識別して採ふんする手間が掛かる。

3) 試験期間

予備試験の期間は 7 日間とし、その後に採ふん、採尿を行う。メーカーの推奨する期間がそれより長い場合は、あまり長く豚を代謝ケージに収容することはできないので、最初は群飼とし、本試験前 1 週間になったら代謝ケージに収容するようにする。

4) 給与飼料

対照飼料は一般の配合飼料でよいが、脱臭資材や抗生物質の添加がないことを確認する必要がある。この点では、自家配合飼料が望ましい。試験飼料区には対照飼料に資材メーカーが推奨する量の資材を添加する。

飼料の給与量は体重の 3%量とし、1 日に 1 回給与する。予備試験で平飼いする場合は不断給餌とする。水は自由摂取とする。

(2) 試料の採取法と採取量

一定の予備試験が終了したら 1 日間 (24 時間) に排せつされるふんおよび尿を全量容器に集める。下痢をしている個体のふん尿は採取せず、状態のよい試料を排せつするまで採取は待つ。ふんおよび尿は個体別に全量を採取し、秤量する。ふんはよく混合する。

採取したふんおよび尿から試料を採取する。1 頭につき 2 反復で分析することを前提とすると、アンモニアの分析に必要なふん量は 100g、尿量は 400g あれば十分である。低級脂肪酸および硫黄化合物の測定に必要なふん量は、2 反復の分析で合計 50g あれば良い。

(3) 試験に供試するまでの保存法

採取した試料はその日に分析に供するのが望ましいが、現実には困難な場合が多いので、通常は分析に供するまで冷蔵庫 (4℃) で保存する。

(4) ふん尿混合物からのアンモニア揮散量の測定³⁾

1) ふん尿混合物からのアンモニア発生装置

本装置は、ふん尿混合物からアンモニアを発生、揮散させるための培養器、揮散アンモニアガスを捕集する捕集ビン、水分トラップ、流量計、および吸気ポンプからなる。測定装置の概要を図 1 に示した。

(1) 培養器

円筒状のプラスチック製容器を用いるが、内寸で直径 9.3cm、高さ 14.5cm、容積は約 1L 程度でよい。容器の上部の蓋はねじ口とし、蓋に 2 本のプラスチック管を固定する。この場合には、プラスチック管の内径は、入り口側と出口側で、それぞれ 7mm および 3mm としている。

(2) アンモニア捕集ビン

市販のインピンジャーを利用する。この捕集ビンは 1 本で十分で、2 本目で捕集されるアンモニアは無視して差し支えないことが明らかになっている。

(3) 水分トラップ管

円筒カルシウム管の内部にシリカゲルを充填し、アンモニア捕集ビンと流量計

の間に設置する。水分が流量計内部のテーパー管に流入すると、浮き球が動かなくなるのでシリカゲルが赤変したら吸気を停止し、シリカゲルを充満した円筒カルシウム管ごと交換する。

(4) 流量計

吸気ポンプと水分トラップ管の間に流量計を置いて吸気の流量を調整する。

(5) 吸気ポンプ

吸気にはダイヤフラムポンプ（吐出能力 5L/min）を用いる。



図1 臭気発生装置の概要

2) 試料の前処理操作と揮散アンモニアの捕集

(1) 採取直後あるいは冷蔵保存していたふん 40g および尿 160mL を家庭用ミキサーに入れ、約 15 秒間攪拌混合し、均質化してから培養器に全量を移し入れる。反復の必要があるため、1 試料で 2 回の操作を繰り返す。

(2) アンモニア捕集ビンに、4%ホウ酸溶液を 150mL を入れた後に、ブロムクレゾールグリーン・メチルレッド混合指示薬を 2 滴垂らす。

(3) 試料の培養温度は 30℃とし、予め、30℃に設定しておいた恒温水槽に培養器を浸す。培養器が浮かないような工夫が必要となる。

注：培養温度の影響

方法では培養温度を 30℃に設定したが、アンモニア揮散量は培養温度とともに直線的に高まる³⁾。

(4) 装置間のチューブを接続し、かつ緩みがないことを確認した後、ポンプを

用い吸引する。予め、空運転時にリークがないかどうかを確認しておく。

(5) 空運転時に、流量計は 500mL/min となるように設定しておくが、吸気開始後に再度、同様の流量が得られているかを確認し、合わない場合は再調整する。

(6) 測定時間は 24～48 時間とする。アンモニア揮散量は尿中の窒素濃度に比例する⁴⁾ので、窒素濃度が極端に薄い、あるいは濃い場合には測定時間を増減する必要がある。

3) 揮散アンモニアの定量

(1) アンモニア捕集ビンを装置から取り外し、溶液を 250mL のメスフラスコに移し入れ、純水でメスアップする。

(2) そのうちの一部、10～20mL をホールピペットを用い、コニカルビーカーに移し入れる。

(3) 0.05M 硫酸溶液を用いた直接滴定⁵⁾を行う。

4) アンモニア揮散量の算出とその評価

(1) 培養器の試料より揮散したアンモニア性窒素量 ($\text{NH}_3\text{-N}$) は以下の式で求めることができる。

アンモニア性窒素量 (mg)

$$= 0.05 \times 2 \times 14.007 \times \text{滴定量 (mL)} \times 250 / \text{採取量 (mL)}$$

(2) 個体により尿量が異なるため、上式で求められた尿 160mL 当たりの値と 1 日の尿量から 1 日当たりの揮散アンモニア性窒素量として表す。

なお、アンモニア揮散量として表す場合には得られたアンモニア性窒素量に 1.13 (換算係数) を乗ずる。

(3) 対照区および資材添加区の各 4 頭 2 反復の値に基づき統計処理を行い有意性の検討を行う。

(5) ふんからの低級脂肪酸揮散量の測定

低級脂肪酸の場合は、アンモニアの場合と異なりふんのみを対象とする。

1) 低級脂肪酸の発生装置

基本的には、前述のふん尿混合物からのアンモニア揮散量発生装置と同じ構成であるが、アンモニア捕集ビンを低級脂肪酸捕集管に換える (図 2)。

(1) 培養器

アンモニア揮散量測定時に用いる培養器と同一のものをを用いる。

(2) 低級脂肪酸捕集管

ガラス製の捕集管には、1%水酸化ストロンチウムを被覆したアルカリビーズが約 3g 充填されている。捕集管にキャリアーガスを流しながら加熱炉 (GL サ

イエンス、TDI-1) を用い 300℃で 30 分～1 時間程度、加熱する。なお、加熱開始時にギ酸 20 μ L を捕集管のセプタム側から注入する。ギ酸の注入に使用したマイクロシリンジは超純水でよく洗浄しておく。なお、本装置で 2 本の捕集管を連結して試験した結果、2 本目で捕集される低級脂肪酸は無視して差し支えのないことが明らかになったため、捕集管は 1 本でよい。

(3) 水分トラップ管

アンモニア揮散量測定時に用いるものと同一とする。

(4) 流量計

アンモニア測定時の流量計と同一のものをを用いる。吸気ポンプと水分トラップ管の間に流量計を置いて吸気の流量を調整する。

(5) 吸気ポンプ

アンモニア測定時の吸気ポンプと同一のダイヤフラムポンプ（吐出能力 5L/min）を用いる。



図2 低級脂肪酸捕集部

2) 試料の前処理と低級脂肪酸の捕集

(1) ふん試料 10g を培養器に移す。1 試料で 2 反復実施する。

注：ふん試料の容器内の形状

ふん試料は薬匙で混合後、適量を薬匙にのせ培養器内で別の薬匙でふん試料をかき落とし、その後、重量を調整する。揮散表面積が臭気物質の揮散量に影響することから、対照区と試験区でなるべく同じ形状になるようにする。

(2) 予め、30℃に設定しておいた恒温水槽に培養器を浸す。培養器が浮かないように重しを載せるか、ワイヤー等で結わえる。

(3) 最初は、低級脂肪酸発生装置の低級脂肪酸捕集管部を取りつけずに、培養

器と水分トラップ管を直接チューブでつなく。

(4) 予備培養のためポンプで1時間吸引する。

(5) ポンプを停止後、速やかに低級脂肪酸発生装置に低級脂肪酸捕集管を取りつけ、500mL/min で正確に10分間吸引する。測定時間は、通常は10分でよいが、試料によって発生量が異なるので、予め予備試料を用いて確かめておくとい。

注：試料量および測定時間と低級脂肪酸揮散量

いずれにおいても直線性が認められるので、試料量および測定時間はかなり自由に設定可能であるが、対照区と試験区ではつねに同一試料量、同一測定時間とするのが鉄則である。

(6) 吸引が終了後、低級脂肪酸捕集管を取り外し、セプタムおよびパッキンで密栓する。捕集後はなるべく速やかに分析する。

(7) 捕集が終了したら、培養器の蓋を取り、アルミホイルを被せて水分の蒸散をできるだけ防いで、室温で24時間放置し、その後再び揮散量を測定する。

3) ガスクロマトグラフ分析操作の手順

(1) 注入口セプタムに孔があくと気密性が保たれなくなり、セプタムから試料ガスがキャリアーガスとともに漏出するので、注入口温度を上げる前に（分析開始前）、交換しておく。

(2) 低級脂肪酸捕集管内のアルカリビーズに捕集された水分および炭化水素は定量性を下げるため、捕集管にキャリアーガスを流しながら、180℃で2分間加熱する。

(3) 捕集管が室温にまで下がったら、捕集管を注入口に接続する。

(4) 出力値が安定することを確認後、ギ酸（純度99.9%）20μLをセプタム側から捕集管内部に注入する。マイクロシリンジをセプタムに貫通させている間、捕集管のセプタムを押さえつけるようにするとキャリアーガスの漏出を防げる。ギ酸は打ち込みの操作は、速やかに行う。マイクロシリンジの洗浄は、打ち込み後、超純水で速やかに行う。

(5) ギ酸注入後、速やかに加熱炉およびカラムオープンの温度を上昇させ、分析を開始する。

なお、ガスクロマトグラフの分析法は成書⁶⁾に詳述されている。

4) 低級脂肪酸揮散量の評価

(1) 低級脂肪酸捕集管で捕集した低級脂肪酸量をガスクロマトグラフ分析で求め、結果はngとして表す。

(2) 1回目の測定および24時間後の測定における対照区および資材添加区の

各4頭2反復の値に基づき統計処理を行い有意性の検討を行う。

(6) ふんからの硫黄化合物揮散量の測定

低級脂肪酸の場合と同様に測定はふんのみを対象とする。測定法は、アンモニアおよび低級脂肪酸が一定時間の吸引により捕集される量を測っているのに対して、硫黄化合物の場合は、一定量の容器の中に試料を入れて密閉し、一定時間に容器の中に揮散した量を測っている点で異なる。

硫黄化合物揮散量測定では、図2の低級脂肪酸捕集部の代わりに硫黄化合物用試料濃縮管を取り付けて液体酸素で冷却しながらの捕集を試みたが、十分な測定精度が得られなかった。そこで、バイアルビンを用いる方法について検討し、変動係数は10%以下と測定精度が高まった。また、豚ふんからの硫黄化合物揮散量は試料量の増加に伴い直線的な増加が認められたことから、測定法として十分であると判断した。

(1) 培養器 (バイアルビン)

試料を入れる容器はガラス製のバイアルビン (協立理工、K-250) で、内径5cm、高さ11cm、容積250mL程度のものを用いる (図3)。容器の上部は取り外せて、試料の出し入れが容易であるが、摺り合わせにより気密性を保持できる。頭頂部にブチルゴム栓をはめ込みガスタイトシリンジにより揮散したガスを採取する。ブチルゴム栓は1回で使い捨ての使用とする。



図3 硫黄化合物測定用バイアルビン

2) 試料の前処理と硫黄化合物ガスの採取

(1) ふん試料 5g を培養器に移す。この際、培養器の底部以外にふん試料を付着させないように注意する。1試料で2反復とする。

注：ふん試料の容器内の形状

ふん試料は薬匙で混合後、適量を薬匙にのせ培養器内で別の薬匙でふん試料をかき落とし、その後重量を調整する。揮散表面積が臭気物質の揮散量に影響することから、対照区と試験

区でなるべく同じ形状になるようにする。

(2) ブチルゴム栓を装着したガラス製の蓋をはめる。

(3) 予め、30℃に設定しておいた恒温水槽にバイアルビンを浸す。容器が動かないように金属バネ等で固定する。

(4) 2 時間放置後、容器中に揮散したガスをサンプリングする。何 mL 採取するかは、検出器の感度等により異なるので予め予備試料を用い確認しておくとい。また、ガスタイトシリンジの内部に臭気が吸着するので、シリンジをブチルゴム栓に差し込んだ状態で2~3 回ポンピングしてからサンプリングを行う。

注：ふん試料の恒温水槽での放置時間

ふん試料は恒温水槽に浸してから 10 分以内で 30℃に保たれる。ほぼ2時間後になると、定量可能な濃度になるので、放置時間は2時間とする。1 分析に必要な所要時間は約 30 分であるため、連続して分析するには次のふん試料を恒温水槽に浸す時間を約 30 分遅らせる必要がある。

(5) 1 回目の捕集が終了したら、培養器のガラス製の蓋を取り、アルミホイルを被せて、室温で24時間放置し、その後2回目の捕集を行う。

3) ガスクロマトグラフ分析操作の手順

(1) 注入口セプタムに孔があくと気密性が保たれなくなり、セプタムから試料ガスがキャリアーガスとともに漏出することがあるので、注入口温度を上げる前に(分析開始前)、交換しておく。また、ガスタイトシリンジのプランジャーチップが緩んでくると、定量性がなくなるので使用前に必ず、確認する。

(2) 採取したガスを注入口に注入する。

(3) 速やかにカラムオープン温度を上昇させ、分析を開始する。

なお、ガスクロマトグラフの分析法は成書⁶⁾に詳述されている。

4) 硫黄化合物揮散量の算出とその評価

(1) 培養器から揮散した硫黄化合物揮散量はガスクロマトグラフ分析で得られた値は ng/mL として表す。

(2) 1 回目および2 回目の測定における対照区および資材添加区の各4 頭2 反復の値に基づき統計処理を行い有意性の検討を行う。

以上、各悪臭物質の測定方法を概説した。これらの測定方法において、同一試

料を反復測定した場合の測定値の変動係数はいずれも 10%以下であり、再現性のよい測定が可能であった。

ただし、この結果有意差が認められたからといって、官能的に差があることにはならない。後述の実施例 2 では、炭化脱脂米ぬか 4%添加によりプロピオン酸の揮散量が約 40%に低減された。この場合には個体差が大きかったため、有意差とはならなかったが、たとえ有意差が認められたとしても、この程度の差では必ずしも官能的に差があるとはいえない。アンモニア揮散量は 1/5、低級脂肪酸揮散量および硫黄化合物揮散量が 1/10 になれば確実に官能で臭気が弱くなったことが判断できるとされている。本測定値の結果の解釈に当たっては十分留意する必要がある。

3. 散布型資材の評価（試案）

市販の散布型資材はきわめて多様である¹⁾。大きく、微生物資材と鉱物系資材に分けられるが、それぞれについてもその作用機作は多岐にわたることが考えられる。したがって、散布型資材としてその評価法を記述するには十分な検討を経ず、以下に述べる方法は試案に過ぎないことを先ずお断りしておきたい。

ふんおよび尿の採取は基本的に経口投与型資材と同じでよい。ふん尿混合物に資材を散布する場合は代謝ケージに収容してふんと尿の分離採取が必要であるが、経口投与型資材の評価とは異なり、定量的採取は必要ないので、長い柄のついたヒシヤクを用いて雌豚の排せつする尿を採取することもできる。また、尿道カテーテルを挿入して採取する方法も有効である。

ふんのみを対象とする場合は、群飼、平飼いでよく、豚房の床をきれいに清掃した後に排せつされたふんを収集すればよい。

採取した新鮮ふん尿は冷蔵庫に保存する。

（1）ふん尿混合物からのアンモニア揮散量の測定法

1) 試料の調製

ふん 40g および尿 160g を家庭用ミキサーに入れ、約 15 秒間攪拌混合し、均質化してからアンモニア揮散量測定用の培養器に全量を移し入れる。このふん尿混合物に資材をメーカーが推奨する量だけ加えてよく混ぜる。対照として、資材無添加の処理区を設け、いずれも 3 反復の測定を行う。

なお、後述の「実施例 1」のように、添加量を一定としないで、添加量を段階的に変え、アンモニア揮散量が添加量に応じて変化することから、資材の添加効果を評価することもできる。この場合には、1 つの添加水準につき 2 反復すれば十分である。

2) アンモニア揮散量の測定と評価

経口投与型資材の測定と同じに実施する。添加処理区および対照区の 3 反復のデータから有意差を検定する。

(2) ふんからの低級脂肪酸および硫黄化合物の揮散量の測定法

1) 試料の調製

冷蔵保存していたふんをよく混合し、その中から低級脂肪酸の場合はふん 10g、硫黄化合物の場合は 5g を培養器に秤量し、資材メーカーが推奨する資材量を加えて、薬匙でよく混合する。対照として資材無添加区を設けて、いずれも 3 反復で実施する。

2) 低級脂肪酸および硫黄化合物の測定と資材の評価

経口投与型資材の測定と同じに実施する。資材添加直後の測定が終了したら、培養器の蓋を取ってアルミホイルを被せて、室温に 24 時間放置し、その後に再び測定する。添加直後および 24 時間後のデータにもとづき、有意差の有無を検定する。

本測定により、資材添加直後、および 24 時間後における効果の有無が明らかになるが、微生物資材の場合は、添加効果が 24 時間以内に現れるという保証はない。したがって、この測定法で有意差が認められないからといって、この資材に臭気低減効果がないとはいえないが、1 日 1 回の豚舎の除ふんを前提に考えれば、1 日経ってから効果が現れてもあまり意味がない。

一方、鉱物系資材の場合は、「実施例 1」のように、効果があるとすれば比較的早く現れると考えられるので、添加後 24 時間以内の測定でその効果を評価することができる。

(実施例 1)

散布型市販悪臭防止資材の添加効果の評価

—豚ふん尿からのアンモニア揮散量⁴⁾—

1. 方法

ふんおよび尿の窒素含量が、それぞれ、6.5 および 12.3 mg/g であるような試料を、それぞれ、40g および 160g に、鉱物系資材 A を 0、0.5、1.0 および 1.5% 加えた。当該資材のメーカーの推奨添加量は 1~2% である。この資材の内容は、鉱物系ということだけで、詳細は不明である。なお、実験は各添加レベルで 2 反復で行った。

アンモニア揮散量の測定は実施要領と同様としたが、培養時間は 48 時間とした。

2. 結果 (資材の添加効果)

供試した市販脱臭資材の添加量がアンモニア揮散量および培養開始時におけるふん尿混合物の pH に及ぼす影響について図 4 に示した。ふん尿混合物からのアンモニア揮散量は資材の添加量が 1.0% までは直線的に減少したが、1.0 および 1.5% の添加では差がなかった。0.5、1.0 および 1.5% 添加区でのアンモニア揮散量は、無添加区を 100 として、それぞれ、74、46 および 40% となった。

また、培養開始時のふん尿混合物の pH は添加量が 1.0% になるまでほぼ直線的に低下し、1.5% 添加区ではそれ以上の低下は認められず、無添加区の pH 6.77 に比較し、0.5、1.0 および 1.5% 添加区で、それぞれ、0.41、0.67 および 0.71 低かった。

本資材 5g を蒸留水 100mL に添加した溶液の pH は 2.9 と著しく低く、このことが当該資材を培養液に添加した場合にアンモニア揮散量を低下させた一因と考えられた。

このように、ふん尿混合物の pH を下げることでアンモニア揮散量を抑えることは可能であるが、そのことによってその後の堆肥の発酵や污水处理に悪影響がないかどうかの検討が、別の問題として重要である。

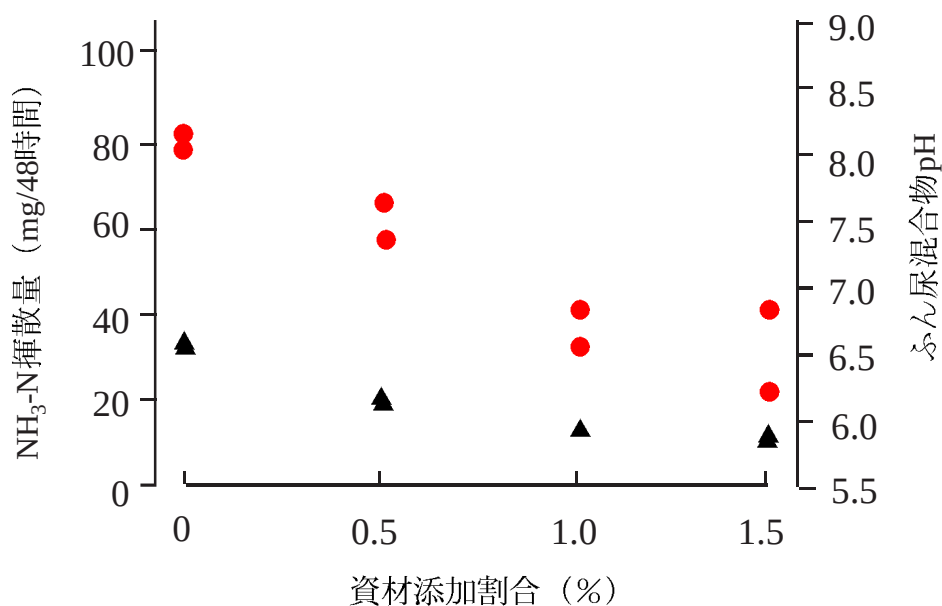


図 4 豚ふん尿混合物への鉍物系悪臭防除資材添加がアンモニア揮散量 (●) および資材添加直後のふん尿混合物の pH (▲) に及ぼす影響

1 区 2 反復

(実施例 2)

経口投与型資材としての炭化脱脂米ぬかの添加効果の評価 －豚ふんからの低級脂肪酸揮散量－

経口投与資材として添加効果があるとされている炭化脱脂米ぬか⁷⁾を飼料に添加し、その効果を低級脂肪酸の揮散量で評価した。

1. 方法

体重約 55kg の子豚 12 頭を平均体重がほぼ同じになるように、1 試験飼料区あたり 4 頭づつ 3 試験区に割り当て、4 頭宛の群飼とした。給与試料は、市販飼料に炭化脱脂米ぬかを 0、2 および 4% 添加した 3 種類であった。

6 日間の予備試験後に採ふんしたが、低級脂肪酸の分析は 1 試料、2 反復で行うため、分析点数が多いと 1 日で分析が行えないため、ふんの採取は 2 日間に分けて半数づつ行った。午前 9 時 30 分～11 時 30 分に排せつされた直後のふんを個体識別し、1 個体あたり約 100g 採取した。採取した新鮮ふんは直ちにプラスチック製の容器に入れ、氷温下に保ち、実験室に持ち帰った。

採取したふん約 50g を 300mL のビーカーに入れ、アルミホイルで蓋をした後、30℃の恒温槽内で 1 晩放置した。翌日、ビーカー内のふんをよく混合し、10g を培養器に入れ 吸気時間 15 分、吸気量 500mL/min の条件でふんから発生する低級脂肪酸を捕集し、ガスクロマトグラフの分析を行った。「実施要領」では 1 日間 (24 時間) に排せつされるふんを集めることになっているが、この場合は排せつ直後の新鮮ふんを採取したため、条件をそろえる意味から 1 晩放置した。また、「実施要領」では直後と 24 時間後の 2 回に揮散量を測定することになっているが 1 回のみ実施した。

表 1 炭化脱脂米ぬかを添加した市販飼料を給与した肥育豚のふんからの VFA 発生量

処理区	プロピオン酸	n-酪酸	n-吉草酸	(ng)
				i-吉草酸
市販飼料	137±65	56.3±17.1	4.9±1.7	4.3±1.5
2%添加	101±52	41.2±15.7	4.3±1.3	4.3±0.4
4%添加	53±34	26.8±15.9	3.9±2.2	3.9±2.4

4頭の平均値±標準偏差。全処理区に有意差なし。

試料量10g; 吸気時間15分; 吸気量500mL/分

2. 結果（炭化脱脂米ぬかの添加効果）

結果を表1に示したが、4%添加区では、乾物 1g あたりのプロピオン酸揮散量は約 40%に少なくなったが、有意差は認められなかった。山形養豚試の齋藤・秋葉⁷⁾は 100L ビニール袋法²⁾を用いて、炭化脱脂米ぬか 2%を豚の飼料に添加給与した場合、対照区と比較して低級脂肪酸発生量が 8~9 割減少することを報告しているが、反復誤差等の検討はしておらず、統計的にみて有意差があったかどうかは明らかではない。低級脂肪酸の揮散量の個体差は本試験のプロピオン酸の場合、変動係数は約 50%と大きかった。日本科学飼料協会が 100L のビニール袋法で行った経口投与型の資材を評価した試験データ⁸⁾を計算すると、1ブロック4頭の群飼のふんを混合したものであっても、6ブロックのプロピオン酸、n-酪酸、n-吉草酸および i-吉草酸の変動係数は、それぞれ、38.5、55.8、57.4 および 81.8%ときわめて大きかった。今後は、このような変動を考慮して、豚の供試頭数を決定する必要があると考えられる。

（(財) 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所 山本 朱美）

引用文献

- 1) 羽賀清典：畜産環境対策大事典（第2版）、p. 595-637、農文協、東京（2004）
- 2) 本多勝男、宮崎光加、米持勝利：畜産臭気の抑制・消臭に関する試験、神奈川県畜産試験場成績（平成4年度）15-21（1993）
- 3) 山本朱美、伊藤 稔、古谷 修：豚ふん尿混合物からのアンモニア揮散量の *in vitro* 測定法、日本畜産学会報 73, 503-508（2002）
- 4) 山本朱美、伊藤 稔、古谷 修：豚ふん尿混合物の pH、尿中窒素含量および脱臭資材の添加が *in vitro* アンモニア揮散量に及ぼす影響、日本畜産学会報 74, 369-373（2003）
- 5) 石橋 晃：新編 動物栄養試験法、p460、養賢堂、東京（2001）
- 6) （財）日本環境衛生センター（監修）：特定悪臭物質測定マニュアル、（財）日本環境衛生センター、神奈川（1998）
- 7) 齋藤常幸・秋葉宏之：炭化脱脂米ぬかによる豚舎臭気の低減、日本養豚学会誌 40, 155-158（2003）
- 8) 高木久雄、花積三千人、山崎広明、藤崎浩和、米持千里：悪臭防止を目的とした飼料の効果および適正使用に関する試験、平成8年度新飼料適正使用体制確立調査事業報告書（社）日本科学飼料協会、東京（1998）

3 鶏の臭気対策資材の効果判定法

鶏の排せつ物が原因となって発生する苦情は、悪臭に関するものが最も多い。養鶏経営における悪臭対策は、ふん尿の速やかな除去および処理を基本に事業所内の清掃の励行、脱臭装置の設置、および脱臭資材の利用などにより行われているが、労力の問題や脱臭装置のコスト高から、比較的安価で使用が簡単な脱臭資材が従来より使用されている。このような家畜ふんに対する脱臭資材の効果を評価する方法は幾つか考案されており、代表的なものには本多らの 100L ビニール袋法¹⁾、山本らのアンモニア揮散量の *in vitro* 測定法²⁾ がある。

本研究では、山本らの開発した *in vitro* 測定法²⁾ の機材・方法を基礎として、鶏の生理、飼養環境等に着眼して評価試験法を組み立て、実際に市販されている資材を用いて評価を行った。評価試験法の組み立てに際しては、①臭気は微生物活動の結果生じ、様々な要因に影響されるため、培養温度など環境条件を一定に調節すること、②畜産の臭気は複合臭気であり、最終判定には官能試験を用いることが望ましいが、その前段としての評価を目的とすること、③対象は悪臭防止法で特定悪臭物質に指定された物質とすること、④各臭気物質の採取段階までは同時同系列の操作とすること、⑤鶏ふんを数日以内に鶏舎より搬出・処理する管理方法を前提として鶏舎内の環境を試験条件に入れること、以上を基本概念とした。

実施要領（経口投与型資材の評価）

1. 供試鶏の飼養管理・ふんの採取

採卵用成鶏 30 羽を体重が概ね等しくなるように 5 羽 1 群として 6 群（対照区 3 反復、資材添加区 3 反復）に分け、試験用ケージに移動する。

注：供試鶏の鶏齢

供試鶏の鶏齢に精密さは求めないが、1 回の試験に供する鶏は同一齢を用いる。鶏齢が高くなると破卵、軟卵の発生率が高まり卵内容物がふん採取板上に落ちるなどして、ふん採取時のロスが大きくなる。また、産卵率の悪い個体は飼料摂取量が少なくふん量も少なくなるため供試しない方がよい。

飼料給与期間中、資材添加区の方には対照区の飼料に資材を添加したものを給与する。試験飼料の給与を開始し、一定日時の後にふん採取を行う。給与期間はメーカーの推奨する期間に従うが、明記されていない場合は前飼料の影響を除くため最低 4 日以上、できれば 7 日以上が望ましい³⁾。

採取はケージ下にふん採取板を設置し、24 時間後に採取する。その際、大きな羽および卵内容物等は除去する。

2. 臭気発生装置

図 1 に試験に使用する臭気発生装置を示す。この装置は山本らが豚ふん尿混合物を対象に開発したアンモニア揮散量の *in vitro* 測定装置²⁾ に、低級脂肪酸用の捕集管を取り付けるための配管と硫黄化合物測定のためのガス採取口を取り付けたものである。装置は鶏ふんを充填し臭気を発生、揮散させるための培養容器、一定温度で培養を行うための恒温水槽、揮散したアンモニアガスをトラップする捕集びん、ドリップポット、小型ポンプおよび空気流量計からなる。

培養容器はプラスチック製の円筒容器であり、内寸は直径 8.4cm、高さ 19.7cm、容積は約 1.1L である。また、ふたには吸気および排気用に 2 本のガラス管を固定する。ガラス管の内径は吸気側 7mm、排気側 3mm である。アンモニア捕集びんは市販のろ過板付きガス洗浄びん（84GP250、容量 250mL、柴田科学、東京）を使用した。吸気にはダイヤフラム型ポンプ（APN-052L、イワキ、東京）を用いた。ポンプと培養容器の間に空気流量計（RK100R-15-S-6H-Air-1L・min、コフロック、京都）を置き、吸気流量を調整した。水滴による流量計の動作不良を防止するため、流量計の前のドリップポットには乾燥剤のシリカゲルを充填した。

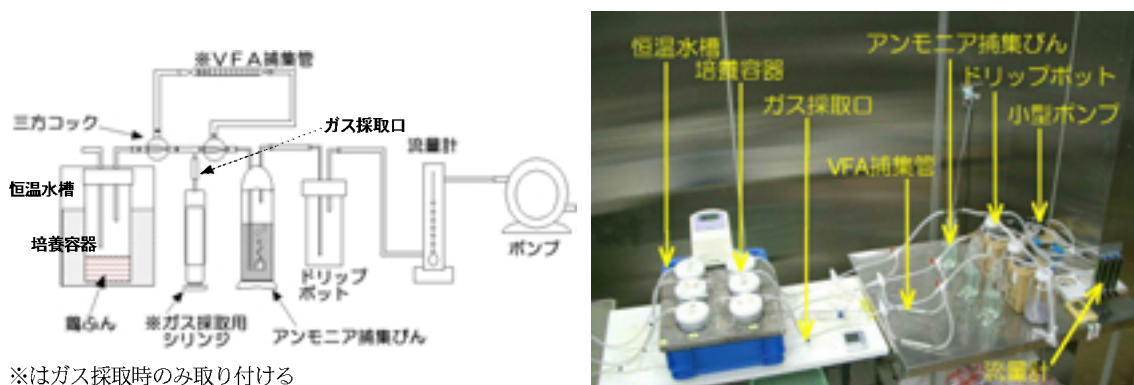


図 1 臭気発生装置の概要

3. 試料の調製・試験開始

試験は、室温 25℃程度に保持できる室内で行うのが望ましい。

採取したふんは群ごとによく攪拌混合し均一化した後、200g を培養容器に入れる。間隙を少なくし表面の凹凸をなくすため、容器ごと床面などに軽く打ちつけ、さらに表面をへらで平らにならす。

容器のふたを閉め、30℃に設定した恒温水槽内にセットして、通気管を接続す

る。容器のふたのねじ口部は、空気漏れを防止するためにフッ素樹脂製のテープによりシールする。ポンプを作動し、通気量 500mL/min で吸気を開始する。流量は流量計により調節する。なお、一つのポンプに複数個の培養容器を繋ぐと、流量の不足や不安定を招くので、ポンプは一培養容器あたり一台必要である。

注：試料の充填方法

試料の充填方法によって表面積に差が生じ、臭気の発生に影響を与える。充填方法を変えてアンモニアの揮散量を調べたところ、上記の充填法が最も値のばらつきが少なかったことから、この方法を採用した。

注：培養温度

臭気の発生は培養温度に影響を受ける。この試験法では、悪臭苦情が多い夏季の鶏舎内温度を想定して 30℃とした。

4. 悪臭物質の採取及び分析

(1) アンモニア

アンモニア捕集びんに 150mL の 4%ホウ酸溶液を入れ、指示薬としてブロムクレゾールグリーン-メチルレッド数滴を滴下する。びんを通気路に接続し、培養容器からの排気中のアンモニアを一定期間捕集する。期間中、指示薬の液色の変化を捕集の目安とする。

捕集終了後、捕集液を 250mL メスフラスコに回収する。回収の際には捕集びんおよび流路を蒸留水でフラスコによく洗い込む。フィルアップ後、液中のアンモニア態窒素量を 0.1N 硫酸を用いる直接滴定法により定量する。

注：捕集びんの数

予備試験でアンモニア捕集びんを 2 本で捕集したところ、1 本目でほぼ完全に捕集されたことから、捕集びんは 1 本で十分と判断された。

注：捕集期間

アンモニアは経日的にほぼ直線的に増加する⁴⁾。アンモニアの発生は季節変動が大きく、冬期のふんでは顕著な発生が起こるまで 1 日程度を要する場合もあった。このことから、捕集期間については発生の状況を見ながら調節するのが望ましい。

(2) 低級脂肪酸

低級脂肪酸用の捕集管（水酸化ストロンチウムを被覆したガラスビーズをガラス管に充填したもの）を、通気路から分岐したチューブ（図 1 参照）に取り付ける。三方コックによって流路を切り替え、正確に 10 分間捕集する（図 2）。捕集管にガラスビーズを高密度で詰めると負荷が大きくなり、500mL/min の流量が得られないことがあるが、この場合は流量計のバルブを開け調整する。捕集管に通

気中、流路の水滴が捕集管に入り込まないように注意する。捕集終了後に捕集管を取り外し、三方コックで流路を元に戻しておく。

捕集後の捕集管は密栓をして、すぐに分析に供するか、分析までの間、冷蔵庫に保管する。分析は公定法⁵⁾に従い、FID 付きガスクロマトグラフ分析装置を使用して行う。

低級脂肪酸は、試験開始後 24 時間までに発生ピークが見られ、その後低下する。このことから、開始時、開始後 24 時間目およびその間 2 ないし 3 回の測定により発生動向を確認する。

(3) 硫黄化合物

発生した臭気を装置のガス採取口（図 1）に注射筒を取り付け、吸引して採取する（図 3）。採取したガスの一部を公定法⁵⁾に従ってガスクロ分析により硫黄化合物濃度を測定する。

硫黄化合物は、試験開始後 24 時間までに発生ピークが見られ、その後低下することから、開始時、開始後 24 時間目およびその間 2 ないし 3 回の測定により発生動向を確認する。

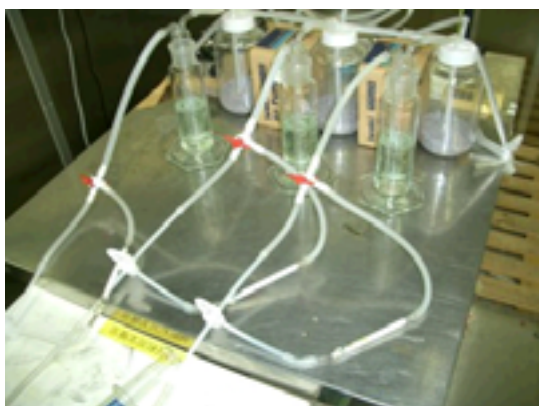


図2 VFA 捕集管をつないだ様子



図3 ガス採取口に注射筒をつないだ様子

5. その他の分析

試験の開始時・終了時に試料の水分と pH を測定する。終了時には試料表面の 5mm 程度をかき取り、分析に供する。

水分は試料をアルミ皿に取り、通風乾燥機内で 105℃で 24 時間乾燥後秤量して求める。pH は試料に水を 1:10 の割合（重量）で加え、密栓して 30 分振とうした後、pH 計にて測定する⁶⁾。

注：水分・pH の測定について

試料の乾燥および pH の変化は臭気の発生に影響を与える可能性がある。培養前後の変化

を調べることで、資材の作用を推測する参考データとなる。

6. 散布型資材の評価

散布型の臭気対策資材は多種多様なものが市販されている。それらについて実施要項を記述するには十分な検討を経ていないため、考え方を示すにとどめる。

鶏ふんの採取において、ケージ下にふん採取板を設置し 24 時間後に回収する手順は経口投与型の場合と同様であるが、飼育期間中の試験区分は不要である。30 羽から採取したふんの全量をよく攪拌して均質化し 2 区に分ける。うち 1 区を対照区とし他の 1 区に資材を混合して試験区とし、各区 3 反復以上設置する。資材の混合量はメーカーの推奨に従う。

臭気発生装置の運転条件、臭気の採取および分析方法等、以降の手順は経口投与型と同様である。

(実施例)

経口投与型微生物資材の効果判定試験

1. 方法

(1) 供試鶏および飼養条件

本試験では 40 週齢の白色レグホン種 30 羽を体重が概ね等しくなるように 5 羽 1 群として 6 群に分け、3 群ずつ対照区、資材添加区とした。対照区には CP18%、ME2700kcal/kg の飼料を給与した。資材添加区には対照区の飼料に微生物資材 A を資材の使用説明書に従って 1%添加して試験飼料とし、給与した。飲水はニップルドリンカーにより行った。

(2) 試料の採取および調整

飼料の給与を開始して 7 日目にケージ下にふん採取板を設置し、24 時間後にふんを採取した。供試した鶏ふんの理化学的性状は表 1 のとおりである。

表 1 鶏ふんの性状

区分	水分 (%)	pH
対照区	68.5±0.2	7.1±0.1
添加区	67.4±1.0	7.0±0.1

(3) 臭気の測定

採取した試料を臭気発生装置に充填し、実施要領に従って臭気の測定を行った。アンモニアは開始後 48 時間捕集を行い、分析した。低級脂肪酸は開始後 24 時間

目まで 6 時間間隔で捕集し、分析した。硫黄化合物は開始後 3、8、16、24 時間目にガスを採取し、分析した。

この試験は空調換気設備により室温 25℃に調整可能な室内で行った。

2. 結果

(1) 水分、pH の変化

培養終了後の試料表面の水分は対照区が $64.3 \pm 2.8\%$ 、添加区が $64.8 \pm 1.3\%$ となり、両区とも培養開始前より水分が低下したものの区間に差は認められなかった。pH は対照区が 7.2 ± 0.0 、添加区が 6.2 ± 0.1 であり、培養開始前の数値がほぼ同様であることから、明らかに添加区が低下したものと判断された。

(2) アンモニア揮散量

培養開始から 48 時間に揮散したアンモニア態窒素量は、対照区 $45.8 \pm 3.9\text{mg}$ 、添加区 $0.2 \pm 0.2\text{mg}$ であった。両区間には統計的に有意差 ($p < 0.01$) が認められ、資材を飼料に添加したことによりアンモニアの揮散が抑制されたものと判断された。

(3) 低級脂肪酸

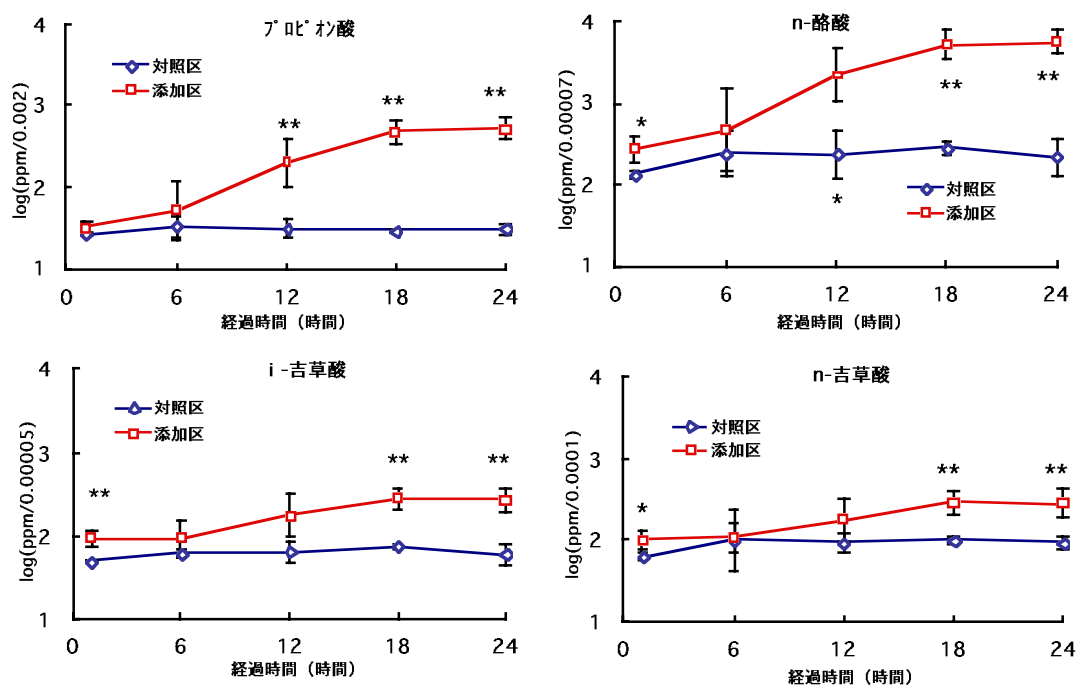
4 種類の低級脂肪酸発生濃度の経時的变化を図 4 に示した。発生濃度の変化を人間の感覚量に近い数値で表すため、グラフの縦軸には閾希釈倍数（物質濃度 (ppm) をその物質の検知閾値で除したもの）の対数値を用いた。

試験期間中の発生濃度は、低級脂肪酸 4 種類すべてにおいて添加区が対照区を上回る傾向を示し、その差はプロピオン酸、n-酪酸において顕著であった。また、両区の差は 12 時間以降から明確になり、プロピオン酸および n-酪酸は有意差 ($p < 0.05$) が認められた。i-吉草酸および n-吉草酸は 18 時間以降に有意差が認められた。

(4) 硫黄化合物

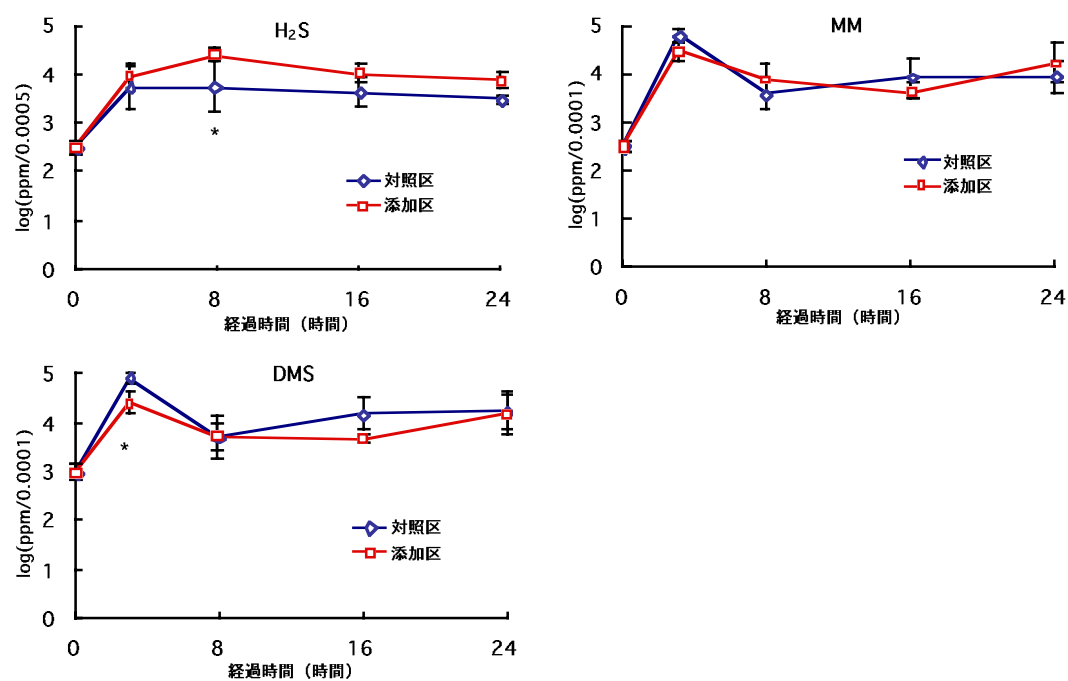
硫化水素 (H_2S)、メチルメルカプタン (MM)、硫化メチル (DMS) の発生量の経時的变化を図 5 に示した。二硫化メチル (DMDS) は発生が認められなかった。低級脂肪酸と同じく発生量の変化を人間の感覚量に近い値で表すため、グラフの縦軸には閾希釈倍数の対数値を用いた。

H_2S は添加区が対照区より高い傾向で推移し、開始後 8 時間では有意差 ($p < 0.05$) が認められた。MM は開始後 3 時間で両区間に差が認められたものの総じて両区間の差は小さかった。DMS は終始対照区が高い傾向で推移したが、やはり両区間の差は小さかった。硫黄化合物 3 種類は両区とも概ね同様の発生傾向で推移した。



3 反復の平均値±標準偏差、* p<0.05、** p<0.01

図 4 低級脂肪酸発生量の経時的変化



3 反復の平均値±標準偏差、* p<0.05

図 5 硫黄化合物発生量の経時的変化

3. 考察

経口投与型脱臭資材の評価試験法により資材 A を評価したところ、鶏ふんから揮散するアンモニアは有意な差をもって抑制、低級脂肪酸は有意な差をもって増加、硫黄化合物は大きな差がないという結果が示された。また、試験後に添加区の pH が低下したことは、この結果と連動していた。このことから、資材 A を添加した飼料の給与は、鶏に何らかの影響を与え、ふんの性質を変化させたと考えられる。アンモニアの抑制効果は明確であるが、低級脂肪酸の増加および硫黄化合物の差に対しての評価を次のように考えた。低級脂肪酸は両区で多いところで 50 倍程度の濃度差がある。特定悪臭物質の臭気強度と濃度の関係⁷⁾ から、物質濃度に概ね 10 倍程度の差があれば人間の感覚によってその違いが認識できると考えられる。このことから、プロピオン酸および n-酪酸は人間の感覚で判断できる増加を示し、硫黄化合物については両区の差が小さくその差が認識できないことになる。代表的な悪臭物質であるアンモニアと低級脂肪酸の発生量に顕著な差があることから、複合臭気である原臭の質にも違いがあることは十分考えられる。本試験で用いた評価試験法は、官能検査を前提とした一次判定の位置づけであることから、正確な判定のために官能試験を実施することが望ましい。

本試験結果により、経口投与型臭気対策資材の評価試験法は概ね実用可能であることが示されたが、より正確な方法とするために実証試験を重ねる、特に反復試験を行い、試験時期（試料採取の時期）による影響を調べるとともに、官能試験を統合した試験方法の検討が必要である。

(愛知県農業総合試験場 畜産研究部 中谷 洋)

引用文献

- 1) 本多勝男、宮崎光加、米持勝利：畜産臭気の抑臭・消臭に関する試験. 神奈川県畜産研究所試験研究成績書（平成4年度） 15-21（1993）
- 2) 山本朱美、伊藤稔、古谷修：豚糞尿混合物からのアンモニア揮散量の *in vitro* 測定法. 日本畜産学会報 73(4), 503-508（2002）
- 3) 石橋晃（監修）：動物栄養試験法 p.176 養賢堂 東京（2001）
- 4) 中谷洋、市川明：鶏ふんから発生する悪臭物質の *in vitro* 測定法の開発（第1報）、アンモニア測定法の標準化. 愛知県農業総合試験場研究報告 36, 111-115（2004）
- 5) (財)日本環境衛生センター（監修）：特定悪臭物質測定マニュアル p.25-61, 169-187 (財)日本環境衛生センター 神奈川（1998）
- 6) (財)日本土壌協会：堆肥等有機物分析法 p.18, 21-22 (財)日本土壌協会 東京（2000）
- 7) 石黒辰吉（監修）：普及版防脱臭技術集成 p.34 エヌ・ティー・エス 東京（2002）

4 小型堆肥化試験装置による堆肥化処理での臭気発生評価法

堆肥化処理は、我が国の畜産において、家畜ふんの処理として最も一般的に行われている方法である。しかし、処理の過程からは極めて高濃度の臭気が発生することから、畜産由来の悪臭問題の主要な原因のひとつに数えられており、畜産経営の中でも臭気対策の重要な焦点となっている。

堆肥化処理での臭気発生や臭気対策の効果を評価するには、発生する臭気の厳密な定量評価が必要である。実際の家畜ふんの堆肥化処理は、数百キロ～数十トンの規模で、屋外堆積や強制通気・機械攪拌を伴う処理施設で行われているが、このような大規模の処理は、臭気評価のための実験系としては、①屋外・開放式の処理では臭気が直ちに拡散してしまうため、定量評価が困難である、②天候、気温、風速等の影響を受ける、③大量の試料の取り扱いに多くの手間と時間がかかる、等の問題がある。このことから、特に対策技術の評価としては、先ずは取り扱いが簡易な小規模の試験によって効果の検証等を行うのが妥当と思われる。

ここでは、羽賀ら¹⁻³⁾が開発した実験室規模の堆肥化試験装置を用いた堆肥化試験について概説する。この装置は商品化されており、これを利用した試験の報告も既にいくつかなされている⁴⁻⁷⁾。

実施要領

1. 試験の準備

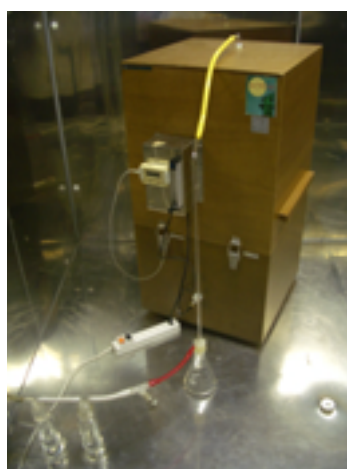
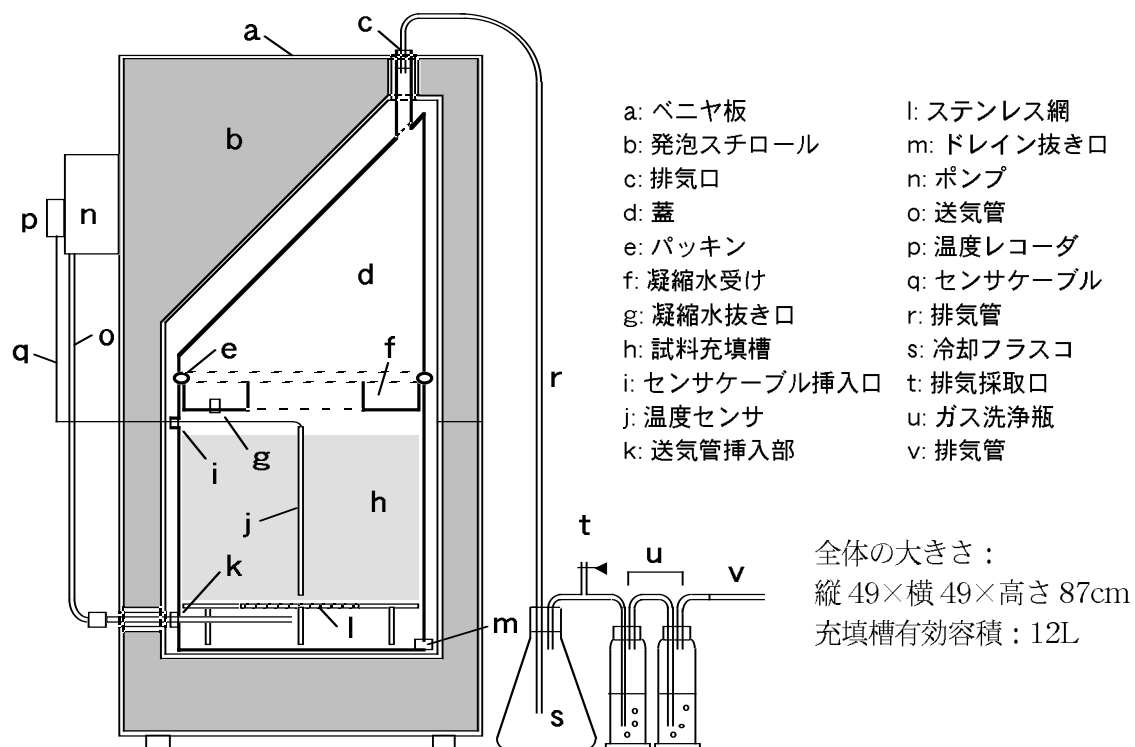
(1) 試験を行う場所・環境

試験装置は断熱構造になっているが、冬期のように気温が低い時期は、試料自体の品温も低く、温度上昇まで 1～2 日程度の停滞期間が生じたり、場合によっては温度上昇が起こらないこともある。このことから、出来れば温度調節可能な恒温室に装置を設置し、20℃以上の条件下で試験を行うことが望ましい。

(2) 使用機材・試薬

- ・ 小型堆肥化試験装置（株）富士平工業かぐやひめ（図 1）
- ・ 排気冷却フラスコ、空気洗浄瓶 2 本、排気用チューブ
- ・ アンモニア捕集液（6N 硫酸溶液）
- ・ アンモニアガス検知管（濃度範囲 0～10000ppm の各濃度域に対応するもの）
- ・ ガスサンプリングバッグ、試料採取用のバッグ
- ・ 試料混合用の大型バット

装置の試料充填槽、ケージ、蓋、凝縮水受け、温度センサは予め洗浄し、乾燥しておく。



装置全体



装置本体部



試料を充填したところ

図1 小型堆肥化試験装置の概要

(3) ふんの採取

畜舎で家畜ふんを採取する。新鮮ふんを試料として使用する場合は、試験開始の12～24時間以内を目処に採取する。何らかの前処理を行う場合は、試験の目的・日程に合わせて採取量やタイミングを決める。所要量は試験装置1台当たり4kg程度である。尿、飲水の雫れ水、敷料等の混入のないものが望ましい。

2. 試験の開始

(1) 試料の調製

家畜ふんは水分調整用の副資材と混合し、目的に応じて添加物（臭気対策資材等）を所定量添加した後、充填槽に充填する。試料の中央部には温度センサを挿入し、レコーダと接続する。装置を組み立て、ポンプを稼働して通気を開始する。

(試料について)

堆肥化処理では開始時の水分調整が特に重要で、堆肥化処理での適正含水率は55～70%とされており^{8,9)}、この装置を用いた試験でもこの数値を適用できる。水分調整用の資材としては、現場で利用されている一般的な資材（オガクズ、ワラ、モミガラ等）を利用することができる。イナワラのような空隙性に富む資材を用いる場合は、含水率をやや高め（70～75%）にしても温度上昇は起こる。

豚ふん、鶏ふんは水分調整を適正に行えば温度上昇が起こるが、牛ふんは熱量が少ないため、オガクズ混合の場合は温度上昇が鈍いことから、細かく裁断したイナワラ等の使用が望ましい。

(対照区の設定)

資材の効果の評価等で対照区と試験区を設けて試験を行う場合は、対照区では特定の処理以外の条件を試験区と揃えるように配慮する。

体積の調節：充填槽のケージの上の内壁に高さを表示する印を付しておき、充填高さを合わせることで体積を合わせる。

含水率の調節：液体の資材を試験する場合は、対照区には同量の水を添加する。

微生物資材：滅菌処理をした資材や微生物無接種の資材を同量添加する。

(通気について)

装置には空気漏れが生じる危険性のある部位が数カ所あるので、試験開始時に入念にチェックする。排気口（図 1-c）、センサケーブル挿入口（i）、ドレイン抜き口（m）は、栓を挿入した後、パラフィルム等を用いて確実にシールする。底部の送気管挿入部（k）は、ネジ部にバルカーテープを巻いて補強する。また、蓋と充填槽の接続部（e）は、パッキンに汚れの付着がないことを確認し、ずれが生じないように枠を合わせてロックする。

実規模の堆肥化処理で強制通気を行う場合の通気量は、開始時の堆積物 1 m³ 当たり 50～300L/分の範囲と言われている^{8,9)}。この装置では、試料の充填体積を 1 m³ に換算して 50L/分前後が目安である。

ポンプ部分（図 1-n）には浮き球式流量計が付属しているが、表示はあまり厳密ではないので、排気管の出口で積算流量計とストップウォッチを用いて通気量を合わせる。試験期間中にも機会をみて流量を確認・調節するのが望ましい。

(試験期間)

試料の種類、使用量、繰り返し（下記参照）のタイミング等に依る。豚ふんを

用いた試験では2回目ないし3回目の切り返し以降は温度上昇は緩慢であった。このことから、1週間毎に切り返しを行う場合は3～4週間が目安である。

3. 試験期間中の操作

(1) 切り返し

初期の発熱は数日間で収束するので、試料を一旦装置から取りだして均一に攪拌する（切り返し）。この後再び装置に戻し、通気を再開する。

切り返しのタイミングは試料品温の低下を見計らって決める。豚ふんの場合は、1週間程度で品温が30～40℃となるので、1回目の切り返しは開始後1週間目前後が目安である。1回目の切り返し以降は品温の上昇・低下がより短期間となるので、切り返しの間隔を徐々に短くすることもできる。

切り返しの際には内部の凝縮水受けの凝縮水、底部のドレイン等を回収する。また、捕集液を回収して新しい液を補充する。必要に応じて試料の一部を採取し、性状分析に供することもできる。

(2) 臭気の測定

1) アンモニア

アンモニアは排気中濃度の経時変化と期間中のおおよその揮散量を測定することができる。

経時変化は、期間中定期的に排気採取口（図1-t）から排気を採取して測定する。悪臭防止法の公定法¹⁰⁾（捕集液への捕集・比色定量）による測定も可能であるが、検知管を採取口に挿入して測定するのが簡易である。

試験期間中に揮散したアンモニアは、排気管途中のアンモニア捕集液に捕集される他、凝縮水（本体内部の凝縮水受けに溜まるもの、外部の冷却フラスコに溜まるもの）および本体底部に溜まるドレインに溶解する。定期的にこれらを回収し、ケルダール蒸留によって窒素を定量してアンモニアの揮散量を求める。

注：窒素の収支について

本試験では途中に切り返しを行うため、その際にアンモニア揮散および少量の固形分の損失が起こる。このことから、アンモニア揮散を含む期間中の窒素損失の全ては把握出来ないが、これまでの試験では、上記のような回収液中の窒素の積算値は試験期間中の損失全体の80～90%程度に相当していた。

2) 硫黄化合物類

硫黄化合物類はアンモニアのような捕集は困難であるため、排気中濃度の経時変化を調査する。期間中定期的に排気採取口にサンプリングバッグ（ジーエルサイエンス社のテドラー®バッグ等）を接続し、排気を採取する。M6コネクタ付

きのバッグを用いれば、分析時に針を挿入してシリンジに必要な量のガスを吸引することが出来る。分析は公定法¹⁰⁾によるガスクロマトグラフ分析を行う。

硫黄化合物類は試験開始後および切り返し後の温度上昇期に高濃度で発生するが、極めて短時間（半日～1日）のうちに急激に上昇・低下する。このため、この間の推移を厳密に追うには、できるだけ短い時間間隔での測定が必要である。

3) その他

低級脂肪酸類の分析は、悪臭防止法の公定法¹⁰⁾に準じて捕集管を調製し、採取口に捕集管を接続してポンプで排気を一定量通気後、ガスクロ分析を行う。但し、このような小規模で均一性の高い堆肥化試験では、低級脂肪酸類は開始後の短期間のうちにアンモニアの高濃度発生と前後して急激に低下し、以後再上昇は見られない¹¹⁾。このため、何らかの理由で低級脂肪酸類の長期的な発生が見込まれる場合を除けば、この実験系においてはさほど必要ないものと思われる。

三点比較臭袋法による嗅覚測定を行う場合は、硫黄化合物類と同様、サンプリングバッグに排気を採取したものを原臭として使用する。

(3) 臭気以外の分析項目

添加型資材の場合は、臭気対策としての有効性ととも、堆肥の品質への影響も検証する必要がある。資材の性質、作用に応じて、堆肥の性状、含有成分、堆肥中の微生物の分析等も併せて行うことが望ましい。

(実施例)

微生物を用いた堆肥化処理からのアンモニア発生低減

筆者らは、微生物の添加による堆肥化処理からのアンモニア発生低減を目的として微生物の分離・選抜を行い、アンモニウム資化能が高く、高温性で高いアンモニウム耐性を有する細菌 (*Bacillus* sp. TAT105 株) を選抜した。微生物の分離・選抜、形質の調査については報文⁷⁾を参照されたい。

この細菌の堆肥化処理でのアンモニア低減を評価するために、小型堆肥化試験装置を用いた堆肥化試験を実施した。

1. 方法

(1) 微生物の培養

TAT105 株の培養・検出に下記の培地を用いた。

酵母エキス-アンモニウム培地 (YA 培地) :

蒸留水 1000mL、酵母エキス(Difco) 5g、 Na_2HPO_4 1g、 CH_3COONa 1g、 KH_2PO_4 0.3g NH_4Cl 量は用途に応じて以下のように変えた。また、検出培地には寒天を加えた。

・液体培地： NH_4Cl 5.35g (100mM)

・検出培地：NH₄Cl 26.7g (500mM)、寒天 30g

120℃で15分間オートクレーブ滅菌し、その後に滅菌した2NNa₂CO₃溶液でpHを7.0～7.2に調整した。

(2) 堆肥化試験

保存菌からリフレッシュしたTAT105株をYA液体培地100mLに接種し、50℃、115rpmで20時間振とう培養した。豚ふん3.6kgとオガクズ0.6kgの混合物にTAT105培養液100mLを添加混合し、うち4kgを装置に充填した。対照区として同様の豚ふん・オガクズ混合物に菌無接種のYA液体培地を同量添加したものを調製した。装置を25℃に保持した恒温室に設置し、流量0.45L/minで通気した。

試験は18日間行った。期間中、排気中のアンモニアの経時変化を検知管で測定した。開始後7日目、13日目に切り返しを行い、この際、試料の一部(150g)を採取した。同様の試験を3回実施した。

(3) 試料固形分の分析

1) 含水率・強熱減量

試料30-40gを磁性皿に取り、105℃で24時間乾熱により含水率を求めた。さらに600℃で6時間燃焼により強熱減量(VS)を求めた。

2) pH、窒素

試料5g前後を50mlの遠心管に取り、45mlの2NKCl溶液を加え、30分間振とうした。2500rpmで10分間遠心後、上清を濾紙で濾過し、濾液を得た。この濾液のpHを測定し、試料のpHとした。また、濾液1mlをBremner法¹²⁾により蒸留し、アンモニウム態窒素、亜硝酸・硝酸態窒素を測定した。また、試料10g前後をケルダール法¹³⁾による分析に供し、ケルダール窒素を測定した。以上の分析から、最終的に試料中の窒素量を求めた。

4) 試料中の微生物

試料10gを90mLの生理食塩水に混和し、ホモジナイザで15000rpmで15分間攪拌した。この懸濁液を適宜希釈して高温性アンモニウム耐性細菌検出用培地に接種し、55℃で2日間培養した。TAT105株はこの培地上で特徴的なコロニーを形成することから⁶⁾、コロニー判別により計数を行った。

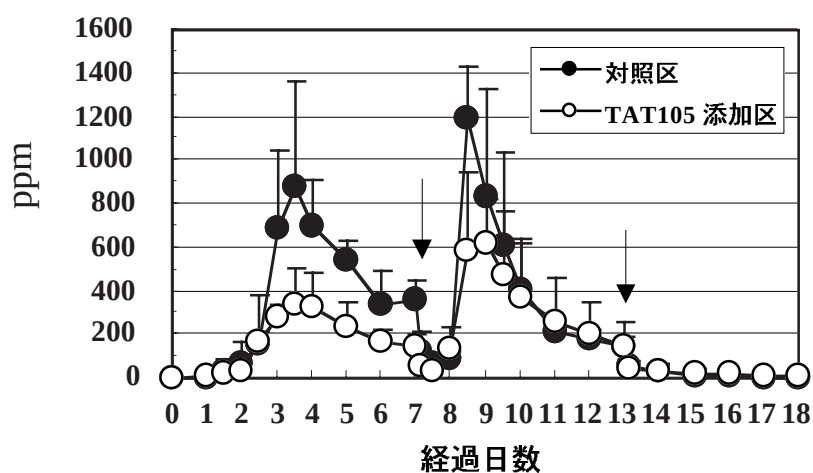
2. 結果・考察

(1) アンモニアの経時変化

図に排気中アンモニアの経時変化を示す。アンモニアは開始後の温度上昇に少し遅れて濃度上昇し、2-3日後にピークに達した後、徐々に低下した。7日目の切り返し後は温度上昇・低下と共に再び濃度上昇・低下を示した。2回目の切り返し後は殆ど濃度上昇を示さなかった。

TAT105添加区では、開始後1週間および1回目の切り返し後数日間の高濃度

発生期に、無添加の対照区に比べて濃度が低めで推移した。



- 1) 下向きの矢印は切り返しを示す
- 2) シンボルは3回の試験の平均値、シンボル上のバーは標準偏差を示す

図2 排気中のアンモニア濃度の推移

(2) 堆肥の性状

試験開始時・途中採取分・終了時の両区の試料性状を表1に示す。TAT105添加区では、対照区に比べて終了時の堆肥中の全窒素が有意に高かった。このことは、堆肥化期間中のアンモニア発生低減の反映と考えられた。終了時のVSは両区で差はなく、TAT105株の添加は有機物の分解に影響を与えなかったものと思われた。

表1 試料の重量、pH、強熱減量、窒素量の変化

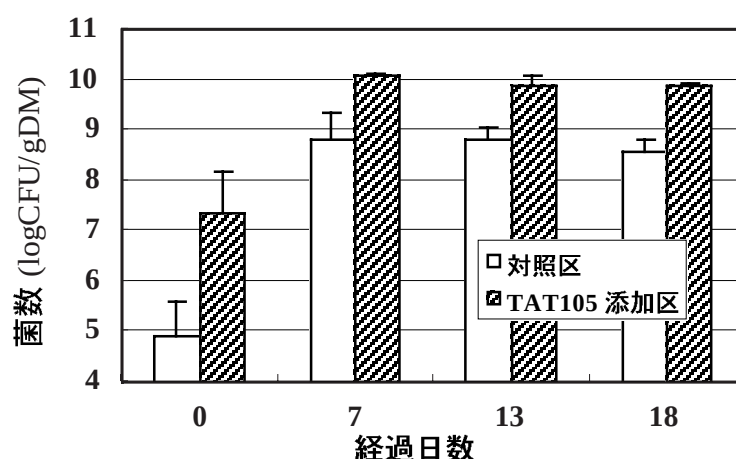
		開始時	途中採取分	終了時
重量 (kg)	対照区	4.00 (0.00)	0.30 (0.00)	2.40 (0.07)
	TAT105添加区	4.00 (0.00)	0.30 (0.00)	2.40 (0.01)
pH	対照区	6.83-7.24	8.32-8.56	7.49-7.79
	TAT105添加区	6.86-7.25	8.01-8.53	7.77-7.92
強熱減量 (kg)	対照区	1.29 (0.04)	0.10 (0.01)	0.82 (0.04)
	TAT105添加区	1.29 (0.04)	0.10 (0.01)	0.85 (0.03)
全窒素 (g)	対照区	36.60 (0.78)	3.17 (0.06)	28.27 (0.11)
	TAT105添加区	36.83 (0.76)	3.38 (0.02)	30.33 (0.33) **

- 1) 数値は3回の試験の平均値、括弧内の数値は標準偏差を示す
- 2) **: $P < 0.01$

(3) 試料中の微生物の菌数推移

TAT105 添加区では開始後 1 週間目までに TAT105 株と判断されるコロニー数が 7×10^9 CFU/gDM 程度に達し、以後終了時まで同様のレベルを維持した。対照区でも同様のコロニーが観察され、1 回目の切り返しまでに増加するが、菌数のレベルは TAT105 添加区の 20 分の 1 程度に止まった。

以上の結果から、添加された TAT105 株はアンモニウムを資化しつつ増殖し、この結果アンモニア発生が低減されたものと考えられた。



* 表示した値は3回の試験の平均値、カラム上のバーは標準偏差を示す

図3 試料中 TAT105 株およびその類似菌の推

(農業・生物系特定産業技術研究機構 畜産草地研究所 黒田 和孝)

引用文献

- 1) Haga, K., Osada, T., Tanaka, Y., Kuroda, K., Hanajima, D., Morishita, K., Yanai, M., Kitamura, K., and Tanaka, K.: Development of the small-scale composter for composting experiments of animal wastes. Proc. of the Satellite Symposium of 8th AAAP, in Wakayama. 80-81 (1996).
- 2) 羽賀清典、長田隆、田中康男、黒田和孝、花島大、森下惟一、柳井政史、北村耕作、田中一人：小型コンポスト化装置の開発 扇元敬司、中井裕 編著 動物環境レメディエーション、p.166-168, 養賢堂 東京 (1999)
- 3) 豊田知紀、花島大、黒田和孝、羽賀清典：小型コンポスト化装置の性能 扇元敬司、中井裕 編著 動物環境レメディエーション、p. 169-171, 養賢堂 東京 (1999)
- 4) 樋渡隆、河野広中、生駒エレナ、有馬康、片山美和、東眞幸、樋口彰、日比

- 一雄、玉田昭夫、井出寿雄：アンモニア資化菌を利用した堆肥化過程における臭気低減 鹿児島畜試研報 33, 76-83 (2000)
- 5) 鈴木直人、花島大、黒田和孝、羽賀清典、坂井隆宏：畜産公害対策試験 (11) バガスの家畜ふん尿堆肥化副資材における特性 沖縄畜試研報 39, 60-66 (2001)
- 6) 田崎稔、豊田知紀、小池則義、阿部正夫、杉本俊昭：家畜排せつ物処理利用技術の開発 ―畜舎間連施設からの低コスト脱臭技術の確立―、栃木畜試研報 18, 9-24 (2002)
- 7) Kuroda, K., Hanajima, D., Fukumoto, Y., Suzuki, K., Kawamoto, S., Shima, J., and Haga, K.: Isolation of thermophilic ammonium-tolerant bacterium and its application to reduce ammonia emission during composting of animal wastes. Biosci. Biotechnol. Biochem. 68, 286-292 (2004)
- 8) 羽賀清典：堆肥化处理 家畜ふん尿処理・利用の手引き p.31-38, 畜産環境整備機構 東京 (1997)
- 9) 羽賀清典：堆肥化处理 畜産環境保全論 p. 56-60 養賢堂 東京 (1998)
- 10) 環境法令研究会編：環境六法（平成16年版）p. 860-909 (2004)
- 11) Kuroda, K., Osada, T., Yonaga, M., Kanematu, A., Nitta, T., Mouri, S., and Kojima, T. : Emission of malodorous compounds and greenhouse gases from composting swine feces. Bioresource Technol. 56, 265-271 (1996)
- 12) 土壌養分測定法委員会編：土壌養分分析法 p.197-200, 養賢堂 東京 (1991)
- 13) 同上 p.171-176

5 堆肥化促進資材の「コンポテスター」による評価法

家畜排せつ物の堆肥化促進を目的として、さまざまな添加資材が市販されている¹⁾。また、ふん尿からの脱臭を謳った散布型あるいは経口投与型の資材も多くみられるが、これらの資材が脱臭には効果があったとしても、その後の堆肥発酵に悪影響がないとの保証はない。これらの資材の添加効果、あるいは阻害作用の評価には、実際に堆肥化材料を堆積して発酵状況を見るのがもっとも確実であるが、材料の量や手間が多く掛かり、容易ではない。

そこで、堆肥熟度の判定に用いられている「コンポテスター」(写真)で発酵初期の酸素消費量を経時的に測定することにより、添加資材の発酵促進効果の有無を評価する手法²⁾を開発した。

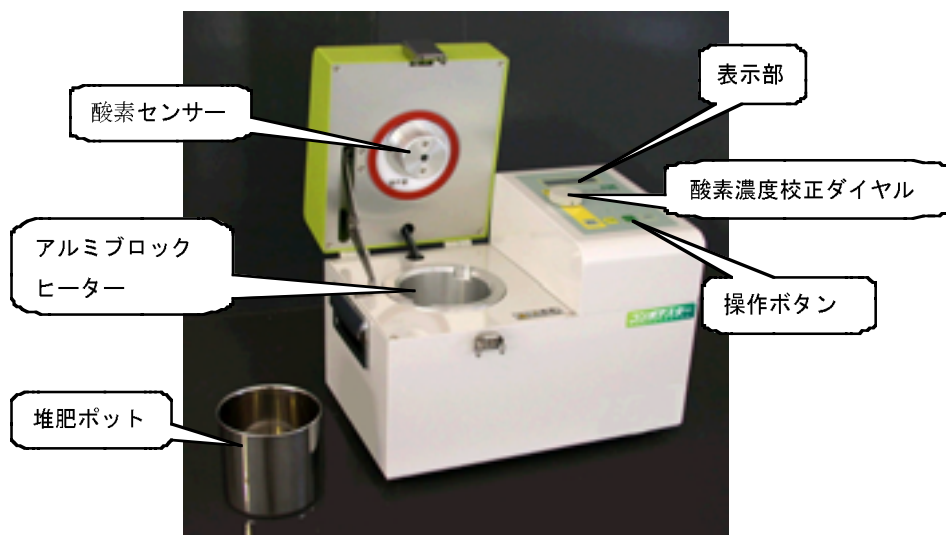


写真 堆肥熟度判定器「コンポテスター」

実施要領

1. 堆肥化促進資材評価の考え方

堆肥の発酵は微生物による有機物の好気的な分解によって進む。その際、微生物は有機物の分解量に応じて大気中の酸素を消費する。したがって、堆肥発酵の良否は一定時間における酸素消費量を測定すれば評価できるが、特に堆肥化材料堆積後 1～2 日の発酵状態、すなわち酸素消費の程度が重要で、この期間での発酵が上手く進めばその後の堆肥発酵も順調に進むと考えてよい。この考えに基づ

き、各種添加資材の効果の有無は、発酵初期における酸素消費量にどのような影響を与えるかで評価することとする。

具体的には、水分調整した試料を対照区、これに資材を添加した試料を試験区とする 2 区を設ける。「コンポテスター」の使用台数に余裕があれば処理区数は増やせる。試料は調製時から 35℃で保温、2～4 時間間隔で 48 時間にわたり酸素消費量を測定する。1 試料、1 回の測定時間は約 30 分である。堆肥の初期発酵の良否は、48 時間の酸素消費量の積算値から、対照区との相対値で評価する。

2. 試料の調製

(1) ふんの採取

乳牛ふん約 300g をビーカーに採取する。乳牛ふんは新鮮なものでなく、数日間冷蔵庫(冷凍庫ではない)で貯蔵したものがよい。排せつ直後の生ふんでは、含有成分や微生物相の変化が大きいことが考えられるため、その後数回にわたって実験を実施する場合に一定の試料が得られにくい。

用いる資材が特定の畜種の発酵促進を目的としている場合は、その畜種のふんを供試するが、一般的には乳牛ふんでよい。ふんが不均一と考えられる場合はよく混合する。

(2) 水分の測定

乳牛ふんの水分は一般に 80%以上と高いため、おが屑を添加して水分調整する。そのため、乳牛ふんおよびおが屑の水分含量を予め測定する。測定は普通の加熱乾燥法でよい。

(3) 供試試料の調製

1) 対照試料

測定容器の中に水分が 70%になるような割合で乳牛ふんとおが屑を合わせて 50g 入れ、よく混合する。混合割合は、通常の乳牛ふんおよびおが屑であれば、それぞれ、40g および 10g 程度である。堆肥化材料に豚ふんを用いる場合は乳牛ふんよりも水分含量を低め、65%程度に調整する。水分調整にはおが屑を用いているが、堆肥の発酵を阻害しないものであれば何でもよい。混合した試料は、直ぐさま第 1 回目の酸素消費量の測定に供する。

2) 試験試料

対照試料と同じ乳牛ふんとおが屑の混合物 50g を容器に秤取し、これに資材をメーカーの推奨量にもとづいて添加する。一般には 1～3%程度、実量としては 0.5～1.5g である。よく混合してから対照試料と同様に酸素消費量を測定するが、対照試料の測定に約 1 時間を要するので、「コンポテスター」が 1 台で測定する場合には、試験試料の調製は対照試料の 1 時間後にずらす必要がある。

(4) 「コンポテスター」による酸素消費量の測定方法

試料を入れた測定容器を「コンポテスター」に装着、装置の蓋をして 35℃で 30 分間加温後、約 30 分間で酸素消費量を測定するが、値は自動的に表示される。これらの測定は「取説」に従えばよい。第 1 回目の測定が終了したら、水分ができるだけ飛ばないように二重のアルミ箔か金属製の蓋を被せて、35℃の保温装置に入れる。測定容器の内部が嫌気状態になるようなラップフィルム等による完全な密閉は避ける。2～3 時間後に、保温装置から取り出して第 2 回目の測定を行うが、この場合は、試料はすでに 35℃に保たれているため、測定前半 30 分の加温は必要なく、約 30 分で測定は終了する。

このようにして 48 時間にわたって酸素消費量を測定する。測定間隔は、短いほど測定精度は上がるが、一般に酸素消費量がピークを過ぎてほぼ一定値を示すようになれば 4 時間間隔にしても問題はない。夜間にも継続的に測定することは容易ではないので、以下のような便法を用いてもよい。

（夜間での測定を省略する便法）

同一ロットの乳牛ふんおよびおが屑を用いて、約 12 時間後に同様の試料を調製して、35℃で保温し、12 時間後から測定を開始し、この値を夜間に相当する 12 時間の測定値として代用させる。このようにすると夜間 12 時間の測定は必要なくなるが、昼間の測定点数は 2 倍に増えることになるので、測定時間のやりくりを慎重にしないとダブってしまう。「コンポテスター」が 1 台で、2 時間間隔で測定するとなると時間的に無理があり、台数を増やすか、3～4 時間間隔の測定となる。

（5）酸素消費量の積算値の算出とその評価

酸素消費量は、試料（現物）1g、1 分間あたりに消費される量（ μg ）で表示される。各測定時間における酸素消費量に基づいて 48 時間の酸素消費量の積算値を求める。この算出では、測定時間以外の酸素消費量は隣り合う 2 つの測定時間の間では直線的に変化したと仮定する。

例えば、試料調製直後の酸素消費量が「2」、2 時間後が「6」だったとして、この 2 時間における酸素消費量を算出してみる。酸素消費量はこの 2 時間で直線的に変化したと仮定しているから、平均酸素消費量は「4」で、これに 120 分と試料の全体量である 50g を乗じる。この場合、資材添加量は無視している。また、mg の単位にするため 1000 で除する。さらに、「コンポテスター」の値は試料現物 g 当たりで示しているが、これを乳牛ふん乾物 g 当たりで示すため、試料中に乳牛ふんが 40g、その水分含量が 84%であるとする、乳牛ふんの乾物含量は $6.4\text{g}(=40 \times 0.16)$ となるので、これで除する。したがって、最初の 2 時間における酸素消費量は次のように算出される。

最初の 2 時間の酸素消費量(mg/乳牛ふん乾物 g)

$$=4 \times 120 \times 50 \div 1000 \div 6.4 = 3.75$$

同様の方法で、各時間における酸素消費量を算出して累計すれば、48 時間における酸素消費量の積算値が算出される。対照試料の場合は、150mg/乳牛ふん乾物 g 程度である。

対照試料および資材添加の試験試料のそれぞれの酸素消費量積算値を算出して、その相対値（%）から、資材添加効果あるいは阻害作用の有無を判定するが、相対値に 10%以上の差があれば、有意差があると判断して差し支えない。

なお、統計的処理を行うには、同一処理について反復実施が必要であり、「コンポテスター」の台数に余裕があれば反復実施が望ましいが、「コンポテスター」装置そのものの測定誤差はきわめて小さく、また、均一な同一サンプルであれば、秤量の間違いさえない限り反復誤差も小さいところから、反復は必ずしも必要ないと考えられる。

（実施例）

市販発酵促進微生物資材の添加効果の評価

1. 試料・操作

（1）供試試料

乳牛ふんとおが屑を混ぜて水分含量を 70%に調整した試料 50g を対照とし、これに微生物資材 A および B を各メーカーの推奨量にしたがい、それぞれ 0.5 および 1.5g 添加した。また、米ぬか 1.5g 添加区を設けた。なお、資材 A の添加区にはメーカーの資材使用の指示にしたがって米ぬか 1g を別に添加した。

対照区を含めて合計 4 処理区を設けたが、いずれも 2 反復実施し、反復による誤差を検討した。「コンポテスター」は 4 台用いた。

（2）酸素消費量の測定

酸素消費量は、試料調製時から 2～4 時間間隔で 48 時間にわたって測定した。この実験では、前述のような約 12 時間の時差をつけた試料を調製して夜間の測定は省略した。

2. 結果

（1）酸素消費量の経時変化と資材の添加効果

図 1 には各測定時間における酸素消費量の経時変化、また、図 2 には各測定時間までの酸素消費量の積算値の経時変化を示した。図 1 によると、酸素消費量がピークに達するのがもっとも早いのは対照区で、資材 A 添加区および米ぬか添加区がこれに続き、資材 B 添加区の酸素消費量は低かった。各測定時間までの酸素消費量を比較すると、資材 A 添加区および米ぬか添加区はほぼ同様の動き

を示し、対照区に比較して高くなった。対照区、資材 A 添加区、資材 B 添加区および米ぬか添加区の 48 時間における酸素消費量積算値は、それぞれ、138、173、80 および 172mg/乳牛ふん乾物 g となり、資材 B 添加区ではむしろ阻害作用が認められた。

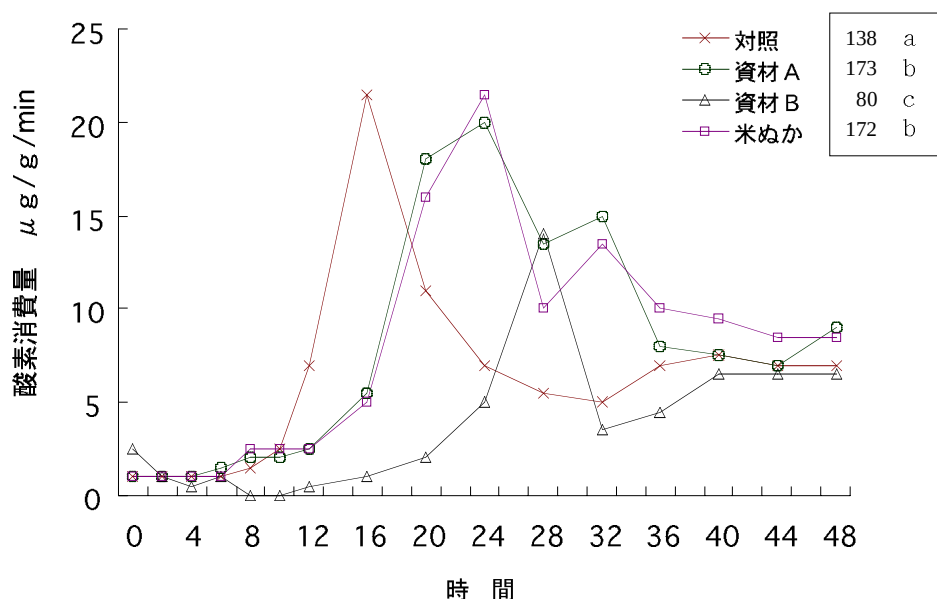


図1 乳牛ふん堆肥化材料に市販微生物資材 A、B および米ぬかを添加した場合の酸素消費量の比較
 図中の数字は 48 時間における酸素消費量積算値 (mg/乳牛ふん乾物 g)、異符号間に有意差 (P<0.01)

微生物資材 A 添加区の酸素消費量積算値は無添加の対照区に比較して明らかに高かったが、既述のように、資材 A の場合はメーカーの指示により米ぬか 1g を別に添加しており、米ぬか 1.5g の単独添加の値とほぼ同じであったところから、資材 A 添加区で認められた効果は、微生物資材そのものの添加効果ではなく、同時に添加した米ぬかに起因すると考えた方が妥当と考えられる。

この実験では、同一試料について 2 反復を実施したが、図 2 に示したように、2 反復の高値と低値の幅は小さく、前述の通り、必ずしも反復実施は必要ないものと思われる。

(2) 各種堆肥発酵促進資材の評価

これまでに実施した各種発酵促進資材の評価をまとめたのが表 1 である。48 時間における酸素消費量積算値を資材無添加の対照試料との相対値 (%) で示している。

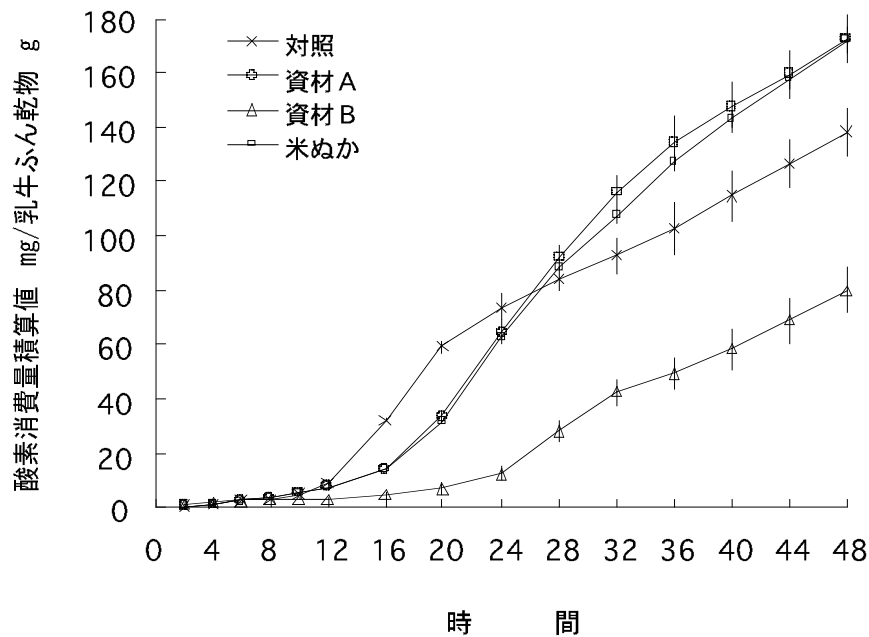


図2 乳牛ふん堆肥化材料に市販微生物資材 A、B および米ぬかを添加した場合の酸素消費量の積算値の比較
各測定値のバーは2反復の高値と低値を示す。

表1 各種堆肥発酵促進資材の評価

相対値	
微生物資材	
A	125
B	58
C	99
鉱物系資材	
A	19
食品副産物等	
米ぬか	141
豆腐粕	166
糖蜜	128
廃食油	152
グルコース	189

堆肥発酵初期48時間における酸素消費量の積算値
(無添加の対照区を100とする相対値)

1) 微生物資材および鉱物系資材の添加効果

これまでに、微生物資材 3 点および鉱物系資材 1 点について添加効果を評価した。微生物資材 A は、対照に比較して明らかに添加効果が認められたが、これには、前述の通り、メーカーの指示により米ぬかを 1 g、別に添加したためと考えられる。資材によっては、この例のように、他の資材との併用を指示するものもあるが、資材の中に増量剤として米ぬか等を混合したものも多い。このような資材では、たとえ添加効果があったとしても、微生物そのものの効果なのか、混合した他の資材の効果なのかを、微生物資材の中身の吟味を含めて検討する必要がある。微生物資材 B の添加ではかえって発酵阻害作用が認められ、また、微生物資材 C では添加効果はなかった。

鉱物系資材 A の酸素消費量はきわめて低く、明らかに発酵阻害作用が認められた。この資材は、ふん尿からの臭気抑制と堆肥発酵促進の 2 つの効果を謳っている。この資材を豚のふん尿に散布するとアンモニアの揮散が抑制されることが明らかになっており³⁾、この理由として、pH を低下させることが考えられている。このような pH 等のふん尿の物理性を変えて悪臭を抑制しようとする資材にあっては、その後の堆肥化が順調に進行するか否かを確かめることが重要である。

2) 米ぬか等の添加効果

米ぬかの添加が堆肥発酵を促進することはよく知られているが、豆腐粕の添加によっても促進効果がある⁴⁾とされる。表 1 は、米ぬか等の食品副産物およびグルコースをいずれも 3g 添加して測定した酸素消費量を無添加の対照区と比較した結果であるが、いずれにおいても添加効果が明らかに認められている。家畜ふんには多量の易分解性有機物が含まれているため、通常は栄養源の添加は必要ない⁵⁾とされるが、特に寒冷期の堆肥化においては米ぬか等の栄養源の添加が効果がある場合もあるかもしれない。

((財)畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所 古谷 修)

引用文献

- 1) 羽賀清典：畜産環境対策大事典(第 2 版)、p.595-637、農文協、東京 (2004)
- 2) 古谷修・古川智子・山本朱美・小堤恭平・伊藤稔：酸素消費量測定による家畜ふん堆肥初期発酵の評価、土肥誌 75, 471-474 (2004)
- 3) 山本朱美・伊藤稔・古谷修：豚糞尿混合物の pH、尿中窒素含量および脱臭資材の添加が *in vitro* アンモニア揮散量に及ぼす影響、日畜会報 74, 369-373 (2003)
- 4) Hanajima, D., Kuroda, K. and Haga, K.: Enhancement of the thermophilic stage in cattle waste composting by addition of tofu residue. *Bioresour. Technol.* 78, 213-216

(2001)

- 5) 中央畜産会編：堆肥化施設設計マニュアル、p.1～31、（社）中央畜産会、東京（2000）

6 いくつかの論点に対する担当者の見解

(1) 経口投与型資材の給与期間

本法では、資材添加飼料給与後1週間で採ふん、採尿を行うことを原則としている。一般的な微生物であれば、基質(飼料)の変化に対して1週間以内に十分適応でき、腸内微生物相はそれに相応しいものに変化すると考えられる。

市販微生物資材によっては、その微生物が新しい環境に適応するまでに1ヶ月以上を要するとしているものがあり、そのような資材の評価には給与期間を推奨している期間まで延ばす必要がある。しかしながら、資材給与後1週間でその効果が明確に現れないものは、それ以上長く給与しても効果はあまり期待できない。

(2) 資材の添加効果の評価方法

本法では、臭気低減効果を、必ず対照区を設けてそれとの相対値として評価することにしており、絶対値は問題にしない。これは、発生する臭気は、動物や飼育の条件、ふん尿の採取方法、臭気発生装置の測定条件等のさまざまな要因により変動するものであり、絶対値を把握することは困難であるからである。

したがって、本法の実施に当たっては、資材の添加の有無以外の条件は、対照区と試験区で一定に揃えることに絶えず配慮する必要がある。

ふんの場合は、水分含量はほぼ一定であり(下痢の場合は測定の対象としない)、排ふん量も資材の添加で大きく変わることは考えられないので、同量のふんを供試して、その結果を対照区と試験区でそのまま比較すればよい。しかしながら、排尿量は個体や日によって異なり、尿の濃度も大きく異なるので、ふんのように直接は比較できず、1日の排尿量に基づいて評価する必要がある。

(3) 臭気低減効果判定のための測定項目

本法では、臭気の測定項目としてアンモニア、低級脂肪酸および硫黄化合物に絞っている。畜産臭は本来複合臭であるので、官能試験(臭気指数)による評価が望ましいが、手間と経費が掛かり簡単に実施できない。上記3項目の測定で有意差がなければ、臭気指数にも差が出ないと判断して差し支えないと考えられる。3項目の一つでも有意差が出れば、最終的には官能試験で確かめればよい。

(4) ふん尿からの臭気発生を何時測定するか

豚の場合は、豚舎の清掃は少なくとも1日に1回実施するのが普通である。そのため、臭気発生測定試料も排せつ後から1日分(0~24時間)のものを対象とすることにする。鶏の場合も24時間以内に排せつされたふん尿を測定試料とし

た。排せつ直後の新鮮ふん尿では対照区と試験区で差がなくても1日経つと差が生じることも考えられる。ただし、採取日直ぐに分析に供することは困難がともなうことが多いから、その場合は冷蔵保存することも止むを得ない。

1日では差がなく、数日後に有意差が現れる資材も考えられるが、1日1回は豚舎を清掃することを前提とすれば、試料の保蔵(放置)期間をさらに延ばしてもあまり意味がない。

畜舎に特定の脱臭微生物が定着する可能性もあるとされ、その場合は本法では評価できないが、豚舎に特定微生物が定着し臭気を低減させるとの科学的根拠はない。

(5) 経口投与型資材と散布型資材の評価法の違い

1. 供試するふん尿を採取する動物の飼養条件および頭羽数が異なる。経口投与型では、資材が適応して効果を発揮するまでには少なくとも1週間程度は必要であり、飼養期間は長い。一方、散布型資材の場合は、ふん尿サンプルが採取できればよいので、長くは必要ない。

供試頭羽数は、経口投与型では資材添加と無添加を比較することになるので、多くを必要とするが、散布型資材の場合は実験に必要なサンプル量が得られればよい。

2. ふん尿採取後の各臭気物質の揮散量測定は、散布型資材で資材の添加と無添加の2処理区を設ける以外は基本的に同じである。

3. 散布型資材の評価では、同一ふん尿サンプルを用いて資材の添加の有無を比較するため、反復誤差はきわめて小さく統計的有意差が出やすい。一方、経口投与型資材では個体差に基づいて統計処理を行うが、一般に個体差が大きいいため、有意差は出にくい。統計的に有意差があることと官能的に意味があることは異なるので、結果の解釈に当たっては注意を要する。

(6) 豚と鶏での臭気物質評価法の違い

豚と鶏における臭気物質評価法はほぼ同様の考え方に基づいて開発を進めたが、具体的方法にはいくつかの点で異なる。

アンモニア揮散量の測定は、豚と鶏とも1～2日間に揮散される全量を捕集して測定しているので同じである。しかし、低級脂肪酸および硫黄化合物の場合は、豚では、ふん採取後あるいは冷蔵庫から取り出した直後と24時間後の2回にのみ測定しているのに対して、鶏ではその間にさらに2～3回の測定を行うとしている。臭気物質の揮散量に24時間以内で経時変化があり、そのパターンが対照区と試験区で異なるとすれば、出来るだけ測定回数を増やす必要があるが、手間との兼ね合いもある。少なくとも、直後と24時間後に測定し、差がみられればさらに

経時的に詳細に調べるとするのが現実的であろう。

硫黄化合物は、アンモニアや低級脂肪酸が一旦捕集してから分析しているのに対して、ガス状で採取する。これは豚および鶏で共通であるが、豚の場合は密閉容器を用いて一定時間に揮散したガスを採取するのに対し、鶏では、アンモニアや低級脂肪酸と共通の装置で三方コックによって流路を切り換えガスを吸引採取する。いずれの方法にも一長一短がある。特に畜種によって限定されることもないので、任意に選択すればよいが、両者による測定精度の比較などの課題が今後に残されている。

7 発表文献一覧

(豚の臭気対策資材の効果判定法)

- 1) 山本朱美、伊藤稔、古谷修：豚糞尿混合物からのアンモニア揮散量の *in vitro* 測定法 日本畜産学会報 73, 503-508 (2002)
- 2) Yamamoto, A., Itoh, M., Kadoya, Y., Kanno, H., Yamada, M., and Furuya, S. : Reduction of urinary nitrogen excretion and ammonia emission from slurry by feeding a low protein diet supplemented with apple pomace to growing pigs. *Anim. Sci. J.* 73, 301-304 (2002)
- 3) Yamamoto, A., Itoh, M., Matsui, M., Fujimura, N., and Furuya, S. : Reduction of ammonia emission from growing pig rooms by feeding a low protein diet supplemented with apple pomace to growing pigs. *Anim. Sci. J.* 73, 505-508 (2002)
- 4) 山本朱美、伊藤稔、古谷修：豚ふん尿混合物からのアンモニア揮散量の *in vitro* 測定法 第78回日本養豚学会大会講演要旨 p. 7 (2002)
- 5) 山本朱美、伊藤稔、古谷修：豚ふん尿混合物の pH および尿中窒素含量が *in vitro* アンモニア揮散量に及ぼす影響 第 78 回日本養豚学会大会講演要旨 p. 8 (2002)
- 6) 山本朱美、伊藤稔、角屋義勝、管野廣和、山田未知、古谷修：豚における低タンパク質飼料へのミカンジュース粕添加による尿中窒素排せつ量およびアンモニア揮散量の低減 日本畜産学会第 101 回大会講演要旨 p. 149 (2002)
- 7) 山本朱美、伊藤稔、古川智子、長峰孝文、亀岡俊則、古谷修：豚における低タンパク質飼料へのビートパルプの添加による尿中窒素排せつ量およびアンモニア揮散量の低減 日本養豚学会誌 40, 135-140 (2003)
- 8) 山本朱美、伊藤稔、古谷修：豚糞尿混合物の pH、尿中窒素含量および脱臭資材の添加が *in vitro* アンモニア揮散量に及ぼす影響 日本畜産学会報 74, 369-373 (2003)
- 9) 山本朱美、伊藤稔、矢内伸佳、管野廣和、山田未知、古谷修：豚における低タンパク質飼料へのポテトパルプ添加による尿中窒素排せつ量およびアンモニア揮散量低減 第 80 回日本養豚学会大会講演要旨 p. 7 (2003)

(鶏の臭気対策資材の効果判定法)

- 1) 中谷洋、黒田和孝、鈴木一好： *in vitro* における鶏ふんからの硫黄化合物揮散量に及ぼす設定条件の影響 日本畜産学会第 103 回大会講演要旨 p. 97 (2004)
- 2) 中谷洋、市川明：鶏ふんから発生する悪臭物質の *in vitro* 測定法の開発（第 1 報）－アンモニア測定法の標準化－ 愛知県農業総合試験場研究報告 36, 111-115 (2004)

(堆肥化処理での臭気発生評価法 (小型堆肥化試験装置による))

- 1) 黒田和孝：家畜排泄物の堆肥化における微生物を用いた臭気低減 土と微生物 56, 69-74 (2002)
- 2) Kuroda, K. : Reducing ammonia emissions from composted livestock manure. FFTC(Food & Fertilizer Technology Center) Newsletter 141, 6-7 (2003)
- 3) Kuroda, K., Hanajima, D., Fukumoto, Y., Kawamoto, S., Shima, J., and Haga, K. : Isolation of thermophilic ammonium-tolerant bacterium and its application to reduce ammonia emission during composting of animal wastes. *Biosci. Biotech. Biochem.* 68, 286-292 (2004)

(堆肥化促進資材の「コンポテスター」による評価法)

- 1) 古谷修、古川智子、伊藤稔：堆肥熟度判定の指標としての微生物による酸素消費量と堆肥品温との関係 日本畜産学会第101回大会講演要旨 p. 149 (2002)
- 2) 古谷修、古川智子、小堤恭平、伊藤稔：酸素消費量に基づく堆肥初期発酵の管理技術の開発 日本土壌肥料学会東北支部大会講演要旨 p. 29 (2003)
- 3) 古谷修、古川智子、小堤恭平：「コンポテスター」による堆肥腐熟度判定の原理とその応用 日本畜産環境学会誌 2, 11 (2003)
- 4) 古谷修、古川智子、山本朱美、小堤恭平、伊藤稔：酸素消費量測定による家畜ふん堆肥初期発酵の評価 日本土壌肥料学雑誌 75, 471-474 (2004)
- 5) 古谷修、古川智子、小堤恭平、伊藤稔：堆肥熟度判定器「コンポテスター」の使用例 日本土壌肥料学会福岡大会講演要旨 p. 149 (2004)

「畜産で利用される臭気対策資材の効果判定方法」
(農林水産バイオリサイクル研究 畜産エコチーム 微生物サブチーム)

編集・発行 独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 畜産草地研究所
畜産環境部

Tel. 029-838-8677 Fax. 029-838-8606
〒305-0901 茨城県つくば市池の台 2 番地

発 行 日 平成 17 年 3 月 31 日
印 刷 所 佐藤印刷株式会社