

ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化 および環境負荷低減化技術の開発 (その2)

環境科学研究所¹・畜産試験場²・総合農業技術センター³・富士工業技術センター⁴・山梨大学⁵
長谷川達也¹・森 智和¹・吾郷 健一¹・高橋 照美²・山崎 修平³・上垣 良信⁴
寺澤 章裕⁴・御園生 拓⁵・金子 栄廣⁵・早川 正幸⁵

Composting of Livestock Waste and Reduction of Environmental Load Using Wine Compression Residues (2)

Institute of Environmental Sciences¹, Livestock Experiment Station², Agricultural Technology Center³,
Fuji Industrial Technology Center⁴, University of Yamanashi⁵
Tatsuya HASEGAWA¹, Tomokazu MORI¹, Ken-ichi AGO¹, Terumi TAKAHASHI², Shuhei YAMASAKI³,
Yoshinobu UEGAKI⁴, Akihiro TERASAWA⁴, Taku MISONOU⁵, Hidehiro KANEKO⁵ and Masayuki HAYAKAWA⁵

要 約

小型堆肥化実験装置を用いた検討により、豚ふんを原料とした堆肥作製において、ワイン製造にともなって生じるブドウ搾り滓（ワイン圧搾残渣）を、豚ふん1に対して0.2加えることにより、発生するアンモニアを低減できることを明らかにした。また、加えるブドウ搾り滓は冷凍した物と発酵させた物で大きな差のないことが判明した。畜産試験場の堆肥舎における実用規模の検討を行った。豚ふん1,260kgを原料とした第1区、豚ふん（1,260kg）をブドウ搾り滓（250kg）で覆った第2区（1回目の切り返し後、ブドウ搾り滓は豚ふんに混ぜ込まれる）を設定し、二週間おきに切り返しを行った。堆肥発酵期間中、温度記録計で発酵温度を随時測定した。悪臭物質としてアンモニア、硫化水素、低級脂肪酸を測定した。その結果、二つの試験区とも発酵温度に大きな差はなく順調に発酵が進行し、悪臭物質の発生はブドウ搾り滓を添加した第2区の方が対照の第1区より低かった。さらに、官能試験やニオイセンサでもブドウ搾り滓の効果が実証された。これらの悪臭物質低減作用に悪臭分解微生物の関与が考えられた。そこで、ブドウ搾り滓を加えた堆肥中に増殖している放線菌を解析し、21種の菌株を同定した。そのうち2種類の菌株（*Thermobifida fusca* 5-1-1株、*Saccharomonospora viridis* 5-1-2株）はブドウ搾り滓抽出液を加えると顕著に増殖が促進することが明らかとなった。さらに、この二つの菌株は、*in vitro*の検討において、豚ふんから発生するアンモニアを低減する効果のあることが明らかとなった。一方、ブドウ搾り滓に含まれているポリフェノール類が堆肥発酵過程の初期において、悪臭物質発生の低減作用に関連している可能性が示された。スイートコーンとナスを豚ふん+ブドウ搾り滓堆肥を使って栽培した結果、この堆肥の施肥効果は他の堆肥と比べて劣ることはなかった。ナス栽培圃場の土壤中微生物相を解析した結果、豚ふん+ブドウ搾り滓堆肥を施肥した区画では、作物の栽培に有用とされる放線菌やバクテリアが増殖し、逆にカビの増殖が抑制される傾向が示された。堆肥成分の土壌および浸透水への影響を検討した結果、豚ふん+ブドウ搾り滓堆肥を施肥した区画の土壌でナスの栽培後、リン酸濃度が他の試験区に比べ高くなっていた。浸透水中の銅、亜鉛、硝酸態窒素を分析した結果、ブドウ搾り滓添加に起因すると考えられる大きな変動は認められなかった。ブドウ搾り滓と豚ふんを処理する過程で発生する温暖化ガス（二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素）に関してライフサイクルアセスメント（LCA）手法による評価を行った。ブドウ搾り滓を焼却処分する従来の方法と、ブドウ搾り滓を豚ふんに混ぜて堆肥を作製する場合を比較して解析した結果、ブドウ搾り滓を豚ふんに混ぜる方が地球温暖化に対する負荷が小さいと考えられた。従って、豚ふんを原料とした堆肥作りにブドウ搾り滓を加えると、堆肥発酵過程で発生する悪臭が低減でき、完成した堆肥の施肥効果は他の堆肥と比べ劣ることはなかった。ブドウ搾り滓添加に由来する環境負荷も問題ないレベルであった。

1. 緒 言

山梨県はブドウ、モモ、スモモの生産量が全国で一位を誇る果樹王国であり、さらにブドウから作られるワイン生産量においてもそのシェアは日本一である。しか

し、ワイン製造過程で生じる多量のブドウ搾り滓（ワイン圧搾残渣）の処理が問題となっている。これらブドウ搾り滓の一部は飼料、滓とりブランドー製造あるいは堆肥に利用されているが、その多くは有用な利用法が無く処分されているのが現状である。その一方で、ブドウ搾

り滓に含まれる機能性成分，特にポリフェノール類の抗菌作用や抗酸化作用，消臭作用は，昨今の健康食品ブームにおいて注目されている。一方，畜産農家では，周辺住民の混住化により悪臭を始めとする環境問題が重要な課題となっている。国や県において，これら問題の解決をめざしていくつかの対策が講じられているが，抜本的な解決には至っていない。

昨年度我々は，ブドウ搾り滓に着目し，これを豚ふんを原料として作られる堆肥の発酵過程に加えた¹⁾。その結果，発酵過程で発生する悪臭を低減することができた。そして，完成した堆肥の施肥効果は化学肥料と同等以上であった。今年度は，ブドウ搾り滓添加割合の基礎的検討，消臭メカニズム（悪臭分解微生物，ポリフェノール類），実用規模での施肥効果，施肥における土壌や浸透水への影響および堆肥発酵過程における温暖化ガス発生に関してさらに検討を行ったので報告する。

2. 実験方法

2-1 ブドウ搾り滓および豚ふん

ブドウ搾り滓：山梨県内のワインメーカーよりワイン製造過程で生じるワイン圧搾残渣（ブドウ搾り滓）を提供していただいた。このブドウ搾り滓は野外で，ビニールシートを掛け大気との接触を少なくする形で一ヶ月間常温で発酵させたもの（発酵ブドウ搾り滓）を用いた。なお，対照として発酵させずに冷凍保存し，使用前日に解凍したもの（冷凍ブドウ搾り滓）も用いた。

豚ふん：山梨県畜産試験場の豚房より採取したものを用いた。



写真-1 豚（大ヨークシャー種）

2-2 小型堆肥化実験装置による検討

昨年と同様に小型堆肥化実験装置²⁾（かぐやひめ，富士平）を用い，豚ふんにブドウ搾り滓を加えた場合に発生する臭気量を検討した。



写真-2 集めた豚ふん



写真-3 小型堆肥化実験装置

2-2-1(1) 豚ふんとブドウ滓添加の割合の検討

豚ふん（第1区）：豚ふん2kgにオカグズを混合し含水率64%程度に調整し，これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は250mL/minにした。

豚ふん+冷凍ブドウ滓（第2区）：豚ふん2kgに，冷凍ブドウ搾り滓を0.4kg混ぜ（1:0.2），オカグズで含水量を64%に調整し，これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は330mL/minにした。

豚ふん+冷凍ブドウ滓（第3区）：豚ふん2kgに，冷凍ブドウ搾り滓を2kg混ぜ（1:1），オカグズで含水量を64%に調整し，これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は500mL/minにした。

堆肥化開始日を0日とし，7日，14日，21日目に充填した各試験区のサンプルを小型堆肥化実験装置から取り出して，均一に攪拌して切り返しを行い28日間発酵させた。堆肥化の発酵状況の目安として堆肥の内部温度をデータロガーで記録した。悪臭物質の指標としてアンモ

ニア濃度を検知管で測定した。

2-2-2) 冷凍ブドウ搾り滓と発酵ブドウ搾り滓の効果に関する検討

豚ふん (第1区) : 豚ふん 2 kgにオガクズを混合し含水率64%程度に調整し、これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は250mL/minにした。

豚ふん+冷凍ブドウ滓 (第2区) : 豚ふん 2 kgに、冷凍ブドウ搾り滓を 2 kg混ぜ (1:1)、オガクズで含水量を64%に調整し、これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は500mL/minにした。

豚ふん+発酵ブドウ滓 (第3区) : 豚ふん 2 kgに、発酵ブドウ搾り滓を 2 kg混ぜ (1:1)、オガクズで含水量を64%に調整し、これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は500mL/minにした。

堆肥化開始日を0日とし、1週、2週、3週目に充填した各試験区のサンプルを小型堆肥化実験装置から取り出して、均一に攪拌して切り返しを行った。堆肥化の発酵状況の目安として堆肥の内部温度をデータロガーで記録した。悪臭物質の指標としてアンモニア濃度を検知管で測定した。



写真-4 発酵ブドウ搾り滓

2-3 堆肥作製

山梨県畜産試験場の堆肥舎で実験を行った。原料に使用した豚ふんはオガクズを加え、水分含量が70%になるように調整した。実験には二つの試験区を設定し堆肥化を行った。

第1区 : 豚ふんのみ、豚ふん1,260kgを原料とした。

第2区 : 豚ふん+発酵ブドウ滓Cover, 豚ふん1,260kgを発酵ブドウ搾り滓 (250kg) で覆った。ただし、最初の切り返し以降は豚ふんとブドウ搾り滓は混合される。

堆肥化開始日を0日として、二週間ごと (12日, 26日, 47日, 62日目) に重機 (ホイールローダー) で切り返しを行い、イオウ化合物ならびに低級脂肪酸の測定用サンプルをテドラバックおよびアルカリビーズ捕集管に採取した。また同時に発酵途中の堆肥の一部を採取し、発酵過程-堆肥サンプルとした。堆肥の発酵状況を把握するため堆肥中心部と表面の温度をデータロガーで記録した。発酵期間中のアンモニア発生量をパッシブ・ドジチューブ法で測定した。

2-4 堆肥発酵過程における堆肥のpH

pHは発酵過程-堆肥サンプル30gをそれぞれ300 mLの蒸留水に懸濁させ、ガラス電極を用いて測定を行った。

2-5 アンモニアの分析

直接法 : 検知管を用いて直接測定した。

パッシブ・ドジチューブ法 : 三日おきに午前中 (9時から12時) の3時間、アンモニア測定用パッシブ・ドジチューブを発酵過程の堆肥にセットして測定を行



写真-5 発酵途中の堆肥



写真-6 重機による切り返し

い、単位時間あたりのアンモニア発生量を算出した。

2-6 イオウ化合物の分析

サンプルの採取：切り返し時に発生した臭気を試料採取用ポンプを用いてテドラバック (1,000mL) に直接採取した。

硫化水素 (H₂S) の分析：キャピラリーカラム (Rtx-1, RESTEK) を装着したガスクロマトグラフィ (GC-2014, 島津) で分析を行った。なお検出器にはFPDを用い、検量線の標準ガスはパーミエーター (ガステック) で調製した。

2-7 低級脂肪酸の分析

サンプルの採取：切り返し時に発生した臭気を試料採取用ポンプを用いてアルカリビーズ捕集管に直接採取した。

プロピオン酸, ノルマル酪酸, イソ吉草酸, ノルマル吉草酸：パックドカラム (Carbopack) および加熱気化試料導入装置を装着したガスクロマトグラフィ (GC-8A, 島津) で分析を行った⁵⁾。なお検出器にはFIDを用い、検量線は標準物質をアルカリビーズ捕集管に吸着させ、サンプルと同様に分析して算出した。



写真-7 臭気のサンプリング

2-8 官能試験 (三点比較式臭袋試験)

発酵過程-堆肥サンプル20gをそれぞれ500mLの密栓ガラスビンに入れ45℃で1時間静置し、その上部空間の気体を臭気試料とし、昨年と同様の方法で官能試験を行って臭気濃度を算出した^{1,4)}。また、ニオイセンサ (XP-329ⅢR, 新コスモス電機) で臭気試料を直接測定し、臭気レベルを読み取った。

2-9 ブドウ搾り滓を混ぜた豚ふん堆肥に増殖した放線菌の分離

昨年サンプリングした発酵過程-堆肥サンプル (切り返し5回目, 7回目) を風乾後, サンプル中の微生物

を滅菌精製水に懸濁させ, 放線菌選択培地Humic acid-vitamin agar (+Cycloheximide 50mg/L, Nalidixic acid 20mg/L) で培養して放線菌を分離した。なお, 培養温度は30℃と50℃の二つの条件で, それぞれ10日間培養した。分離した放線菌株について16S rDNA (およそ1,500bp) についてシーケンシングを行い, 系統樹を作製した。さらに, 16S rDNA塩基配列の相同性が98.5%以上の物を現既知株として同定した。

2-10 放線菌の増殖に対するブドウ搾り滓の影響

ブドウ搾り滓粉末10gを蒸留水100mLに混ぜ, 室温で6時間振とう抽出した後, 遠心分離してその上清をメンブランフィルターでろ過して, ブドウ搾り滓抽出液とした。このブドウ搾り滓抽出液50μLをペーパーディスク (直径8mm) にしみ込ませた。放線菌をcmYC agerに塗りつけ, そのシャーレの中心に上記のペーパーディスクを置いて50℃で3日間培養した。対照として蒸留水をしみ込ませたペーパーディスクを用いた。

2-11 テドラバック法による放線菌の悪臭低減効果

豚ふん5gに放線菌分離株 (*Thermobifida* sp.5-1-1, および*Saccharomonospora* sp.5-12) の懸濁液をそれぞれ接種し, テドラバックに入れ1Lの空気で満たし密栓した (写真-8)。50℃で培養しアンモニアおよびメルカプタン類を経日的に検知管で測定した。

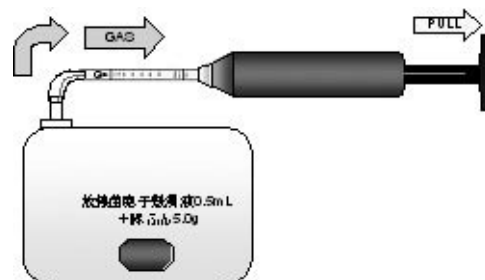


写真-8 テドラバック法

2-12 ポリフェノール類の測定

サンプルを乾燥重量で4~8%になるように, 50%エタノール溶液にて調整し, 全体で20mLとする。これを恒温震とう器 (BW200, ヤマト) に設置し, 60℃で

100rpm震とうさせて約24時間抽出を行った。この抽出液中のポリフェノール類をペルオキシダーゼ・過酸化水素センサー法によるポリフェノール測定装置 (PA20, 東洋紡エンジニアリング) で測定した。測定されたポリフェノール類の量はカテキン量に換算して示した。

2-13 堆肥の成分分析 (重金属を含む)

昨年と同様に発酵終了堆肥 (完熟堆肥) を自然乾燥させた後、マッフル炉で乾式灰化してリン酸、加里、マグネシウム、カルシウム、銅、亜鉛、全炭素 (TC) および全窒素 (TN) を測定した。また、含水率は堆肥等有機物分析法⁵⁾に従い測定した。

2-14 栽培試験 (ライシメーター)

ライシメーターを用いた栽培試験は、総合農業技術センター (標高312m) で実施した。ライシメーターには灰色低地土を表層から70cmまで充填し、その下層には砂層と礫層を40cmずつ充填した。試験規模は一区25㎡、反復なしとした。

春作として一重トンネルスイートコーン (甘々娘)、夏作として抑制ナス (千両2号) を作付けした。スイ

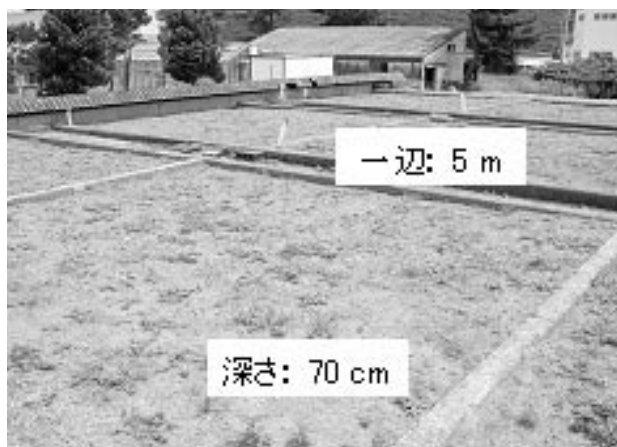


写真-9 作付け前のライシメーター



写真-10 播種44日後のスイートコーン

ートコーンの耕種概要は、施肥：2003年2月19日、播種：3月3日、第1回追肥：4月23日、第2回追肥：5月13日、収穫調査：6月17日であった。



写真-11 ライシメーターの貯水槽

ナスの耕種概要は、施肥：6月24日、定植：7月7日、収穫開始：7月21日、収穫終了：11月17日であった。ナスの収穫期間中は毎週月・水・金曜日に収穫調査を行った。各作の施肥量は堆肥を乾物相当量で1t/10a施用し、堆肥から供給される養分量を考慮して県施肥基準量になるように化学肥料で加減した。収穫物の生重量を測定するとともに、水分率を加熱減量法 (135℃で2時間乾燥) で求めて乾物収量を算出した。

ライシメーターの浸透水は貯水槽に集水し、浸透水量を測定するとともに、一定量ごとにプラスチック製容器に保存した。硝酸態窒素濃度の測定は浸透水サンプルを定量ろ紙でろ過し、ECが0.1mS/cm以下になるよう脱イオン水で希釈し、さらに0.2μmのメンブランフィルターでろ過した後、イオンクロマトグラフィーを用いて測定した。硝酸態窒素溶脱量は、浸透水の硝酸態窒素濃度に浸透水量を乗じて求めた。

2-15 堆肥施用土壌中の微生物相の解析

堆肥を施用して作物を栽培した土壌を抜き取り、1週間日陰で風乾させ放線菌、バクテリア、カビをそれぞれの選択寒天培地 (放線菌：0.1% SDS処理後HV培地、バクテリア：TS培地、カビ：PDA培地) で培養してコロニー数をカウントした。なお、培養は30℃で行った。

ポット (コマツナ)：ワグネルポット (1/5000a) に市販細粒赤玉土を充填し、各種堆肥 (豚ふん堆肥、豚ふんブドウ滓Cover堆肥) を乾物として1t/10a相当量施用した。また、化学肥料をそれぞれN、P₂O₅、K₂O換算で10aあたり20kg相当量施肥した。播種後2週間目にサンプリングした土壌を実験に用いた。

ライシメーター (ナス)：実験方法2-13で示した栽培試験において、ナス定植後、0週、5週、9週、13週

目に採取した土壌を実験に用いた。なお、豚ふん+ブドウ滓堆肥はCoverを用いた。

2-16 浸透水中の金属元素の測定

金属元素の分析は、浸透水の一定量に硝酸を加え、ICP-MS (4500, 横川アナリティカルシステムズ) で銅, 亜鉛の測定を行った。

2-17 ブドウ搾り滓と豚ふんを処理する過程で発生する温暖化ガスに関するライフサイクルアセスメント (LCA)

ブドウ搾り滓を添加して堆肥を作製した場合 (ブドウ滓添加シナリオ) と、ブドウ搾り滓を添加せずに従来の方法で堆肥を作製した場合 (従来シナリオ) の2つを想定し、JEMAI-LCA PRO Ver.2を用いてそれぞれの環境影響についてLCAを行った。

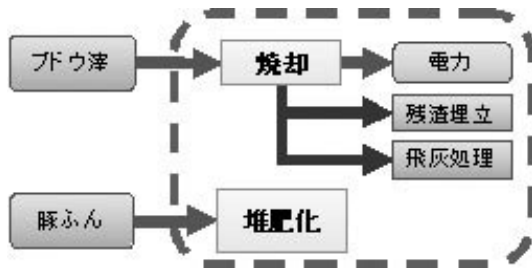


図-1 従来シナリオのプロセスフロー

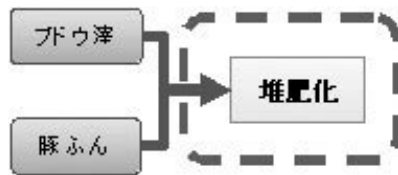


図-2 ブドウ滓添加シナリオのプロセスフロー

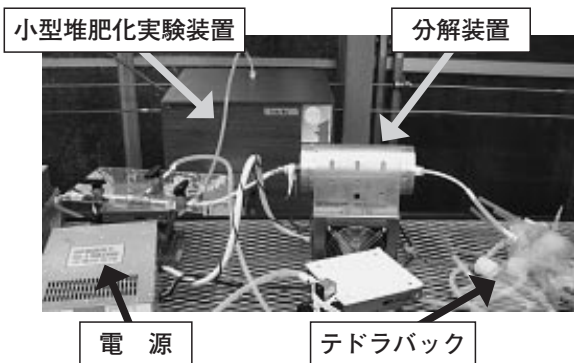


写真-12 小型堆肥化実験装置に連結した悪臭分解装置

小型堆肥化実験装置を用いた昨年度の研究から、この堆肥化処理システムの機能単位は、豚ふん 1 kg とブドウ搾り滓 0.2 kg を約 30 日間で処理するものとした。従来シナリオとブドウ搾り滓添加シナリオについて、評価の対象とするシステム境界をそれぞれ図-1 および図-2 に示した。図中の破線で囲った内部の各プロセスについて環境影響評価を行った。ここで、従来シナリオでは 0.2 kg のブドウ搾り滓を焼却によって処理しているため、焼却処理プロセスを追加して環境負荷の評価を行った。なお、本研究において評価する環境影響領域は地球温暖化とした。

小型堆肥化実験装置から発生する CO₂ はハンディ CO₂ 計 (GM70, Vaisala 製) および TCD 検出器を装着したガスクロマトグラフィ (HP6890, Hewlett Packard 製) を用いて実測し、焼却により発生する CO₂ は焼却場のデータから推算した。他の温暖化影響物質である CH₄ や N₂O の発生量は文献^{6,7)} および県内焼却場でのヒアリングを基に推定した。

2-18 工学的手法による悪臭物質の分解試験

銅-クロム酸化物触媒 (N201, 日揮化学) を 100g



写真-13 吸引通気装置を備えた新堆肥舎と悪臭吸引用ブローワー

(10mL) 充填した石英管 (直径19mm, 全長300mm) を円筒型マイクロ波照射装置 (MG-200M, (株)SST) にセットして分解装置を構築した。小型堆肥化実験装置の臭気排気ダクトに、分解装置をつなげ、分解装置を通過した排気をテドラバック (5L) に捕集した。その臭気をニオイセンサ (OMX-SR, 日本シンテック) で測定した。なお、排気流量は約600mL/minで、空間速度 (SV) は約3,600/hであった。

2-19 吸引機能付き堆肥舎

吸引通気装置を備えた堆肥舎^{8,9)}を畜産試験場の敷地内に建築した。堆肥舎の概要は、縦幅20m×横幅7m, 壁の高さ0.9m (上にベニヤ板設置した高さ1.8m), 屋根の高さ4m, 床の吸引溝は2本セットの3カ所, 吸引溝は幅8cm×深さ10cm, セットの吸引溝の幅80cm, 吸引溝どうしの幅6m, ブローワーは昭和電気株U100B-26HTを設置した。

3. 結果および考察

3-1 小型堆肥化実験装置による基礎的検討

昨年度、小型堆肥化実験装置を用いた実験で冷凍ブドウ搾り滓が堆肥発酵過程で発生するアンモニアの低減に効果を示すことを明らかにした¹⁾。しかし、その実験で加えた冷凍ブドウ搾り滓の量は、豚ふんと同じ量 (1:1) であった。この割合は実際の現場を想定した実用規模の堆肥作りには不向きである。そこで、昨年の実用規模の検討では豚ふん:冷凍ブドウ搾り滓の割合を1:0.2とした。今回、小型堆肥化実験装置による検討においても、豚ふん:冷凍ブドウ搾り滓の割合を1:0.2として、発生するアンモニアが低減できるか検討を行った。

小型堆肥化実験装置に豚ふんを充填した第1区と、

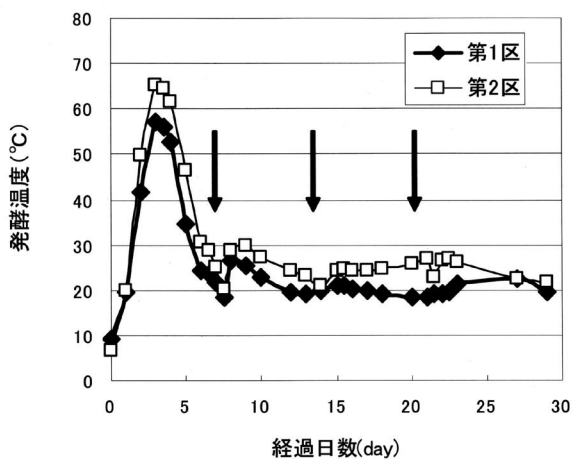


図-3 発酵温度の変化

第1区:豚ふん、第2区:豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:0.2)

豚ふんと冷凍ブドウ搾り滓を1:0.2の割合で充填した第2区を設定した。それぞれの発酵温度および発生したアンモニアの経日変化を図-3と図-4に示す。そして、堆肥発酵期間中の温度とアンモニア発生量を積算した結果をグラフ図-5に示した。

その結果、第1区 (豚ふんのみ)、第2区 (豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:0.2))とも発酵温度の積算値には大きな差はないが、発生したアンモニア量は第2区が第1区に比べ低くなっていることが認められた。

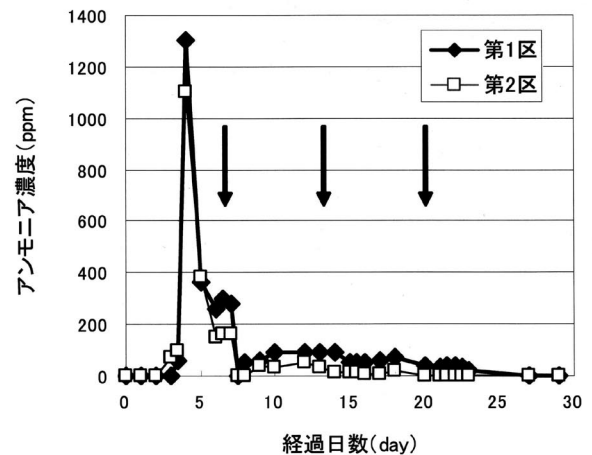


図-4 アンモニアの測定結果

第1区:豚ふん、第2区:豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:0.2)

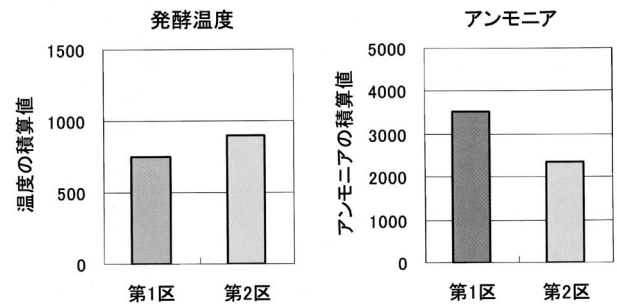


図-5 発酵温度とアンモニアの積算

第1区:豚ふん、第2区:豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:0.2)

さらに、同様の検討を3回おこなった実験の平均と標準誤差を算出した結果を図-6に示す。なお、実験区は以下に示す三つの区とした。

第1区:豚ふん

第2区:豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:0.2)

第3区:豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:1)

また、3回の実験において発酵期間が異なるため、積算値を発酵日数で割った値を縦軸に用いた。これらの結果から、豚ふん1に対して0.2の冷凍ブドウ搾り滓でもアンモニアの発生を低減することが明らかとなった。

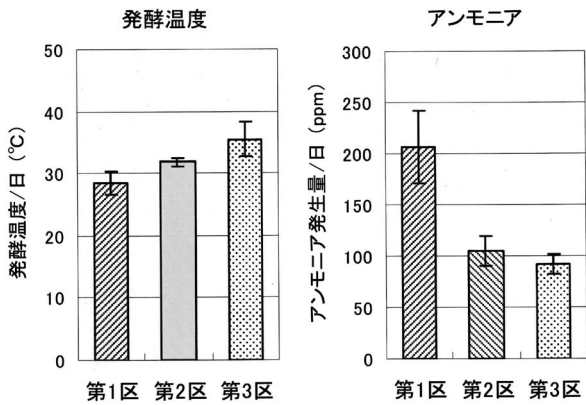


図-6 ブドウ搾り滓混合比の検討

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+冷凍ブドウ滓(1:0.2)、
第3区：豚ふん+冷凍ブドウ滓(1:1)

実際の現場を想定した場合、ワイン工場からブドウ搾り滓を運搬し、豚ふんに混ぜるまで冷凍して保存することは困難である。そこで、ブドウ滓を野外でビニールシートを掛け大気との接触を少なくする形で発酵させて保存し、これを使用の方が実際的である(発酵ブドウ搾り滓)。そこで、冷凍ブドウ滓と同様の効果が発酵ブドウ搾り滓で得られるか検討を行った。その結果を図-7に示す。なお、実験区は以下に示す3つとし、5回検討を行った。

第1区：豚ふん

第2区：豚ふん+冷凍ブドウ滓(1:1)

第3区：豚ふん+発酵ブドウ滓(1:1)

その結果、発酵ブドウ滓でも冷凍ブドウ滓と同様にアンモニアの発生を低減できることが明らかとなった。

これらの結果から、小型堆肥化実験装置を用いた基礎的検討において、豚ふん1に対して0.2のブドウ搾り滓添加により発酵過程で発生するアンモニアが低減できることが示された。また、このとき用いるブドウ搾り滓は冷凍保存した物でも、発酵させた物でも同様の効果があ

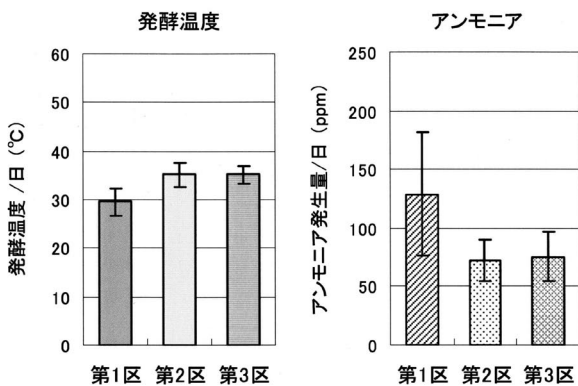


図-7 冷凍ブドウ滓と発酵ブドウ滓の比較

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+冷凍ブドウ滓(1:1)、
第3区：豚ふん+発酵ブドウ滓(1:1)

ることが確かめられた。

3-2 畜産試験場堆肥舎による実用規模の検討

昨年度、豚ふん600kgを原料として、これに冷凍ブドウ搾り滓120kg(1:0.2)を混ぜ堆肥を作製した。その時、発酵過程で発生するアンモニアおよびイオウ化合物(硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル)を低減することができた。この実験では、ブドウ搾り滓の混ぜ方として、はじめから豚ふんにブドウ滓を混ぜ込む方法(Mix)と、はじめ豚ふんをブドウ滓で覆い、最初の切り返し以降に混ぜ込む方法(Cover)の二つの方法を検討し、どちらも効果のあることを明らかにした。今回は農家の作業を考え、混ぜる手間が簡素化できるCover方式を採用し、保存が簡易な発酵ブドウ滓を用いて検討を行った。なお、豚ふんと発酵ブドウ滓の割合は1:0.2とし、原料となる豚ふんの量を1,260kgに増やし、実際の農家での作業を想定してスケールアップした検討を行った。悪臭物質としてアンモニアおよび代表的なイオウ化合物として硫化水素を測定し、さらに、低級脂肪酸(プロピオン酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸)を測定した。

第1区：豚ふん

第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓(1:0.2) Cover

3-2-(1) 発酵温度とpH

図-8にデータロガーで記録した堆肥中心部の温度変化を示し、このデータを基に算出した堆肥発酵期間の温度の積算値を図-9に示す。その結果、どちらの試験区においても温度上昇が認められ、発酵が順調に進んだことが確認できた。そして、二つの試験区で発酵温度の積算値に差のないことも示された。なお、3回目の切り返し(47日目)後、第1区で温度上昇が認められず、堆肥が乾燥状態であった。そこで、48日目に第1区に水を60L加え水分含量を調節した。その結果、4回目の

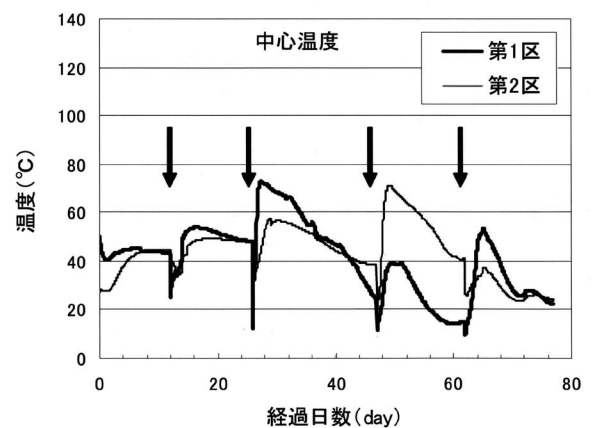


図-8 発酵温度の変化

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

切り返しにおいて、第1区で温度上昇が認められた。

図-10には切り返しごとに測定したpHの推移を示す。二つの試験区でpHに大きな違いのないことが示された。

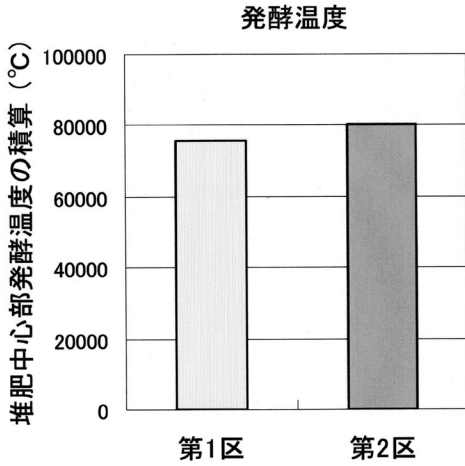


図-9 発酵温度の積算

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

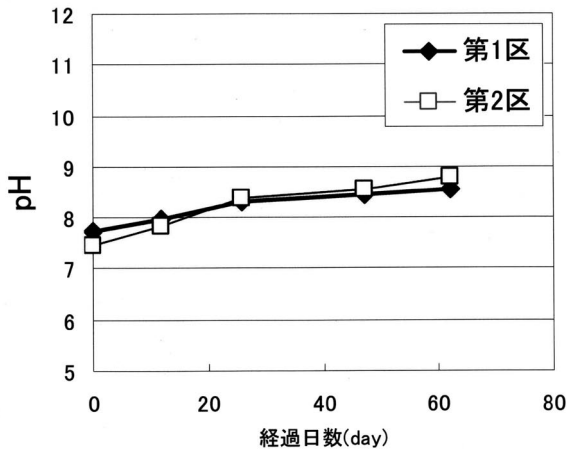


図-10 発酵過程におけるpHの推移

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

3-2-(2) 悪臭物質の測定

今回、堆肥化過程におけるアンモニアの発生をパッシブ・ドジチューブで3日おきに測定し、そのデータを基にアンモニア発生量の推移(図-11)および積算値(図-12)を算出した。図-12の結果で明らかなように発酵ブドウ搾り滓を混ぜた第2区は、豚ふんのみ第1区よりアンモニアの発生量が約半分に低減された。

アンモニア以外の悪臭物質として、イオウ化合物および低級脂肪酸を毎回の切り返し時に測定した。イオウ化合物として硫化水素を測定した結果、硫化水素は1回目および2回目の切り返しで検出することができたが、3回目以降の切り返しでは検出できなかった。検出できた二回の硫化水素の測定結果の総量を図-13に示す。

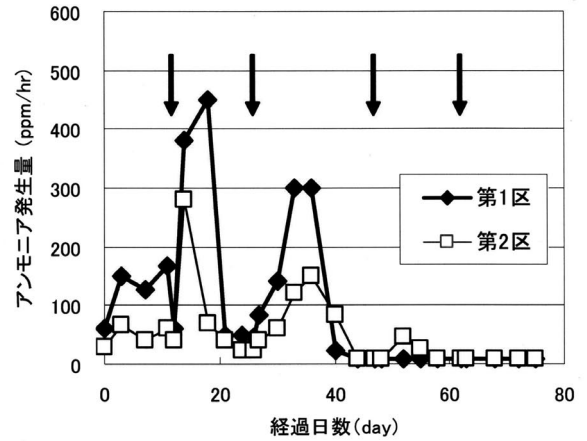


図-11 アンモニア発生量の推移

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

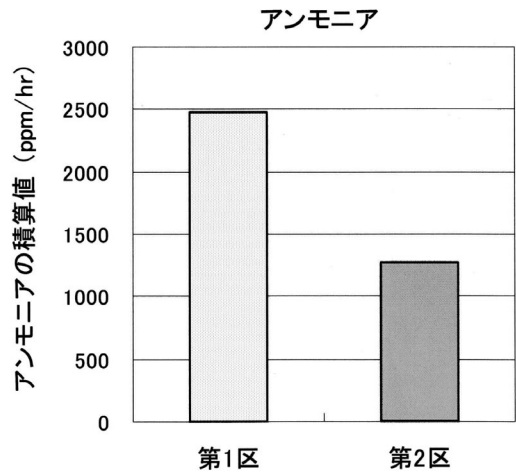


図-12 アンモニア発生量の積算値

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

一方、低級脂肪酸(プロピオン酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸)は1回目から3回目の切り返しまで検出することができた。検出できた三回の測定結果の総量を図-14に示す。これらの結果から、硫化水素はアンモニアと同様に発生量が約半分に低減され、低級脂肪酸ではプロピオン酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸の発生量が大幅に低減された。

3-3 官能試験

切り返し時に採取した発酵過程-堆肥サンプル(1回目の切り返しから3回目の切り返しまで)を用いて、三点比較式臭袋試験法による悪臭の官能試験を行った。その結果を図-15に示す。また、同じサンプルをニオイセンサーで測定した結果を図-16に示す。

これらの結果は、発酵ブドウ搾り滓添加の効果が官能試験でも証明されたことを示している。なお、図-17は図-15の臭気強度の結果と図-16の臭気レベルの結

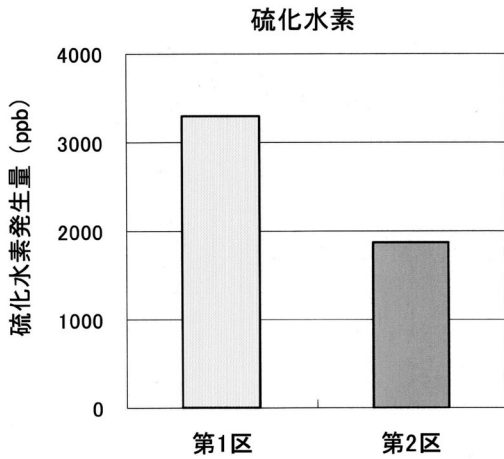


図-13 硫化水素の測定結果

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

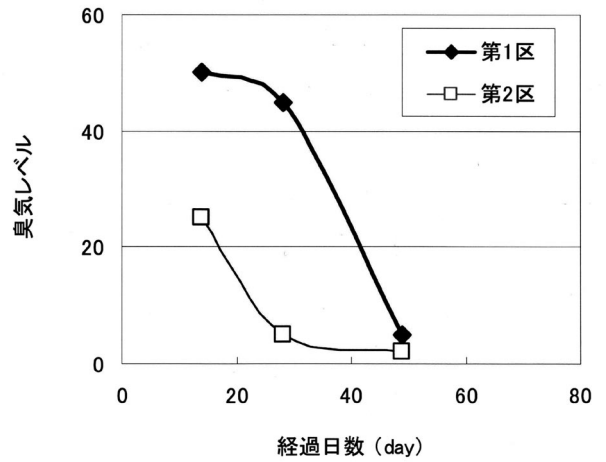


図-16 ニオイセンサでの測定結果

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

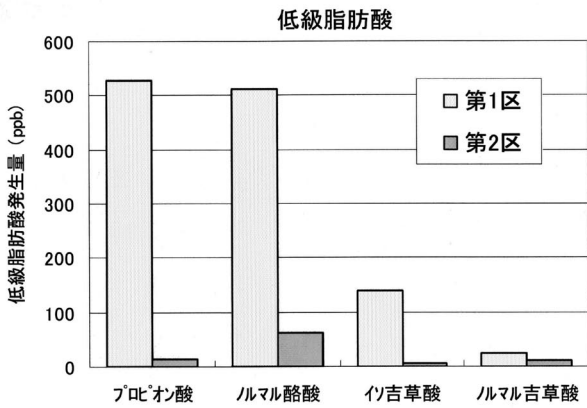


図-14 低級脂肪酸の測定結果

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

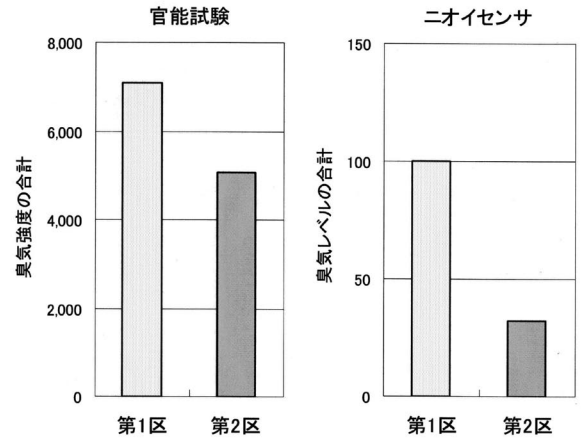


図-17 合計した臭気強度ならびに臭気レベル

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

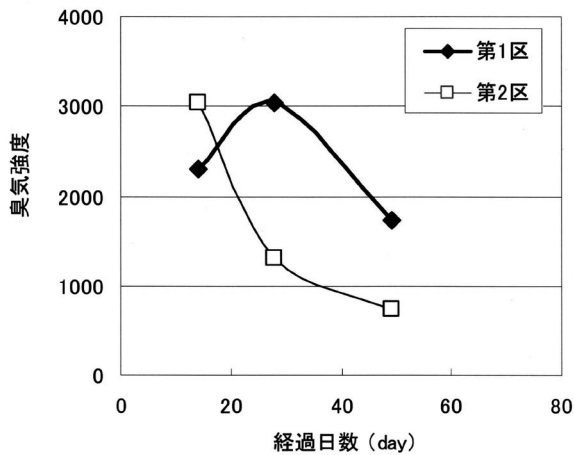


図-15 官能試験の結果

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

果をそれぞれ合計したグラフである。このように、官能試験とニオイセンサの測定結果は同様の傾向が認められ

た。

3-4 微生物相の解析

ある種の微生物には悪臭成分を分解する能力があり、これを利用した消臭技術がこれまでに報告されている¹⁰⁻¹⁴⁾。昨年度、ブドウ搾り滓を豚ふんに加えることにより、堆肥の発酵過程における微生物相が変化し、放線菌、バクテリア、カビが増殖することが認められた。そこで、今年度は放線菌に着目し、ブドウ搾り滓添加により増殖する放線菌の分離および消臭効果について検討を行った。

3-4-(1) ブドウ搾り滓を混ぜた豚ふん堆肥に増殖した放線菌の分離

堆肥切り返し時に採取した発酵過程-堆肥サンプルから分離した放線菌について、16S rDNAのシーケンシングを行い系統樹を作製した。16S rDNA塩基配列の相

同性が98.5%以上の株を現既知株として同定した。その結果、表-1に示すように21株を既知株として同定した。

表1 ブドウ搾り滓添加豚ふん堆肥より分離した放線菌(21株)の同定結果

属 種	株数	培養温度(℃)
<i>Corynebacterium xerosis</i>	1	30
<i>Rhodococcus rhodochrous</i>	2	30
<i>Oerskovia enterophila</i>	1	30
<i>Saccharomonospora viridis</i>	7	50
<i>Thermobifida fusca</i>	7	50
<i>Actinomadura madurae</i>	1	50
<i>Thermocristum sp.</i>	1	50
合計	21	

3-4-2) 放線菌の増殖に対するブドウ搾り滓抽出液の影響

同定された放線菌株について、それぞれの放線菌株培養シャーレに、ブドウ搾り滓抽出液をしみ込ませたペー

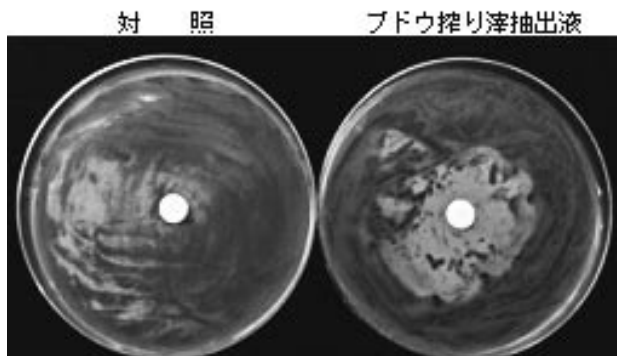


写真-14 ブドウ搾り滓抽出液が放線菌の生育におよぼす影響

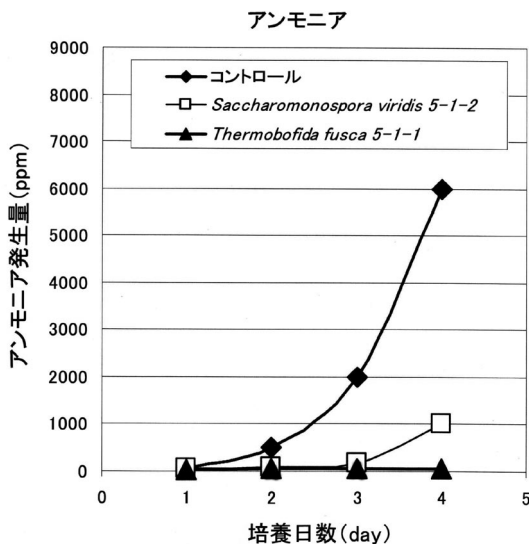


図-18 放線菌の悪臭低減効果

パーディスクを置き、放線菌株の増殖への影響を検討した(写真-14)。その結果、*Thermobifida fusca* 5-1-1株、および*Saccharomonospora viridis* 5-1-2株においてペーパーディスク周囲で、生育・気菌糸形成に顕著な促進効果が認められた。従って、これら二つの菌株はブドウ搾り滓添加により増殖が促進されることが考えられた。

3-4-3) テドラバック法による放線菌の悪臭低減効果

豚ふんに*Thermobifida fusca* 5-1-1株あるいは*Saccharomonospora viridis* 5-1-2株を接種し、テドラバックに入れ、50℃で培養しアンモニアおよびメルカプタン類を経日的に測定した。その結果、図-18に示すごとく、アンモニアの発生は放線菌により低減することが示された。そして、その低減効果は*Thermobifida fusca* 5-1-1株の方が*Saccharomonospora viridis* 5-1-2株より強かった。なお、メルカプタン類は検出限界以下で測定ができなかった。

3-5 ポリフェノール類の分析

ポリフェノール類には消臭作用のあることが知られており、ブドウ搾り滓中にも多く含まれている。そこで、小型堆肥化実験装置での堆肥化実験における堆肥中のポリフェノール類の量の推移を検討した(図-19)。なお、図に示したポリフェノール類の量は、豚ふんのみを原料とした堆肥に含まれるポリフェノール類の量をそれぞれ差し引いている。図-19の経過日数0の値から明らかなように、ポリフェノール類の量はブドウ搾り滓の添加量に比例して増加することが示された。そして、このポリフェノール類が発酵開始初期に減少することが明らかとなった。この期間にもっとも発酵が進み、アンモニアも発生することから(図-3, 図-4), ポリフェノール類がアンモニア発生の低減になんらかの作用をおよぼしていることが考えられる。

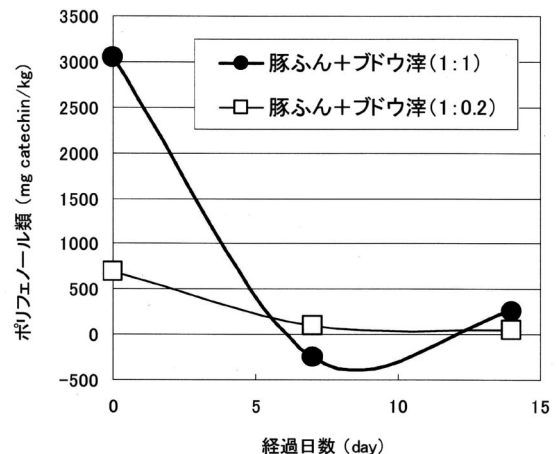


図-19 発酵過程におけるポリフェノール類の推移

3-6 堆肥の成分

3-2の示す実験で作製した第1区(豚ふん堆肥)と第2区(豚ふん+ブドウ滓堆肥)の堆肥について、堆肥成分の分析を行った結果を表-2に示す。どの成分とも、豚ふんを主原料とした堆肥として利用する上で、問題は無いと考えられた。

表2 完成堆肥の成分含量

	豚ふん堆肥	豚ふん+ブドウ滓堆肥
現物水分量 (%)	37.4	40.1
窒素全量 (%)	3.6	3.6
炭素全量 (%)	26.5	32.4
C/N比	7.4	9.0
リン酸全量 (%) (P ₂ O ₅)	10.1	8.2
加里全量 (%) (K ₂ O)	2.8	2.8
石灰全量 (%) (CaO)	3.5	2.9
苦土全量 (%) (MgO)	7.0	5.9

豚ふんとブドウ搾り滓の混合比は1:0.2 (Cover)



写真-15 豚ふん+ブドウ搾り滓堆肥

3-7 栽培試験

スイートコーンとナスを各種堆肥を用いてライシメーターに作付けした。スイートコーンの雌穂(しすい)とナスの果実の収穫量を図-20および図-21に示す。なお、堆肥は昨年度に作製した物を用いた¹⁾。

豚ふん+ブドウ滓Mix堆肥および豚ふん+ブドウ滓Cover堆肥で育てたスイートコーンとナスの収穫量は共に、原材料の異なる堆肥と比べ、ほとんど差が認められなかった。このことから、ブドウ搾り滓を加えても収穫量を減らすことはないことが示された。



写真-16 収穫したナス

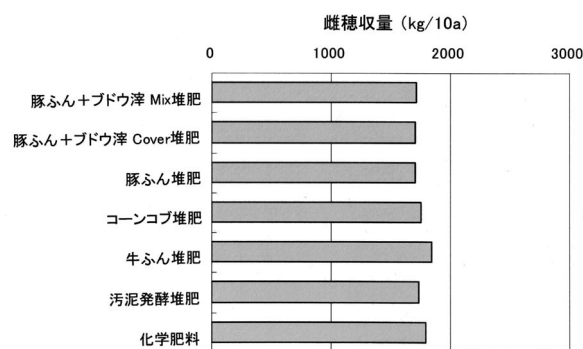


図-20 スイートコーンの収穫量
豚ふんとブドウ滓の混合比は1:0.2

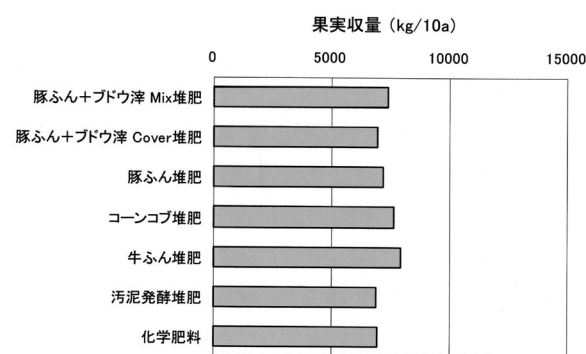


図-21 ナスの収穫量
豚ふんとブドウ滓の混合比は1:0.2

3-8 肥料施用土壌の微生物相の解析

堆肥の違いによる土壌中の微生物相(放線菌, バクテリア, カビ)の検討を行った。ポットでコマツナを栽培し、土壌中の微生物相を解析した。肥料は豚ふん堆肥, 豚ふん+ブドウ滓堆肥および化学肥料をそれぞれ用いた。その結果を図-22に示す。放線菌, バクテリア, カビとも化学肥料を加えた土壌では増殖がほとんど認められなかった。これに対して、堆肥を加えた土壌では、放線菌およびバクテリアが増殖した。特に、豚ふん+

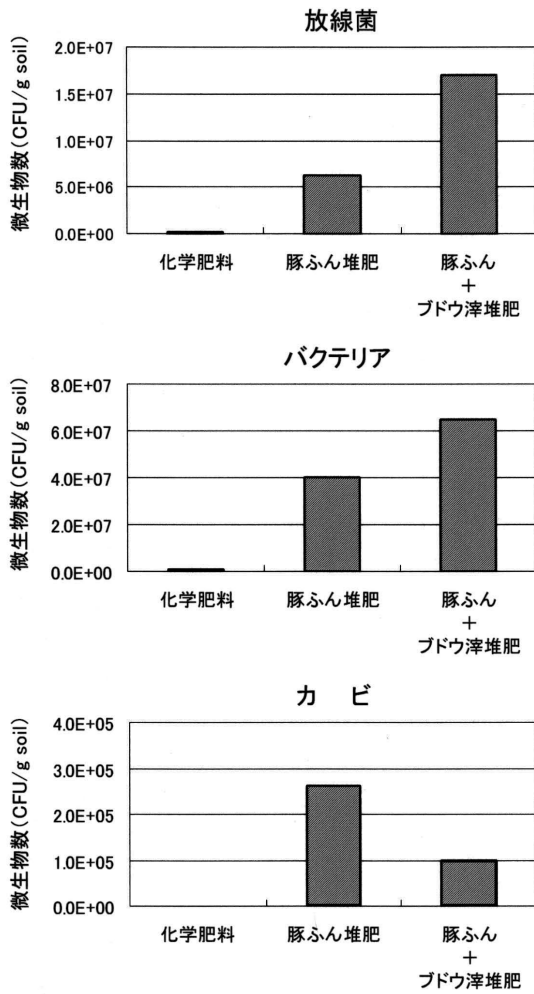


図-22 堆肥施用土壤中の微生物相 (ポット栽培)
 コマツナ播種後2週間目の土壌を用い、培養は30℃

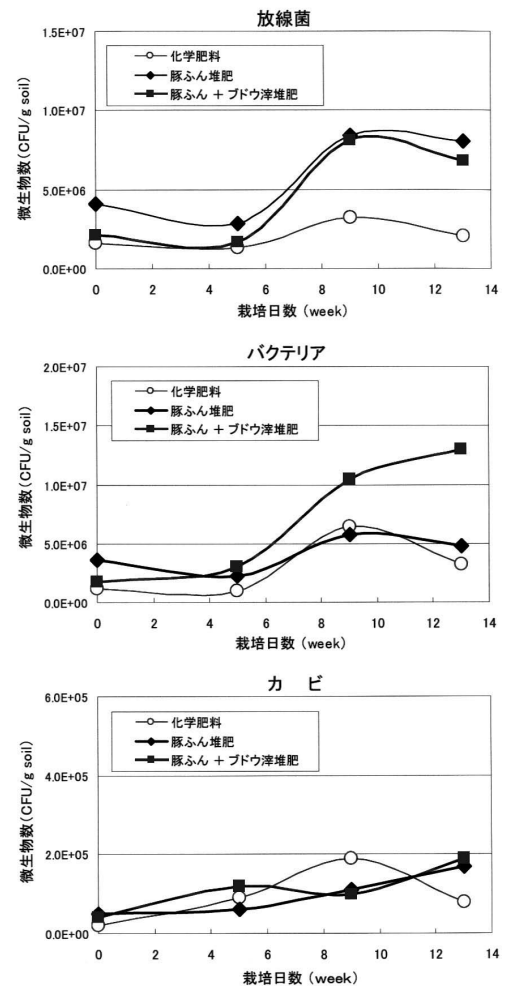


図-23 堆肥施用土壤中の微生物相 (ライシメーター)
 ナスを栽培した土壌を用い、培養は30℃

表 3 作付前後の土壌中無機成分の推移 (ライシメーター)

区画	堆肥の種類	pH			リン酸全量 (P ₂ O ₅) (mg/100g)			加里全量 (K ₂ O) (mg/100g)			石灰全量 (CaO) (mg/100g)			苦土全量 (MgO) (mg/100g)		
		作前	コーン跡地	ナス跡地	作前	コーン跡地	ナス跡地	作前	コーン跡地	ナス跡地	作前	コーン跡地	ナス跡地	作前	コーン跡地	ナス跡地
第1区画	豚ふん+ブドウ滓 Mix堆肥	7.1	6.7	6.4	86	87	108	79	94	91	103	159	257	45	61	81
第2区画	豚ふん+ブドウ滓 Cover堆肥	7.0	6.8	6.5	92	100	148	85	101	87	98	177	278	45	65	84
第3区画	豚ふん堆肥	7.2	6.8	6.5	118	99	96	118	92	84	134	167	252	54	62	79
第4区画	コーンコブ堆肥	7.2	6.6	6.4	96	90	84	192	107	103	195	159	223	81	63	75
第5区画	牛ふん堆肥	7.0	6.7	6.2	82	80	75	74	109	90	102	156	216	47	59	67
第6区画	汚泥発酵堆肥	6.9	6.5	6.2	83	61	58	95	87	76	101	166	269	46	49	57
第7区画	化学堆肥	7.0	6.2	6.1	96	88	79	83	81	93	89	150	237	44	50	67

ドウ滓堆肥を加えた場合に多く増殖することが明らかとなった。一方、カビは豚ふん堆肥で多く増殖し、豚ふん+ブドウ滓堆肥では豚ふん堆肥の約40%に抑制されていた。

ライシメーターでナスを栽培し、土壌中の放線菌、バクテリア、カビの分析を行った。ポットの場合と同様に肥料として、豚ふん堆肥、豚ふん+ブドウ滓堆肥、および化学肥料を用いた。その結果を図-23に示す。放線

菌は豚ふん堆肥および豚ふん+ブドウ滓堆肥を加えた土壌で多く増殖した。バクテリアは豚ふん+ブドウ滓堆肥で多く増殖した。カビの増殖は変動が多く、ライシメーターを用いた今回の検討では一定の傾向が認められなかった。しかし、豚ふん+ブドウ滓堆肥により、カビの増殖するようなことは示されなかった。

ポット栽培の結果とライシメーターでの結果を総合して考えると、堆肥を加えた土壌では化学肥料のみの土壌よりも放線菌とバクテリアは増殖し、カビは減少する傾向があった。放線菌の中には植物の生長を促進する生理活性物質を生産する物が存在するのに対して、カビの中にはFusarium属など植物病原菌となるものが比較的多い¹⁵⁾。豚ふん+ブドウ滓堆肥を施用することで、特に放線菌やバクテリアを増やし、カビを抑制する効果が期待できる。

3-9 堆肥成分の土壌および浸透水への移行

表-3にライシメーターでスイートコーンとナスの栽培試験をした前後の各試験区画の土壌無機成分の推移を示す。豚ふん+ブドウ滓Cover堆肥を加えた第2区画の土壌でナスの収穫後、リン酸の蓄積が認められた。しかし、豚ふん+ブドウ滓Mix堆肥を加えた第1区画では豚ふん堆肥を加えた第3区画と同様のレベルであった。このリン酸の推移に関して来年度も監視を継続していきたい。また、全ての試験区画で石灰の量が作前に比べてコーン跡地、ナス跡地で増加している。これは、土壌のpHを適正状態(pH6.5)に保つために、石灰資材を施肥時に投入したためである。

表-4に硝酸態窒素の浸透水への溶脱量を算出した結果を示す。データは2月20日から6月20日までのスイートコーン栽培期間とした。3月から6月の合計を比べると、第4区画(コーンコブ堆肥)と第6区画(汚泥発酵堆肥)は他の五つの区画に比べやや少ない値であった。

図-24に浸透水中の銅および亜鉛の挙動を示す。なお、グラフのデータは2月20日から6月20日までのスイートコーン栽培期間の浸透水を分析した結果で、ライ

表4 浸透水への硝酸態窒素の溶脱量 (kg/10a)

区画	堆肥の種類	3月	4月	5月	6月	合計
第1区画	豚ふん+ブドウ滓 Mix堆肥	0.7	4.2	1.3	3.2	9.4
第2区画	豚ふん+ブドウ滓 Cover堆肥	0.7	3.1	1.3	3.9	9.0
第3区画	豚ふん堆肥	0.5	3.6	1.7	3.4	9.2
第4区画	コーンコブ堆肥	0.3	2.2	1.0	3.4	6.9
第5区画	牛ふん堆肥	0.3	4.1	1.2	3.4	9.0
第6区画	汚泥発酵堆肥	0.4	2.5	1.3	2.4	6.6
第7区画	化学堆肥	0.5	3.9	1.6	3.3	9.3

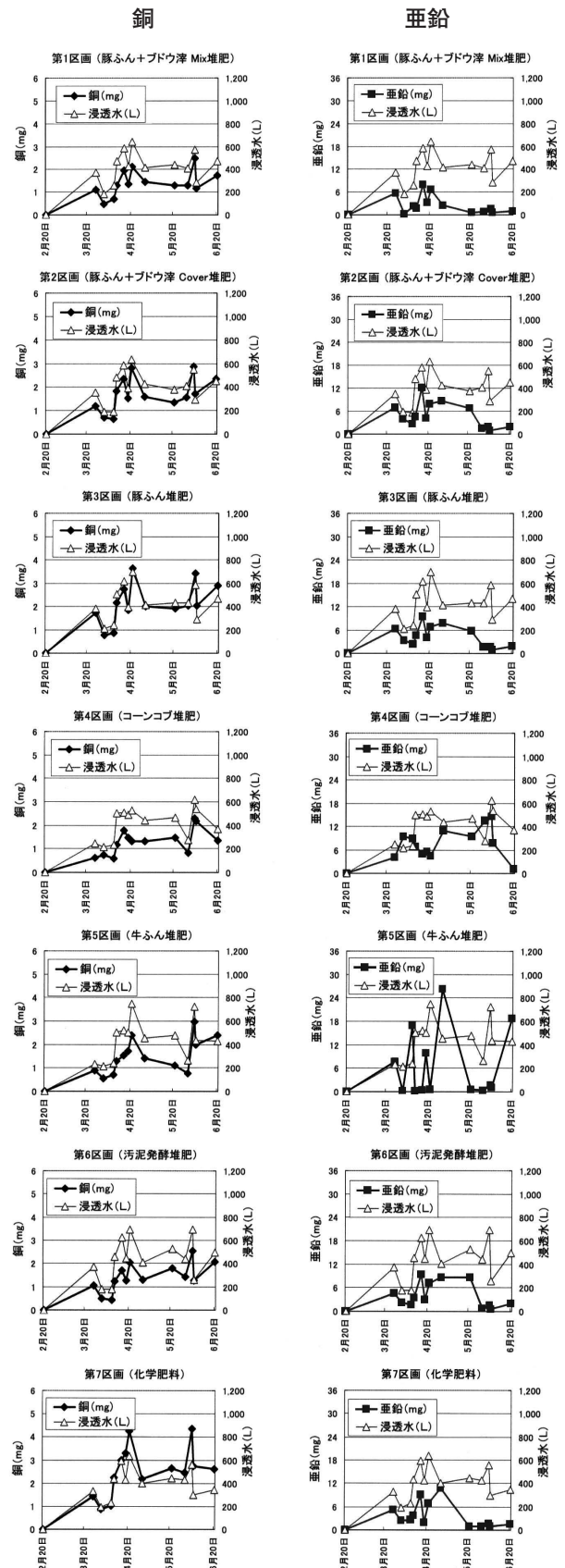


図-24 浸透水中の銅および亜鉛の挙動

2月20日から6月20日までのスイートコーン栽培期間の浸透水を分析した。

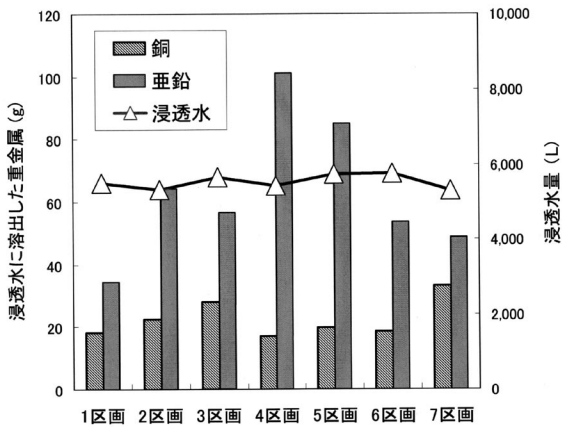


図-25 浸透水への銅および亜鉛の溶脱量

2月20日から6月20日までのスイートコーン栽培期間の浸透水のデータから算出した。

シメーターの一区画 (25㎡) 当たりの量である。その結果、銅・亜鉛とも浸透水の量 (L) に比例して溶脱していることがわかる。また、図-24に区画ごとの銅・亜鉛および浸透水の積算量を図-25に示す。

その結果、銅は第7区画 (化学肥料) で多く浸透水に溶脱していることが示された。亜鉛は第4区画 (コーンコブ堆肥)、第5区画 (牛ふん堆肥) で多く溶脱し、第1区画 (豚ふん+ブドウ滓Mix堆肥) では溶脱量が少なかった。しかし、第1区画と原料が同じ第2区画 (豚ふん+ブドウ滓Cover堆肥) とで差が認められた。このことは、さらに検討を行う必要があると考えている。

3-10 地球温暖化ガスに関するLCA

実験方法2-7に示した二つのシナリオに従って、ブドウ搾り滓と豚ふんを処理する過程で発生する温暖化ガス (CO₂, CH₄, N₂O) のインベントリ分析を行った (図-26)。その結果、従来シナリオに比べてブドウ滓添加シナリオの方が、CO₂, CH₄の排出量が少なくな

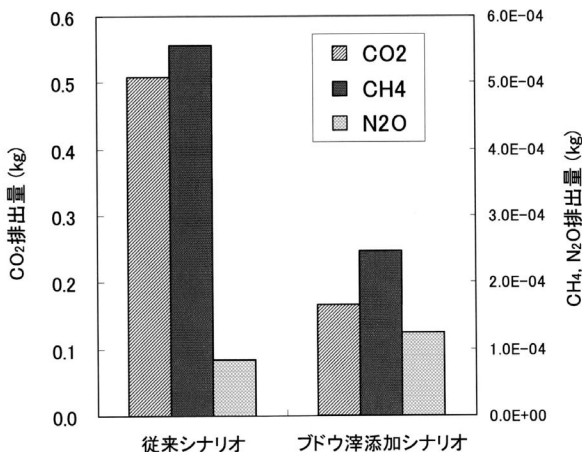


図-26 温暖化ガスのインベントリ分析

ており、N₂Oについてはわずかながら増加しているという結果となった。

次に、得られた各温暖化ガスの排出量から、産業総合技術研究所によって開発された被害算定型環境影響評価手法LIME (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)¹⁶に基づいて地球温暖化指数 (GWP₁₀₀) を算定し、それぞれのシナリオについて地球温暖化への影響を比較した。図-27に示すごとく、従来シナリオのほうが地球温暖化への影響が大きいことが示された。堆肥化のみを比較した場合、ブドウ搾り滓を添加した分、従来シナリオよりもブドウ搾り滓添加シナリオの方が温暖化への影響が大きい、従来シナリオではブドウ搾り滓を焼却によって処理するため、焼却プロセスで排出されるCO₂やCH₄が加算され、結果的に従来シナリオの温暖化への影響が大きくなっていることが示された。このことから、ブドウ搾り滓を豚ふんに添加して堆肥化させた方が地球温暖化への影響を削減できると考えられる。

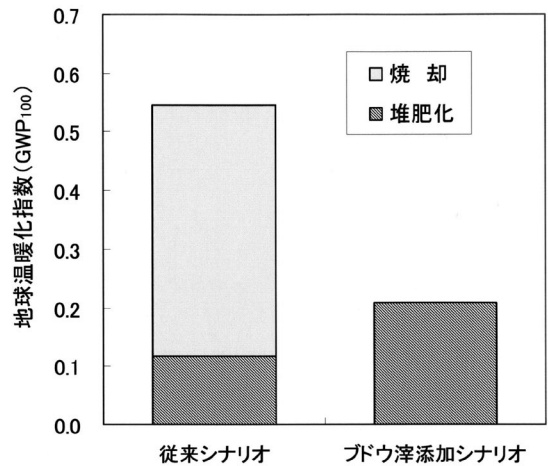


図-27 地球温暖化指数の比較

3-11 工学的手法による悪臭物質の分解

本研究では悪臭物質の分解の一つの手段として工学的手法の利用も視野に入れている。そこで昨年度は実験室レベルで、マイクロ波と金属触媒を用いた分解法の検討を行った。その結果、80ppmあったアンモニアを検出限界以下にまで分解することができた¹⁾。今年度は、この分解装置を小型堆肥化実験装置に設置して、実際に豚ふんを発酵させた場合に発生する臭気の分解に使用した。その結果、図-28に示すごとく、マイクロ波の出力に依存して臭気が減少することが確かめられた。現在、新築した吸引通気装置付き堆肥舎での検証をするため準備を進めている (写真-17)。

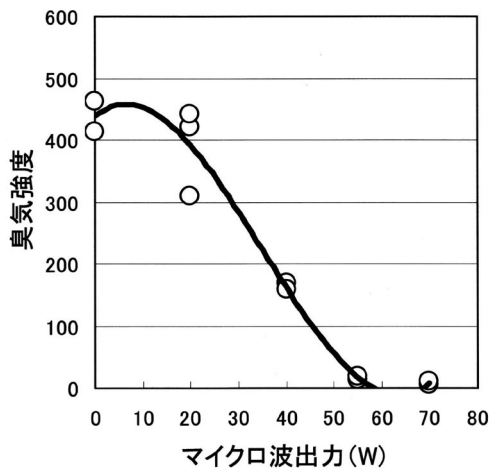


図-28 小型堆肥化実験装置から発生した臭気の分解



写真-17 悪臭分解装置を新堆肥舎に設置したところ

4. 今後の課題

- 堆肥舎での堆肥作製は、初年度に比べスケールをアップして検討を行ったが、実際の農家が行っているレベルには達していない。来年度はより原料（豚ふんおよびブドウ搾り滓）を増やして検討を行いたい。
- 悪臭分解微生物（放線菌）がブドウ搾り滓を加えた堆肥中に存在すること、そしてシャーレにブドウ搾り滓抽出液を加えると、この放線菌の増殖が促進することを明らかにした。しかし、実際の堆肥発酵過程でブドウ搾り滓を加えた場合に、この放線菌の増殖が促進しているか確認する必要がある。
- ライシメーターを用いたスイートコーンとナスの栽培試験はそれぞれ一回しか行っていないため、再現性を調べる必要がある。
- 吸引通気装置を備えた堆肥舎が完成したので、悪臭分解装置を、この堆肥舎に設置して現場での実験を行う必要がある。
- 堆肥発酵過程で発生するCO₂以外の温暖化ガスも実測し、データを増やしてより精度の高いライフサイクル

アセスメントを行う必要がある。

- 来年度が本プロジェクトの最終年度となる。従って、三年間の研究成果を実際の農家に普及できるようにまとめたい。

5. 結言

山梨県ではワイン製造過程で生じる多量のブドウ搾り滓の処理が問題となっている。これらの一部は飼料、滓とりブランデー製造あるいは堆肥に利用されているが、多くは有用な利用法が無く処分されている。そこで、このブドウ搾り滓に着目し、これらを豚ふんを原料として作られる堆肥の発酵過程に加えた。その結果、発酵過程で発生する悪臭を低減することができた。そして、完成した堆肥の施肥効果は他の堆肥と比べ劣ることはなく、土壌・浸透水への負荷が増加することにはなかった。悪臭低減のメカニズムとして、悪臭分解微生物およびブドウ搾り滓中のポリフェノール類の関与が示唆された。また、ブドウ搾り滓を焼却処理することと比較すると、ブドウ搾り滓を豚ふんに加え堆肥化することは、地球温暖化防止に役立つことが明らかとなった。



写真-19 平成20年度やまなし産学官連帯研究交流事業研究公開での発表

本研究のポスターをテレビ局が撮影している様子

6. 謝辞

ブドウ搾り滓を快く提供してくださいました株式会社シャトレゼおよび小林牧場には厚く御礼申し上げます。堆肥発酵過程の切り返しにおいて、重機（ホイールローダー）の操作および臭気サンプルの輸送を担当していただきました畜産試験場の保坂幸次主任技能員、保坂和彦主任技能員ならびに村上高山氏、中山三男氏、深沢豊氏、永井豊氏、宮川千加雄氏には大変お世話になりました。赤尾友雪研究員には堆肥作製において適切なアドバイスをしていただきました。環境科学研究所の大森さお

りさん、外川雅子さん、内山聖子さんには小型堆肥化実験装置での切り返し、ならびに重金属およびポリフェノール類の分析においてそれぞれお世話になりました。悪臭成分の分析においては、山梨県ワインセンターの原川守研究管理幹、恩田匠研究員、小松正和研究員に御協力をしていただきました。心から感謝致します。また、ライシメーターでの栽培試験および堆肥の成分分析においては、総合農業技術センターの望月久美子研究員、佐藤きよみさん、鈴木ゆかりさん、根津節子さんに御協力をしていただきました。御礼申し上げます。山梨大学大学院の山村英樹助教、大学院生の落合知君、川良香さん、功刀伸夫君にも御協力をしていただきました。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 長谷川達也, 森智和, 齊藤奈々子, 高橋照美, 山崎修平, 上垣良信, 高尾清利, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸: ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発. 山梨県総合理工学研究機構研究報告書第3号, 53-64, 2008
- 2) 羽賀清典, 長田隆, 田中康雄, 黒田和孝, 花島大: 堆肥化実験装置, 特許出願番号平成8年特許出願第235967号
- 3) 悪臭法令研究会編集: 四訂版ハンドブック悪臭防止法, ぎょうせい, 2001
- 4) 石黒辰吉: 臭気の測定と対策技術, オーム社, 2002
- 5) 日本土壌協会編: 堆肥等有機物質分析法, 2000
- 6) 長田隆: 家畜排泄物からの環境負荷ガスの発生について, 日本畜産学会報, 72: 167-176, 2001
- 7) 長田隆: 豚のふん尿処理に伴う環境負荷ガスの発生, 畜産草地研究所研究報告, 2: 15-62, 2002
- 8) 坂井隆宏, 脇屋裕一郎, 則武圭輔, 四牟田修蔵, 式町秀明: 豚ふん堆肥化時に発生する臭気の活性汚泥曝気方法による脱臭, 日豚会誌, 42: 157-164, 2005
- 9) 開澤浩義: 豚ふんの吸引式通気堆肥化と簡易脱臭技術, 農業電化, 59: 28-33, 2006
- 10) 田中米実, 林田晋策, 本江元吉: 糸状菌による畜産排泄物の処理, 発酵工学, 54: 333-339, 1976
- 11) 田中米実, 林田晋策, 本江元吉: 真菌による鶏ふんの処理, 発酵工学, 55: 134-140, 1977
- 12) 田中米実, 田中稔篤, 南里信也, 林田晋策: 放線菌による畜産排出物の処理, 発酵工学, 56: 788-793, 1978
- 13) 太田欽幸, 池田貢: 微生物による豚ふんの急速無臭化法, 農芸化学, 53: 277-284, 1979
- 14) 黒田和孝: 家畜排せつ物の堆肥化における微生物を用いたアンモニア発生低減, 資源環境対策, 40: 64-68, 2004
- 15) 松尾卓見, 駒田旦, 松田明 (編集): 作物のフザリウム病, 全国農村教育協会, 1980
- 16) 伊坪徳宏, 稲葉敦: ライフサイクル環境影響評価手法LIME: LCA, 環境会計, 環境効率のための評価手法・データベース, (社)産業環境管理協会, 2005

成果発表状況

学会発表

- 1) 長谷川達也, 瀬子義幸 (2008) ブドウ搾り滓と家畜排せつ物を利用した堆肥中の重金属の挙動. 第11回MTKO MICE研究会 (仙台)
- 2) 長谷川達也, 森智和, 齊藤奈々子, 高橋照美, 山崎修平, 上垣良信, 高尾清利, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸 (2008) ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発. 平成20年度やまなし産学官連帯研究交流事業研究公開 (甲府)
- 3) 川良香, 功刀伸夫, 佐藤祐紀, 山村英樹, 長谷川達也, 森智和, 齊藤奈々子, 高橋照美, 山崎修平, 上垣良信, 高尾清利, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸 (2008) ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発—堆肥発酵過程における主要微生物・放線菌相の解析—. 平成20年度やまなし産学官連帯研究交流事業研究公開 (甲府)
- 4) 森智和, 吾郷健一, 長谷川達也, 高橋照美, 山崎修平, 上垣良信, 高尾清利 (2008) ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化技術に関する研究 (その1). 第40回化学工学会秋季大会 (仙台)
- 5) 山崎修平, 望月久美子, 長谷川達也, 森智和, 吾郷健一, 高橋照美, 上垣良信, 高尾清利, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸 (2008) ブドウ搾り滓を用いた豚ふん堆肥の特性と肥効. 2008年度日本土壌肥料学会関東支部大会 (新潟)