

氏名(本籍)	押田 敏雄(埼玉)
学位の種類	獣医学博士
学位記番号	甲第15号
学位授与の日付	昭和52年3月14日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
学位論文題名	発酵処理による家畜糞尿の Recycling に関する実験的研究
論文審査委員	(主査) 教授 田中 享一 (副査) 教授 神立 誠 教授 今井 信実

論文内容の要旨

I. 緒言

家畜糞尿を資源として再利用(Recycling)しようといった動きは、肥料としてのみ利用されていた糞尿を飼料としても利用しようとする試みに他ならない。我が国よりも資源が豊富で国土の広大なアメリカで、糞尿の栄養価値が検討され、応用研究が始まり、すでに約10年を経過している。一方、我が国では食生活水準の向上により畜産物の利用が増え、農村の都市化が進むにつれて、家畜飼養に起因する公害、つまり畜産公害などといった問題が生じてから10年以上を過ぎている。この間、畜産公害に対処するために各種の処理方法が考案、実用化されているが、それらのほとんどは浄化を目的としたものであり、装置の負荷を軽減するため糞と尿とを各種の方法で分離し、それぞれを別々のシステムで処理するために、その費用、手間も相当なものとなってしまう。

著者は、これらの問題を一挙に解決する方法として、糞尿混合液を一元的に処理する方法に興味を持ち、液状の糞尿を高温で発酵発酵させる装置(家畜糞尿混合液液状発酵処理装置)を試作し、その技術を確立した。

さらに、この装置を用いて処理した豚糞尿による糞尿の飼料化および、牛糞尿による肥料化について検討を行ない、良好な成績を得たので、ここに報告する。

II 家畜糞尿の発酵処理に関する農業工学的研究

II-1 発酵処理装置に関する研究

家畜糞尿をオガ屑、モミ殻などの物性調整材を必要とせず、高水分(80~90%)でも発酵し得る装置・家畜糞尿混合液液状発酵処理装置(以下、装置と略記)を試作した。

1) 装置の仕様

装置の内径 300mm、高さ 500mmの銅板製で円筒型の発酵槽を主部とし、その周囲を glasswool で断熱を施したものである。攪拌には三枚羽根のスクルー型インペラーを用い、攪拌機による連続攪拌を行なった。曝気はガラスボールを用い、ポンプによる連続曝気操作を行なった。他に液温記録用の熱電対を発酵槽内の3カ所に設けた。

2) 適正曝気量

昇温の要となる好気性高温菌の発育を良好なるものとするために、曝気量の決定はきわめて重要な事であ

る。三浦ら、Bell の実験結果を参考とし、実験を行ない適当な曝気量を求めた。その結果、豚糞尿混合液（糞：尿の混合比は1：1、以下PWLと略記）で、糞1kg当り0.25ℓ/ml（この条件での最高液温は冬期で65℃、夏期で70℃前後）、牛糞尿混合液（糞：尿の混合比は2：1、以下CWLと略記）で、糞1kg当り、0.188ℓ/min（この条件での最高液温は冬期で58℃、夏期35℃前後）であった。

3) 適正混合比

豚の排糞尿比は1：1なので、特に考慮する必要はないが、牛の排糞尿比は4：1なので、適正な糞：尿の混合比について考慮しなければならない。適正曝気量下で混合比の検討をした結果、糞尿比“2：1”が他の比率1：1、3：1、4：1よりも2℃ほど液温が高く、牛の場合の適正混合比を“2：1”とした。

II-2 発酵程度の指標

発酵程度あるいは熟度の表示方法について今日までに確立された完全なものはない。著者の実験（発酵処理物の理化学的性状の変化）から、きわだった変化のあった項目として液温、pH、COD、粘度などがあげられる。

液温は、低温菌、中温菌、高温菌の世代交代に伴って、菌数と菌叢が代わり、昇温しつつ、糞尿混合液（以下、WLと略記）中の有機物を分解していく。現に、PWLもCWLも最高液温を示す処理後3～4日頃からの有機物の減少の程度は、ほぼ横ばいとなった事から、この事が理由づけられる。

pHについては、MartionはpHが8～9に安定した時期を、Willsonは一旦pHが上昇し、下降した時期をそれぞれ完熟としているが、著者の実験でも、このような事がいえる。

CODについては、岡らは豚糞を堆肥化した場合、CODの値が安定した時を完熟の目安としているが、著者の実験でも、PWLのCODは最高液温を示したあたりで安定してきた。

C/N比については、宮尾は腐熟化の指標となりうるといっているが、著者の実験でもPWLで処理後4日目、CWLで処理後3日目にそれぞれ最低を示したが、CWLは総窒素の減少で更に大きくなるため、C/N比は再び大きく増大してしまった。

粘度については、PWLで処理後3日目頃に、CWLで処理後4日目頃にそれぞれ安定した。これは有機物の減少が横ばいになった時期と一致している。

以上の事から、不完全ではあるが液温、pH、COD、粘度は発酵の程度、あるいは完熟の指標となりうると考えられた。

II-3 発酵過程での微生物（特に細菌）の動態

発酵の経過に伴ない、それぞれの温度に適合した細菌が世代交代して増殖するため、液温が上昇するに従い、高温菌が増加し、中温菌は減少する。また、菌叢は次第に単純となり *Bacillus* が主となる事が知られている。著者はPWL、CWLともに55℃におけるサンプルを普通寒天培地で24時間培養し、培養所見でcolonyが形態的に同一と思われる優勢なものについて、菌の同定を行なった結果、好気性高温菌である *Bacillus stearothermophilus* を確認した。

また、病原微生物は汚染指標菌として意義があり、検索が極めて容易な大腸菌群、およびに家畜に疾病を引き起こす機会が多く、高温に対する抵抗性が比較的強いサルモネラ菌群について注目した。大腸菌群はDesoxycholate agarを用い検索したが、PWLで55℃を経過したサンプル、CWLで55℃のサンプルでは検出されなかった。また、サルモネラ菌群は術式に従い、クリグラー-寒天培地、SIM培地、ブドウ糖リン

酸塩ペプトン培地のそれぞれの培地を用い、定性試験を行なった結果、PWL, CWLともに開始時に陽性だったものも終了時には全て陰性となった。次に大腸菌群を指標として、熱死滅時間を求めた。PWLの冬期の最高液温55°C, 夏期の最高液温60°Cと想定し、サンプルを感作させた。その結果55°C, 60°Cともに3時間経過したものには大腸菌群は検出されなかった。また、CWLについては冬期の最高液温45°C, 夏期の最高液温50°Cと想定し、サンプルを感作させた。その結果45°C, 50°Cともに感作時間が長くなるに従い、colonyは減少し、45°Cで48時間、50°Cで12時間経過したものについては大腸菌群は検出されなかった。発熱発酵の経過で高温菌が死滅せずに選択的に病原性中温菌が死滅する理由として、高温、pHの影響、Bacitracinのような抗生物質模倣物質を産生する *Bacillus* の存在などが考えられる。いずれにしても糞尿を液状発酵する場合かなりの発熱があるので炭疽の芽胞などの病原性芽胞を含まないものは殺滅される。

III 発酵処理物の豚への飼養試験

豚液状発酵飼料（以下、P-LFFと略記）を肥育豚に与えた場合の影響を把握し、飼料として利用できる可能性について、飼養試験を行ない検討した。

実験にはLHの同腹仔豚10頭を用いた（試験区5頭、対照区5頭）。試験は嗜好試験、消化試験、肥育試験、枝肉成績、肉質成績、栄養状態の推移について行なった。実験に用いた飼料は嗜好試験を除き、試験区にはP-LFF 30%含有配合飼料、対照区には100%配合飼料を与えた。その結果次のような事が判明した。

1) P-LFFに対する嗜好性は極めて高かった。2) 体重は試験区、対照区ともに同傾向に増加したが、90kg到達日齢は試験区184日齢（試験開始後70日）、対照区163日齢（試験開始後49日）であった。3) 飼料の利用性は試験区はP-LFFを除けば飼料要求率3.36、飼料効率0.30と対照区よりも良好であった。4) 歩留りは、試験区は対照区より1.7%ほど劣ったにすぎず、組織分割比率では試験区は対照区に比べ脂肪が5%多く赤肉は5%少なかった。5) 肉質には大差はなかったが、肉色は試験区の方が良く、体脂肪の融点も試験区の方が若干高かった。6) 栄養状態を知る手掛りとして血液検査（赤血球数、Ht, Hb, MCHC, TP A/G比、血清蛋白分画）を毎週一回行なったが、豚の成長に伴うそれぞれの数値は、試験区については特に貧血傾向を認めず、蛋白成分、剖検所見などにも、異常は認められなかった。

飼養試験の結果を総括すると、肥育の速度は試験区は対照区に比べ遅延した。この理由として、体重あたりの給飼量は試験区、対照区とも重量では同じだが、乾物量としては試験区の方が少なかった事が考えられる。肥育期間は90kgを目標とした場合、試験区は対照区に比べ約20日間遅れたが、その後の20日間の飼料代を試算すると試験区の方が若干安価であった。仕上げ飼いや、あるいは飼い直しをすれば、かなりの増体重も見込まれるものと考えられる。なお、このように糞尿由来の飼料を与えて肥育された食肉の嗜好性に関する報告は見あたらないが、著者が行なった官能検査では不完全ながらも、対照区の食肉との「味の差」を見い出せなかった事から、味については差はないと思われる。

VI 発酵処理物の肥効試験

牛液状発酵肥料（以下、C-LFMと略記）の肥効性を確認し、施肥量の限界を知るために、硝酸態窒素が最も蓄積しやすく、多収量で各地で栽培されている牧草 *Itarian ryegrass* を用いて肥効試験を行なった。

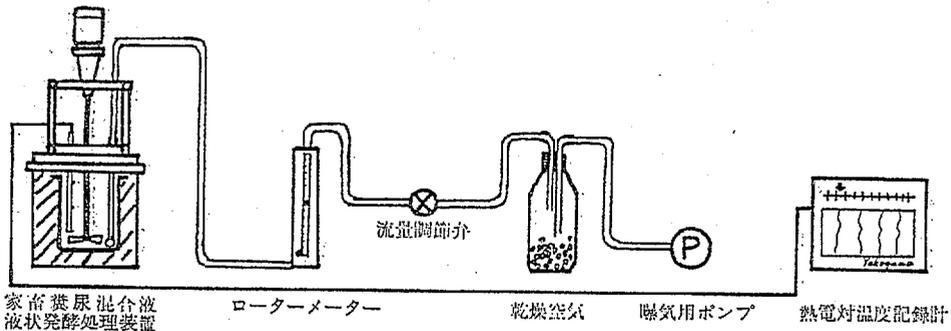
実験は圃場試験のコンパクト版であるワク試験によって行なった。C-LFMの肥効を他のものと比べるため、スラリー、化成肥料 LFM 併用の3つの試験区を設け、それぞれの区で大量施肥区（10a 当り 40ton）中量施肥区（10a 当り 10ton）、小量施肥区（10a 当り 3ton）を設けた。また化成肥料 LFM 併用区は $\frac{1}{2}$

は LFM で $\frac{1}{2}$ は化成肥料で、窒素量として LFM 単独区と同一にした。そして次のような結果を得た。1) 肥効: LFM はスラリーと比べ大差はなく、施肥量に応じて生育状況は良好で、生産量も施肥量に比例した。また、飼料成分はスラリー施用の場合とほぼ同様であった。2) 含有窒素量: LFM もスラリーも大量施肥区でさえ、牧草中の硝酸態窒素は Adams の報告している中毒に陥る危険性の 0.1% (D.M) よりも少ない事から 10a あたり 40ton の施肥量では硝酸塩中毒に陥る危険性は極めて低かった。

また、LFM もスラリーも同一の糞尿を用いて作成したものを、LFM, スラリーをそれぞれ 40ton/10a, 10ton/10a, 3ton/10a を施肥した場合、同一施肥量、同一収穫時の牧草中に回収される硝酸態窒素は 9 例中 1 例を除いてスラリーを施肥した区の方が多かった。この事は LFM ならびにスラリー中、および土壌の硝酸態窒素は定量しなかったものの、家畜糞尿を液状発酵処理する場合のメリットの一つとしてあげられ、作物に回収される硝酸態窒素の含有量はスラリーを施用した場合よりも少なくなる事が解った。

V 結 論

以上、家畜糞尿を有効利用 Recycling させるための一手段として、高水分状態でも発酵が可能であるという画期的な結果を得た。著者の方法により、家畜糞尿を飼料として利用するには幾多の問題を残すものの、その可能性を示唆する結果を得た。また、肥料としては嫌気性発酵のスラリーに比べ、極めて有利な有機質肥料として利用に値するものと思われる。これら著者の一連の研究は、今後の家畜糞尿の有効利用 Recycling を考える上で何んらかの手掛りを与えるものと確信する。



論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

はしがき

最近の統計によれば、20世紀末には世界人口は今日の約2倍(60~70億)になるであろうといわれている。現在でも、東南アジア、アフリカ諸国の多くの人々が栄養不良の条件下で生活しているのであるから、今後の食糧事情については大きな難問が存在することは当然である。

これらの問題を解決するためには、人類の食生活において家畜と競合しないように、人類が直接利用できない飼料によって家畜を飼育し、その畜産物を人類が利用することである。この考え方から言えば、草食性家畜を飼育することが、有効であろう。

草食性家畜の飼育には多量の草の生産が必要であり、このためには多量の肥料が要求される。この要求に対しては、多種多様な化学肥料が使用されているが、化学肥料の多用が土壌の荒廃を来し、草生状態に大

きな悪影響を与えていることは周知のとおりである。この土壌の地力を回復させるために、有機的肥料として、家畜糞尿の利用が強調されている。即ち、牧草、青刈などの飼料作物を摂取する草食性の家畜の糞尿を土地に還元することによって、飼料作物である草を生産することが、強調されている所以であろう。

一方、雑食性の家畜（豚）においては、その糞尿を再度家畜に飼料として利用させようという試みがある。また、家畜糞尿による養鯉も実用化されようとしている。

以上のように、人類が食物として利用できない家畜糞尿を何らかの方法で家畜に利用させ、その飼育家畜を人類の食物として利用しようという試みが、近年次第に盛んになって来たことは見逃せない事実である。

本論文は、上記のような考え方に基づいて、家畜糞尿の Recycling に関する研究を行なったものである。

本論文は、著者が独自の考案によって作製した糞尿の発酵処理装置を用いて、豚および牛の糞尿の発酵処理に関する条件の検討を行ない、さらにこの装置による処理糞尿が、豚の飼料として十分利用できることを病原菌の死滅状況、飼料成分、給与豚の衛生状況、その屠肉の肉質などの検査により立証し、さらに牛の発酵糞尿が肥料として利用されることをスラリーを対照として検討したものである。

1. 家畜糞尿の発酵処置に関する農業工学的研究

1-1 発酵処理装置に関する研究

本論文の特徴の一つは、ここに述べる発酵処理装置の試作にある。

即ち、この装置を用いて、糞尿を固形分と水分とに分離することなく、混合状態のまま発酵処理し、発酵熱により糞尿中の病原微生物を死滅させ、有機物の分解を行なって発酵処理物を得ようというもので、糞尿処理法としては、斬新的なものと言えよう。

1) 装置：鋼板製の内径 300mm、高さ 500mmの円筒型の発酵槽を主部とし、その周囲を glass wool で断熱を施したものである。攪拌には三枚羽根のスクルー型インペラーを用い、攪拌機による連続攪拌を行なった。曝気はガラスボールを用い、ポンプによる連続曝気操作を行なった。他に液温記録用の熱電対を発酵槽内の3カ所に設けてある。

2) 適正曝気量：昇温の主要因子となる好気性高温菌の発育を良好なものとするために、曝気量の決定はきわめて重要なことである。実験の結果、豚糞尿混合液（糞：尿の混合比は1：1、以下 FWL と略記）で、糞 1kg 当り 0.25ℓ/min（この条件での最高液温は冬期で 65°C、夏期で 70°C 前後）、牛糞尿混合液（糞：尿の混合比は2：1、以下 CWL と略記）で、糞 1kg 当り 0.188ℓ/min（この条件での最高液温は冬期で 58°C、夏期で 65°C 前後）が、適正な曝気量と考えられた。

3) 適正混合比：豚の排糞尿比は1：1であって、この比率のまま適正であったが、牛の排糞尿比は4：1で糞の割合が多いので、適正混合比を検討したところ、“糞：尿”が“2：1”の比が本実験に最適であることを認めた。

1-2 発酵程度の指標

発酵程度あるいは熟度の表示方法については、確立されたものがないので、著者はこの点について検討した結果、発酵にともなう、液温、pH、COD、粘度などの変化が明らかに認められたので、本研究ではこれらの項目を発酵程度の指標とした。

1. 3 発酵過程での微生物（特に細菌）の増減状況

発酵の経過に伴ない、それぞれの温度に適合した細菌が世代交代して増殖するため、液温が上昇するに従い、高温菌が増加し、中温菌は減少する。また、菌叢は次第に単純となり *Bacillus* が主となることが知られている。著者はPWL, CWL とも55°Cにおけるサンプルを普通寒天培地で24時間培養し、菌の同定を行なった結果、好気性高温菌である *Bacillus stearothermophilus* を確認した。

また、この処理による、病原微生物の生死の検討には、汚染指標菌として意義があり、しかも検索が極めて容易な大腸菌群、および家畜に疾病を引き起こす機会が多く、高温に対する抵抗性が比較的強いサルモネラ菌群を用いて、その生存状態を検査した。大腸菌群は Desoxycholate agar を用い検索したが、55°C を経過した PWL および CWL のサンプルでは両者共検出されなかった。また、サルモネラ菌群は、クリグラー-寒天培地、SIM 培地、ドウ糖リン酸塩ペプトン培地を用い定性試験を行なった結果、PWL およびCWL とも、発酵処理開始時に陽性だったものが終了時には全て陰性となっていた。

次に大腸菌群を指標として、熱死滅時間を求めた。

PWL の冬期における最高液温を、55°C、夏期最高液温を60°Cと想定し、それぞれの温度にサンプルを感作させた。その結果、55°C、60°Cともに3時間経過したものには、大腸菌群は検出されなかった。また、CWL については、冬期の最高液温45°C、夏期最高液温50°Cと想定し、サンプルを感作させた。その結果、45°C、50°Cともに感作時間が長くなるに従い、colony は減少し、45°Cで48時間、50°Cで12時経過したものについては、大腸菌群は検出されなかった。発熱発酵の経過で高温菌が死滅せず選択的に病原性中温菌が死滅する理由として、高温、pH の影響、Bacitracin のような抗生物質様物質を産生する *Bacillus* の存在などが考えられる。いずれにしても糞尿を液状発酵する場合、かなりの発熱があるので病原性芽胞を含まないものであれば、病原微生物に対する安全性は認めてよいと考えられた。

2. 発酵処理物による豚の飼養試験

豚液状発酵飼料（以下、P-LFF と略記）が肥育豚の飼料として、利用できるかどうかを飼養試験により検討した。

実験には LH の同腹仔豚10頭を用いた（試験区5頭、対照区5頭）。試験は嗜好試験、消化試験、肥育試験、枝肉成績、肉質成績、栄養状態の推移などについて行なった。実験に用いた飼料は嗜好試験を除き、試験区には P-LFF 30%含有配合飼料、対照区には100%配合飼料を与えた。この場合の試験飼料の成分は対照飼料の成分と大差はなかった。次に試験結果の概略を述べる。

1) P-LFF に対する嗜好性は極めて高かった。2) 体重は試験区、対照区ともに同傾向に増加したが、90kg到達日齢は試験区184日齢（試験開始後70日）、対照区163日齢（試験開始後49日）であった。3) 飼料の利用性は試験区は P-LFF を除けば、飼料要求率3.36、飼料効率0.30と対照区よりも良好であった。4) 歩留りは、試験区は対照区より1.7%ほど劣ったにすぎず、組織分割比率では試験区は対照区に比べ脂肪が5%多く、赤肉は5%少なかった。5) 肉質には大差はなかったが、肉色は試験区の方が良く、体脂肪の融点も試験区の方が若干高かった。6) 栄養状態を知る手掛りとして血液検査（赤血球数、Ht, Hb; MCHC, TP, A/G 比、血清蛋白分画）を毎週一回行なったが、豚の成長に伴ないそれぞれの数値は、試験区については特に貧血傾向を認めず、蛋白成分、剖検所見などにも、異常は認められなかった。

飼養試験の結果を総括すると、肥育の速度は試験区は対照区に比べ遅延した。この理由として、体重あた

りの給飼量は試験区、対照区とも重量では同じであったが、乾物量としては試験区の方が少なかった事が考えられる。肥育期間は90kgを目標とした場合、対照区に比べ試験区は約20日間遅れたが、その後の20日間の飼料代を試算すると試験区の方が若干安価であった。また、仕上げ飼いや、あるいは飼い直しをすれば、かなりの増体重も見込まれるものと考えられる。なお、このように糞尿由来の飼料を与えて肥育された食肉の嗜好性に関する報告は見あたらないが、著者が行なった官能検査では不完全ながらも、対照区の食肉との「味の差」を見い出せなかった事から、味については差はないものと思われる。

3. 発酵処理物の肥効試験

牛液状発酵肥料（以下、C-LFMと略記）の肥効性を確認し、施肥量の限界を知るために、硝酸態窒素が最も蓄積しやすく、多収量で各地で栽培されている牧草 Italian ryegrass を用いて肥効試験を行なった。

実験は圃場試験のコンパクト版であるワク試験によって行なった。C-LFMの肥効を他のものと比べるため、LFM単独、スラリー、化成肥料とLFM併用の3つの試験区を設け、それぞれの区で大量施肥区（10a当り40ton）中量施肥区（10a当り10ton）、小量施肥区（10a当り3ton）を設けた。また化成肥料LFM併用区は $\frac{1}{2}$ はLFMで $\frac{1}{2}$ は化成肥料で、窒素量としてLFM単独区と同一にした。そして次のような結果を得た。1) 肥効：LFMはスラリーと比べ大差はなく、施肥量に応じて生育状況は良好で、生産量も施肥量に比例した。また、飼料成分はスラリー施用の場合とほぼ同様であった。2) 含有窒素量：LFMもスラリーも大量施肥区でさえ、牧草中の硝酸態窒素はAdamsの報告している中毒に陥る危険性の0.1% (D.M) よりも少ない事から10a当り40tonの施肥量では硝酸塩中毒に陥る危険性は極めて低かった。

また、同一の糞尿によるLFM、スラリーをそれぞれ40ton/10a、10ton/10a、3ton/10aの割合に施肥した場合、同一施肥量区から、同一時期に収穫した牧草中の硝酸態窒素は9例中1例を除いて、スラリー施肥区の方が多かった。即ち、家畜糞尿を液状発酵処理した肥料を用いた方が、スラリーを用いた場合よりも、作物中の硝酸態窒素が少なくなっていたわけである。したがって、硝酸態窒素の少ない牧草を採取するには、LFMを利用した方がよいといこうとなる。

4. 結 論

以上、家畜糞尿を有効利用 Recycling させるための一手段として、高水分状態でも発熱発酵が可能であるという画期的な結果を得た。著者の方法により、家畜糞尿を飼料として利用するには幾多の問題を残すものの、その可能性を示唆する結果を得たことには間違いない。また、肥料としては嫌気性発酵のスラリーに比べ、極めて有利な有機質肥料として利用に値するものと思われる。これら著者の一連の研究は、今後の家畜糞尿の有効利用 Recycling を考える上での手掛りを与えたものと確信する。

以上、著者の独自の考案による装置を用いて、家畜糞尿を液状発酵処理し、その処理物を飼料および肥料として利用した実験的研究は、いわゆる家畜糞尿の Recycling に関する研究として、実地応用上少なからぬ示唆を与えるものであってその学術的価値は顕著である。したがって、この研究業績は、獣医学博士の学位を授与するに値するものと評価する。