

家畜糞の堆肥化におけるアンモニア揮散に関する研究

学位論文内容の要旨

我が国で排出される家畜糞尿の総量は約 1 億 $t \cdot y^{-1}$ と推計され、その多くは固形物の状態で堆肥化あるいは乾燥される。現在の堆肥化方法は、材料に強制的に通気を行う高速堆肥化法が主流である。しかし、材料に通気を行うことは、糞尿に含まれる各種の臭気物質を外部に揮散させる大きな原因となる。特に揮散したアンモニアは、飲用水として使用する地下水の硝酸塩濃度の増加、酸性雨、森林枯死などの原因物質となるため、環境汚染物質として位置づけられている。本研究は、家畜糞の堆肥化におけるアンモニア揮散の諸要因とその発生量の解明、および揮散低減方法とその効果を明らかにすることを目的に行った。実験は容積約 1L の密閉型小型反応槽を用いて行った。

1. 小容積反応槽によるアンモニア揮散の要因の解析

乳牛糞と破碎籾殻をC/N比が31,38,46,53になるように混合し、送風量を固形物1kg当たり毎分0.2~0.6L ($L \cdot \min^{-1} \cdot \text{kg}_{\text{DM}}^{-1}$) に設定して5日間の堆肥化を行い、発生するアンモニア揮散を調べた。

- 1) アンモニア揮散は試料最高温度が55°C以上に達した実験区で多く、この範囲ではC/N比が低く送風量が多い実験区ほど多い。低C/N比の実験区ほどアンモニア揮散が多いのは、堆肥化前の全窒素量が多く特にアンモニア性窒素が多いためである。また、C/N比や送風量の違いにより生じる堆肥化過程の上昇温度の違いもアンモニア揮散に影響を及ぼす。
- 2) 堆肥化後のpHが8.8~9.0以上の実験区では、pHが高いほど揮散が多い。堆肥化によるpH上昇は、有機酸の生成が抑制あるいは分解された結果と推測される。

2. 畜糞の違いがアンモニア揮散に及ぼす影響

豚糞、乳牛糞、鶏糞をそれぞれ単独または白樺材おが屑を混合して7日間の堆肥化を行い、畜糞の違いがアンモニア揮散に及ぼす影響を調べた。

- 1) アンモニア揮散量は、豚糞試料では C/N 比 13・送風量 $1.0L \cdot \min^{-1} \cdot \text{kg}_{\text{DM}}^{-1}$ のとき、乳牛糞試料と鶏糞試料では C/N 比 19・送風量 $0.6L \cdot \min^{-1} \cdot \text{kg}_{\text{DM}}^{-1}$ のときに最も多い。これらの揮散量は、堆肥化前全窒素のそれぞれ 32.4, 8.8, 39.9%に相当する。畜糞におが屑を混合することにより C/N 比を高くしても、アンモニア揮散率（堆肥化前の全窒素に占める割合）はさほど低くならない。揮散率は、各畜糞ともに有機物分解率が大きい実験区ほど大きい。
- 2) 畜糞によるアンモニア揮散の違いは、堆肥化前のアンモニア性窒素量と有機態窒素の無機化難易性の影響によるものと考えられる。またアンモニア揮散以外の窒素損失は極めてわずかである。

3. 畜糞の堆肥化における有機物分解と成分・性状の変化

各畜糞を60°C、65°Cまたは70°Cの2つの温度下で堆肥化し、有機物分解と成分・性状の変化等について検討した。

- 1) 7日間の有機物分解率は、60°Cでは豚糞が26.4%、乳牛糞が20.7%、鶏糞が26.2%であり、65°Cまたは70°C以上ではそれぞれ15.4%、15.9%、20.4%であった。
- 2) いずれの畜糞においても、有機態窒素は有機物分解とともに無機化されて減少する。豚糞と乳牛糞では、有機物分解率が低いときに無機化される窒素量が多く、分解が進むと無機化される窒素量が少なくなる。また、65°Cまたは70°C以上における有機態窒素残存率が60°Cのそれよりも低い。鶏糞の有機態窒素変化は、有機物分解率や堆肥化温度との関係が明らかではない。

4. 副資材（おが屑、麦稈）の堆肥化における有機物分解と成分・性状の変化

畜糞の堆肥化に際して副資材として使用されるおが屑、麦稈に、それぞれ無機態窒素源および栄養塩を添加して60°Cと65°Cの2つの温度下で堆肥化を行い、堆肥化中の有機物分解率の違いと窒素の変化過程を検討した。

- 1) 7日間の有機物分解率は、60°Cではおが屑が5.2%、麦稈が25.2%であり、65°Cではそれぞれ4.2%、18.9%であった。
- 2) おが屑に含まれる有機態窒素は、有機物分解の開始直後から無機態窒素の有機化により急速に増加する。しかし、おが屑を堆肥化するときには有機化される窒素量には限界値があるとみられ、この値は堆肥化前のおが屑固形分1kg当たり3340mg程度 ($\text{mg}\cdot\text{kg}_{\text{DM}}^{-1}$) と推測される。
- 3) 麦稈に含まれる有機態窒素量は有機物分解率が約4%までは増減の変化がみられないが、分解率が約4%より大きくなると増加する。麦稈を14日間堆肥化したときの有機態窒素の増加量は、60°Cでは $4690\text{mg}\cdot\text{kg}_{\text{DM}}^{-1}$ 、65°Cでは $2650\text{mg}\cdot\text{kg}_{\text{DM}}^{-1}$ であった。この結果から、アンモニア揮散低減のためには、有機化される窒素量が大きい麦稈の方がおが屑よりも副資材として適している。

5. 畜糞の堆肥化におけるアンモニア揮散低減

堆肥化中のアンモニア揮散のシミュレーションモデルを作成し、作成したモデルによりアンモニア揮散の低減方法およびその効果を検討した。

- 1) 作成したモデルによる計算結果は、全ての畜糞で実測値とおおむね適合した。特に乳牛糞ではアンモニア揮散が量的にも精度よく再現された。同モデルにより、試料のアンモニア性窒素量やpHがアンモニア揮散に及ぼす影響が、畜糞の種類や堆肥化開始からの時間によって異なることが明らかになった。
- 2) 排気酸素濃度が一定になるように送風量を制御すると、堆肥化開始直後はアンモニア揮散量が増加するが約4日目からは低減効果が認められ、その効果は排気酸素濃度を低く設定するほど大きくなる。送風量制御による揮散低減効果は乳牛糞が最も大きく、次に鶏糞であり、豚糞は最も小さい。
- 3) 試料のpHが一定値を越えないように制御すると、堆肥化開始直後からアンモニア揮散を低減でき、その効果はpH設定値を低くするほど大きくなる。pH制御による揮散低減効果は乳牛糞が最も大きく、豚糞と鶏糞は同程度である。
- 4) 送風量制御、pH制御による揮散低減効果は、堆肥化期間が長くなると小さくなる。

- 5) 豚糞の堆肥化において副資材としておが屑、あるいは麦稈を使用すると、12日間の堆肥化における糞中窒素の揮散低減率は、おが屑混合区では24%、麦稈混合区では43%に達する。
- 6) 副資材の混合は試料内部のアンモニア性窒素を減少させるため、アンモニア揮散低減に効果的である。しかし、揮散をなくすことはできない。また、材料に強制的に通気を行い有機物の分解を促進する高速堆肥化法は、アンモニア揮散の低減とは基本的には両立しにくいと結論づけられる。したがって、揮散アンモニアの大気中への放出を完全に防ぐためには、密閉型の施設と排気中のアンモニアを除去する装置の併設が不可欠となる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 松 田 從 三
副 査 教 授 伊 藤 和 彦
副 査 教 授 大 久 保 正 彦
副 査 教 授 寺 澤 實

学 位 論 文 題 名

家畜糞の堆肥化におけるアンモニア揮散に関する研究

本論文は、図 38, 表 27, 写真 2 を含む総頁数 113 の和文論文であり、他に参考論文 3 編が添えられている。

我が国で排出される家畜糞尿の総量は約 1 億 $t \cdot y^{-1}$ と推計され、その多くは堆肥化される。現在の堆肥化施設での堆肥化方法は、材料に強制的に通気を行う高速堆肥化法が主流である。しかし、材料への通気は臭気物質を外部に揮散させる大きな原因となり、特に地下水の硝酸塩濃度の増加、酸性雨、森林枯死などの原因となるアンモニアの発生が多い。本研究は、これまで詳細な検討がなされていなかった家畜糞の堆肥化におけるアンモニア揮散の諸要因と発生量、および低減方法とその効果を明らかにするために行われた。成果の概要は以下の通りである。

(1) 小容積反応槽によるアンモニア揮散の要因の解析

容積約 1L の密閉型小型反応槽を備えた装置を制作し、乳牛糞と破碎籾殻を 4 段階の混合比で混ぜ合わせ、送風量を固形物 1kg 当たり毎分 0.2~0.6L に設定して堆肥化を行った。アンモニア揮散は試料温度が 55°C 以上に達した実験区で多く、この範囲では C/N 比が低く送風量が多い実験区ほど多かった。揮散の多い実験区は、堆肥化後試料のアンモニア性窒素が多く、pH も 8.8~9.0 以上と高かった。送風量の違いによって上昇温度も変化し、これも影響を及ぼすことが判明した。

(2) 畜糞の違いがアンモニア揮散に及ぼす影響

豚糞、乳牛糞、鶏糞をそれぞれ単独または白樺材おが屑と混合して堆肥化を行った。7 日間のアンモニア揮散の最大量は、豚糞試料では堆肥化前全窒素の 32.4%、乳牛糞試料では同 8.8%、鶏糞試料では 39.9% に相当した。揮散は、各畜糞ともに有機物分解率が大きい実験区ほど大きい。畜糞による揮散量の違いは、堆肥化前試料のアンモニア性窒素含量と有機態窒素の無機化難易性によるものである。

(3) 畜糞の堆肥化における有機物分解と成分・性状の変化

各畜糞を60°C、65°Cまたは70°Cの2つの温度下で堆肥化し、有機物分解と成分・性状の変化について検討した。7日間の有機物分解率は、60°Cでは豚糞が26.4%、乳牛糞が20.7%、鶏糞が26.2%であり、65°Cまたは70°C以上ではそれぞれ15.4%、15.9%、20.4%であった。いずれの畜糞も、有機態窒素は有機物分解とともに無機化されて減少した。豚糞と乳牛糞では、有機物分解率が低いときに無機化される窒素量が多く、分解が進むと無機化される窒素量が少なくなる。また、65°Cまたは70°C以上における有機態窒素残存率は60°Cのそれよりも低い。鶏糞の有機態窒素変化は、有機物分解率や堆肥化温度との関係が明らかではない。堆肥化中の有機態窒素とpHの変化は有機物分解率の関数として定式化できた。

(4) 副資材（おが屑、麦稈）の堆肥化における有機物分解と成分・性状の変化

畜糞の堆肥化に際して副資材として使用されるおが屑、麦稈に、無機態窒素源と栄養塩を添加して60°Cと65°Cの2つの温度下で堆肥化を行った。7日間の有機物分解率は、60°Cではおが屑が5.2%、麦稈が25.2%であり、65°Cではそれぞれ4.2%、18.9%であった。おが屑に含まれる有機態窒素は有機物分解の開始直後から急速に増加するが、有機化される窒素量は堆肥化前のおが屑固形分1kg当たり3340mg程度 ($\text{mg}\cdot\text{kg}_{\text{DM}}^{-1}$) が上限とみられる。一方、麦稈に含まれる有機態窒素量は有機物分解率が約4%までは増減の変化がみられず、分解率が約4%より大きくなると増加する。麦稈を14日間堆肥化したときの有機態窒素の増加量は、60°Cでは $4690\text{mg}\cdot\text{kg}_{\text{DM}}^{-1}$ 、65°Cでは $2650\text{mg}\cdot\text{kg}_{\text{DM}}^{-1}$ であった。

(5) 畜糞の堆肥化におけるアンモニア揮散低減

堆肥化中のアンモニア揮散の数値計算モデルを構築し、同モデルにより揮散低減方法およびその効果を検討した。作成したモデルによる計算結果は全ての畜糞で実測値と適合し、揮散量の変化が精度よく再現できた。同モデルにより、揮散低減方法の効果を評価することが可能となった。

排気酸素濃度を一定に保つように送風量を制御すると揮散低減効果が認められ、その効果は排気酸素濃度を低く設定するほど大きい。また、試料のpHがある一定値を越えないように制御する方法も揮散低減効果が認められ、その効果はpH設定値を低くするほど大きい。しかし、送風量制御、pH制御による揮散低減効果は、堆肥化期間が長くなると少なくなる。これに対し副資材の混合はアンモニア揮散低減に効果的である。この効果は畜糞や副資材の組み合わせや混合比により異なるが、豚糞の堆肥化において12日間の糞中窒素の揮散低減率は、おがくず混合区では24%、麦稈混合区では43%であった。しかし、副資材混合だけでは揮散を全くなくすることはできない。したがって、揮散アンモニアの大気中への放出を完全に防ぐためには、揮散を低減するとともに密閉型施設と揮散アンモニアの回収装置が必要となる。

以上のように本研究は、家畜糞の堆肥化におけるアンモニア揮散について、諸要因等

を明らかにし、数値計算モデル構築によって揮散低減方法とその効果を提示したものであり、学術上、応用上高く評価される。よって、審査員一同は、前田 武己が博士（農学）の学位を受ける十分な資格があるものと認定した。