

吸引通気式堆肥化処理技術の開発

学位論文内容の要旨

家畜ふんの堆肥化処理は、家畜ふんを取り扱い性のよい有機質資材、つまり堆肥に変換できることから、わが国の耕畜連携を前提とした循環型農業を実現する上で基盤的な技術として認められている。しかし、堆肥化反応が促進されるほど、アンモニア揮散量が増加することが知られており、飼養環境や作業環境の改善、あるいは土壌の酸性化や地球温暖化を防止する観点からアンモニア揮散の低減化対策が求められている。

1970年代にアメリカ農務省で開発された吸引通気方式 (Beltsville 方式) による堆肥化処理は、強制吸引通気によって堆肥原料の腐熟を促進する方式である。さらに同時に、堆肥原料を通過した排気が通気配管の一箇所に集められることから、堆肥化過程で揮散するアンモニアの回収は比較的容易に行える技術である。ただし、吸引通気方式は圧送通気式に比べて堆肥原料の熱や水分の放散効率が劣っているほか、通気配管の目詰まりが発生しやすく送風機が腐食しやすいなど、技術的に未解決の問題も少なくない。そこで本論文では、これら吸引通気方式の問題点を整理して技術的な改善を図るとともに、吸引通気方式による堆肥化過程でのアンモニア揮散の低減とアンモニアの資源としての回収性能について、実施レベルで検証した。

1. 吸引通気方式における堆肥化反応とアンモニア揮散低減効果の検討

容量 430L の反応槽を供試し、吸引通気方式と圧送通気方式とを比較するための基礎試験を行った。基礎試験では、堆肥化過程の堆肥原料成分の変化を調査するとともに、吸引通気方式によるアンモニア揮散の低減効果とその回収性能について検討した。その結果、乳牛ふん (含水率 67%) の 4 週間の堆肥化期間のうち、一週間に一度の切り返し作業を行えば、吸引通気方式における堆肥原料の温度や有機物分解率、成分のばらつきが改善され、吸引通気方式の有機物分解率は圧送通気方式と同等であることを確認した。また、吸引通気方式の場合、堆肥原料表面で測定されたアンモニアは最大で 22ppm であり、圧送通気方式の場合の 900ppm に比べて明らかに少なかった。吸引通気方式によってアンモニア揮散が抑制された結果、試験開始時の堆肥原料全窒素のうち 4.6% をドレイン中に、また、14.5% を希硫酸トラップで回収することが可能であった。なお、圧送通気方式の場合は堆肥化過程で 14.4% の窒素が減少したが、そのほとんどは堆肥原料表面からアンモニアとして揮散したものと考えられる。吸引通気方式では、通気に含まれる水分が堆肥原料中で結露しにくいために、圧送通気方式に比較して堆肥原料の含水率を低減できる副次的な効果が確認された。しかし、堆肥原料から持ち出された水分の多くは、反応槽底部の空間部で、あるいは吸引後の配管内で結露して、ドレインとして発生するものであった。

2. 吸引通気方式における堆肥化反応特性と窒素収支

吸引通気方式におけるアンモニア揮散の低減効果とその回収性能をさらに詳細に検討するため、副資材の種類 (乾燥ふん、戻し堆肥、オガクズ、モミガラ) の 4 条件) や堆肥原料の含水率 (60~75%

の4条件)を変えて、前項と同様の試験装置と方法によって堆肥化試験を行った。その結果、吸引通気方式による乳牛ふんの堆肥化処理では、堆肥原料のかさ比重を500~700kg/m³に調製することで通気性に改善が見られ、これにより吸引通気方式の有機物分解率は既報の圧送通気方式とほぼ同等になった。吸引通気方式による堆肥化では、堆肥原料からのアンモニア揮散を抑制でき、アンモニアはドレイン中に、あるいは希硫酸によるアンモニアトラップで回収できた。その回収量は有機物分解率や堆肥原料のアンモニウム態窒素含有量に影響を受け、試験開始時の堆肥原料の全窒素に対して3.8~23.2%の範囲にあった。条件によつては、堆肥原料から12,000ppmの高濃度の状態でアンモニアが吸引されたことから、吸引通気方式の場合は、リン酸や希硫酸による中和反応でアンモニアを回収することが現実的と考えられる。また、吸引通気方式では、堆肥化反応が良好であるほど堆肥原料中の水分が低減されるが、その分ドレインの発生量は増加し、4週間の堆肥化過程では、ドレインの発生量が堆肥原料現物に対して最大で38%に達する条件を認めた。

3. 高濃度アンモニア回収装置の開発

高濃度のアンモニアを回収するために、リン酸や希硫酸を薬液とする洗浄・薬液方法を検討し、スプレー塔と充填塔の機能を併せ持つアンモニア回収装置を開発した。薬液が堆肥化反応熱等により加温されることで薬液とアンモニアの反応速度が向上した結果、開発した回収装置は従来機種よりも小型化された。また、薬液が40~50℃程度に加温されるためにその溶解度が高まり、25%程度の高濃度の薬液を用いても、アンモニア回収の結果生じる塩の再結晶は見られず、配管やポンプが詰まるトラブルは発生しなかった。アンモニア回収装置の性能試験を行った結果、薬液反応筒(φ150mm)での空塔速度が0.44~4.4m/秒の範囲であれば、10,000ppmのアンモニアのうち95.7~99.9%を回収でき、薬液温度が高いほどアンモニア回収率は向上した。アンモニア回収装置を約10m³の吸引通気式堆肥舎に設置してその性能を検証した。3畜試の実証試験において最大で36,000ppmのアンモニアが吸引排気中に含まれていたが、薬液の温度が低温であった時期を除き、本回収装置によって99%以上のアンモニアが回収されることを確認した。

4. 吸引通気式堆肥化処理技術の実証

リニアクレーンによる切り返し装置が装備された堆肥化施設(約34m³/槽)を吸引通気方式に改修し、吸引通気方式を実施施設レベルで検証した。なお、通気口の目詰まりを防止する配管方法を考案するとともに、送風機を改良して耐食性の強化を図ったことから、トラブルの少ない安定的な堆肥化処理が可能になった。この堆肥化施設を供試して、夏期と冬期の2回に分けて乳牛ふんの堆肥化試験を行い、圧送通気方式を比較対照にして吸引通気方式によるアンモニア揮散の低減化とその回収性能を検討した。その結果、吸引通気方式は、圧送通気方式に比べて堆肥化反応に伴う質量や水分、容量などが見かけ上大きく減少したが、本施設の吸引通気方式は圧送通気方式に比べて通気のデットスペース(嫌気部分)が生じやすく、有機物分解率が1~2割低くなった。しかし、冬期試験における圧送通気方式では堆肥原料の全窒素量の9.6%がアンモニアとして揮散したのに対し、吸引通気方式ではこの9.6%量の9割がアンモニア回収装置で回収され、残りの1割はれき汁、あるいはドレインとして回収された。堆肥原料表面で測定されたアンモニア揮散は圧送通気方式に比べて明らかに抑制されたことから、吸引通気方式によるアンモニア揮散の低減化とその回収効果は実証されたものと考えられる。

現在は本研究の内容で特許出願を行い、その権利取得に向けた手続きを進めている(特願2006-094900)。今後は、分解率の向上、吸引通気方式を採用した場合の経済性や環境への影響評価を蓄積して、吸引通気方式の技術普及を図る予定にある。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 松 田 從 三

副 査 教 授 木 村 俊 範

副 査 教 授 近 藤 誠 司

副 査 准教授 近江谷 和 彦

学 位 論 文 題 名

吸引通気式堆肥化处理技術の開発

本論文は、全 6 章からなる総頁数 128 の和文論文である。論文には図 24, 表 15, 写真 12, 引用文献 110 件が含まれ、別に参考論文 5 編が添えられている。

家畜ふんの堆肥化处理は、家畜ふんを取り扱い性のよい有機質資材に変換できることから、わが国の耕畜連携を前提とした循環型農業を実現する上で基盤的な技術として認められている。しかし、堆肥化反応が促進されると、酸性雨や土壌の酸性化等をもたらすアンモニアが堆肥原料から揮散するため、その揮散の低減化対策が求められている。

1970 年代にアメリカ農務省で開発された吸引通気方式 (Beltsville 方式) による堆肥化处理は、堆肥原料を通過した排気が通気配管の一箇所に集められることから、堆肥化過程で揮散するアンモニアの回収は比較的容易に行える方式である。しかし、吸引通気方式は圧送通気式に比べて通気配管の目詰まりが発生しやすく送風機が腐食しやすいなど、技術的に未解決の問題も少なくない。そこで本論文では、吸引通気方式に関するこれらの問題点を整理して技術的な改善を図った。また、本方式による堆肥化過程のアンモニア揮散の低減化と、アンモニアの資源としての回収効果について実施レベルで検証した。

1. 吸引通気方式における堆肥化反応とアンモニア揮散低減効果の検討

容量 430L の反応槽を供試し、吸引通気方式と圧送通気方式とを比較するための基礎試験を行った。その結果、含水率を 67% に調製した乳牛ふんの 4 週間の堆肥化期間において、1 週間に一度の切り返し作業を行えば、通気方向に分布した堆肥原料の温度や有機物分解率、成分のばらつきが改善され、均一な堆肥化处理が可能であった。また、吸引通気方式は、圧送通気方式に比べて堆肥原料表面からの揮散アンモニア濃度を低く抑制できることが明らかとなった。

2. 吸引通気方式における堆肥化反応特性と窒素収支

吸引通気方式におけるアンモニア揮散の低減効果とアンモニアの回収性能をさらに詳細に検討するため、副資材の種類や堆肥原料の含水率を変えて、前項と同じ試験装置と方法によって吸引通気方式による堆肥化試験を行った。その結果、吸引通気方式では、堆肥原料のか

さ比重を $500\sim 700\text{kg/m}^3$ に調製することで通気性に改善が見られ、これにより有機物分解率は既報の圧送通気方式とほぼ同等になった。吸引通気方式による堆肥化では、堆肥原料からのアンモニア揮散を抑制でき、全窒素のうちの $3.8\sim 23.2\%$ のアンモニアが吸引排気やドレインに含まれており、希硫酸を薬液としたアンモニアトラップ等で回収された。排気中のアンモニア濃度は最大で $12,000\text{ppm}$ であったことから、吸引通気方式の場合は、既往の生物脱臭法や吸着法で回収することは困難であり、薬液による中和反応でアンモニアを回収することが現実的と考察された。

3. 高濃度アンモニア回収装置の開発

吸引通気方式排気を対象にした高濃度アンモニア回収装置を開発した。本装置はリン酸や希硫酸を薬液とする洗浄・薬液方式であり、スプレー塔と充填塔の機能を併せ持つタイプに分類される。薬液が堆肥化反応熱等により加温されることで薬液とアンモニアの反応速度が向上し、開発装置は従来機種よりも小型化された。開発装置を堆肥約 10m^3 処理の吸引通気式堆肥舎に設置してその性能を検証した結果、最大でアンモニア $36,000\text{ppm}$ が吸引した排気中に含まれたが、本回収装置によってそのうちの約 99% が回収された。

4. 吸引通気式堆肥化处理技術の実証

リニアクレーンによる切り返し装置が装備された堆肥化施設（約 $34\text{m}^3/\text{槽}$ ）を吸引通気方式に改修し、吸引通気方式を実施レベルで検証した。通気口の目詰まりを防止する配管方法を考案するとともに、送風機を改良して耐食性の強化を図ったことから、トラブルの少ない安定的な堆肥化处理が可能になった。吸引通気方式は、圧送通気方式に比べて堆肥化反応に伴って質量や水分、容量などが見かけ上大きく減少したが、有機物分解率は $1\sim 2$ 割低くなった。しかし、圧送通気方式では堆肥原料の全窒素量の 9.6% が堆肥原料表面からアンモニアとして揮散したのに対し、吸引通気方式ではこの揮散量の 9 割がアンモニア回収装置で回収され、残りの 1 割はれき汁、あるいはドレインとして回収されることが実証された。

本研究によって吸引通気式堆肥化处理技術が実証され、堆肥化過程で発生するアンモニア揮散の低減化とその回収が技術的に可能となった。本研究内容に基づいて特許出願が行われ、その権利取得に向けた手続きが進められている（特願 2006-094900）。また、開放型の堆肥化施設においても堆肥化過程の窒素収支が得られたことなど、学術的な価値も高く評価される。よって、審査員一同は、阿部佳之が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。