

施設栽培におけるたい肥施用に伴う窒素動態と環境負荷

藤田奈都・古川康徳*

Moving State and Environmental Load of Nitrogen-Derived Compost in Greenhouse Culture

Natsu FUJITA and Yasunori FURUKAWA*

Summary

Cattle compost mixed with sawdust was used continually for five years in year-round greenhouse-cultured komatsuna and spinach.

When mature compost was used, application of 120 Mg ha⁻¹ left more than 30 Mg ha⁻¹ nitrogen-derived compost in soil. That application reduced the rate of N₂O gas derived compost, consequently reducing the NO₃-N retained in soil. The environmental load of nitrogen-derived compost was also low, at 120 Mg ha⁻¹.

Nevertheless, the yield of komatsuna and spinach decreased with compost application of 120 Mg ha⁻¹. In addition, the nutrient balance worsened.

Key words: environmental load, compost, nitrogen moving state, greenhouse culture

緒言

平成16年11月から「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が完全施行された。家畜排せつ物の処理法として、メタン発酵等様々な技術が検討されているがいずれもまだ一般的ではなく、そのほとんどはたい肥化処理されている。そのため今後、たい肥の製造が増加すると考えられ、利用促進をはかることが課題となっている。

しかしながら有機物施用は、利用方法によっては亜酸化窒素・メタン等温室効果ガスの発生や、地下水の硝酸態窒素汚染につながる可能性がある^{1,9,12)}。より環境へ配慮した農業が求められている現在、これらの影響を無視することはできない。そこで、利用促進をはかる上で、幅広くたい肥利用者の増加をはかる方法と、たい肥の施用量を増加させることにより対応する方法と、どちらが適切か、環境負荷低減の立場から検討する必要がある。

環境負荷の評価において重要となるのがたい肥施用後の窒素動態であり、近年、研究が積極的に行われている^{3,5,10,11)}。しかし、これらの研究の多

くは露地栽培条件下のもので、施設栽培条件下における研究事例は少ない⁸⁾。そこで、施設栽培下でたい肥を連用した場合の窒素動態について、環境負荷に関する調査をまじえて検討したので報告する。

材料及び方法

試験区および耕種概要

供試たい肥施用量を 0 Mgha⁻¹, 30Mgha⁻¹, 120Mgha⁻¹の3水準とする試験区を設け、1試験区の面積を5.25m²、2反復とした(第1表)。なお、各作の施肥量は試験区によらず一律とした。

第1表 試験区概要

Table1. Outline of experimental plots

	たい肥		各作ごとの 窒素施肥量*
	施用量	連用年数	
対照区	0Mgha ⁻¹	0年	N100-150kggha ⁻¹
30Mg区	30Mgha ⁻¹	5年	N100-150kggha ⁻¹
120Mg区	120Mgha ⁻¹	5年	N100-150kggha ⁻¹

*: たい肥連用2年目のみ無肥料で栽培した。

第2表 施用たい肥の主成分量

Table2. Chemical properties of the compost using 5 years (per raw)

pH	EC (mSm ⁻¹)	T-N (%)	T-C (%)	C/N	NH ₄ -N (mgkg ⁻¹)	NO ₃ -N (mgkg ⁻¹)	含水率 (%)
8.6	2.1	0.57	15.2	26	112	18	63
±0.2	±0.8	±0.11	±4.2	±3.4	±0.3	±1.6	±9.9

低地水田土灰色化低地水田土中粒質の水田転換畑において、雨よけハウスによる軟弱野菜の周年栽培を行い、5年間で25作栽培した。供試作物はホウレンソウ‘アクティブ’‘オーライ’‘晩抽パルク’およびコマツナ‘楽天’である。1.2m畝へ6条には種し、本葉2～3枚の頃に株間を約3cmに調整した。供試たい肥は完熟オガクズ牛糞たい肥(以下、たい肥と略す)を用いた(第2表)。また試験圃場は土壌病原菌による供試植物への影響を排除するため、毎年7月下旬から8月下旬にかけて1ヶ月間太陽熱処理を行った。

調査方法

たい肥由来窒素動態を把握するため、各栽培終了時に、作物体の窒素吸収量および、作土層中(深さ20cm)の全窒素量を測定した。

また、大気中へ揮散したたい肥由来窒素量を推定するため、脱窒量および亜酸化窒素発生量を、5年間たい肥連用後の作土層土壌を用いて培養実験をおこなった。亜酸化窒素発生量は乾土60gを含水率0.6kgkg⁻¹に調整し、25℃、好気条件下で2週間培養し、発生した亜酸化窒素ガスをガスクロマトグラフ法で測定した。脱窒量はアセチレン阻害法を用いて同様に測定した。また、脱窒菌数を作土層土壌および次層土壌(深さ20～30cm)についてGiltray培地を用いて計測した。

5年間たい肥連用した場合の、土壌中への蓄積量および地下水への流亡量を推定するため、下層土に含まれる窒素量を形態別に測定した。断面調査により地表下90cmまで10cmごとに土壌を採取し、全窒素はCNコーダーにより、硝酸態および亜硝酸態窒素は水抽出液を用いてイオンクロマトグラフ法により、アンモニア態窒素は水抽出液を用いてインドフェノール法によりそれぞれ測定した。易分解性の有機態窒素については中性リン酸

緩衝液浸出法により測定し、全窒素量から無機態窒素量、易分解性有機態窒素量を差し引いた値を難分解性有機態窒素量とした。

なお、30Mg区・120Mg区の値と対照区の値との差をたい肥由来量とした。

結 果

コマツナ・ホウレンソウの1作あたりの窒素吸収量は、対照区で38.3±3.1kgha⁻¹、30Mg区で39.5±3.6 kgha⁻¹、120Mg区で36.4±3.9 kgha⁻¹であった。対照区と比較して30Mg区は1.2kgha⁻¹の増加、120Mg区は1.9kgha⁻¹の減少となり、5年間25作では、それぞれ30kgha⁻¹の増加、48kgha⁻¹の減少となる(第3表)。5年間のたい肥由来窒素施用量855kgha⁻¹(30Mg区)、3420kgha⁻¹(120Mg区)に対し、作物吸収の占める割合はそれぞれ3.5%(30Mg区)、-1.4%(120Mg区)であった(第4表)。

第3表 たい肥連用土壌でのホウレンソウとコマツナの1作あたり収量と窒素吸収量

Table3. Yield point and nitrogen absorption per culture at soil using compost continuously

	収量 (Mgha ⁻¹)	窒素吸収量 (kggha ⁻¹)
対照区	10.6±1.0 (100)	38.3±3.1 (100)
30Mg区	11.3±1.4 (104±4)	39.5±3.6 (103±4)
120Mg区	10.6±1.2 (99±5)	36.4±3.9 (94±4)

*. ±は標準誤差をしめす

*. () は対照区に対する相対収量の5年平均をあらわす

第4表 連用圃場におけるたい肥由来窒素の移動割合

Table4. Changes of nitrogen derived compost

	30Mg区		120Mg区	
	kggha ⁻¹	%	kggha ⁻¹	%
たい肥由来窒素 の5年合計	855	100	3420	100
作土層	343	40.1	1628	47.6
下層土	85	10.0	689	20.2
作物吸収	30	3.5	-48	-1.4
揮散+流亡*	397	46.4	1151	33.8

*. 揮散+流亡のたい肥由来窒素量は、合計から作土層及び下層土、作物吸収を差し引いて計算した。

その他は全て分析値で、対照区との差をもってあらわした。

作土層のたい肥由来窒素増加量は、30Mg区で343kg ha^{-1} 、120Mg区で1628kg ha^{-1} あり、たい肥施用量に対する窒素残存率はそれぞれ40.1%、47.6%であった。

また、地表下90cmまでの全窒素量を調べたところ、作土層以下の下層土には、それぞれたい肥由来窒素施用量の10.0%、20.2%が蓄積していた。

培養試験による亜酸化窒素発生量は、培養開始9日目以降ほぼ安定した(第1図)。たい肥由来亜酸化窒素発生量は、培養開始14日目で、窒素換算して30Mg区で2.2mgkg $^{-1}$ 、120Mg区で4.0mgkg $^{-1}$ の発生量となった。土壌中に含まれるたい肥由来全窒素量はそれぞれ343kg ha^{-1} 、1628kg ha^{-1} あり、作土層は20cmなので、重量換算すると30Mg区は172 mgkg $^{-1}$ 、120Mg区は814 mgkg $^{-1}$ 含む。つまり、培養14日間のたい肥由来窒素の亜酸化窒素発生割合は、30Mg区で1.3%、120Mg区で0.5%であった。

培養試験によるたい肥由来脱窒量は、二次回帰曲線状に増加した(第2図)。それぞれの近似曲線は次のようになった。

$$y = 0.14x^2 - 1.25x + 1.33 \quad (30Mg区)$$

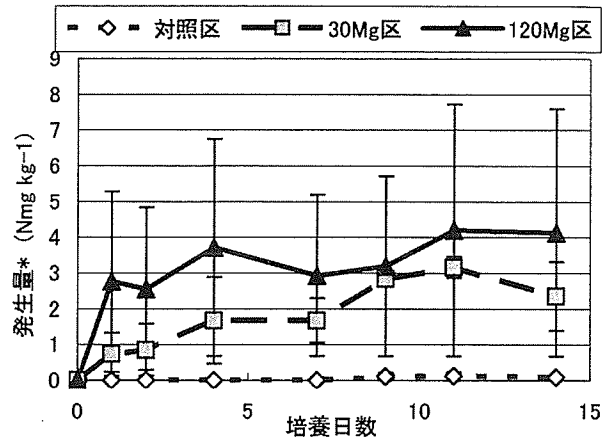
$$y = 0.30x^2 - 1.67x + 1.23 \quad (120Mg区)$$

培養開始14日目における30Mg区のたい肥由来脱窒量は窒素換算して13.2 mgkg $^{-1}$ 、120Mg区では36.9mgkg $^{-1}$ あった。亜酸化窒素と同様に計算して、培養14日間のたい肥由来窒素の脱窒割合は30Mg区が7.7%、120Mg区が4.5%であった。

たい肥に由来する作土層の脱窒菌数は、120Mg区が30Mg区の2.3倍となり、次層では120Mg区が30Mg区の16.8倍となった(第3図)。両層をあわせたたい肥由来脱窒菌数は、120Mg区が30Mg区の2.3倍となり、たい肥を4倍量施用しているのに対し、脱窒菌の増加は低かった。

下層土に含まれる硝酸態および亜硝酸態窒素量は、地表下30cm以下のいずれの土層においても、30Mg区および120Mg区の含量が対照区の含量よりも下回った(第4図)。また、アンモニア態窒素についても同様の傾向を示した(第5図)。

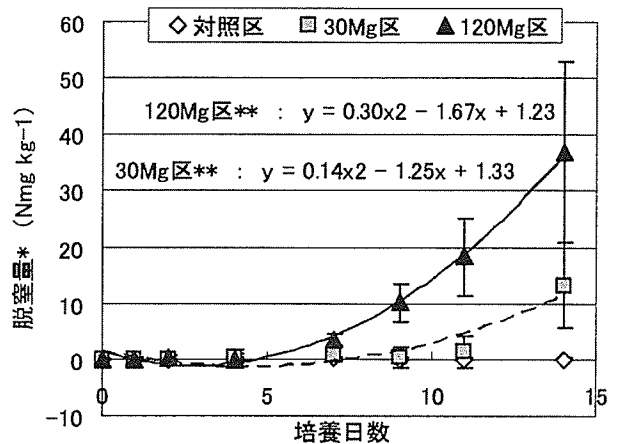
易分解性の有機態窒素は、対照区を差し引いたたい肥由来量が30Mg区で20kg ha^{-1} 、120Mg区で70kg ha^{-1} と、たい肥施用量に比例して増加した。難分解性のたい肥由来有機態窒素は、30Mg区が77kg ha^{-1} 、120Mg区が638kg ha^{-1} とたい肥施用にと



第1図 たい肥連用土壌培養時の亜酸化窒素発生量

Fig.1. Effect of compost on N₂O abundance

* : 亜酸化窒素発生量は、窒素換算してあらわした。

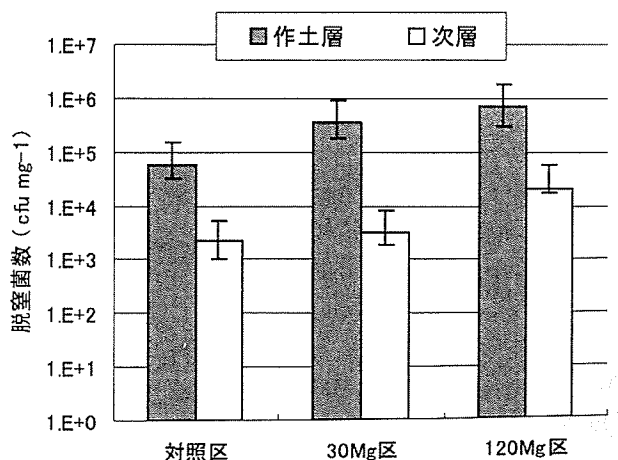


第2図 たい肥連用土壌培養時の脱窒量

Fig.2. Activated denitrification in different manure input

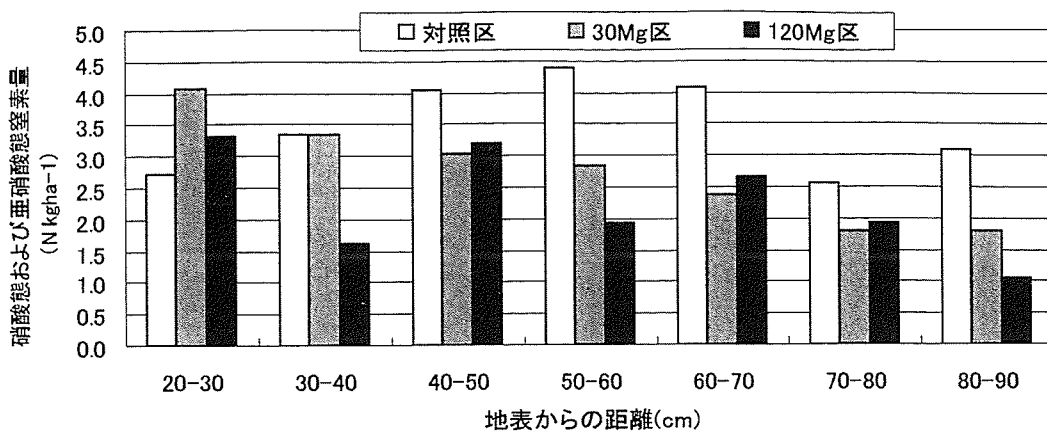
* : 脱窒量は、窒素換算してあらわした。

** : 各脱窒量の近似曲線を記した。



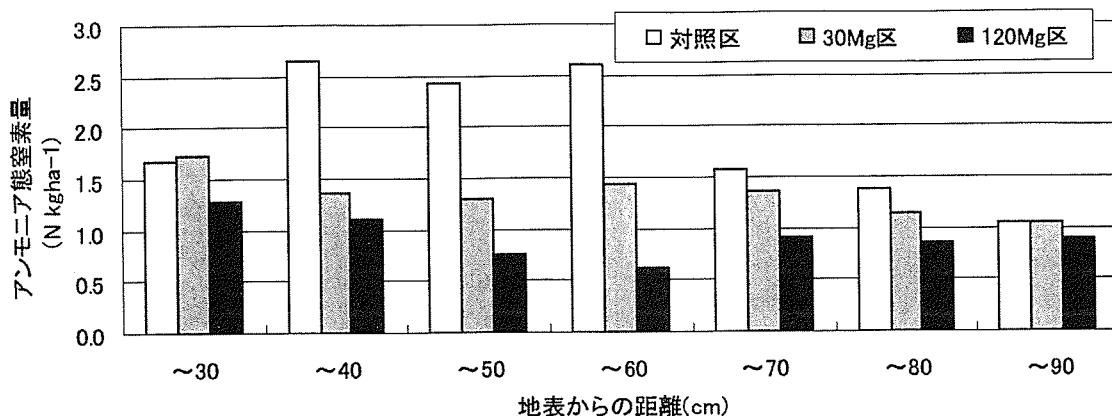
第3図 たい肥施用が脱窒菌数に及ぼす影響

Fig.3. Effect of compost on denitrifying bacteria level



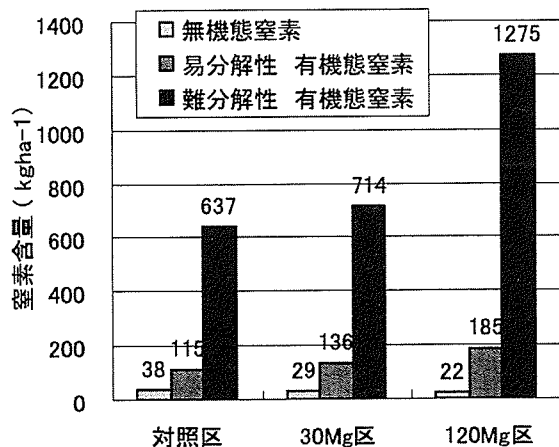
第4図 下層土における硝酸態および亜硝酸態窒素量の変化

Fig.4. Changes of nitrate and nitrite nitrogen in undersoil



第5図 下層土におけるアンモニア態窒素量の変化

Fig.5. Changes of ammonia nitrogen in undersoil



第6図 下層土の形態別窒素含量

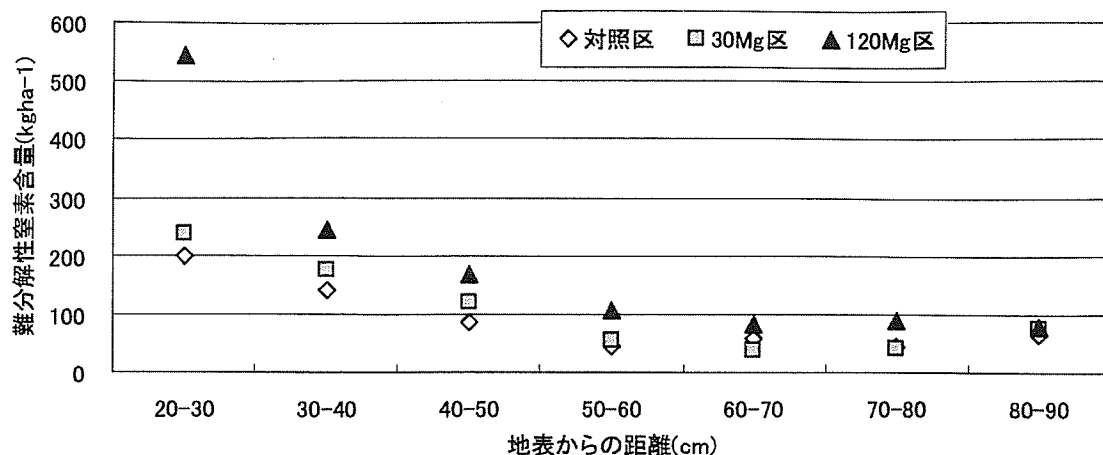
Fig.6. Different morph nitrogen content in undersoil

もない二次回帰曲線状に増加した (第6図)。

考 察

30Mg区・120Mg区におけるたい肥由来窒素の動態について、たい肥の総生産量に対する利用方法の検討という立場から、絶対量ではなく、投入量に対する割合で検討した。作物によって吸収利用される割合は、たい肥由来窒素投入量に対して3.5～1.4%と、非常に低かった。

第4表の結果が示すように、土壌に残存するたい肥由来窒素の割合は、多量連用した土壌で高くなった。これは、有機物含量の少ない土壌よりも多い土壌の方が施用した有機物は土壌中に残存しやすい、というJenkinsonの報告²⁾とも一致し、



第7図 難分解性有機態窒素の層別含量

Fig.7. Persistent organic nitrogen content in each layer

たい肥の多量施用は地力窒素の蓄積効果が高いと考えられた。

たい肥由来窒素量からこれら作物吸収量と土壌残存量を差し引いた残りは、揮散もしくは流亡した量である。これらは温室効果ガスである亜酸化窒素の発生や硝酸態窒素の流亡につながる可能性があり、環境負荷を述べる上でその詳細を明らかにする必要がある。そこでまず、窒素の揮散割合について検討した。

温室効果ガスである亜酸化窒素のたい肥由来発生割合は、14日間の培養試験において120Mg区は30Mg区の半分以下の発生割合となっており、120Mg区の方が低くなると考えられた。たい肥由来の脱窒割合は、培養試験、脱窒菌数のいずれにおいても120Mg区の方が30Mg区よりも低くなる可能性が示された。畑土壌では有機物量が脱窒を律速する重要な一因となるため、たい肥投入は脱窒を促進する⁴⁾。しかし、120Mg区では他の要因(嫌気条件、水分条件など)が律速に影響したか、脱窒前に流亡した可能性がある。

これらのことから、亜酸化窒素発生量でみると局所的には120Mg区の方が環境負荷を高めるものの、地球温暖化に関与するという一地域にとどまらない影響を考えると、発生割合の低い120Mg区の方が環境負荷を低下させる可能性が示された。次に、流亡割合について検討した。一般に、施設栽培において水の供給量は制限されている。そのため、水は下層から上層へ移動する傾向があり、流亡については問題となりにくい。しかし、本県

の盆地平坦部では慣行的に田畑輪換を行うため水稲作付け期間中の地下水位が高くなることや、太陽熱処理を行う圃場では湛水することから、流亡しやすい条件にあると考えられる。そこで、流亡した窒素の形態についてさらに検討した。

環境基準が定められている硝酸態窒素および亜硝酸態窒素の含量は、地下水が浸透したと考えられる下層土において、たい肥施用した区の方が低くなった。また、アンモニア態窒素についても同様であった。たい肥を施用することによって脱窒菌や有機態窒素が増加しており、微生物によって利用される量が多くなったことが原因と考えられる。また、たい肥を5年間連用した本センター内施設栽培において地下60cmの土壌溶液中硝酸態窒素の変動を調べたところ、30Mg連用区よりも90Mg連用区の方が低い値で推移したという報告⁷⁾もあり、たい肥の施用量増加にともなう流亡量の増加はなかったと推察された。

下層土の有機態窒素量については逆に、たい肥施用にともない増加した。微生物遺骸の窒素やたい肥中の易分解性窒素などは、有機態窒素として水中へ溶解する⁶⁾ため、流亡したたい肥由来窒素の多くは以上のような溶溶性有機態窒素であったと考えられる。

また、難分解性有機態窒素がたい肥の施用にともない下層土で増加することが確認されたが、層ごとの変化を見ると120Mg区では地表下50cmまでにその79%が存在している(第7図)。施用量の多い120Mg区は対照区と比較し孔隙率が高くな

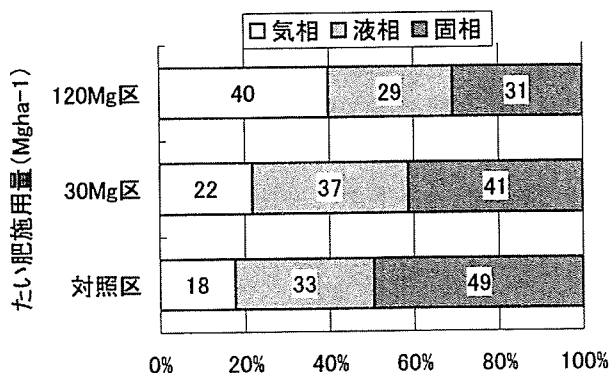
っており (第8図), 生物的もしくは物理的に移動したと考えられた。

これらの結果をまとめると, 120Mg区は30Mg区と比較して土壤中に残存する窒素の割合が高く, 環境負荷となる亜酸化窒素の発生割合や地下水への硝酸態窒素の流亡割合が低くなった。液状きゅう肥などでは多量施用による環境負荷が指摘されている^{8,12)}が, 完熟たい肥については, 120Mg区による環境負荷量は, その4倍の面積で30Mg区連用した合計量より低くなると推察された。

その一方で, 120Mg区は地力窒素の蓄積効果が高くなったにもかかわらず, 施用後5年間の作物吸収量をみると作物生育には反映されておらず, たい肥施用直後の作で発芽不良や生育遅延が観察された。120Mg区では気相率が極端に増加しており, 乾燥したことが原因と考えられる。また, カリウムの蓄積による土壤養分バランスの悪化も見られており (第9図), 窒素動態以外の面から見ると, 120Mg区のたい肥連年施用にメリットはないと考えられた。

摘 要

灰色化低地水田土中粒質の水田転換畑において, 雨よけハウスでコマツナ, ホウレンソウの周年栽培をおこない, 30Mg区, 120Mg区のオガクズ牛糞たい肥を5年間連年施用した時のたい肥由



第8図 たい肥を5年間連用した土壌の三相分布

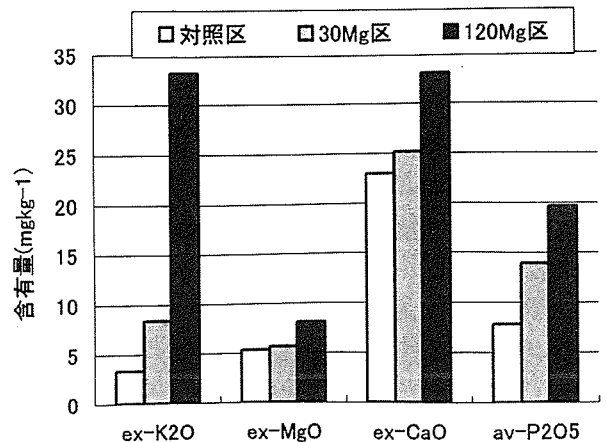
Fig.8. Changes of solid, liquid and geous phase of soil by putting compost 5 years

来窒素の動態を調べた。

完熟したオガクズ牛糞たい肥を用いれば, たい肥由来窒素は30Mg区連用より120Mg区連用で土壤中に残存する割合がたかくなり, 亜酸化窒素発生や硝酸態窒素流亡の割合は少なくなると考えられた。しかし作物の増収には反映せず, 土壤中の養分バランスの悪化を招いた。

引用文献

1. 藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎. 1998. 環境保全編. 新版土壌肥料用語事典. 農文協. 295-296
2. Jenkinson D S. 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil IV The effect of rate of addition. J soil sci. 28 : 417-423
3. 小林義之. 1991. 家畜ふん尿の農地施用と環境保全. 化学と生物. 29:312-319
4. 西尾隆. 1994. 耕地土壌の脱窒過程. 土肥誌. 65:463-473
5. 農業環境技術研究所他. 2003. 作物—農地—水系における環境影響物質の動態及び環境容量の解明. 森林・農地・水域を通ずる自然循環機能の高度な利用技術の開発中間成績報告書. 農業環境技術研究所. 37-77
6. 須藤隆一. 1987. 陸水圏における栄養塩類の循環. 環境中の物質循環. 農林水産省農業環境技術研究所編. 168-188



第9図 たい肥を5年間連用した土壌の肥料成分

Fig.9. Fertilizer in soil put manure 5 years

7. 平浩一郎. 2003. オガクズ牛糞たい肥大量施用下における土壌溶液の動態. 土肥学会講演要旨集. 49:136
 8. 高橋和彦・佐藤克昭・中村元弘. 1995. 土壌中の無機態窒素集積と微生物バイオマス化による対策. 平成6年度関東東海試験研究成果・計画概要集.11-1-18
 9. 高井康雄・早瀬達郎・熊沢喜久雄. 1976. 家畜ふん尿. 植物栄養土壌肥料大事典. 養賢堂.1274-1275
 10. 瀧勝俊. 1996. 水田における家畜ふんたい肥の適正施用技術に関する研究 第1報. 愛知農総試研報.28:89-95
 11. 上蘭一郎・長友誠・上之蘭茂・中園充紀・前原隆史. 2003. 露地野菜畑における有機物由来窒素の動態. 九州沖縄農業研究成果情報.18:575-576
 12. 揚宗興・陽捷行. 1991. 土壌からの亜酸化窒素発生. 土肥誌. 62:654-661
-