

ダイコン栽培における土壌および肥料の違いが亜酸化窒素の発生におよぼす影響

誌名	石川県農業総合研究センター研究報告 = Bulletin of the Ishikawa Agriculture Research Center
ISSN	13429701
巻/号	22
掲載ページ	p. 43-48
発行年月	1999年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ダイコン栽培における土壌および肥料の違いが亜酸化窒素の発生におよぼす影響

宮川 修

Effects of soil types and fertilizer conditions on nitrogen monoxide emission from radish-cultivated soil

Osamu MIYAKAWA

Summary

Nitrogen monoxide (N_2O) emission from radish-cultivated soils, was measured using two types of soils; sandy clay loam and sand under different fertilizing conditions with different types of; chemical fertilizer, and the following results were obtained.

1. The amount of N_2O emission from fertilized soils was increased as soil moisture contents increased under both conditions.
2. The amount of emitted N_2O from sandy clay loam cultivating radish was 69.1 mg m^{-2} (solid chemical fertilizer) and 38.1 mg m^{-2} (coated chemical fertilizer). From sandy clay loam to which solid chemical fertilizer was applied 0.31% of fertilized nitrogen emitted as N_2O . When chemical fertilizer was applied, The amount of N_2O emission from sandy clay loam reduced to 0.16% of fertilized nitrogen.
3. The amount of emitted N_2O from sand soil under radish-cultivated condition were 16.1 mg m^{-2} (solid chemical fertilizer) and 14.2 mg m^{-2} (coated chemical fertilizer). From soil to which solid chemical fertilizer applied 0.07% of fertilized nitrogen emitted as N_2O . When coated chemical fertilizer was applied, The ratio of N_2O emission was 0.06 % of fertilized nitrogen.
4. In sandy clay loam, to which coated chemical fertilizer was applied, the yield of radish was less than that with solid chemical fertilizer, but the amount of N_2O emission from soil reduced to the as half amount of that with solid chemical fertilizer.

In sand, however, the yields of radish and the amount of N_2O emission from soil were amount same between applications of solid chemical fertilizer and coated chemical fertilizer.

I 緒 言

地球温暖化を引き起こすといわれる温室効果ガスのひとつである亜酸化窒素 (N_2O) は、発生源が自然界では海洋や土壌が主であるが、人為的には、食糧生産のために農耕地に施用される窒素肥料からの発生量も多いことが指摘されている¹⁾。

大気中には亜酸化窒素は2,400Tg- N_2O 存在し、毎年0.2~0.3% ($4.8\sim 7.2 \text{ Tg-N}_2\text{O}\cdot\text{year}^{-1}$) ずつ増加しており²⁾、施肥農地では施肥窒素量に対する亜酸化窒素生成量の割合が0.06~0.34%といわれているが、測定例があまりにも少ない。

農業生態系から大気に放出される亜酸化窒素は、硝化成作用と脱窒作用で生成され、その発生量は土壌のさまざまな環境要因 (pH、湿度、水分、酸素分圧、有機物含量、肥料の種類、作目、栽培管理、

土壌の種類等)に影響され、大きく異なるとされている。今必要とされているのは、これらの要因を考慮した多くの測定例である^{3),4),5)}。

石川県では、普通畑として5,010haが作付けされており⁶⁾、うち、約2割の1,000ha程度が砂丘畑に作付けされている。砂丘畑は保肥力が小さく、透水性が大きく、保水力が小さいことから土壌養分が流亡しやすいため、窒素肥料が多量に投入される傾向が強い。しかしながら、これまで、畑土壌における亜酸化窒素の発生量についての研究報告事例はきわめて少ない。中でも、砂土における亜酸化窒素の発生量についての調査報告は殆どみられない。

これらのことから、砂質植壌土および砂土の野菜畑における亜酸化窒素の発生実態の調査および、肥培管理による発生抑制対策を検討したので報告する。

なお、本研究は環境保全機能向上土壌施肥管理技術確立事業(土壌生成温室効果等ガス動態調査)としておこなわれたものであり、農林水産省関係各位のご指導に対し、心から感謝の意を表します。また、本報告のとりまとめに際し、石川県農業短期大学附属農業資源研究所田知本正夫氏には有益なご教示と原稿のご校閲を賜った。また、砂丘地試験場にはほ場の提供、並びに各位からご協力をいただいた。ここに記して、心から感謝の意を表します。

II 試験方法

1. 試験ほ場および土壌条件

試験は、農業総合研究センター内ほ場(昭和62年造成)の、砂を65.2%、粘土17.5%を含む砂質植壌土(黄色土、造成ほ場)および、河北郡宇ノ気町の砂丘地農業試験場内の砂土と、異なる土壌型で実施した。栽培作物としてダイコンを供試し、慣行肥料と緩効性肥料とのちがいが、亜酸化窒素の発生におよぼす影響について解析をおこなった。

1) 耕種概要

農業総合研究センター内のほ場において、慣行肥料として固形30号を用いた対照区と、緩効性肥料としてロング424(被覆燐硝安カリ、40日溶出タイプ)を用いた緩効区の両試験区を設置し、基肥は8月17日、追肥(対照区のみ)は9月11日、10月2日の2回、いずれも窒素総量としてN22kg/10aを施用し、ダイコン(品種:源助ダイコン)を作付けした(第1表)。

一方、砂丘地農業試験場内のほ場においても、砂質植壌土における試験と同様の試験区を設置し、基肥を8月17日、追肥(対照区のみ)9月4日の1回、窒素総量としてN23kg/10aを施用し、ダイコン(品種:源助)を作付けした(第2表)。

第1表 試験区の構成および処理内容

(砂質植壌土: kg/10a)

区名	基肥(8/17)			追肥(9/11,10/2)			備考
対照区	N:12	P ₂ O ₅ :20	K ₂ O:12	N:10	P ₂ O ₅ :10	K ₂ O:10	固形30号
緩効区	N:22	P ₂ O ₅ :27	K ₂ O:22	-	-	-	ロング424(40)

品種・耕種概要 ダイコン(源助),は種(8/17),収穫(10/20)
追肥は2回に分施

第2表 試験区の構成および処理内容

(砂土: kg/10a)

区名	基肥(8/17)			追肥(9/4)			備考
対照区	N:13	P ₂ O ₅ :13	K ₂ O:13	N:10	P ₂ O ₅ :10	K ₂ O:10	固形30号
緩効区	N:23	P ₂ O ₅ :20	K ₂ O:23	-	-	-	ロング424(40)

品種・耕種概要 ダイコン(源助),は種(8/17),収穫(10/20)

なお、試験前土壌の化学性は第3・4表のとおりである。

2) 亜酸化窒素の採取・測定方法

土壌から大気中へ放出される亜酸化窒素の採取は、調査当日午前中にステンレス製チャンパー(無底円筒型、直径70cm高さ20cm)を畑上に設置し、0分、15分、30分のチャンパー内の試料空気をテドラーバッグに捕集した。採取した試料空気は、当日中にECD検出器付きガスクロマトグラフ(島津GC14A)を用い、亜酸化窒素を定量分析した。分析条件は八木らの方法⁷⁾によった。カラム充填剤:ポラパックQ(80~100メッシュ)、キャリアーガス(高純度窒

第3表 試験前土壌の化学性

(砂質植壌土: mg/100g 乾土)

粒径組成(%)					pH H ₂ O	EC mS/cm	T-C %	T-N %	C/N	Av-P ₂ O ₅	CEC meq	Ex-base		
粗砂	細砂	沙土	粘土	土性								CaO	MgO	K ₂ O
14.9	50.3	17.3	17.5	SCL	6.1	0.145	1.07	0.102	10.5	9.5	21.0	210	105	62

第4表 試験前土壌の化学性

(砂土: mg/100g 乾土)

粒径組成(%)					pH H ₂ O	EC mS/cm	T-C %	T-N %	C/N	Av-P ₂ O ₅	CEC meq	Ex-base		
粗砂	細砂	沙土	粘土	土性								CaO	MgO	K ₂ O
74.9	23.9	0.7	0.5	S	6.9	0.021	0.118	0.021	5.6	29	3.5	64	31	45

素ガス)の流量を25ml/min、検出器温度を340℃、カラム温度は70℃とし、亜酸化窒素測定のため妨害となる酸素は切り替えバルブユニット(島津製SAMPRING/PRECUT VALVE)により除去した。

栽培期間中の発生量は、基肥施用日のフラックスを0とし、各測定日間の平均フラックスにその時間幅をかけ、それらを合計して算出した。

3) 土壌化学性の分析

分析に供した土壌は、試験前ほ場の0~15cmまでの層で採取・風乾し、分析試料とした。全炭素および全窒素については乾式燃焼法(NCアナライザ)、その他の項目については常法⁹⁾にしたがって分析した。

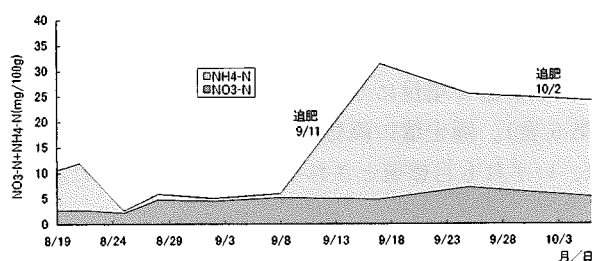
4) 硝化能測定

乾土100g相当の試料に、最大容水量の60%となるように加えるべき水の量を求め、その量の水に硫酸アンモニウム(NH₄-N 20mg相当)を加え、30℃の恒温器中で培養した。1週間ごとに試料を取り出し10%塩化カリウム水溶液で振とう抽出し、セミミクロ蒸留法により無機態窒素を測定した。

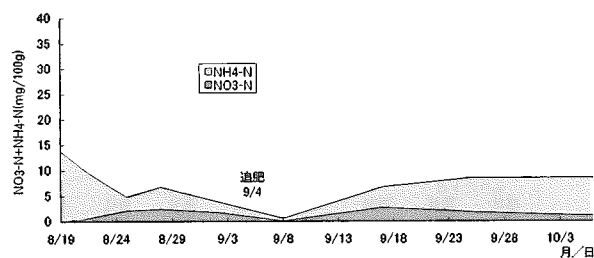
III 実験結果

1. 土壌中無機態窒素の推移

砂質埴壤土では、基肥施用から、10月6日までの50日間の無機態窒素(アンモニア態窒素+硝酸態窒



第1図 無機態Nの推移(砂質埴壤土:对照区)

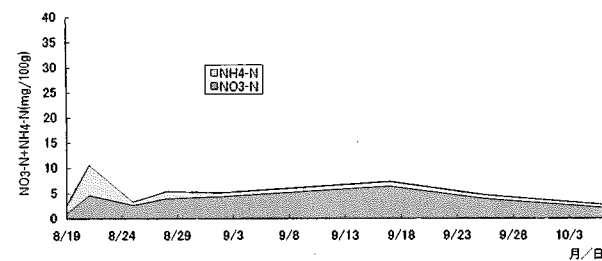


第3図 無機態Nの推移(砂土:对照区)

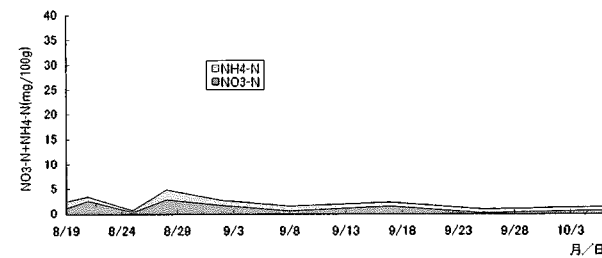
素)は、对照区では、当初、アンモニア態窒素量が硝酸態窒素量より高く推移した後、約1週間後には低下した。同時に硝酸態窒素量が増加したことから硝化が進んだものと考えられた。その後、追肥により再びアンモニア態窒素量が増加し、硝酸態窒素量も収穫期まで5~7 mg/100 g程度を維持した(第1図)。緩効区では、基肥施用後1週間程度はアンモニア態窒素量が高かったものの、以後収穫期まで对照区に比較して、硝酸態窒素の割合は高く推移し、9月中旬の6 mg/100 g程度をピークに残存硝酸態窒素量は徐々に低下した(第2図)。

一方、砂土の对照区も基肥施用直後からアンモニア態窒素量が硝酸態窒素量より高く、硝酸態窒素量は、基肥施用10日後には3 mg/100 gでピークとなり、20日後には残存無機態窒素が無くなった後、追肥施用により2週間後には再びピークとなり収穫期まで緩やかに低下した(第3図)。緩効区では、栽培期間を通して硝酸態窒素量がアンモニア態窒素量より高く推移した(第4図)。

両土壌とも、固形肥料(アンモニア態窒素)を施用した对照区では、無機態窒素量に占めるアンモニア態窒素量の割合が高かったが、被覆肥料(アンモニア態窒素50%、硝酸態窒素50%)を施用した緩効区では逆に、硝酸態窒素量の割合が高く推移するという傾向を示した。硝酸態窒素の生成量は土壌によって異なり、砂質埴壤土では1~7 mg/100 gの範囲で推移したのに対し、砂土では0.1~3 mg/100 gの範囲で推移し、両土壌における硝化能に差があることが示唆された。



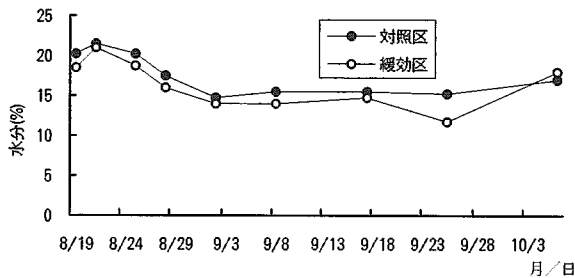
第2図 無機態Nの推移(砂質埴壤土:緩効区)



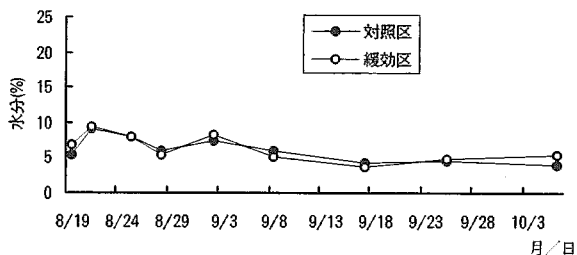
第4図 無機態Nの推移(砂土:緩効区)

2. 土壌水分の推移

栽培期間中における土壌水分は、砂質埴壤土では14~20%、砂土では4~9%の範囲で推移し、両土壌間における水分保持能力には明瞭な差が認められた。砂質埴壤土では、緩効区が対照区に比較して含水率が低い傾向がみられたがその原因は不明である。一方、砂土では両肥料間に含水率の差が認められなかった。また、両土壌とも、は種直後から9月上旬まで気温が高かったため水分の供給が充分おこなわれ、以後収穫期頃まで緩やかに低下した(第5・6図)。



第5図 土壌水分の推移(砂質埴壤土)

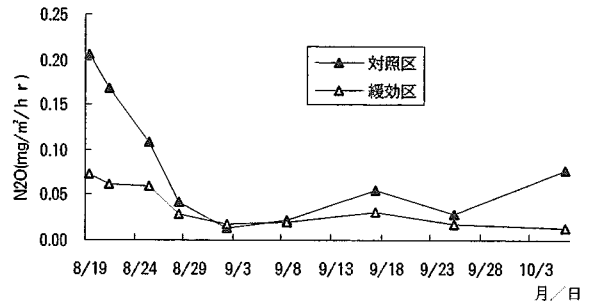


第6図 土壌水分の推移(砂土)

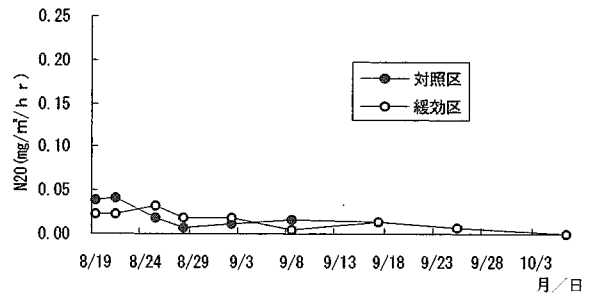
3. 亜酸化窒素の発生量

砂質埴壤土の対照区は、基肥施用直後に0.2mg/m²/hrの発生量を示したが、追肥施用時まで急減した。しかし、追肥施用に伴い発生量は増加する傾向がみられた。緩効区も、基肥施用直後は対照区と同様最も多かったものの、発生量は0.07mg/m²/hrと対照区の約1/3であった。また、9月上旬までに低下した後、収穫期まで0.02mg/m²/hr程度の発生量で推移した(第7図)。一方、砂土の対照区では基肥施用直後は多いものの、0.04mg/m²/hr程度と砂質埴壤土の1/5の発生量であった。8月末に低下した後、追肥により若干の上昇がみられたものの、収穫期まで低く推移

した。緩効区は、基肥施用1週間後に最大のピークを示したが、0.03mg/m²/hrとその発生量は低かった。その後、収穫期まで対照区と同様に低く推移した(第8図)。



第7図 N₂O fluxの推移(砂質埴壤土)



第8図 N₂O fluxの推移(砂土)

4. 栽培作物の生育・収量調査

砂質埴壤土では、対照・緩効の両処理間にダイコンの生育・収量の差が認められなかった(第5表)。砂土では、両処理間では葉数、葉長、葉幅等の生育は対照区が緩効区に比較し優ることが認められた。しかし、収穫時には葉重のみに差が認められたものの、その他の項目については差が認められなかった(第6表)。両土壌の両処理間とも、ダイコンの収量は、いずれも目標値とされる5t/10aを上回った。

第5表 生育調査(砂質埴壤土)

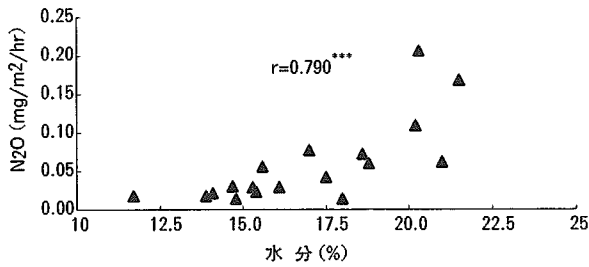
区名	9月25日			10月20日				
	葉数(枚)	葉長(cm)	葉幅(cm)	全重(g)	根重(g)	葉重(g)	根径(mm)	根長(cm)
対照区	26	54.9	18.3	2217	959	1258	84	20.8
緩効区	27	51.9	18.7	1901	824	1077	78	19.4
検定	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

検定: 平均値の有意差検定 ns:5%水準で有意差なし

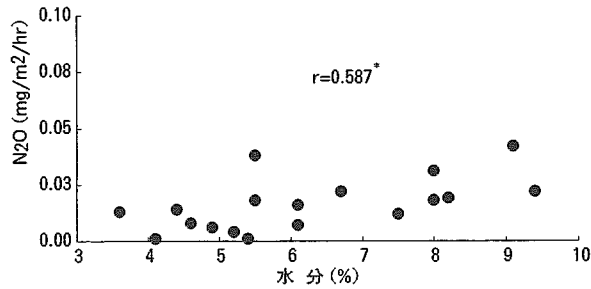
第6表 生育調査(砂土)

区名	9月25日			10月20日				
	葉数(枚)	葉長(cm)	葉幅(cm)	全重(g)	根重(g)	葉重(g)	根径(mm)	根長(cm)
対照区	23	53.3	18.7	1415	1110	305	82	26.0
緩効区	21	42.4	15.2	1132	1132	924	81	23.0
検定	*	**	**	ns	ns	*	ns	ns

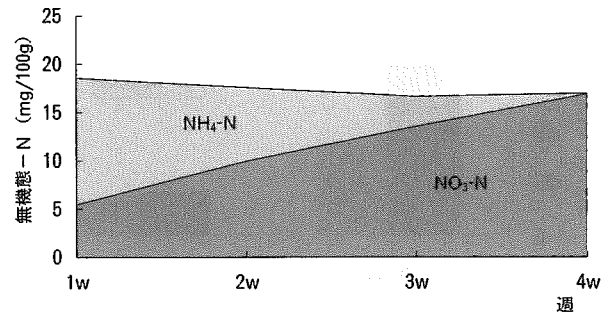
検定: 平均値の有意差検定 ns:5%水準で有意差なし,*:5%水準で有意差有り,**:1%水準で有意差有り



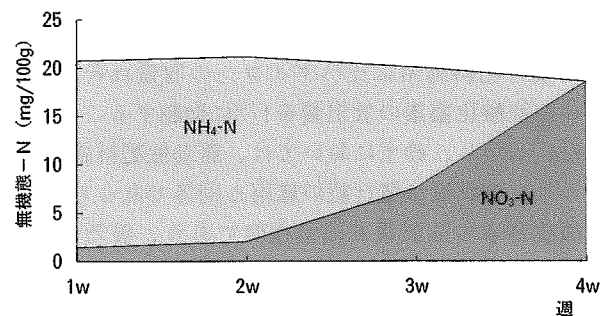
第9図 土壌水分とN₂O fluxの関係(砂質埴壤土)



第10図 土壌水分とN₂O fluxの関係(砂土)



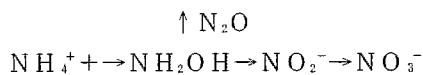
第11図 硝化速度(砂質埴壤土)



第12図 硝化速度(砂土)

IV 考 察

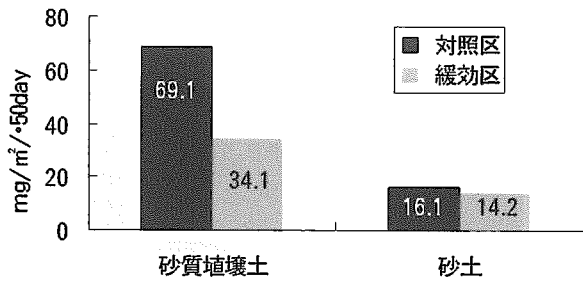
施肥窒素に由来して大気に放出される亜酸化窒素は、好気条件下でアンモニウムイオンが硝酸イオンに酸化される過程で発生するもので、次のように示され、ほとんどがこの過程を経由する⁴⁾といわれている。



本試験でも、施肥直後はNH₄-Nが高く、同時に亜酸化窒素濃度も高くなる傾向がみられており、徳永らの報告¹⁰⁾とほぼ同様の結果が得られている。一般に、土壌水分含量が高まると亜酸化窒素発生を促進するといわれている^{11),12),13)}。砂質埴壤土の土壌水分と亜酸化窒素発生量との関係では相関係数がr=0.790***と極めて高く、砂土でもr=0.587*となり、本試験でも両者の間には密接な関係が認められた(第9・10図)。しかし、両土壌の硝化能を測定した結果、第11・12図に示すように砂質埴壤土と砂土では無機態窒素量と亜酸化窒素の発生量には違いがみられる。砂質埴壤土では砂質土壌に比べ水分保持能力が高く、施肥直後から硝化が始まり、NH₄-Nが漸減すると同時にNO₂-Nが増加し、4週間で硝化を終えた。一方、砂土では水分

保持能力が低く、施肥後2週間は硝化されずに殆どがNH₄-Nとして残存し、その後1週間で漸増し、さらに1週間で急増し、4週間後には砂質埴壤土同様に硝化を終えた。これは、両土壌における硝化速度の違いによるものと考えられるが、両土壌とも亜酸化窒素の発生は、施肥直後のNH₄-Nが高く、かつ水分含量が高い時期に多く発生するものと考えられる。そのため鈴木¹³⁾は、施肥直後の高い土壌水分は多くのN₂Oの発生をもたらすので、必要以上の多灌水を控えることを指摘している。本試験でも、これらの報告と同様の傾向がみられることから、施肥直後の水管理によって亜酸化窒素の発生を軽減できると考えられる。

栽培期間50日のダイコン作における亜酸化窒素の放出量は、砂質埴壤土の対照区で69.1mg/m²、緩効区が34.1mg/m²。砂土の対照区で16.1mg/m²、緩効区が14.2mg/m²と両土壌で大きく異なる結果となった(第13図)。また、施肥窒素から大気中に亜酸化窒素として放出される割合は、砂質埴壤土では、それぞれ0.31%、0.16%、砂土では0.07%、0.06%と試算された。陽ら³⁾、畑土壌では施肥窒素量に対する亜酸化窒素生成量の割合は0.06~0.34%であったと報告しており、これらの数値は本試験の結果とよく一致するものであ



第13図 硝化速度 (砂土)

た。

本試験では、砂質埴壤土における緩効性肥料施用は、慣行肥料施用に比べダイコンの収量は若干劣るものの亜酸化窒素の放出量を1/2に抑制することができた。しかし、砂土においては、緩効性肥料施用は、ダイコンの収量は慣行肥料施用と同等であるものの、亜酸化窒素の放出量も同量程度であり、緩効性肥料施用が、亜酸化窒素の放出量を抑制する効果は認められなかった。

V 摘 要

野菜畑からの、亜酸化窒素ガスの発生実態と抑制対策を検討するため、砂質埴壤土と砂質土壌の異なる土壌タイプでダイコンを供試し、肥効の異なる2種類の肥料を用いて試験を行い、次の結果を得た。

1. 施肥された畑土壌における亜酸化窒素の発生は、いずれの土壌タイプでも土壌水分が多いほど発生量が多くなった。
2. 砂質埴壤土のダイコン作における亜酸化窒素の発生量は、慣行肥料では69.1mg/m²、緩効性肥料は34.1mg/m²であった。慣行肥料では施肥窒素のうち0.31%が亜酸化窒素として放出されたが、緩効性肥料では0.16%に抑制された。
3. 砂土のダイコン作における亜酸化窒素発生量は、慣行肥料では16.1mg/m²、緩効性肥料では14.2mg/m²であった。慣行肥料では、施肥窒素のうち0.07%が亜酸化窒素として放出され、緩効性肥料では0.06%であった。
4. 砂質埴壤土では、緩効性肥料の施用によりダイコンの収量は慣行肥料より若干低かったものの、亜酸化窒素の発生量を1/2に抑制することができた。一方、砂土では緩効性肥料施用により収量は慣行肥料並みに維持されるものの、亜酸化窒素発生量

の抑制効果は認められなかった。

VI 引用文献

- 1) 公害資源研究所地球環境特別研究室編 (1990) 地球温暖化の対策技術、オーム社。
- 2) U. S. EPA (1990) Greenhouse gas emissions from agricultural systems. Vo.1 summary report 20P-2005.
- 3) 陽捷行 (1988) 大気環境への土壌のかかわり科学、58: 651-654.
- 4) 陽捷行・八木一行 (1989) 研究ジャーナル、12(8): 14-19.
- 5) 西脇謙二・井上恒久 (1996) 堆肥施用による鉍質土壌畑からの亜酸化窒素ガスの発生抑制、愛知県農業総合試験場研究報告、28: 165-169.
- 6) 石川県農林水産部 (1997) 石川の農林水産業'97.
- 7) 八木一行・鶴田治雄・陽捷行 (1991) CH₄・N₂Oフラックス測定マニュアル、農業環境技術研究所資源・生態管理科研究集録、7: 143-158.
- 8) 農林水産省農蚕園芸局農産課 (1979) 土壌環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法。
- 9) 細見正明 (1992) 土壌環境への影響、水環境学会誌、115 (11): 15-20.
- 10) 徳永哲夫・谷崎司・木村靖・福田和正 (1996) 茶園土壌における亜酸化窒素の発生、山口農試研報、47: 59-66.
- 11) 陽捷行・大西将・福士定雄 (1983) 土壌中の硝酸化成の過程で発生するN₂O土肥誌、54: 277-280.
- 12) 揚宗興・陽捷行 (1991) 土壌生態系のガス代謝と地球環境 3 土壌からの亜酸化窒素発生、土肥誌、62: 654-661.
- 13) 鈴木聡 (1996) 畑地における亜酸化窒素の発生と制御方法、栃木農試研報、44: 33-47.