

砂質畑土壌における豚ふん堆肥連用による一酸化二窒素排出量の評価

山本 岳¹⁾・菅野淳夫²⁾・安井俊樹¹⁾・鈴木玉与³⁾・瀧 勝俊¹⁾

摘要:砂質畑土壌における、豚ふん堆肥の施用による地球温暖化への影響を評価するために、温室効果ガスである一酸化二窒素(N₂O)の排出量及び土壌炭素蓄積量を測定した。その結果、豚ふん堆肥連用区では、N₂Oは堆肥無施用区に比べて多く排出された。また、豚ふん堆肥を1年目のみ施用した区では、豚ふん堆肥由来のN₂Oの排出量は施用6年目まで続いた。N₂Oの積算排出量は、積算余剰窒素量と強い正の相関が認められた。試験ほ場の土壌炭素蓄積量は、堆肥無施用区および1年施用区では、大きく減少したのに対し、堆肥連用区では減少量はわずかで試験開始時の水準を概ね維持した。含量を比較すると、堆肥連用区では土壌炭素蓄積量の減少はわずかであったがN₂O排出量が多く、堆肥無施用区よりも温室効果ガス抑制効果は低かった。

キーワード:一酸化二窒素、豚ふん堆肥、土壌炭素、砂質畑土壌、地球温暖化

Evaluation of Dinitrogen Monoxide Emissions by Using Swine Manure in the Field

YAMAMOTO Takeshi, SUGANO Atsuo, YASUI Toshiki, SUZUKI Tamayo,
and TAKI Katsutoshi

Abstract: We measured dinitrogen monoxide (N₂O) emissions and soil carbon accumulation in the soil of a sandy field using swine manure. The continuous use of swine manure resulted in higher N₂O emissions compared to the use of chemical fertilizers alone. These emissions endured for six years when swine manure was used only in the first year. The accumulated N₂O emissions correlated with the amount of surplus nitrogen accumulated. Soil carbon content decreased without compost or compost applied only in the first year, but when used every year, the decrease was small and maintained at the initial value. When compost was used every year, there was little reduction in soil carbon, but high N₂O emissions. Therefore, the greenhouse gas suppression effect was lower than when compost was not applied.

Key Words: Dinitrogen monoxide, Swine manure, Soil carbon, Sandy field soil, Global warming

本研究は農地土壌炭素貯留等基礎調査事業のうち、農地管理技術検証によって実施した。

¹⁾ 環境基盤研究部 ²⁾ 環境基盤研究部(現園芸農産課) ³⁾ 環境基盤研究部(退職)

(2021.9.8受理)

緒言

近年、地球温暖化の問題は深刻さを増し、農業分野においても温室効果ガス削減の取組が求められている¹⁾。農地から排出される温室効果ガスの一つである一酸化二窒素(N_2O)は、同量の二酸化炭素(CO_2)に対して約298倍の温室効果があり、その排出量の約45%が農業に起因している²⁾。農業における N_2O の主な発生源は、化学肥料や堆肥等の有機物に含まれている窒素(N)で、微生物により代謝される過程で発生する³⁾。Nは作物生育には必須であるため、 N_2O の排出抑制と作物の生産性向上とは表裏一体の関係にある。

これまで砂質畑土壌において、土壌の理化学性の改良や作物への養分供給を目的として、堆肥などの有機物が施用されてきたが、近年有機物を農地に施用することは、土壌中に炭素(C)が蓄積するとから温室効果ガスの吸収源としても期待されている⁴⁾。特に、愛知県は畜産業も盛んであるため、家畜ふん堆肥を積極的に農地還元することで地球温暖化のさらなる抑制が期待できる。

家畜ふん堆肥の施用による農地からの N_2O 排出実態については、牛ふん堆肥や鶏ふん堆肥についての報告は散見されるが^{5,6)}、豚ふん堆肥についての報告は少ない。しかも、現在堆肥として施用したN量のうち N_2O として排出される割合、すなわち排出係数は、化学肥料の排出係数を代用しており²⁾、家畜ふん堆肥の排出係数を新たに提示することで堆肥由来の N_2O 排出量のより精緻な評価が可能となる。家畜ふん堆肥をはじめとする有機物は土壌中で緩やかに分解するため、その施用効果は長期にわたるだけでなく、施用効果を持続的に得るため有機物を連用する場合もある。したがって、 N_2O の発生については施用当年だけでなく長期間にわたる排出状況や堆肥を連用した場合の排出量を調査、評価することが必要である。既報⁷⁾では、砂質露地畑における豚ふん堆肥の3年連用および1年目のみ施用に伴う N_2O フラックスを調査し、1年目に施用した豚ふん堆肥由来の N_2O 排出は3年を経過しても継続していることが明らかとなったが、 N_2O 排出が終息する時期については不明であった。

そこで、本研究では、豚ふん堆肥を施用した砂質畑土壌において、堆肥施用当年から7年間の N_2O 排出量を調査し、堆肥施用による N_2O 排出の継続性について明らかにした。さらに、堆肥を連用した場合の N_2O 排出量と土壌C蓄積量の推移とから、豚ふん堆肥による温室効果ガス抑制効果についても評価を試みたので報告する。

材料及び方法

1 試験ほ場

試験は、2013年10月から2020年10月まで、愛知県長久手市(愛知県農業総合試験場)の露地畑で実施した。なお、2016年作については試験を一時中断した。

試験ほ場の土壌は典型山地黄色土に分類され、地表下1.0 mまでの土性は砂質～砂壤土である⁸⁾。試験開始時の作土の全炭素(TC)および全窒素濃度(TN)は、それぞれ9.56 g kg⁻¹、0.94 g kg⁻¹であった。

2 試験区

各試験区の堆肥及び肥料の施用量を表1に示す。試験区は、連用区、1年施用区、堆肥無施用区、無窒素区を設けた。連用区では、豚ふん堆肥を愛知県の有機質資材施用基準⁹⁾に基づき、乾物換算で10 a当たり1000 kgを毎年施用した。また、2013年のみ豚ふん堆肥を基準量施用し、以降は堆肥を無施用とした区を1年施用区とした。さらに、堆肥を施用しない区を堆肥無施用区、土壌のみから排出される N_2O を測定するためにNを施用しない無窒素区を設けた。

用いた豚ふん堆肥は、水分調整に戻し堆肥を使用し、少量のモミガラを含んだものを施用した。堆肥の成分含量は、県内で生産される堆肥の平均値¹⁰⁾と比べて水分とC/N比が低かった(表2)。

施肥量は無窒素区以外同一とし、愛知県の施肥基準⁹⁾に準じて施用した。窒素として硫安、リンとして過リン酸石灰、カリウムとして硫酸加里を用いた。

試験は1区面積を2013年作から2015年作は21.6 m²で、2017年作から2019年作は18 m²の3反復で行った。

3 耕種概要

供試作物として、県内の砂質畑土壌で作付けの多いタマネギを栽培した。作型は、9月播種、11月定植、4月下旬収穫の作型とし、品種には「T456」(タキイ種苗、京都)を用いた。

毎年10月下旬に豚ふん堆肥を施用し、11月中旬に基肥を全面全層に施用後、定植した。定植は株間20 cm、条間15 cmの4条植で、栽植密度は27.8株 m⁻²とした。

1月と2月に追肥を畝上に表層施肥し、4月中旬から5月上旬に収穫した。収穫時には作物体を全て持ち出し、根のみほ場へ戻した。

表1 各試験区の堆肥及び化学肥料施用量

試験区	豚ふん堆肥 (kg-DW 10a ⁻¹)	化学肥料(kg 10a ⁻¹)						
		N			P ₂ O ₅		K ₂ O	
		基肥	追肥 1	追肥 2	基肥	基肥	追肥 1	追肥 2
連用区	1000	11	6	6	15	11	6	6
1年施用区	1000	11	6	6	15	11	6	6
堆肥無施用区	0	11	6	6	15	11	6	6
無窒素区	0	0	0	0	15	11	6	6

収穫後は N_2O フラックスの測定のために畝を崩し、全面耕起した。裸地期間中は、雑草の発生状況を見て、除草剤を用いて裸地状態を保った。なお、調査を行わなかった2016年10月から2017年10月についても全面耕起により裸地状態を維持した。

4 調査項目と方法

(1) タマネギの収量と窒素吸収量

収穫時に、各区から2か所で、欠株がなく中庸な生育をした連続した4株について、根を含めて掘り起こすように採取し、1区合計8株について、鱗茎部の新鮮重から収量を算出した。鱗茎部と葉、根はそれぞれに分けて新鮮重および乾物重を測定した後、粉碎してTNをN.C-ANALYZER SUMI GRAPH (NC-22F、住化分析センター株式会社、東京)を用いて測定し、N吸収量を算出した。

(2) N_2O フラックス

N_2O フラックスの測定にはクローズドチャンバー法を用いた¹¹⁾。ガスのサンプリングはタマネギの作付期間中は無底角形(底面積 0.18 m^2 、高さ 0.25 m)のチャンバー台座を、各試験区にタマネギを4株内側に収めるように埋め込み、その上に無底角型(底面積 0.18 m^2 、高さ 0.5 m)のチャンバーを設置して行った。設置から1分経過した時点をゼロタイムとして、0分後、10分後、20分後にチャンバー内のガスを採取し、その濃度差から排出量を算出した。タマネギの作付期間以外は塩ビ管(内径 25 cm 、長さ 10 cm)を地表から高さ 5 cm になるように打ち込み、調査時のみ同径の塩ビ管のキャップ(高さ 5 cm)を被せて作付期間と同様に管内のガスを採取した。サンプリング頻度は概ね週に1~2回とし、施肥や耕起などの作業時には適宜調査回数を追加した。

N_2O 濃度はECD付きガスクロマトグラフ(GC14-BおよびGC14-A、島津製作所、京都)で定量した。カラムにはPorapakQS(ジーエルサイエンス株式会社、東京)を、キャリアガスには高純度窒素を使用した。

(3) 土壌中無機態窒素濃度の推移

N_2O のサンプリング時に、作土 $0\sim 10\text{ cm}$ を各区から採取し、 5 mm 目篩で篩別後、アンモニア態窒素($NH_4\text{-N}$)と硝酸態窒素($NO_3\text{-N}$)と亜硝酸態窒素($NO_2\text{-N}$)を連続流れ分析装置AA2型(ビーエルテック株式会社、東京)を用いて、それぞれ

インドフェノール青吸光度法、銅・カドミウム還元ーナフチルエチレンジアミン吸光度法で測定した¹²⁾。

(4) 土壌水分量、降水量

試験期間中、地表から 5 cm 深にセンサーを埋設し、土壌水分を1時間間隔で測定した。土壌水分測定には静電容量式土壌水分センサー(ECH2O 10HS、METER Group、アメリカ合衆国)をデータロガー(Em5b、METER Group、アメリカ合衆国)に接続したものをを用いた。なお、用いた静電容量式センサーは土壌の乾燥密度による影響を受けるため、随時採土管を用いて土壌水分量を実測し、センサーの読み取り値を補正した¹³⁾。降水量は、農業総合試験場内の気象観測装置により測定した。

(5) 土壌炭素蓄積量

土壌C蓄積量の変化を把握するため、堆肥施用前と2019年作試験終了時にライナー採土器(DIK-100C、大起理化学工業株式会社、埼玉)を用いて土壌を表層から深さ 30 cm まで採取した。採取した土壌サンプルは作土($0\sim 20\text{ cm}$)と下層土($20\sim 30\text{ cm}$)に分け、風乾、篩別後TCをN.C-ANALYZER SUIGRAPH(NC-22F、住化分析センター株式会社、東京)を用いて測定した。

得られたTCに各層の層厚と仮比重を乗じ、合算したものを土壌C蓄積量とした。

試験結果

1 タマネギの収量と窒素吸収量

表3に連用区、1年施用区および無窒素区のタマネギの収量を、堆肥無施用区を100とした収量指数で示した。収量は全体的に低く、愛知県の施肥基準⁹⁾において目標収量である 8 kg m^{-2} には届かないことが多かった。特に2013年作と2017年作は定植後の生育が悪く、収量は大きく減少した。連用区の収量指数は73~118と堆肥無施用区に対して年次間のばらつきが大きかった。

表4に各試験区のN投入量とN吸収量、作物に吸収されなかった余剰N量を示した。タマネギのN吸収量は、堆肥無施用区と連用区との間には有意な差は認められなかった。

表2 豚ふん堆肥の成分

年次	水分 (%)	pH (1:10)	TC (%)	TN (%)	C/N	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
2013	20.1	8.5	37.5	5.0	7.5	7.7	3.0
2014	21.3	8.5	37.4	4.2	8.9	6.7	2.2
2015	19.4	8.5	38.8	4.4	8.8	7.5	2.6
2017	19.4	8.4	31.0	4.3	7.2	6.3	2.4
2018	17.6	8.2	36.7	5.1	7.2	7.3	2.3
2019	16.3	8.2	31.6	4.3	7.3	7.2	2.2
平均	19.1	8.4	35.3	4.5	7.8	7.1	2.4

2 N₂Oフラックス

N₂Oフラックスの推移を図1に示す。2013年作と2019年作を除き、連用区では堆肥施用後にN₂Oフラックスの大きなピークが認められ、1か月程度の間続いた。2013年作は長期間にわたりN₂Oフラックスの値は高い状況が続いた。2019年作

は10月から11月のN₂Oフラックスは低かったが、5月以降に著しい増加がみられた。

堆肥無施用区および2年目以降の1年施用区では11月中旬の基肥施用から12月にかけてN₂Oフラックスが増加したが、同時期の連用区の1割前後であった。連用区および1年

表3 タマネギの収量指数

試験区	2013 作	2014 作	2015 作	2017 作	2018 作	2019 作
連用区	93	84	118	114	73	109
1 年施用区	93	93	107	95	75	97
無窒素区	33	20	24	22	14	14
堆肥無施用区	100 (2396)	100 (6898)	100 (7648)	100 (3520)	100 (5679)	100 (6790)

堆肥無施用区の括弧内の数値は収量(kg 10a⁻¹)

表4 試験ほ場における窒素収支

試験区	年次	N 投入量(kg-N 10a ⁻¹)			N 吸収量 (kg-N 10a ⁻¹) (c)	余剰 N 量 (kg-N 10 ⁻¹ y ⁻¹) (a+b-c)
		化肥 (a)	堆肥 (b)	合計 (a+b)		
連用区	2013	23	50	73	3.9	69.1
	2014	23	42	64	10.4	53.6
	2015	23	44	67	14.3	52.7
	2017	23	43	66	7.1	58.9
	2018	23	51	74	9.2	64.8
	2019	23	43	66	18.2	47.8
1 年施用区	2013	23	50	73	3.9	69.1
	2014	23	0	23	12.3	10.7
	2015	23	0	23	15.3	7.7
	2017	23	0	23	7.8	15.2
	2018	23	0	23	9.8	13.2
	2019	23	0	23	16.3	6.7
堆肥無施用区	2013	23	0	23	4.3	18.7
	2014	23	0	23	12.3	10.7
	2015	23	0	23	14.1	8.9
	2017	23	0	23	6.2	16.8
	2018	23	0	23	12.6	10.4
	2019	23	0	23	17.5	5.5
無窒素区	2013	0	0	0	1.2	-1.2
	2014	0	0	0	1.4	-1.4
	2015	0	0	0	1.8	-1.8
	2017	0	0	0	1.1	-1.1
	2018	0	0	0	1.1	-1.1
	2019	0	0	0	1.0	-1.0

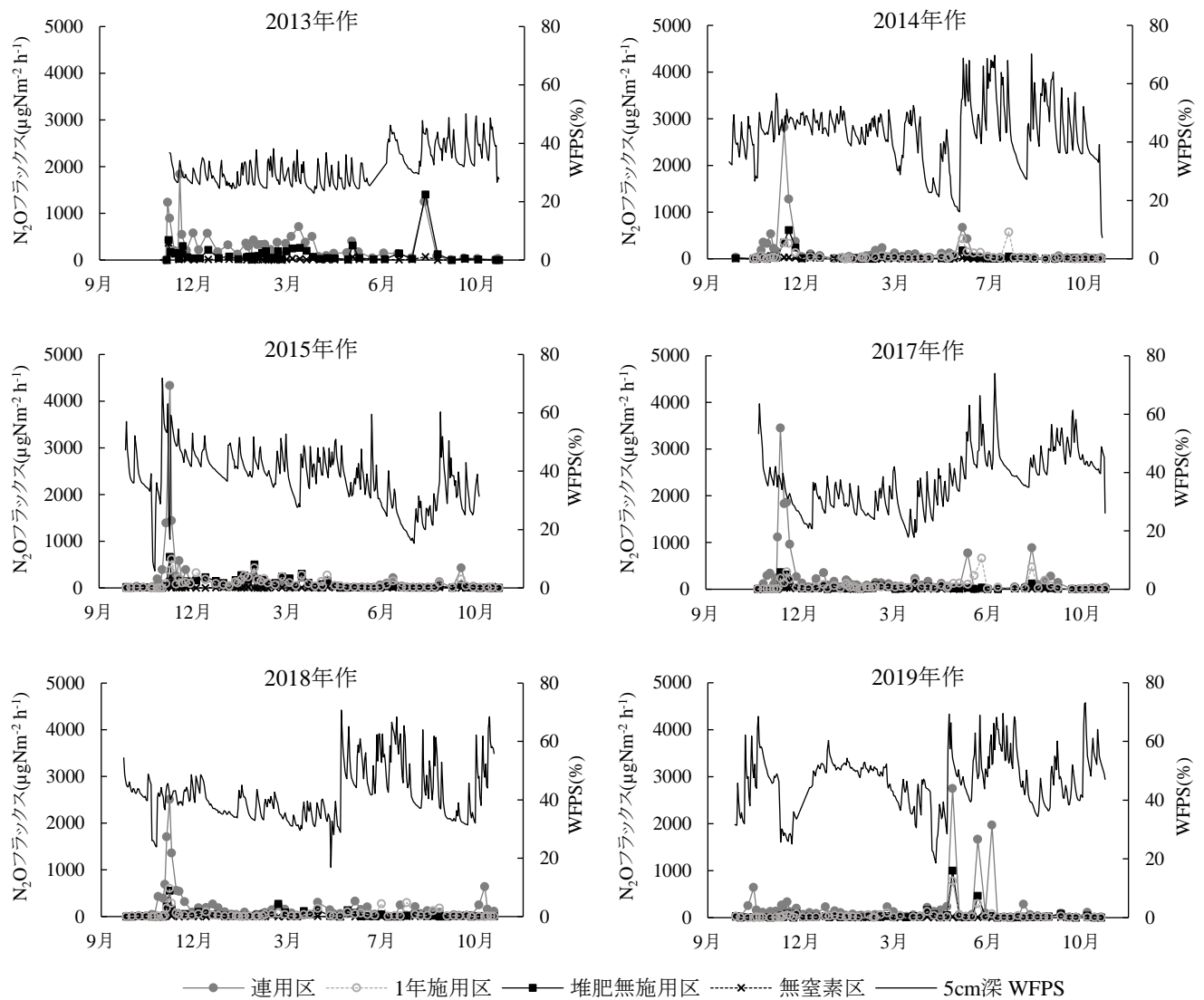


図1 N₂O フラックスと土壌水分の推移

施用区では5月以降に堆肥無施用区では見られないN₂Oフラックスのピークがみられたが、2019年作の1年施用区では堆肥無施用区との違いは認められなかった。

3 土壌水分および無機態窒素の推移

2015年作と2017年作は基肥施用後に降雨が多く、深さ5cmの土壌水分が高かったのに対し、2019年作は降雨が少なく、畝立て後の土壌水分が低く維持されていた(図1)。

調査期間中の土壌中NH₄-N濃度およびNO₃-N濃度の推移を図2、3に示した。NH₄-N濃度は、基肥施用直後に増加した後、短い期間で減少し、数日遅れてNO₃-N濃度が増加した。一方、豚ふん堆肥を施用した区では、5月以降に降雨で土壌水分が増加した後で、NO₃-N濃度のピークが生じた。

4 N₂Oの年間排出量

試験期間中のN₂Oの年間排出量を図4に示す。N₂Oの総排出量は年次間差があるものの、連用区では堆肥無施用区の1.8~7.6倍と大きかった。1年施用区と堆肥無施用区では、

1年施用区で初年度に堆肥無施用区を大きく上回るN₂Oの排出が認められ、それ以降も2018年作までは1年施用区で堆肥無施用区より排出量が多い傾向となった。2019年作には1年施用区の排出量が堆肥無施用区をわずかに下回る結果となった。

各年の年間N投入量に対する作物体N吸収量の差を余剰N量とし、余剰N量の積算値とのN₂O排出量の積算値の関係を図5に示す。余剰N量の積算値とN₂O排出量の積算値との間には強い正の相関関係が認められた。また、堆肥無施用区に対して連用区では積算余剰N量に対する積算N₂O排出量の傾きが小さかった。

5 化学肥料及び豚ふん堆肥のN₂O排出係数

試験年ごとの化学肥料の排出係数と、1年施用区における豚ふん堆肥の1年目および1年目から7年目までのN₂O排出量から算出した排出係数を表5に示す。

化学肥料の排出係数は、6年間の平均値で2.06%であった。1年施用区において、豚ふん堆肥施用当年のN₂O排出

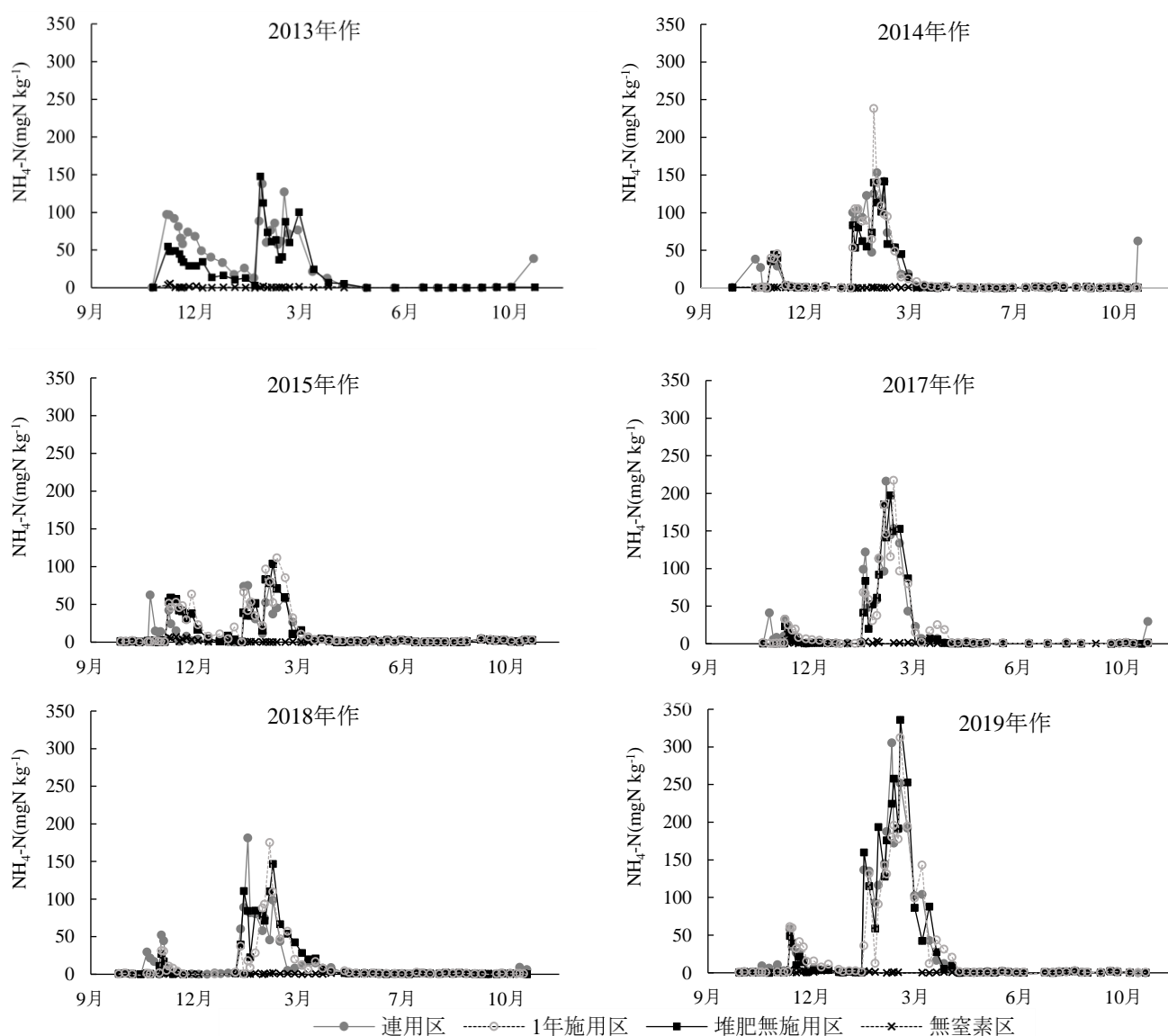


図2 アンモニア態窒素濃度の推移

係数は2.26%であった。しかし、その後も排出は続いたため。累積した排出係数は徐々に増加し、施用から6年間の合計で3.78%となった。

6 土壌炭素蓄積量の推移

各試験区の土壌C蓄積量の推移を図6に示す。堆肥無施用区、1年施用区、無窒素区では年度が経過するにつれて土壌C蓄積量が減少したのに対し、連用区では減少量はわずかで試験開始時の水準を概ね維持していた。

考察

1 試験期間中の N₂O フラックスの推移

N₂Oの排出は、微生物によるアンモニア態窒素の硝化と硝酸態窒素の脱窒時に起こる³⁾。本試験では、基肥を施用し、畝立てをした後に最も大きなN₂Oフラックスのピークが見られ、これは化学肥料由来のNが硝化したことに起因していると考え

えられる。さらに、豚ふん堆肥を施用した区では、堆肥施用から化学肥料施用までの間にもN₂Oの排出が認められるとともに、基肥施用以降のフラックスのピークも堆肥無施用区よりも高く、これらは堆肥に含まれるNが無機化したことによるものと推察された。

1月と2月には追肥を行ったが、この時期のN₂Oの排出は少なく、3月以降から増加する傾向となった。一般に硝化及び脱窒の作用は低温では進みにくいことから^{14,15)}、この時期に追肥してもNの代謝が進まず、温度が上昇するまでN₂Oの排出量が増加しなかったと考えられた。

5月以降では連用区と1年施用区において、堆肥無施用区では見られないN₂Oの排出ピークが認められ、豚ふん堆肥に由来するものであると考えられた。しかし、1年施用区では2019年作においてこのN₂Oフラックスのピークが認められず、施用から6年以上が経過して豚ふん堆肥由来のN₂Oの排出が終了したと考えられた。

また、2019年は、どの試験区も10月から11月のN₂Oフラックスの増加がわずかであったが、5月以降は前年度までには

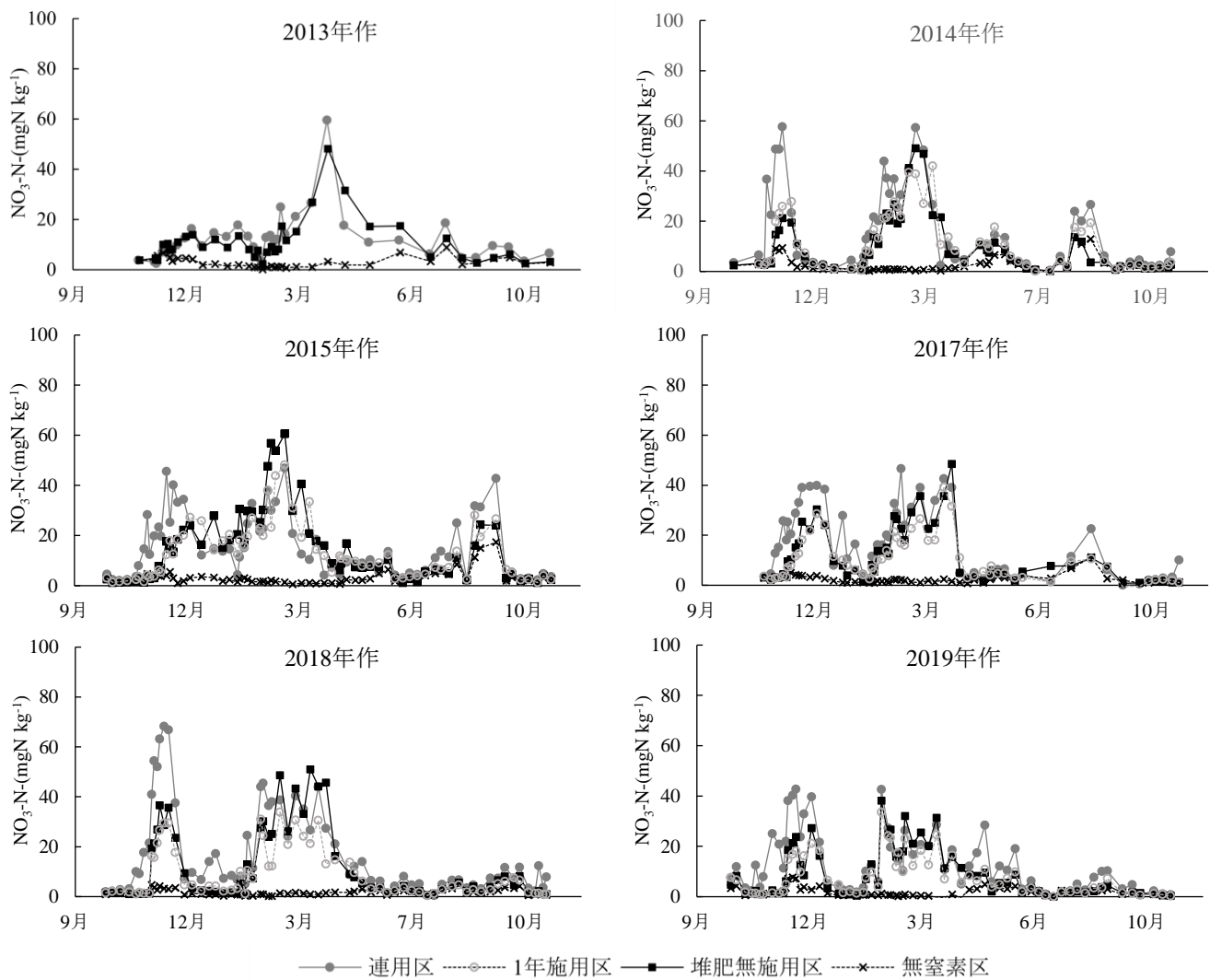


図3 硝酸態窒素濃度の推移

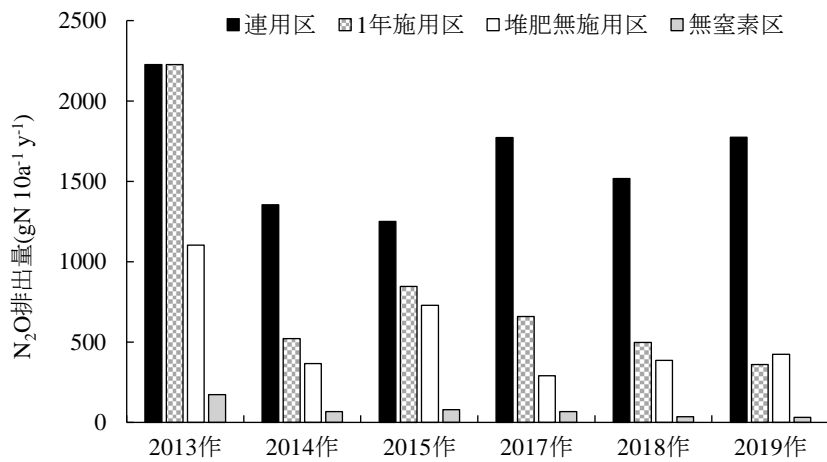


図4 年間のN₂O排出量

見られなかった多量のN₂Oが排出された。畝立て後の降雨は例年に比べて少なく、畝内の水分が低く推移したことで、10月から5月まで窒素の代謝が急激に進行しなかったと考えられる。N₂Oの発生は地温や土壌水分などによって変動する

ため¹⁶⁾、堆肥の施用時期や気象による影響についてはより検討が必要である。

2 化学肥料および豚ふん堆肥の N₂O 排出係数

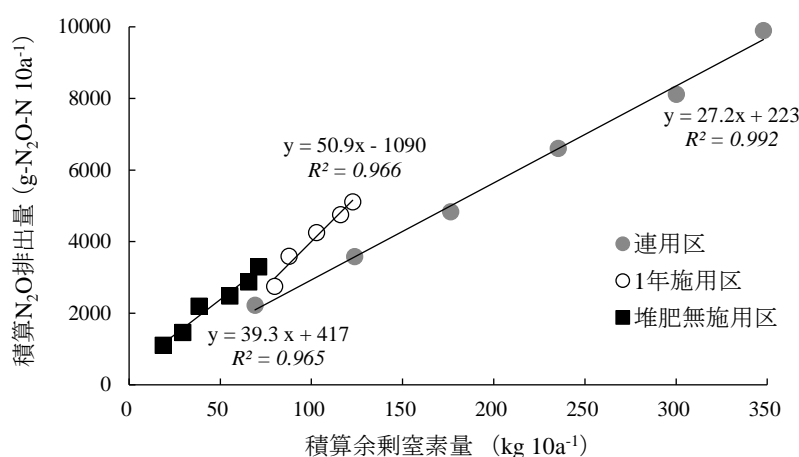
図5 余剰窒素量とN₂O排出量の関係

表5 化学肥料由来及び豚ふん堆肥由来の排出係数

	年次	施用N量 (a)	N ₂ O 排出量 ¹⁾ (b)	排出係数 ²⁾ (b/a)
		(kg-N 10a ⁻¹)	(kg-N ₂ O-N 10a ⁻¹)	(%)
化学肥料由来	2013	23	0.93	4.04
	2014	23	0.3	1.3
	2015	23	0.65	2.83
	2017	23	0.22	0.96
	2018	23	0.35	1.52
	2019	23	0.39	1.7
	平均	23	0.51	2.06
豚ふん堆肥由来	2013	50	1.13	2.26
	2014	-	0.16	0.32
	2015	-	0.12	0.24
	2017	-	0.37	0.74
	2018	-	0.11	0.22
	2019	-	-0.06	-0.12
	合計	50	1.82	3.78

1) 化学肥料及び豚ふん堆肥に由来するN₂O排出量(b)は、それぞれ堆肥無施用区から、無窒素区の排出量を、1年施用区から堆肥無施用区の排出量を差し引いて算出

2) 豚ふん堆肥の排出係数は、初年度に施用した豚ふん堆肥に含まれたN量に対する排出量から算出し、合計値は値が負になった2019年を含まずに算出

化学肥料のN₂O排出係数は0.96%~4.04%と算出され、温室効果ガスインベントリにおける値である0.62%よりも大きかった。N₂Oの排出は、施肥時期や土壌の理化学性等による影響が大きく、この排出量の違いが何に起因するのか今後検討していきたい。

既報⁹⁾では、1年施用区における堆肥由来の積算N₂O排出量は、施用後3年間は年々増加したため、豚ふん堆肥の正確な排出係数は明らかにすることができなかった。しかし、今回施用7年目まで試験を継続したところ、堆肥由来のN₂Oの

排出がなくなった。そこで、施用6年目までの積算排出量を用いて排出係数を算出したところ、3.78%と施用1年目の排出係数とは大きく異なった。このことから、家畜ふん堆肥のように分解に時間のかかる有機物については、2年目以降の排出量も大きく、温室効果ガス排出量を評価するためには、施用年度だけではなく、有機物の分解に応じて測定期間を長くする必要がある。

なお、本試験においては、1年間調査を中断しているため、実際の排出係数はより高くなることが想定される。

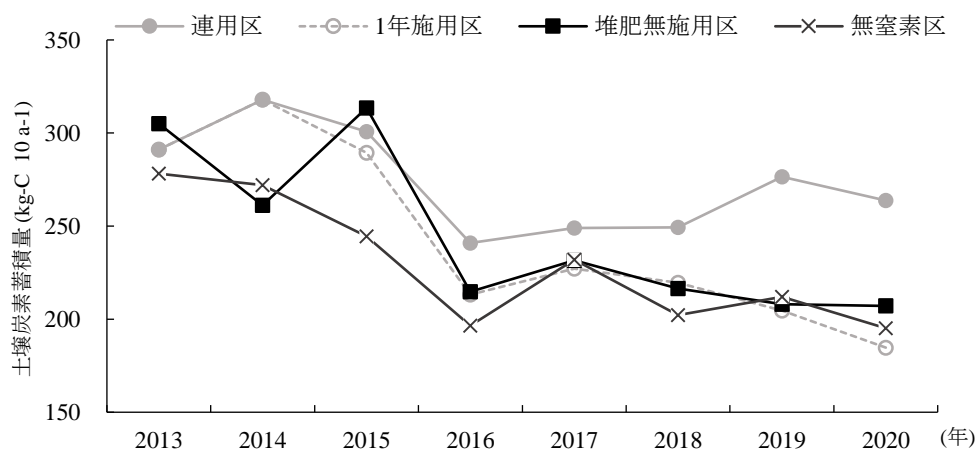
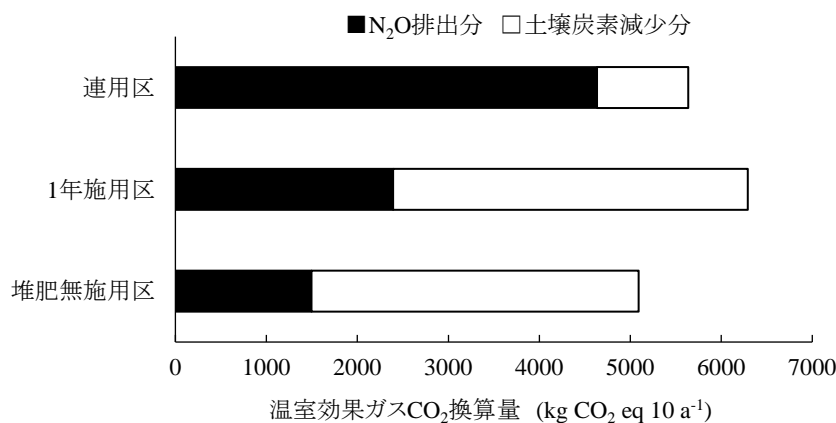


図6 土壤炭素蓄積量の推移

図7 試験開始から6年間での温室効果ガス排出量(CO₂換算)

3 豚ふん堆肥連用による温室効果ガス抑制効果

各試験区の試験開始から7年目終了時までのN₂Oの総排出量及び土壤C蓄積量の減少量をCO₂量に換算した結果を図7に示す。

連用区ではN₂Oの排出量が堆肥無施用区を大きく上回った。今回連用区では化学肥料と豚ふん堆肥を併用したため、堆肥無施用区よりもNをはじめとする各種肥料成分の投入量は多くなったが、タマネギの収量及び作物体N吸収量は有意に増加しなかった。したがって、連用区における豚ふん堆肥由来のNは、タマネギによってほとんど利用されず余剰Nとなり、N₂O排出量が増加したと考えられる。中村ら¹⁷⁾は、家畜ふん堆肥を連用した砂質畑土壌での秋冬キャベツ栽培において、夏季に豚ふん堆肥連用した場合、収量及びN吸収量が増加したと報告している。これは、秋季に堆肥を施用した本試験の結果とは異なっており、堆肥由来のNを有効に利用できるような堆肥の施用時期や作物の選定を行うことで、余剰Nを減らし、N₂Oの排出抑制が可能であることを示唆している。堆肥の施用時期や栽培作物の違いがN₂O排出量に及ぼす影響を今後明らかにする必要がある。

一方、土壤C蓄積量についてみると、無施用区及び1年施用区では試験を経るごとに減少していくのに対して、連用区

では減少はわずかで試験開始前の水準を概ね維持することができた。糟谷ら¹⁸⁾は、赤黄色土の露地野菜畑において有機物施用基準量(1 t 10 a⁻¹)の豚ふん堆肥を5年間連用することで土壤TCを当初の水準に維持できたとしている。これらのことから、露地野菜畑において、豚ふん堆肥を用いて土壤のC吸収源として地力を維持するためには、基準量の施用が必要である。

試験開始から7年間の堆肥区の温室効果ガス抑制効果を無施用区と比較すると、1年施用区ではN₂O排出量も高く、土壤C蓄積量も大きく減少したため、温室効果ガス抑制効果は低かった。また、連用区でも土壤C蓄積量の減少量はわずかであったが、N₂Oの排出量が大きく、堆肥無施用区よりも抑制効果は低かった。

以上の結果から、豚ふん堆肥由来のN₂Oの排出は堆肥施用から7年間漸減しながらも継続することが明らかとなった。また、豚ふん堆肥の連用では、本県の有機物施用基準量を施用することでC吸収源として土壌中のC量を維持できるが、施用時期や栽培する作物によっては、作物にNが有効に供給されず余剰Nが増加し、N₂O排出量が増大するため温室効果ガス抑制効果が低くなると考えられた。今後は、余剰Nを増大させない堆肥の施用時期や栽培作物の選定を検討する必要があると考える。

引用文献

1. 農林水産省. 農林水産分野における地球温暖化対策. (2021). <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/attach/pdf/index-34.pdf> (2021.7.30参照)
2. 温室効果ガスインベントリオフィス(GIO)編. 日本国温室効果ガスインベントリ報告書. (2021). https://www.nies.go.jp/gio/archive/nir/jqjm1000000x4g42-att/NIR-JPN-2021-v3.0_J_GIOweb.pdf (2021.7.30参照)
3. 楊宗興, 陽捷行. 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. 日本土壌肥料学雑誌. 62(6), 654-661(1991)
4. 加藤保. 有機物施用を中心とした土壌管理による土壌への炭素蓄積:愛知県における調査成績から. 日本土壌肥料学雑誌. 74(1), 99-104(2003)
5. 辻正樹, 菅野淳夫, 恒川歩, 尾賀俊哉, 仁科一哉, 須藤重人. 畑土壌における牛ふんおよび鶏ふん堆肥施用に伴う一酸化二窒素の発生量評価. 日本土壌肥料学会講演要旨集. 58, 187(2012)
6. 井上健一, 渋谷洋. 鶏ふんペレット堆肥施用畑における亜酸化窒素発生量. 日本土壌肥料学会誌. 79, 181-182(2008)
7. 菅野淳夫, 西本浩之, 糟谷真宏, 佐野智人, 大浦典子, 須藤重人. 砂質露地畑における豚ふん堆肥由来の N_2O 排出量評価. 日本土壌肥料学会講演要旨集. 64, 276 (2018)
8. 農耕地条分類委員会. 農耕地土壌分類第3次改訂版第2刷. 農業環境技術研究所資料. 17, 1-79(1995)
9. 愛知県農林水産局農業経営課. 農作物の施肥基準【2021年3月改定】. <https://www.pref.aichi.jp/soshiki/nogyo-keiei/sehikijun.html> (2021.7.30参照)
10. 日置雅之, 北村秀教, 久野智香子, 加藤保. 愛知県で生産される家畜ふん堆肥の化学組成. 愛知農総試研報. 33, p.237-244(2001)
11. 陽捷行, 福士定雄. 土壌から発生する N_2O のフラックスの測定法. 日本土壌肥料学会雑誌. 53(6), p.525-529 (1982).
12. 土壌環境分析法編集委員会. 土壌環境分析法. 博友社. 東京. p.1-427(1997)
13. 林敦史, 田中正, 濱田洋平. キャパシタンス式水分計による土壌水分測定. 第20回水文・水資源学会総会・研究発表会要旨集. (2007)
14. 時岡平一郎, 五島義秋. 土壌温度が小酸化作用に及ぼす影響について. 日本土壌肥料学雑誌. 22(1), p.75-76(1951)
15. 福士定雄. 陽捷行, 土壌の脱窒能の測定法とその応用. 農業技術研究報告. B, 土壌肥料. 36, p.1-18(1984)
16. 井上君夫, 陽捷行. 草地土壌から発生する亜酸化窒素(N_2O)のフラックスの測定. 農業気象. 41(2), p.145-149 (1985)
17. 中村嘉孝, 恒川歩, 糟谷真宏. 家畜ふん堆肥を連用した砂質畑土壌における収支、溶脱量及び土壌蓄積量から見た窒素、リン、カリウムの動態. 愛知農総試研報. 48, p.17-28(2016)
18. 糟谷真宏, 荻野和明, 廣戸誠一郎, 石川博司, 鈴木良地. 牛ふん堆肥または豚ふん堆肥を連用する黄色土野菜畑における5年間の養分動態. 愛知農総試研報. 43, p.137-149(2011)