

水田における家畜ふん堆肥の適正施用技術に関する研究(1)

誌名	愛知県農業総合試験場研究報告 = Research bulletin of the Aichi-ken Agricultural Research Center
ISSN	03887995
著者	瀧, 勝俊
巻/号	28号
掲載ページ	p. 89-95
発行年月	1996年10月

水田における家畜ふん堆肥の適正 施用技術に関する研究 (第1報)

施用時から移植時までの肥料成分の挙動

瀧 勝俊*

摘要：牛ふん尿液状堆肥10t/10aを移植50~60日前に施した水田で、水稻の生育、収量、窒素吸収量を3年間調査した。毎年、堆肥として27kg/10aの窒素が施用されたにもかかわらず、水稻による窒素吸収量は8~10kg/10aであった。吸収されなかった窒素の多くは損失したと推察された。次に、4種類の家畜ふん堆肥を水田土壤に施用した場合の施用時から移植時まで55日間における亜酸化窒素ガス発生量、肥料成分流亡量、土壤中有効肥料成分増減量を調査した。家畜ふん堆肥中窒素の0.2~3.3%が亜酸化窒素として損失し、6~84%が作土下へ流亡した。堆肥の施用により増加した30°C4週間インキュベーション後の無機態窒素含量は、どの堆肥も55日間で87~99%減少した。交換性カリウム、カルシウム、マグネシウムは、期間中の減少率が大きく、移植時における残存量はわずかであった。有効態りん酸は、豚ふん堆肥の施用による増加量が多く、移植時においてもその多くが残存した。以上のことから、家畜ふん堆肥中の肥料成分の有効利用と環境負荷軽減のため、家畜ふん堆肥の施用時期を移植時期に近づける必要がある。

キーワード：家畜ふん堆肥、水田、施用時期、環境負荷、効肥料成分

Investigation of the Best Application Technique of Animal Manure Composts on Paddy Field I

The Behavior of Fertilizer Nutrients from the Time of Application of
Animal Manure Composts to the Rice-Planting Time

Katsutoshi TAKI

Abstract: The Growth and yield of rice plants and the amount of nitrogen absorbed by them were investigated for three years in a paddy field onto which 10t/10a cattle feces liquid-compost has been applied 50-60 days before the rice-planting time. Every year 27kg/10a nitrogen was applied by compost, but the amount of nitrogen absorbed by the rice plants was 8-10kg/10a. It was assumed that most of the non-absorbed nitrogen was lost from the paddy field. The quantity of nitrous oxide gas generated, quantity of fertilizer nutrients eluviation and the change in the quantity of effective fertilizer nutrients in the soil were determined for 55 days from the application time to the rice-planting time in the case of four kinds of animal manure composts. 0.2-3.3% parts of nitrogen contained in animal manure composts were lost as nitrous oxide and 6-84% parts of that moved below the topsoil. The quantity of inorganic nitrogen after 30°C incubation for 4 weeks, which was increased by compost application, decreased at a 87-99% rate in each compost sample during 55 days. In exchange-potassium, calcium and magnesium, the ratios of decrease were large during this period and the quantity of those nutrients remaining in the soil were small at the rice-planting time. In available phosphoric acid, the increase due to swine feces compost application was large and most of it remained each at the rice-planting time. The above proved that it is necessary to approach the compost application time in relation to the rice-planting time for effective use of fertilizer nutrients containing animal manure composts and also to decrease the load to the environment from the composts.

Key words: Animal manure composts, paddy field, Application time, Load to the environment, Effective fertilizer nutrients

緒 言

近年、日本国内において、大規模畜産経営が発展してきた。しかし、それに見合う牧草地を保有しない規模拡大であったために、家畜ふん尿を他人の農地に還元するか別の処理を考えざるをえない現状にある。このような現状をふまえ、熊澤⁷⁾は「堆きゅう肥の合理的投入および、農地の環境容量を定めることにより有機物投入の目標を明確にすること」を提言している。これまで、家畜ふん堆肥は、土壌の物理性改善を主目的とした施用が多く、県内においてもそれを目的とした露地畑、施設畑への施用が多かった。しかし、近年、環境保全、未利用資源リサイクルへの意識の高まりと有機農産物の需要の高まりから、水田においても家畜ふん堆肥を化学肥料の代替えとして用い始めた。実際、現場では、県内畜産農家の10~20%が水田に家畜ふん堆肥を投入していると回答した⁴⁾。

これまで、水田における家畜ふん堆肥の施用に関する土壌肥料的な研究は①有機物の連用が土壌及び収量に及ぼす影響^{2, 5, 8, 12, 18)}②水田における有機物の集積と分解^{9, 14)}③有機物の施用を考慮した肥効発現予測^{10, 20)}等を明らかにしてきた。また、それらの研究対象期間は、移植時から収穫期に限定される場合が多かった。しかし、農家が実際に家畜ふん堆肥を施用する時期は時間的な余

裕がある冬場がほとんどであり、県の指導においても、牛豚ふん堆肥の施用は冬場が安全としている¹⁾。そのような場合、移植時までの期間に、施用した家畜ふん堆肥中の水溶性成分や新たに分解された水溶性成分の流亡が起こることや生物的代謝過程で温室効果ガスが発生すること^{10, 13)}が推察できる。このことは、堆肥中の肥料成分を効率よく作物に利用できないだけでなく、環境への負荷も大きいと考える。以上の理由から、現在の家畜ふん堆肥の施用時期が必ずしも適正であるとはいえない。

本報では、まず家畜ふん堆肥を冬場に施用している現地の事例を調査し、次に家畜ふん堆肥の適正な施用時期を検討する目的で、堆肥施用時から移植時までの環境負荷量と有効肥料成分量の推移を調査したので報告する。

材料及び方法

試験1. 家畜ふん堆肥を施用した水稲栽培における水稲の生育と窒素収支の調査

常滑市の水田において、1993年から1995年までの3年間実施した。試験は場は、試験開始年が基盤整備後3年目に当たり、その土壌統群は細粒灰色台地土であった。試験区は、1区3,000m²で、化学肥料区と堆肥施用区を設置した。堆肥は、常滑市の酪農家の自然流下式乳牛舎において、牛ふん尿、畜舎内洗浄水、雨水をコンクリート製貯留槽内で数カ月貯留した牛ふん尿液状堆肥を供試

第1表 供試堆肥成分（現物当たり）

	pH(1:10)	EC(1:10)	C	N	C/N比	P	K	Ca	Mg	水分
		mS/cm	%	%		%	%	%	%	%
豚ふん堆肥	9.4	6.07	26.8	2.73	9.8	1.54	3.00	3.83	1.14	56.7
牛ふん堆肥	8.4	1.54	19.7	0.69	28.6	0.25	0.72	0.39	0.20	30.9
発酵鶏ふん	8.5	5.48	26.5	3.53	7.5	1.43	2.49	12.79	0.64	15.4
牛ふん尿液状堆肥	8.5	1.05	4.8	0.43	11.2	0.14	0.24	1.11	0.11	94.9

第2表 供試堆肥水溶性成分（現物当たり）

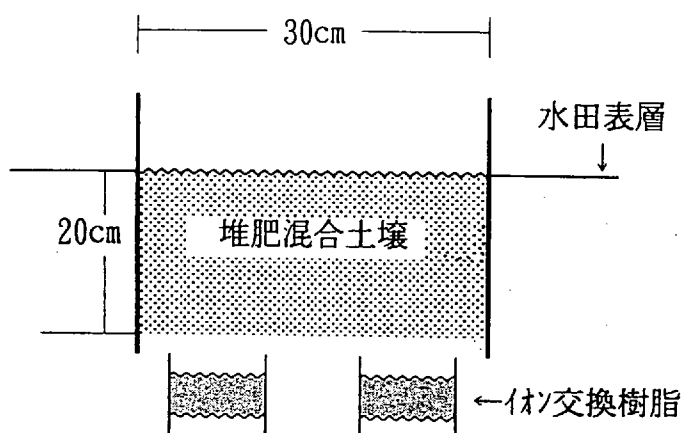
	NH ₄ ⁺ -N	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
豚ふん堆肥	0.14	2.36	0.01	0.04	0.59	0.15	1.08	2.16	0.01
牛ふん堆肥	0.08	0.55	0.01	0.01	0.16	0.07	0.22	2.27	0.00
発酵鶏ふん	0.29	2.07	0.05	0.04	0.39	0.08	0.65	0.95	0.01
牛ふん尿液状堆肥	0.08	0.20	0.02	0.02	0.06	0.02	0.04	0.15	0.00

第3表 試験1ほ場における堆肥および化学肥料施用量(Nkg/10a)

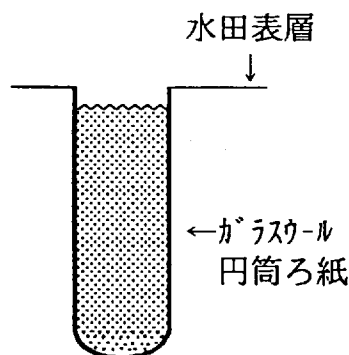
試験区	1993		1994		1995		3か年合計
	化 肥	堆 肥	化 肥	堆 肥	化 肥	堆 肥	
化学肥料区	19.6	0	13.2	0	13.2	0	46.0
堆肥10t区	0	27.0	0	27.0	0	27.0	81.0

第4表 試験1ほ場における栽培品種および栽培概要

試験年	品 種	耕起	堆肥施用	基肥施用	代かき	移植	中干し	落水	収穫
1993	日本晴	2/15	3/20	5/13	5/13	5/15	6/15~7/2	9/21	10/2
1994	祭り晴	1/22	3/11	5/10	5/10	5/12	6/22~6/29	9/10	9/20
1995	祭り晴	2/26	3/11	5/12	5/12	5/14	6/29~6/13	9/15	9/25



第1図 試験2の概要図



第2図 試験3の概要図

した。その全成分及び水溶性成分を第1、2表に示した。化学肥料及び堆肥の施肥量は第3表に、栽培品種、栽培概要は第4表に示した。堆肥の施用はバキュームカーで行い、除草、病害虫防除は現地の慣行に従った。生育調査は1区2連性で合計56株、収量調査は1区2連性で合計96株調査した。わら、もみ中の全窒素はケルダール法により定量した。土壌中成分は、全炭素(T-C)、全窒素(T-N)はNCアナライザーを用いた乾式燃焼法、陽イオン交換容量(CEC)はショーレンベルガー法、交換性塩基は原子吸光法、有効態りん酸(P₂O₅)はトルオーグ法で定量した。有効態けい酸(SiO₂)は、pH4酢安浸出液を原子吸光法で、遊離酸化鉄は浅見、熊田法で定量した。

試験2. 堆肥混合土壌からの肥料成分流出量と亜酸化窒素(N₂O)フラックスの測定

愛知県日進町の水田において1995年4月21日から6月16日まで実施した。土壌統群は中粗粒灰色台地土で、その理化学的性質は第5表に示した。堆肥は、半田市の養豚

農家においてエンドレス式発酵槽で発酵された豚ふん堆肥、市販のみみから牛ふん堆肥、市販の発酵鶏ふん、試験1で用いた牛ふん尿液状堆肥の4種類を供試した。その全成分及び水溶性成分を第1、2表に示した。

(1) 作土下への肥料成分流出量の測定

直径28.5cm、高さ30cmの塩ビ枠を土壌中に20cm埋め込み、枠内土壌を枠外に掘り出した。表層から深さ20cm以下に、直径8.4cm高さ10cmの塩ビ枠にナイロン網に入れたカチオン交換樹脂とアニオン交換樹脂を等量混合したものを約300g充填し埋設した。そこに土壌を戻し、家畜ふん堆肥を混合した(第1図)。施肥量は、豚ふん堆肥4t/10a、牛ふん堆肥5t/10a、発酵鶏ふん0.5t/10a、牛ふん尿液状堆肥10t/10a相当とした。混合方法は、牛ふん尿液状堆肥以外は表層から15cm以内に混合し、牛ふん尿液状堆肥は表面施用2、3日後表面で乾燥した堆肥固形物を同様に混合した。測定期間終了後、前報¹⁾に従って、イオン交換樹脂に吸着した窒素(N)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、カリウム(K)を定量した。試験はすべて2連で行った。

(2) 亜酸化窒素フラックスの測定

期間中9回、(1)の塩ビ枠の上部をパッキング付塩ビ板で密閉し、密閉後0、10、20分後に、枠内のガスを上部コックから20mlバイアル瓶に採取した。亜酸化窒素は⁶³Ni線源付きECDガスクロマトグラフ(島津GC14APF、カラム:おバクN3m,キャリアーガス:N₂)で定量し、フラックスを求めた。総発生量は陽ら¹⁾の方法により算出した。

試験3. 堆肥施用時から移植時までの堆肥混合土壌の化学性の変化

試験2と同じ水田で同期間実施した。供試土壌は、知多郡南知多町の水田土壌(中粗粒灰色台地土)を用いた。その主な理化学的性質を第5表に示した。堆肥は試験2と同じ4種類を供試した。試験方法は、ほ場条件において有機物の分解程度を調べるために開発された前田らの方法²⁾を参考にした。直径5cm高さ15cmのガラス繊維円筒ろ紙(TOYO 86R)に、供試土壌200gに豚ふん堆肥、牛ふん堆肥、発酵鶏ふん、牛ふん尿液状堆肥をそれぞれ10g、8g、1g、20g混合したものを充填し、ほ場作土に埋設した(第2図)。測定期間中、非湛水状態に保ち、測定期間終了後、円筒ろ紙を掘り出し、堆肥混合土壌をほ場含水量まで乾燥し、混合後粉碎し、2mmのふるいを通し分析に供した。堆肥混合直後の土壌についても同様にした。試験はすべて2連で行った。30℃4週間(W)インキュベーション後発生する無機態窒素量は以下の方法で測定した。供試土壌20gをマヨネーズ瓶に詰め、ほ場含水量を保ちながら30℃で4週間静置する。その後、1N-KC 1100mLを加え30分間振とうし、浸出液中の硝酸態窒素と

第5表 供試土壌分析結果

	pH	EC	全炭素	全窒素	CEC	交換性塩基			有効態	りん酸
						Ca	Mg	K		
		mS/cm	%	%	me/100g	me/100g			mg/100g	吸収係数
試験2 供試土壌	5.6	0.17	0.80	0.058	6.1	3.75	0.65	0.15	9.3	231
試験3 供試土壌	6.3	0.16	0.33	0.034	13.1	5.00	0.64	0.26	5.7	533

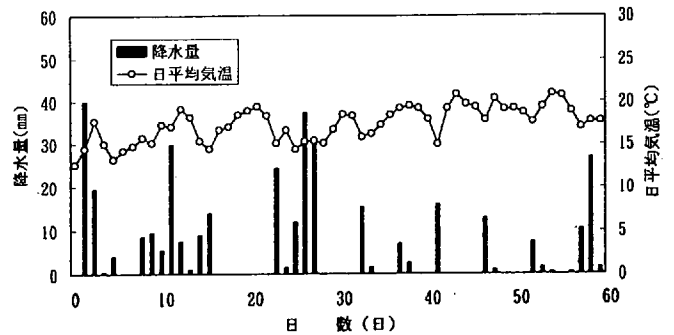
アンモニア態窒素の合計量を微量拡散法で定量した。全炭素、全窒素、交換性塩基、有効態りん酸は試験1の方法で定量した。

結果及び考察

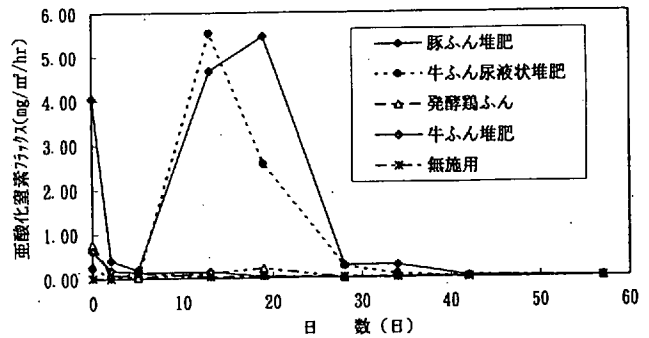
1. 家畜ふん堆肥のみの施用による水稻の生育と窒素吸収量

堆肥10t区における水稻の生育は、3年とも移植後1か月程度までは草丈、茎数とも化学肥料区より劣った。しかし、移植後50~60日以降は、1995年の茎数を除いて化学肥料区を上回った（第6表）。収穫時のわら重は、1993年、1994年は堆肥区で重く、1995年はその逆であった。もみ重は、1993年、1995年は堆肥区で重く、1994年はその逆であった（第7表）。窒素吸収量は、1993年、1994年は化学肥料区で多く、1995年は両区とも同じであった。3か年の合計窒素吸収量は、化学肥料区で28.2kg/10a、堆肥区で27.4kg/10aとほぼ同量であった。土壌分析の結果（第8表）から、1993年作付け前の成分と、1995年収穫後の成分を比較すると、全炭素は、化学肥料区よりも堆肥区で増加量が大きかった。全窒素は、堆肥区でわずかに増加したが、化学肥料区では減少した。交換性カルシウム、マグネシウムは、化学肥料区より堆肥区で減少量が大きかった。

以上の結果から、3年間で牛ふん尿液状堆肥30t/10aの施用により化学肥料区(46Nkg/10a)の倍程度(81Nkg/10a)の窒素が施用されるが、水稻の生育程度から、移植後1か月程度の堆肥からの窒素供給量は化学肥料よりも少ないと推察される。しかし、それ以降の堆肥からの窒素供給により、収穫時における窒素吸収量は化学肥料区と



第3図 堆肥施用時から移植時まで55日間における降雨量と気温



第4図 堆肥施用時から移植時まで55日間における亜酸化窒素フラックスの推移

同程度となった。また、土壌中全窒素の増加量はわずかであることから、堆肥として投入された窒素の多くは移植までの約2か月間で消失したと考えられる。

2. 堆肥混合土壌における亜酸化窒素フラックス

試験期間中の降雨量は361mm、日平均気温は13~22°Cであった（第3図）。堆肥施用による成分投入量を第9

第6表 試験1ほ場における水稻の生育

試験区	1993				1994				1995						
	草丈		茎数		草丈		茎数		草丈		茎数				
	6/11	7/1	8/3	6/11	7/1	6/20	6/30	7/11	6/20	6/30	6/19	7/10	7/19	6/19	7/10
	cm		本/株		cm		本		cm		本				
化学肥料区	29.7	48.2	74.9	10.9	32.4	44.7	53.3	66.4	31.9	32.9	34.6	55.8	68.7	20.3	29.6
堆肥10t区	28.8	50.9	78.5	8.9	34.1	40.8	52.4	68.9	27.5	39.8	31.5	61.3	71.8	13.8	26.5

第7表 試験1ほ場において収穫された水稻のわら重、もみ重と窒素吸収量

試験区	1993			1994			1995			3か年N吸収 量合計(内もみ)
	わら重	もみ重	N吸収量	わら重	もみ重	N吸収量	わら重	もみ重	N吸収量	
	kg/10a	kg/10a	kg/10a	kg/10a	kg/10a	kg/10a	kg/10a	kg/10a	kg/10a	
化学肥料区	68.6	57.5	7.8	94.3	57.7	10.7	104.1	66.8	9.7	28.2(16.2)
堆肥10t区	81.8	56.8	8.3	96.6	45.0	9.4	84.7	66.3	9.7	27.4(15.7)

第8表 試験1ほ場における土壌分析結果

採取時期	試験区	pH	T-C	T-N	CEC	交換性塩基			りん酸 吸収係数	有効態 P ₂ O ₅	有効態 SiO ₂	遊離 酸化鉄
						Ca	Mg	K				
						me/100g						
1993作付け前		5.4	0.44	0.041	16.2	6.52	3.00	0.44	489	9.2	36.5	1.16
1995収穫後	化学肥料区	4.7	0.51	0.033	17.5	6.00	2.70	0.39	584	1.8	27.0	1.31
1995収穫後	堆肥10t区	4.9	0.71	0.047	15.0	5.21	2.33	0.44	539	3.2	26.7	1.32

第9表 堆肥施用による成分投入量

	施用量 t/10a	N	K	Ca	Mg	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
		ke/10a(kg/10a)	ke/10a	ke/10a	ke/10a	ke/10a	ke/10a
豚ふん堆肥	4	7.80(109.2)	3.07	7.67	3.76	0.90	2.44
牛ふん堆肥	5	2.46(34.5)	0.95	0.96	0.84	0.23	3.20
発酵鶏ふん	0.5	1.26(17.7)	0.32	3.20	0.27	0.07	0.13
牛ふん尿液状堆肥	10	3.07(43.0)	0.62	5.54	0.89	0.08	0.42

第10表 施用した肥料成分が堆肥施用時から移植時まで55日間に流亡または揮散した割合

	N		K	Ca	Mg
	流亡率	N ₂ O揮散率	流亡率	流亡率	流亡率
	%	%	%	%	%
豚ふん堆肥	16.8	1.8	93.8	40.7	30.3
牛ふん堆肥	4.6	0.2	15.4	148.2	60.6
発酵鶏ふん	9.1	0.4	56.0	23.2	99.1
牛ふん尿液状堆肥	84.4	3.3	72.4	53.5	101.7

第11表 堆肥混合土壌から流亡しイオン交換樹脂に吸着した肥料成分量

	アニオン		カチオン	
	NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	ke/10a	ke/10a	ke/10a	ke/10a
豚ふん堆肥	1.40	3.10	5.13	1.69
牛ふん堆肥	0.20	1.10	3.44	1.07
発酵鶏ふん	0.31	0.40	2.75	0.81
牛ふん尿液状堆肥	2.68	0.66	4.96	1.46
無施用	0.09	0.22	2.00	0.55

第12表 施用した堆肥から流亡したカチオン合計量(樹脂吸着量)とアニオン合計推定量(樹脂吸着量+水溶性SO₄²⁻, Cl⁻)

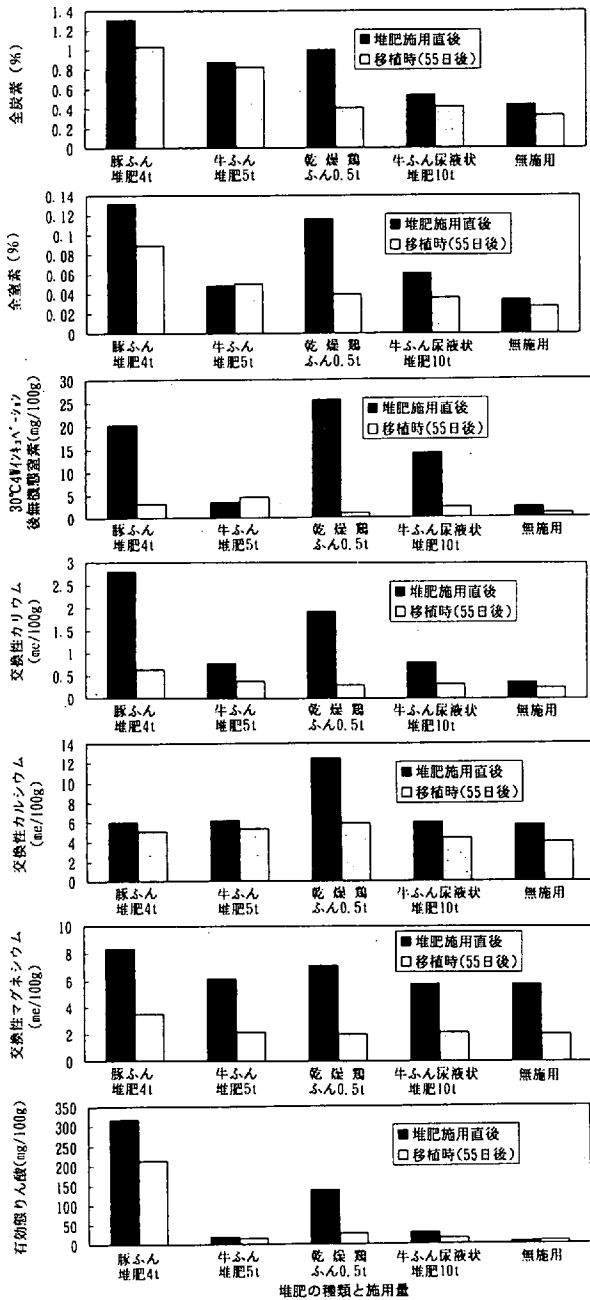
	カチオン合計量	アニオン合計量
	ke/10a	ke/10a
豚ふん堆肥	7.15	4.65
牛ふん堆肥	2.84	3.54
発酵鶏ふん	1.19	0.42
牛ふん尿液状堆肥	4.31	3.09

表に示した。堆肥施用から55日間に堆肥混合土壌から発生した亜酸化窒素量は、投入された窒素量に対し豚ふん堆肥1.8%(N₂O揮散率)、牛ふん堆肥0.2%、発酵鶏ふん0.4%、牛ふん尿液状堆肥3.3%で、牛ふん尿液状堆肥が多かった(第10表)。その発生時期は堆肥施用直後と10~20日後に多く、施用後1か月以降は亜酸化窒素の発生はごく少なかった(第4図)。非湛水土壌における亜酸化窒素の発生は、主にアンモニア態窒素が硝酸化成により硝酸になる過程で発生する。このことから、施用直後は堆肥中のアンモニア態窒素が、施用後10~20日後は、堆肥中易分解性有機物の分解により生成したアンモニア態窒素が高濃度になっていた可能性がある。今後、家畜ふん堆肥の施用、土壌、気象条件と亜酸化窒素の発生量との関係については検討する必要があると考える。

3. 堆肥混合土壌から流亡する肥料成分量

イオン交換樹脂に吸着された窒素量は、豚ふん堆肥区1.40ke/10a、牛ふん堆肥区0.20ke/10a、発酵鶏ふん区

0.31ke/10a、牛ふん尿液状堆肥区2.68ke/10a、無施用区0.09ke/10aであった(第11表)。それぞれの堆肥由来窒素の流亡量(堆肥施用区の吸着量から無施用区の吸着量を差し引いた量、豚ふん堆肥区1.31ke/10a、牛ふん堆肥区0.11ke/10a、発酵鶏ふん区0.22ke/10a、牛ふん尿液状堆肥区2.59ke/10a)と堆肥として施用された水溶性窒素量(豚ふん堆肥区0.83ke/10a、牛ふん堆肥区0.43ke/10a、発酵鶏ふん区0.14ke/10a、牛ふん尿液状堆肥区0.71ke/10a)とを比較すると、牛ふん堆肥区以外では施用量より流亡量の方が多い。このことは、前田ら⁹⁾が家畜ふん堆肥等の分解試験の結果から「移植前の落水期間において分解される割合は多く、条件によってはその相当部分が硝酸イオン(NO₃⁻)となって溶脱、または湛水後の脱窒によって消失することが考えられる。」と述べているように、牛ふん堆肥以外の堆肥は、埋設期間中に無機化が進み、生成した無機態窒素が硝酸イオンとなり降雨による水の下方への移動に伴いイオン交換樹脂まで移動、吸着されたと考えられる。牛ふん堆肥は、C/N比が28.6と他の堆肥に比べ高いため、窒素の無機化が進まなかったと推測される。このことは、志賀¹⁴⁾が「C/N比が30前後まで下がると、水田施用の次の年から窒素の放出が始まることが多い。」と述べていることからわかる。堆肥由来窒素の流亡量(堆肥施用区の吸着量から無施用区の吸着量を差し引いた量)を、堆肥施用による窒素投入量に対する割合(流亡率)で示すと、牛ふん尿液状堆肥区で最も大きく84.4%、次いで豚ふん堆肥区16.8%、発酵鶏ふん区9.1%で、牛ふん堆肥区では最も小さく4.6%であった(第10表)。同様にカリウム、カルシウム、マグネシウムの流亡量は、豚ふん堆肥区と牛ふん堆肥区ではCa>K>Mg、それ以外ではCa>Mg>Kの順が多かった。全堆肥でカルシウムの流亡量が最も多かった。土壌中において、肥料成分中、主なカチオンとアニオンはほぼ相当量ずつ移動すること¹⁵⁾から、K、Ca、Mgの流亡損失量の合計量(カチオン合計量)と、窒素(NO₃⁻-N)流亡損失量と堆肥中水溶性、SO₄²⁻、Cl⁻量との合計量(アニオン合計量)とを比較した(第12表)。牛ふん堆肥ではア



第5図 堆肥施用時と移植時(55日後)における土壌化学性

ニオン合計量が多く、他の堆肥では、カチオン合計量が多い。このことは、実際流亡した SO_4^{2-} 、 Cl^- 量ではなく、堆肥中水溶性成分を合計したことによると考えられる。イオウ(S)は窒素の無機化とともに進行する¹⁰⁾ことから、牛ふん堆肥では水溶性の SO_4^{2-} がむしろ有機化され流亡しなかったこと、他の堆肥ではイオウの無機化によって生成した SO_4^{2-} がカチオンとともに流亡したことが推測される。施用したKの量に対する流亡したKの量の割合(流亡率)は、豚ふん堆肥区で最も大きく93.8%であり、牛ふん堆肥区では15.4%と最も小さかった。Caの流亡率は、牛ふん堆肥区で最も大きく148.2%、発酵鶏ふん区で最も小さく23.2%であった。同様に、Mgは、発酵鶏ふん区と牛ふん堆肥区でほぼ100%であった(第10表)。

Ca流亡率中、牛ふん堆肥区で100%を大きく上回ったことは、堆肥として投入した量よりも多く、つまり土壤に存在していたCaをも流亡させたことによると考えられる。この理由は、堆肥の全成分中の水溶性成分の割合はKで約80%、Ca、Mgではごくわずかであることを考えると、土壤に吸着している Ca^{2+} 、 Mg^{2+} が、土壤溶液が下方へ移動する過程で、土壤溶液中に溶けている K^+ と置換し土壤溶液中に溶け、イオン交換樹脂まで到達したと考えられる。このことは、瀧らが前報¹⁵⁾で「表層2.5cmの土壤に水溶性カリを混合し、上方から蒸留水を流した場合、表層から10cmで採取した浸透水中に K^+ は10~15%しか存在せず残りの等量分は Ca^{2+} 、 Mg^{2+} で存在する。」と報告したことからも理解できる。

以上のことから、土壤に家畜ふん堆肥を施用した場合、55日間で堆肥中、水溶性アニオン(主に NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^-)と、堆肥の分解によって水溶性となったアニオンの多くは降雨によって容易に流亡し、それらアニオンとともに同当量の堆肥中、土壤中カチオン(主に K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+})が流亡する。アニオンの流亡量は、堆肥の種類、性状により大きく異なり、それに伴い流亡するカチオンの種類ごとの流亡割合は、堆肥、土壤中のそれらの量と存在形態によると考えられる。これらメカニズムの解明は今後の研究課題である。

4. 堆肥施用直後と55日間埋設後における土壌化学性の変化

堆肥施用直後と55日間埋設後の土壌化学性を第5図に示した。全炭素は、堆肥施用により一旦増加したが、55日間の埋設により減少した。増加した全炭素量に対する減少率は、発酵鶏ふんで86%と最も大きく、豚ふん堆肥で20%、牛ふん尿液状堆肥10%であり、牛ふん堆肥ではほとんど減少しなかった。全炭素の減少は、堆肥の分解による減少の程度を示していると考えられ、前述のように牛ふん堆肥はほとんど分解しなかったと思われる。全窒素の減少率は、発酵鶏ふんで85%と最も大きく、豚ふん堆肥で37%、牛ふん尿液状堆肥で67%であったが、牛ふん堆肥ではやや増加した。このことは前田ら⁹⁾が「水田においてC/N比が約6である余剰汚泥、鶏ふんは、炭素分解率が60~70%の範囲にあり、土壤との混合後の40日間で分解される割合が高い。窒素は、年間分解量(80%)の90%近くが混合後40日間に分解される。同様にC/N比10~20の堆肥では、炭素10~20%、窒素5~20%、C/N比20~30の堆肥では、それぞれ10~20%、0~15%分解される。」と報告していることとほぼ一致する。

30°C4週間インキュベーション後の無機態窒素量(ほ場において実際に作物に有効に利用される窒素と考えられる)の減少率はすべて堆肥で大差なく、87~99%であり、55日後の残存量は、豚ふん堆肥区で2.4mg/100g、発酵鶏ふん区で0.2mg/100g、牛ふん尿液状堆肥区で1.5mg/100gであった。牛ふん堆肥区は55日間で増加し、無施用区に比べ3.7mg/100g増加した。つまり、堆肥の施用後早い期間に有効化する窒素の大部分は、堆肥施用から移植時まで消失する。この結果は、試験1において堆肥施用区の水稲の移植1か月間の生育が化学肥料区に劣るこ

と一致する。

交換性カリウムの減少率は、各堆肥とも67~97%と大きかった。このことは、前述のとおり、堆肥中全カリウム成分中水溶性カリウムの割合がどの堆肥も約80%と高いことが原因と思われる。岩田ら⁹⁾も水田への牛ふん堆肥施用試験において「堆肥施用によって増加したカリウムは、カルシウム、マグネシウムと異なり、施用後2年目に急激に減少する。」と報告している。また、液状牛ふん堆肥について「堆肥を秋に施用した場合、翌4月には土壤中交換性カリウムは無処理区と同程度になった。」との報告⁹⁾もあり、本試験の結果と一致する。

交換性カルシウムについて、発酵鶏ふん区以外は堆肥の施用による増加量は多くなかった。発酵鶏ふん区では、0.5kg/10aの施用により6.8me/10a増加したが、55日間でその72%が減少した。橋本³⁾は「堆肥中の石灰は、土壤中交換性石灰と異なり有機物起源の陰荷電によって保持されているため畑地土壤では流亡損失しにくい。」と述べている。このことから、発酵鶏ふん以外の堆肥は、カルシウムを含んでいるにもかかわらず、その多くは中性酢安では浸出されない形で存在していたと思われる。中性酢安による浸出程度とカルシウムの存在形態との関係については今後の研究により明らかにしていく必要がある。交換性マグネシウムについては、堆肥の施用により、豚ふん堆肥区で2.5me/100gの増加がみとめられたが、55日間で43%減少し、残存量は1.4me/100gであった。それ以外の堆肥区では堆肥施用による増加量も多くはなく、55日後には無施用区と同程度となった。

有効態りん酸は、豚ふん堆肥区、発酵鶏ふん区で施用による増加がみられた。発酵鶏ふん区は、55日間で増加量の85%が減少し、残存量は19.5mg/100gであった。豚ふん堆肥区は、増加量の34%しか減少せず、残存量は205mg/100gと多かった。牛ふん堆肥区、牛ふん尿液状堆肥区の55日後の残存量は、約8mg/100gにすぎなかった。

このことから、水田土壤に家畜ふん堆肥を施用、混合し、移植まで数十日間放置する場合、堆肥の混合によって増加した有効肥料成分(30℃4週間インキュベーション後の無機態窒素、交換性カリウム、カルシウム、マグネシウム、有効態りん酸)は豚ふん堆肥の有効態りん酸を除いて、その大部分は損失すると考えられる。

以上3試験の結果から、家畜ふん堆肥を水田に施用する場合、堆肥中成分を有効に利用し、肥料成分の流亡による地下水汚染、亜酸化窒素の発生による地球温暖化を招かないために、その施用時期を移植時期に最大限に近づける必要があると結論づけられる。しかし、そうすることで、堆肥の種類や性状によっては、土壤の還元化やメタン等のガスの発生、肥効発現パターンの変化等を招くことが十分考えられる。今後、堆肥の種類、性状、土壤の種類、管理、栽培品種ごとに家畜ふん堆肥の利用技術を確立するためには、それらと①肥効の発現②土壤の還元③温室効果ガスの発生との関係を検討、整理していく必要がある。

引用文献

1. 愛知県 畜産経営に起因する環境汚染防止対策指導要領, 73-74(1996)
2. 安西徹郎, 松本直治. 豚尿10年連用が深き別水田土壤の理化学性及び重金属含量に及ぼす影響. 土肥誌. 58(4), 433-439(1987)
3. 橋元秀教. 有機物利用の理論と応用. 農文教. 東京, 14-19(1977)
4. 市川明, 鈴木弘通. "家畜農家における家畜ふん尿の処理流通 実態". 家畜ふん尿処理・流通・利用実態調査報告書. 愛知県, 1-6(1994)
5. 岩田久史, 沢田守男, 森健治郎, 加藤寅治. 水稲作へのおがくず混合家畜ふん堆肥の利用(第1報). 愛知農総試研報. 12, 45-51(1980)
6. 川端智雄. 液状きゅう肥の施用が水稲の生育及び土壤理化学性に及ぼす影響. 福井農試報, 21-34(1984)
7. 熊沢喜久雄. 逃げられない家畜ふん尿問題との対決. 研究ジャーナル. 16(5), 3-7(1993)
8. 前田乾一, 鬼鞍豊. ほ場条件における有機物の分解率の測定法. 土肥誌. 48(11, 12), 567-568(1977)
9. 前田乾一, 志賀一一. 水田条件下における各種有機物資材の分解経過. 土肥誌. 49(6), 455-460(1978)
10. 松村昭治. 畑土壤への家畜尿施用に伴う窒素揮散. 土肥誌. 59(6), 568-571(1988)
11. 陽捷行, 福士定雄. 土壤から発生するN₂Oのフラクスの測定法. 土肥誌. 53(6), 525-529(1982)
12. 宮崎孝. 牛ふんの肥料的利用に関する調査研究. 長崎農林試研報(農業部門). 12, 71-102(1984)
13. 新見洋. "家畜糞尿を多量施用した土壤での窒素の動態". 土壤環境のモニタリング. 日本土壤肥料協会. 東京, 21-28(1995)
14. 志賀一一. 水田の有機物施用基準について. 土肥誌. 55(4), 374-380(1984)
15. 瀧勝俊. 土壤中における肥料成分の挙動(第1報). 愛知農総試研報. 21, 263-272(1989)
16. 瀧勝俊. 施設土壤における硫酸塩蓄積の原因(1) 東三河トマト施設土壤について. 愛知農総試研報. 23, 271-280(1991)
17. 瀧勝俊. 農耕地土壤からの肥料成分溶脱に関する研究(第1報). 愛知農総試研報. 25, 193-198(1993)
18. 上村幸廣, 宇田川義夫, 吉留昭夫, 古江広治. 各種有機物の施用が水稲の生育及び土壤に及ぼす影響. 鹿児島県農業試験場研究報告. 14, 21-27(1986)
19. 山本富三. 速度論的解析による水田土壤の窒素無機化特性. 土肥誌. 57(5), 481-486(1986)
20. 山室成一. 細粒質きょうグライ土水田における土壤無機化窒素の動態と堆肥連用6年との関係. 土肥誌. 57(6), 551-557(1986)