九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

メタン発酵消化液の施用方法の違いが水稲の生育に及ぼす影響

善明, 嵩英
九州大学大学院農学研究院植物資源科学部門植物生産科学講座植物栄養学研究室

山川, 武夫
九州大学大学院農学研究院植物資源科学部門植物生産科学講座植物栄養学研究室

菊池, 政道
九州大学大学院農学研究院植物資源科学部門植物生産科学講座植物栄養学研究室

https://doi.org/10.15017/13900

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 64 (1), pp.1-5, 2009-02-27. 九州大学大学院農学研究院
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

九大農学芸誌（Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.）
第64巻　第1号　1－5　（2009）

メタン発酵消化液の施用方法の違いが水稲の生育に及ぼす影響

善　明　嵩　英[1]・山　川　武　夫*・菊　池　政　道
九州大学大学院農学研究院植物資源科学部門植物生産科学講座植物栄養学研究室
（2008年11月13日受付，2008年12月5日受理）

Effect on Rice Growth of the Different Application of Liquid Phase of Digested Organic Waste

Takahide ZENMYO[1], Takeo YAMAKAWA* and Masamichi KIKUCHI
Laboratory of Plant Nutrition, Department of Bioresource and Bioenvironmental Science, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

緒　　言

メタン発酵消化液は，有機性廃棄物をメタン発酵により資源化する際，発酵産物であるメタンガスと同時に発生する．この消化液には窒素，カリをはじめとして植物の栄養となる成分が多く含有されており，液体肥料として利用することが期待されている．メタン発酵消化液（以下，発酵液肥）を液体肥料として利用することで，これを廃液として処理する場合に比べ大幅なコストの削減が可能となる．さらに肥料として利用するにあたり，固形化などの加工を必要とせず直接利用可能であることも利点である．発酵液肥は窒素成分のうち大部分をアンモニア態窒素が占めることから（松中ら，2002），窒素栄養の点で見ると好アンモニア性植物である水稲栽培に適した肥料資材であると考えることができる．通常の水稲栽培では，基肥は全層施用された後湛水される．発酵液肥を基肥として施用する場合，液体であるという特性を生かして掛け流しによる表面施用を実施すれば施肥にかかる労力を削減することができる．また，この方法であれば移植後の施肥や，穂肥としての施用も可能である．そこで本研究では，発酵液肥の施用方法の違いが水稲の生育，および収量に及ぼす影響を調査することを目的としてポット栽培試験を実施した．

材 料 と 方 法

1．栽培管理

栽培には1/5000a ワグネルポットを用いた．土壌は諫早灰色低地土を用い，ポット当たり乾土として2.2 kg 充填した．供試植物はイネ（*Oryza sativa* L.）品種ヒノヒカリを用いた．5月30日に催芽を開始し，6月23日にポット土壌に基肥を施用した．発芽した種子は苗床に蒔いて苗を育成し，6月25日に3本1株としてポット当たり1株移植した．8月5日に穂肥を施用し，10月8日に収穫した．栽培は九州大学農学部網室で実施した．

2．処理区

処理区は発酵液肥および化学肥料それぞれを全層に施用した区，表面に施用した区を設けた（表1）．化肥全層区と液肥全層区は，ポットに充填した上層土壌に化学肥料および発酵液肥を加え混合した後湛水した．化肥表面区と液肥表面区は，ポットに土壌を充填した後湛水し，水飽和状態の土壌表面に発酵液肥および化学肥料を施用した．基肥施用量はポット当たり窒素（N），リン酸（P_2O_5），カリ（K_2O）それぞれ1.00，

[1]九州大学大学院生物資源環境科学府植物資源科学専攻植物生産科学講座植物栄養学研究室
[1]Laboratory of Plant Nutrition, Department of Plant Resource Science, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Science, Kyushu University
*Corresponding author（E-mail: yamakawa@agr.kyushu-u.ac.jp）

表1　各処理区の施肥設計と施肥量（g pot^{-1}）

処理区	肥料資材	施用方法	基肥			穂肥		
			N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
化肥全層区	化学肥料	全層	1.00	0.075	1.00	0.50	0	0.38
化肥表面区	化学肥料	表面	1.00	0.075	1.00	0.50	0	0.38
液肥全層区	発酵液肥	全層	1.00	0.075	1.00	0.50	0.038	0.38
液肥表面区	発酵液肥	表面	1.00	0.075	1.00	0.50	0.038	0.38
無肥料区	－	－	0	0	0	0	0	0

表2　メタン発酵消化液の成分組成

T-N	NH_4-N	P_2O_5	K_2O	pH
	gL^{-1}			
2.85	1.80	0.21	2.18	8.7

0.075，1.00g とした．発酵液肥の施用量はポット当たり351mL とした．これは全窒素（T-N）で1.00g，P_2O_5で0.075g に相当する量（表 2）であるが，K_2Oは1.00g に不足するため不足分を塩化カリウム溶液で補った．化学肥料の肥料資材として，N は硫酸アンモニウム溶液，P_2O_5と K_2O はリン酸カリウム溶液を用いた．また，珪酸質肥料（スーパーイネルギー，（株）富士シリシア化学，可溶性珪酸90.0％） 3 g を全処理区に施用した．発酵液肥を施用した区は穂肥にも発酵液肥を用い，施用量は基肥の半量とした．化学肥料を施用した区にも，穂肥として同量の N，K_2O を上述の肥料資材を用いて施用し，P_2O_5は施用しなかった．また，肥料資材を施用しない無肥料区も設け，それぞれ 3 反復で実施した．

3．調査および分析方法

(1) 発酵液肥の分析方法

発酵液肥は硫酸・過酸化水素分解法（大山ら，1991）により分解した後，T-N をインドフェノール法（Cataldo ら，1974），リン酸（P_2O_5）をアスコルビン酸法（南條，1990）により比色定量した．カリ（K_2O）は原子吸光光度法（波多野，1990）により定量した．アンモニア態窒素（NH_4-N）は発酵液肥を100倍に希釈し，インドフェノール法により定量した．

(2) 植物体の分析方法

栽培期間中約 2 週間毎に生育調査として植物体の草丈，SPAD 値，茎数を調査した．収穫した植物体は茎葉と穂に分け，茎葉は48時間，穂は24時間70℃で通風乾燥した．乾燥した植物体は乾物重を測定した後粉砕し，分析用試料とした．この試料を硫酸・過酸化水素分解法により分解し，N をインドフェノール法により比色定量した．

(3) 施肥資材由来 N の乾物生産効率の算出方法

施肥資材に由来する単位 N 当たりの乾物生産効率（施肥 N 乾物生産効率，以下 N_e）を式（1）によって算出した．

$$N_e=(D_F-D_{-F})/N_{ap} \quad (1)$$

式（1）の D_F は肥料資材施用区の，D_{-F} は無肥料区の植物体乾物重であり，N_{ap} は施用した N 量である．また，式（2）により見かけの施肥 N 利用率（以下 N_{re}）を，式（3）により吸収された施肥 N の乾物生産効率（吸収 N 乾物生産効率，以下 N_{ac}）を算出した．

$$N_{re}=(N_F-N_{-F})/N_{ap} \quad (2)$$

$$N_{ac}=(D_F-D_{-F})/(N_F-N_{-F}) \quad (3)$$

式（2），式（3）の N_F は肥料資材施用区の，N_{-F} は無肥料区の N 吸収量である．ここで，$N_e=N_{re}\times N_{ac}$ であり，施肥 N 乾物生産効率は見かけの施肥 N 利用率と吸収 N 乾物生産効率の二要因に分けて考えられる（松中ら，2003）．

結　　果

1．発酵液肥の成分組成

発酵液肥の成分組成を表 2 に示した．発酵液肥は 1 L 当たり2.85g と高濃度の N を含有しており，うち約63％が NH_4-N であった．K_2O 濃度も2.18g L^{-1}と高かったが，P_2O_5濃度は低かった．pH は8.7でありアルカリ性であった．

2．植物の生育

図 1 に草丈，茎数，SPAD 値の推移を示した．草丈は無肥料区で特に低く推移し，肥料資材および施用法の違いによる差は見られなかった．茎数は液肥表面区で少なく，最高分げつ期における茎数は化肥全層区の84％であった．また，無肥料区ではほとんど増加が

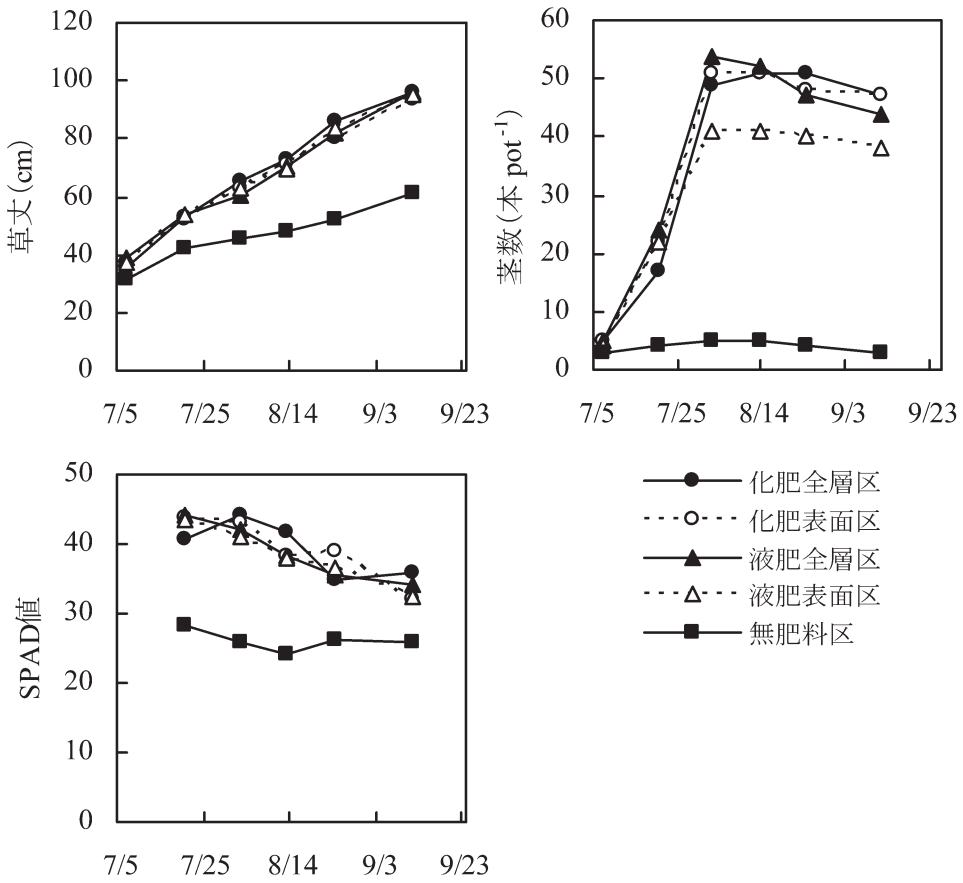

図 1　草丈，茎数，SPAD 値の推移

見られなかった．SPAD 値は肥料資材および施用法の異なる処理区間に差は見られず，無肥料区で最も低く推移した．

3．植物の乾物重および N 集積量

植物体の乾物重および N 集積量を表 3 に示した．化学肥料を施用した区の乾物重は，茎葉，穂ともに施用法による違いは見られなかった．液肥全層区の茎葉の乾物重は化学肥料を施用した区と同等であったが，液肥表面区の茎葉の乾物重は有意に小さかった．一方，穂の乾物重には施用法による違いが見られなかった．また，無肥料区の乾物重は茎葉，穂ともに極めて小さかった．植物体の N 集積量についても乾物重と同様の傾向が見られた．

4．施肥資材由来 N の乾物生産効率

施肥 N 乾物生産効率（N_e），見かけの施肥 N 利用率（N_{re}）および吸収 N 乾物生産効率（N_{ac}）を表 4 に示した．N_e は液肥表面区で低かった．これは，液肥表面区で N_{re} が低かったためであり，N_{ac} は他処理区と差が認められなかった．化学肥料を施用した区は施用法にかかわらず N_{re}，N_{ac} ともに差がなく，N_e は

表 3　収穫期の植物体乾物重および N 集積量

処理区	乾物重（g pot^{-1}）		N 集積量（g pot^{-1}）	
	茎葉	穂	茎葉	穂
化肥全層区	77.3 a	39.2 a	0.35 a	0.45 a
化肥表面区	73.9 a	40.3 a	0.36 a	0.42 a
液肥全層区	74.2 a	35.6 a	0.34 a	0.40 a
液肥表面区	58.8 b	36.1 a	0.25 b	0.39 a
無肥料区	4.1 c	2.0 b	0.02 c	0.02 b

表中で各項目，各部位において異なるアルファベット間には Fisher の最小有意差検定により 5 % 水準で有意差があることを示す．

表4　施肥N乾物生産効率（N_e），見かけの施肥N利用率（N_{re}）および吸収N乾物生産効率（N_{ac}）

処理区	N_e	N_{re}	N_{ac}
化肥全層区	73.6	51.3	144
化肥表面区	72.1	49.7	145
液肥全層区	69.2	47.0	147
液肥表面区	59.2	40.6	146

ほぼ同等であった．液肥全層区のN_eは化学肥料を施用した区と差がなかった．

考　　察

一般に水稲の窒素吸収量のうち地力窒素に由来する割合は41～75%程度であり，土壌の有機態窒素から生成するNH_4-Nに大きく依存している（川口，1978）．本研究では無肥料区で植物体乾物重とN集積量が液肥，及び化学肥料を施用した区に比べ大幅に劣り，分げつもほとんど出なかったことから，土壌からのNH_4-N供給量は非常に少なかったと考えられる．

液肥表面区の茎数は液肥全層区，および化学肥料を施用した区と比べ少なかった．液肥表面区は茎葉の乾物重も有意に小さく，栄養成長で他の処理区に劣っていた．化肥全層区の見かけの施肥N利用率（N_{re}）は51.3%，化肥表面区では49.7%であったのに対し，液肥表面区のN_{re}は40.6%と低かった．一方，液肥全層区のN_{re}は47.0%で化肥全層区とそれほど差がなかった．これらのことから，発酵液肥は全層施用すると化学肥料と同等の効果をもって植物の成育に寄与し得るが，表面施用では施肥されたNが植物に有効に利用されないことが明らかとなった．発酵液肥はN成分の約63%がNH_4-Nであり，また発酵液肥自体がアルカリ性であることから，NH_4-Nが揮散しやすい状態にあると考えられる．宮田・池田（2006）は貯蔵中の発酵液肥からのNH_4-N揮散を調査し，常温での貯蔵中に多量のNH_4-Nが揮散すること，pHを5.5程度に調整するとNH_4-N揮散を抑えられることを報告している．また松中ら（2003）は発酵液肥，及び化学肥料を土壌に表面施用した場合，化学肥料施用区からのNH_4-N揮散は認められないが，発酵液肥施用区では施用量，および施用後経過時間が長いほどNH_4-N揮散量が増加することを報告している．表面施用では移植後比較的早い段階で発酵液肥中のNH_4-Nが空気中に揮散損失し，植物の施肥N利用率を下げたと考えられる．

液肥表面区の茎葉の乾物重は無肥料区以外の他区に比較し有意に低かったにもかかわらず，穂の乾物重は液肥全層区と同等であり，化学肥料を施用した区との間に有意な差は認められなかった．登熟期に葉が茂りすぎの株は，適正な葉ぶりの株に比べ光合成量が劣り，茎葉から穂への物質転流量が少なくなることが知られている（星川，1975）．また，Takaiら（2006）は水稲の収量は穂揃期2週間前から穂揃期までの間の乾物増加率（$g\ m^{-2}\ day^{-1}$）と強い正の相関があり，この期間の乾物増加率は水稲の光利用効率に依存することを報告している．液肥表面区は化学肥料を施用した区，および液肥全層区に比べ葉の茂りが粗であったぶん光利用効率に優れ，光合成効率と光合成産物の穂への転流量が他処理区より多かった可能性がある．

本研究では，化学肥料で施用したNの全量がNH_4-Nであったのに対し，発酵液肥を施用した区の全N量は，化学肥料を施用したN量と同等であり，NH_4-Nがその約63%であり，残りの37%は有機態Nであった．したがって，この有機態Nが易分解性か難分解性かによって，水稲のN吸収とそれに伴う生育に影響が出ると予想された．栽培の結果，液肥全層区の水稲は化学肥料を施用した区と同等の生育を示し，発酵液肥の有機態Nが容易に無機化され植物に吸収されたように見える．しかし，発酵液肥中有機態Nの分解特性については培養試験等の実施により，更なる検討が必要である．

以上のことから，発酵液肥は全層施用することで化学肥料と同等の効果が得られるが，表面施用ではN利用率が低いため，栄養成長が劣ると結論づけられた．このN利用率の低さはNH_4-Nの揮散損失によるのではないかと推測した．今後は発酵液肥の表面施用時のNH_4-N揮散量の調査や，土壌に残留した発酵液肥中N成分の残効性の調査が必要である．

要　　約

有機性廃棄物由来のメタン発酵消化液（発酵液肥）の施用方法の違いが水稲の生育に及ぼす影響を検討するため，水稲のポット栽培試験を実施した．発酵液肥の施用方法は全層施用と表面施用とし，対照として化肥全層区と化肥表面区，および無肥料区を設けた．栽培の結果，液肥全層区は化学肥料を施用した区と同等の生育を示したが，液肥表面区では見かけのN利用率が低く，栄養成長で化学肥料を施用した区に劣った．これは，発酵液肥中のNの約63%を占めるNH_4-Nが土壌表面から揮散損失したためであると推察した．

文　　献

Cataldo, D. A., L. E. Scharader and V. L. Youngs 1974 Analysis by digestion and colorimetric assay of total nitrogen in plant tissues high in nitrate. *Crop Sci.*, **14**: 854-856

波多野隆介　1990　23 水溶性陽イオン．土壌標準分析・測定法委員会編：土壌標準分析・測定法．博友社，東京，135-139頁

星川清親　1975　解説図解 イネの生長．農山漁村文化協会，東京

川口圭三郎　1978　水田土壌学．講談社，東京

松中照夫・成瀬往代・熊井実鈴　2002　乳牛ふん尿のメタン発酵処理に伴う性状変化．土肥誌，**73**: 297-300

松中照夫・熊井実鈴・千徳あす香　2003　バイオガスプラント消化液由来窒素のオーチャードグラスに対する肥料的効果．土肥誌，**74**: 31-38

宮田尚稔・池田英男　2006　貯蔵中のメタン発酵消化液からのアンモニウム消失．土肥誌，**77**: 577-581

南條正巳　1990　22 可給態リン酸．土壌標準分析・測定法委員会編：土壌標準分析・測定法．博友社，東京，127-130頁

大山卓爾・伊藤道秋・小林京子・荒木　創・安吉佐和子・佐々木修・山崎拓也・曽山久美子・種村竜太・水野義孝・五十嵐太郎　1991　硫酸－過酸化水素分解法による植物，堆肥中に含まれるN，P，Kの分析．新潟大学農学部研究報告，**43**: 111-120

Takai, T., S. Matsuura, T. Nishio, A. Ohsumi, T. Shiraiwa and T. Horie 2008 Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period. *Field Crops Res.*, **96**: 328-335

Summary

The nutritive effect on rice (*Oryza sativa*. L) growth of two different application of liquid phase of digested organic waste (LPD) was investigated. This study was carried out with a pot experiment in 2005. This LPD was applied on the surface or incorporated into the upper layer of soil. Surface application of LPD decreased tiller number and shoot dry weight. However, there was no significant difference in ear dry weight. The gross recovery rate of applied nitrogen from surface application of LPD was less than that from incorporation of LPD and chemical fertilizer. So the dry matter production efficiency per applied nitrogen was low by surface application of LPD. This suggests that ammonium nitrogen in LPD might be lost through volatilization by the surface application, because LPD was alkaline. From the results, it is concluded that the nutritive effect of LPD is equal to chemical fertilizer when it is incorporated into the soil.