

## 下水汚泥の農業利用について(第1報)

## 熱処理汚泥の窒素肥効

古山賢治・宗林 正・水田昌宏・田中康隆

## Utilization of Sewage Sludge in the Field of Agriculture. 1.

Effect of nitrogen in heating sludge on several crops and soil.

Kenji KOYAMA, Tadasi SORIN, Masahiro MIZUTA and Yasutaka TANAKA

## 緒 言

本県における広域下水処理は、昭和49年6月より大和郡山市の浄化センターにおいて一部処理が開始された。ここでは、下水処理方法として活性汚泥法が、また汚泥処理方法として熱処理加圧脱水法が採用されており、処理残渣としての熱処理汚泥発生量は、現在日量3tであるが、昭和70年代には75tに達すると予測されている。そこで、県では下水汚泥利用研究会を発足させ、熱処理汚泥の有効利用の推進を図ることになり、その一環として、當場では農業利用について昭和52年より検討を開始した。

下水汚泥の施用効果に関する既往の試験研究報告は、そのほとんどが生汚泥に関するものであり、処理技術の開発が新しく、しかも採用事例の少ない熱処理汚泥に関するものは極めて少ない。それらを総括すると、生汚泥の窒素肥効発現が有機質肥料のナタネ粕に類似するという栗原<sup>3)</sup>らの報告に代表されるとおり、生汚泥の施用効果は、比較的含有量の高い窒素の肥効発現によるところ

が大きいと考えられる。また、熱処理汚泥については、脱水効率を高めるための加熱(200℃以上)工程において、含有成分中の易分解性部分の溶出、脱離および蛋白質等高分子有機化合物の凝固変成<sup>1)</sup>が確認されているが、肥効発現は生汚泥に比べ著しく相違すると考えられるものの、現在のところ全く不明の状況にある。

したがって、熱処理汚泥の農業利用を検討するにあたり、浄化センターでの堆肥化試験と並行して、まず生汚泥および有機質肥料と対比し、その肥効特性を明らかにするとともに、各種作物に対する施用効果について検討を加えた。その結果をとりまとめたので以下に報告する。

## 実験 I 汚泥の窒素の無機化について

## 1. 実験材料

供試土壌は場内圃場(清武統ⅡIfn)の水田心土を用いた。その理化学性は第1表に示した。

供試汚泥は生汚泥、熱処理汚泥、発酵処理済熱処理汚泥(熱処理汚泥をキルン発酵槽で28日間、一次発酵を行い、さらに野積堆積により28日間、二次発酵を行ったも

Table 1. Some properties of the soil used for N—mineralization and seedling test.

Soil texture	pH (1 : 5) H <sub>2</sub> O	EC (1 : 5) KCl (mv/cm)	Y <sub>i</sub>	Max. water holding capacity	CEC me / 100g	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> adsorption coefficient	Bulk density	
L	6.2	5.2	0.02	0.35	35	10.78	720	110

Table 2. Components of sludges and manures.

	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	EC(mv/cm)
Raw sludge	5.02	6.52	0.31	6.30	0.63
Non-composted heating sludge	1.47	6.35	0.33	6.95	0.44
Composted heating sludge	1.82	6.21	0.39	6.25	3.42
Fish meal	9.38	—	—	—	—
Composted rice straw	1.96	—	—	—	—

(% d. wt.)

の、以下発酵処理汚泥という.)の3種類を用いた。その成分は第2表に示した。

また、対照として第2表に示した速成イナワラ堆肥および魚粕を使用した。

2. インキュベーション方法

(1) 畑条件下

pH6.5に酸度矯正した風乾土100gに対し、汚泥粉砕物をN成分量で40mg相当量、すなわち熱処理汚泥2.72g、発酵処理汚泥2.20gを加え、よく土と混合し、容量300mlの三角フラスコに入れ、土壌水分を最大容水量の50~60%に調整したのち、35℃下で35日間保温静置した。

無機態窒素は、蒸留法によりアンモニア態および硝酸態窒素について経時的に測定した。

また、無機態窒素の測定値から次式により窒素の無機化率を算出した。

$$\text{窒素の無機化率} = \frac{(\text{汚泥添加土壌中の無機態窒素}) - (\text{土壌のみの無機態窒素})}{\text{添加汚泥の全窒素}} \times 100$$

なお対照として、速成イナワラ堆肥および魚粕を用い、N成分量で40mg相当量、すなわち速成イナワラ堆肥2.04g、魚粕0.43gを加え、同様に処理し無機態窒素の測定および窒素の無機化率の算出を行った。

(2) 湛水条件下

風乾土30gに各汚泥粉砕物を重量比1%、3%、5%相当、すなわち生汚泥、熱処理汚泥、発酵処理汚泥を各々300mg、900mg、1500mg添加し、よく土と混合したのち、内径15mm、高さ100mmのインキュベイトチューブに充填し、これに脱気水を表面水の厚さ10mmまで注水した。これをコルク栓で密封したのち、30℃で31日間保温静置した。土壌の酸化還元電位は1週間毎にEhメーターで測定した。なおEhは測定開始30分後のEh6の値である。

アンモニア態窒素はEh測定後の試料について塩加カリを1規定相当量添加し、1時間振とう後その抽出液について蒸留法で測定した。

また、対照として速成イナワラ堆肥を用い同様の処理を行った。

実験結果

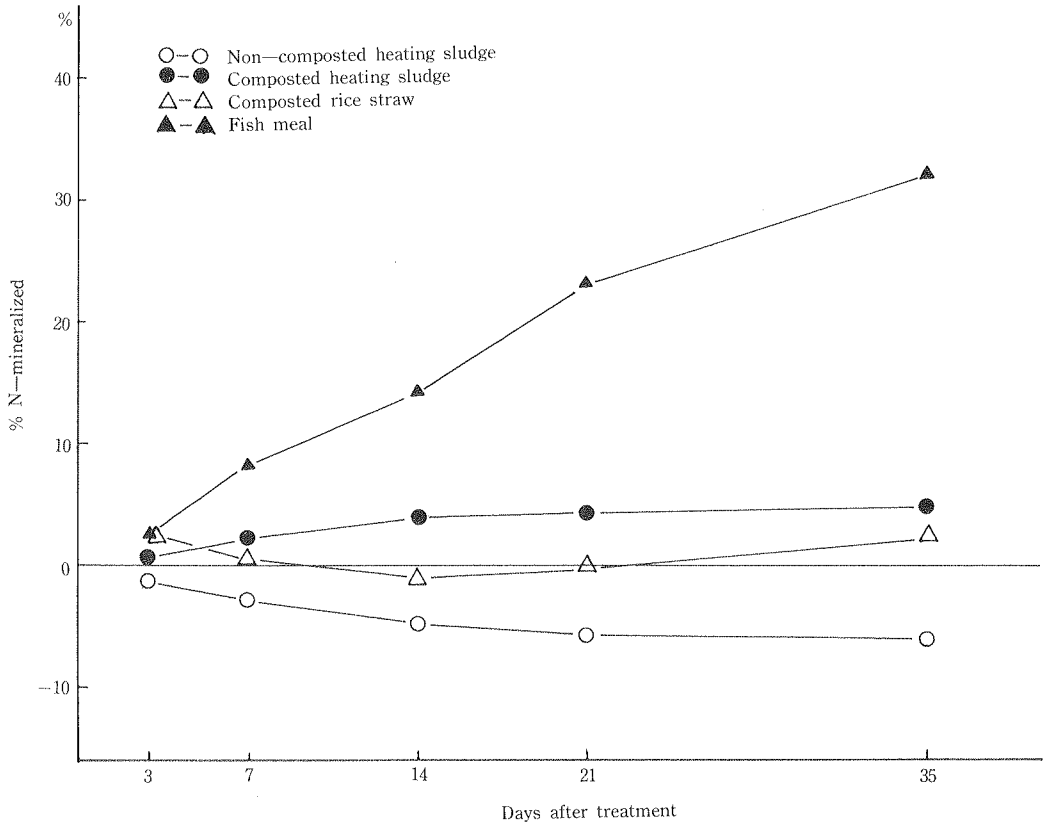


Fig 1. Nitrogen mineralization rate in field condition. (N=40 mg applied)

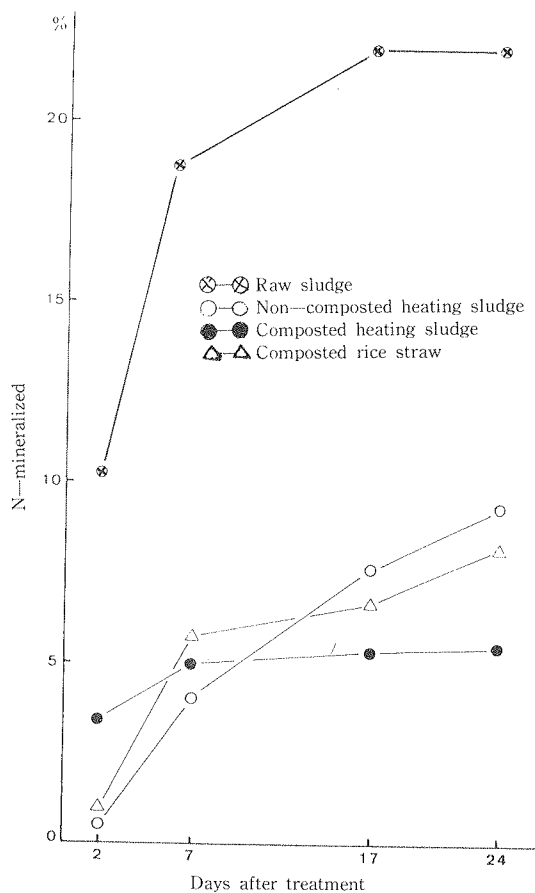


Fig. 2-1. Nitrogen mineralization rate in paddy field condition. Each materials were applied 5 g/100 g soil.

畑条件下での汚泥の窒素の無機化パターンは図-1に示したとおりである。窒素の無機化速度は、魚粕>発酵処理汚泥>速成イナワラ堆肥>熱処理汚泥の順であった。魚粕の窒素の無機化率は35日間で32.1%であり、発酵処理汚泥では5.4%、速成イナワラ堆肥では2.8%であった。熱処理汚泥ではインキュベイト期間中、無機態窒素の放出は全くみられなかった。

湛水条件下での汚泥の窒素の無機化パターンおよび酸化還元電位の経時変化は図2-1および2、に示したとおりである。窒素の無機化速度は、生汚泥>熱処理汚泥≧速成イナワラ堆肥>発酵処理汚泥の順であり、生汚泥では5%添加区において、7日間で土100gあたり約50mgのアンモニア態窒素の発現が確認された。しかし、熱処理汚泥では5%添加区が24日間で土100gあたりアンモニア態窒素約10mgで生汚泥の1/5程度の発現量にとどまった。また、窒素の無機化パターンは速成イナワラ堆

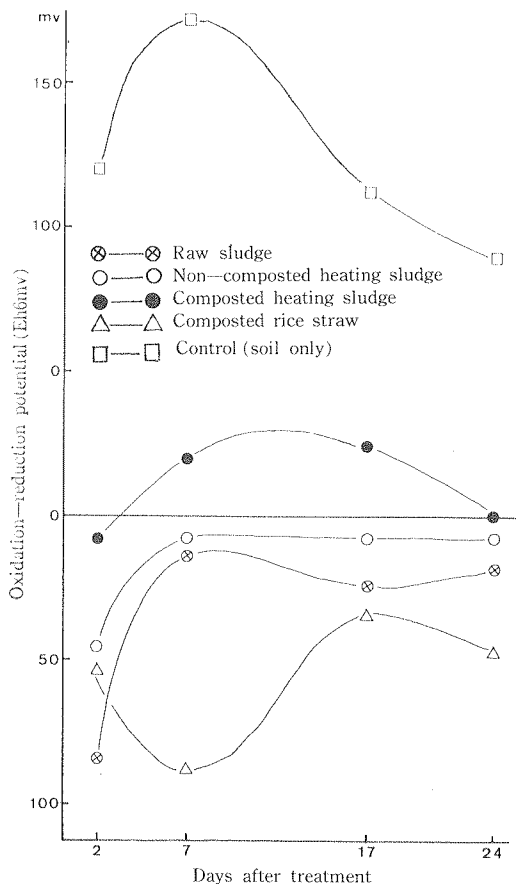


Fig. 2-2. changes of oxidation-reduction potential as effected by sludge application in paddy field condition. Each materials were applied 5 g/100 g soil

肥に酷似していた。発酵処理汚泥では熱処理汚泥に比べ窒素の無機化量はより少なく、生汚泥の1/10程度の発現量にとどまった。

土壌のEh低下は、速成イナワラ堆肥<生汚泥<熱処理汚泥<発酵処理汚泥の順であり、速成イナワラ堆肥の5%添加区でEh6-89mVと最も低下することを確認した。また、生汚泥の5%添加区では施用初期に急激なEh低下がみられ、Eh6-86mVまで低下することを確認した。熱処理汚泥では施用初期においても急激なEh低下がみられず、5%添加区のみEh6値はインキュベイト期間中マイナスの値を示した。発酵処理汚泥では5%添加区のみ施用初期にマイナスの値を示したが、以後プラスの値を示した。

実験II 汚泥の多量施用が土壌の理化学性におよぼす影響について

発酵処理汚泥を多量施用したハクサイ栽培地土壌の理化学性を調査した。

### 1. 実験材料

供試汚泥は発酵処理汚泥であり、その成分組成は第2表に示したとおりである。また、施用方法は全層および深層施用とし、10a あたり0 t, 3 t, 5 t, 10 tの4処理区と設けた。

施肥は2回に分けて実施し、基肥として作付一週間前にN 20kg/10a, 追肥として基肥施用1か月後にN 5 kg/10a とそれぞれ施用した。使用肥料はCDU化成(16-8-12)および硝安(34)であった。

なお、全処理区ともにビニールマルチ栽培で実施した。

### 2. 採土および土壌分析方法

ハクサイ定植1か月後から2週間毎に1回、計4回、作畦土の表層下5~15cmを採土し、pH・ECの測定および無機態窒素の定量に供した。

無機態窒素の定量は、10%塩化カリ水溶液による生土抽出液について蒸留法で実施した。

### 3. 土壌三相分布の測定

篩別(2 mm)した風乾土100 gに対し、発酵処理汚泥1 g, 3 g, 5 g, 10 gを各々添加し、混合後内容100mlのコアに充填した。これを底部吸水により飽和含水量としたのち、砂柱法で $p^F$  1.5に水分調整し、実容積測定器で三相分布を測定した。

### 実験結果

Table 3-1. Changes of soil pH and EC as affected by composted heating sludge application during chinese cabbage cultivation.

Treat.	pH (1 : 5)				EC (1 : 5 m $\Omega$ /cm)			
	Sep.,16.	Oct.,2.	Oct.,19	Nov.,9.	Sep.,16.	Oct.,2.	Oct.,19.	Nov.,9.
N-O Mixed ap.								
0 t/10a	5.60	5.70	5.80	5.80	0.72	0.82	0.73	0.79
3	5.60	5.65	5.30	5.70	0.76	0.58	0.77	0.73
5	5.70	5.91	5.03	4.95	0.76	0.98	0.97	1.03
10	5.90	5.52	5.10	4.75	0.81	1.26	1.23	1.52
Buried ap.								
3 t/10a	5.90	5.32	5.25	4.90	0.73	1.30	0.93	1.27
5	5.20	5.62	5.65	5.35	0.67	0.74	0.75	0.85
10	5.20	5.06	5.70	4.90	0.70	0.68	0.96	0.89
	5.10	4.88	5.20	5.15	0.69	0.75	0.80	0.85

Table 3-2. Changes of soil inorganic nitrogen as affected by composted heating sludge application during chinese cabbage cultivation. (N mg/100 g d.s.)

Treat.	NH <sub>3</sub> -N				NO <sub>3</sub> -N			
	Sep.,16.	Oct.,2.	Oct.,19.	Nov.,9.	Sep.,16.	Oct.,2.	Oct.,19.	Nov.,9.
N-O Mixed ap.								
0 t/10a	tra.	tra.	tra.	tra.	5.88	0.84	tra.	tra.
3	2.24	tra.	0.56	tra.	18.48	13.76	15.12	9.24
5	1.40	6.44	2.80	1.12	19.04	25.48	35.84	27.72
10	15.96	54.32	19.32	20.07	14.84	11.67	30.33	39.67
Buried ap.								
3 t/10a	14.00	49.19	8.29	19.13	13.16	8.40	23.33	33.60
5	0.84	tra.	0.28	0.84	15.12	18.76	18.48	22.96
10	3.92	3.08	4.76	1.40	16.52	19.04	25.48	31.92
	1.68	0.28	1.40	0.28	15.12	20.44	20.44	24.64

ハクサイ栽培地土壌のpH・EC および無機態窒素の経時変化は第3表1および2に示したとおりである。土壌中の無機態窒素は汚泥の施用量の増加とともに上昇し、その傾向は全層施用区で明瞭であったが、深層施用区では判然としなかった。

また、全層施用の5 t以上施用区において、施用30日後までに多量のアンモニア態窒素の発現がみられ、100 g土あたり54mgの窒素発現を確認した。一方、硝酸態窒素は施用60日以後に発現し、全層5 t施用区で100 g土あ

たり39mgに達した。

土壌のpHは、無機態窒素の発現量に対応して変動し、全層施用5 t放用区では硝酸態窒素の発現ピーク時に、pH4.75まで低下した。また、ECは汚泥施用量の増加とともに上昇したが、硝酸態窒素の発現量と相関が高く、全層施用5 t施用区では硝酸態窒素ピーク時にEC1.52m $\Omega$ と最高値を示した。

土壌の三相分布は第4表に示したとおり、汚泥施用量の増加とともに固相率が增大し、孔隙率および気相率は

Table 4. Changes of three phases of soil by application of heating sludge.

amount of application	V <sub>A</sub>	V <sub>L</sub>	V <sub>S</sub>
0 t	26.5 %	33.0 %	40.5 %
1	39.0	26.9	34.1
3	38.5	26.7	34.8
5	38.0	27.1	34.9
10	36.5	27.9	35.6

減少することを確認した。汚泥10aあたり1~10t施用の範囲では固相率が1.5%まで増大し、気相率は2.5%まで減少した。

### 実験III 各種作物に対する汚泥の施用効果について

#### 1. 実験材料および方法

##### (1) ポット試験

供試土壌の理化学性および供試汚泥の成分は第1表および第2表に示した。コマツナを用い「特殊肥料品質保全対策事業」の実施要項に基づき幼植物検定をノイバイエルポットで実施した。熱処理汚泥および発酵処理汚泥

の添加量は土壌500mlあたり現物重で各々、0g, 5g, ベイト35日後に5%であり、湛水状態下では熱処理汚泥生育調査は11月8日に実施した。

##### (2) 圃場試験

供試汚泥として第2表に示した発酵処理汚泥を用い、場内圃場において各種作物について施用試験を行った。供試作物は、水稻、ハクサイ、ダイコン、トマト(半促成栽培)、ホウレンソウ(ハウス栽培)、イチゴ(促成栽培)であった。ただし、各作物に対する発酵処理汚泥の施用量は10aあたり、水稻では1t, 3t, ダイコン、イチゴおよびホウレンソウでは1t, 3t, 5t, トマトでは1t, 3t, 5t, 7t, ハクサイでは3t, 5t, 10tとした。また各作物の耕種概要は第5表に示した。

### 実験結果

幼植物検定の結果は図3に示したとおりである。熱処理汚泥の施用によりコマツナの生育は抑制された。その程度は施用増とともに強くなり、無施用区の生体重指数100に対し、20g施用区で48.6, 40g施用区で8.4であり、生育量は $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{10}$ 程度迄抑制された。一方、発酵処理汚泥

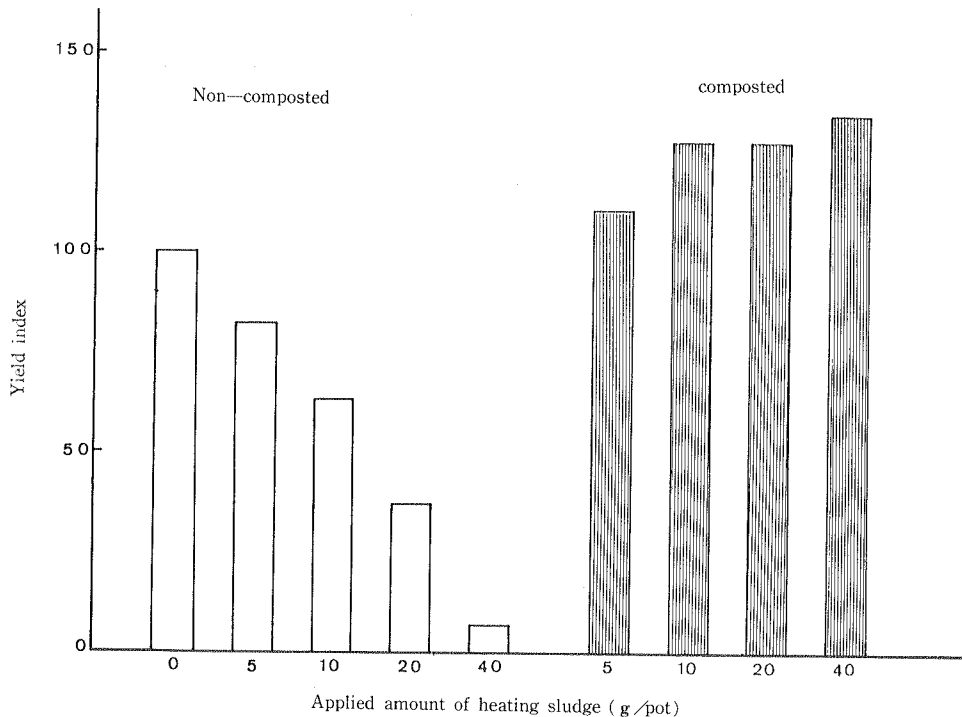


Fig. 3. Effect of sludge application on the growth of 'Komatsuna' in seedling test.

ではコマツナの生育は良好化し、施用量と生育量の間に関係が認められ、無施用区の生体重指数 100 に対し 20 g 施用区で 148.8, 40 g 施用区で 173.6 となり、生育量は 1.5 ~ 1.7 倍増大した。

圃場試験の結果は第 6 表に示したとおりである。また、発酵処理汚泥の施用による各種作物の生育および収量への影響は次のとおりである。

Table 5. Outlines of cultivation with composted heating sludge application.

Crops	Amount of application	Sowing or planting date	Harvesting date
Strawberry	0 t / 10 a	planting	Dec., 10, 1978.
cv.	1	Sep., 4, 1978.	Jan., 20, 1979.
'Hokowase'	3		
	5		
Chinese cabbage	0	Aug., 22, 1978.	Nov., 25, 1978.
cv.	3		
	5		
'Kinsho'	10		
Tomato	0	planting	Apr., 16, 1979.
cv.	1	Jan., 29, 1979.	Jun., 8, 1979.
'Shukou'	3		
	5		
	7		
Japanese raddish	0	Sep., 18, 1979.	Nov., 9, 1979.
cv.	1		
	3		
'Minowase'	5		
Spinach	0	Sep., 21, 1979.	Nov., 2, 1979.
cv.	1		
'New Asia'	3		
	5		
Rice	0	planting	Oct., 25, 1979.
cv.	1	Jun., 15, 1979.	
'Akitsuho'	3		

Table 6. Results of cultivation

Crop	Amount of application	Yield	Yield index
Strawberry	0 t / 10 a	12.9 kg / 100 st.	100
	1	13.8	107
	3	13.0	101
	5	12.0	93
Chinese cabbage	0	1184 kg / a	100
	3	1362	115
	5	1340	113
	10	1544	130
Tomato	0	845 kg / a	100
	1	941	115
	3	908	107
	5	986	117
	7	961	114
Japanese raddish	0	407 kg / a	100
	1	406	100
	3	448	110
	5	361	89
Spinach	0	206.8 kg / a	100
	1	250.0	121
	3	193.3	94
	5	183.3	89
Rice	0	47.2 kg / a	100
	1	49.5	105
	3	46.9	99

水稻では1~3 t施用によりワラ重は変化しなかったが、玄米重は増加し、とくに1 t施用区で最も多く、無施用区に対する指数は130であった。

ダイコンでは1~3 t施用により地上部重は変化しなかったが、地下部重は増加し、なかでも3 t施用区で最も多く、無施用区に対する指数は110となった。

イチゴ(促成栽培)では1~3 t施用で果実収量が増加し、1 t施用区で最も多く、無施用区に対する指数は、107であった。

ホウレンソウ(ハウス栽培)では1 t施用区で地上部収量が最も多く、無施用区に対する指数は121であったが、3 t以上の施用では逆に低下する傾向が認められた。

トマト(半促成栽培)では1~7 t施用により果実収量は増加し、なかでも5 t施用区が最も多く、無施用区に対する指数は117であった。

ハクサイでは3~10 tの施用により外葉重および結球重が増加し、10 t施用区は結球重が最も多く、無施用区に対する指数は130であった。

## 考 察

インキュベイト実験では、畑条件下35日後の窒素無機化率が発酵処理汚泥では約5%で、魚粕の約1/6であること、また、水田条件下24日間の窒素無機化量が熱処理汚泥で生汚泥の約1/5程度であり、かつ発酵処理汚泥との差異が明瞭としないこと等の結果を得た。したがって、供試した熱処理汚泥の窒素無機化率は、水田あるいは畑条件下を問わず著しく低く、現在実施している発酵処理のみで生汚泥あるいは有機質肥料と同等の窒素肥効は期待できないと考えられる。

ハクサイ栽培時の汚泥多量施用実験では、発酵処理汚泥5 t/10a以上の施用によって一時的に土壤中に多量のアンモニア態窒素が集積するとともに、硝酸化成分が著しく抑制されることを確認した。この現象は、生汚泥についてNUGYEN・大羽<sup>9)</sup>らも確認しているが、本実験では汚泥の単位施用量あたり無機態窒素の発現量が低く、したがって熱処理汚泥中の有機態窒素の大部分は未分解状態のまま、土壤中に残留するものと考えられる。

コマツナを用いた幼植物検定では、熱処理汚泥の施用によって窒素飢餓によると思われる生育抑制が強く発現したが、発酵処理汚泥では施用量の増加に比例して生育量は増大し、窒素肥効の発現促進効果を確認することができた。しかし、圃場施用実験では水稻、ハウス栽培ホウレン草および促成栽培イチゴ約1 t/10a、ダイコン約3 t/10a、ハウス栽培トマト約5 t/10a、ハクサイ約5~10 t/10a等が施用適量範囲と判断され、消化

汚泥では1~2 t/10aが畑作物の施用適量とする松崎<sup>4)</sup>の報告と対比すると、いずれも3~5倍量にもおよび、供試した熱処理汚泥は発酵処理後においてもなお肥効発現が著しく低いといえる。

一方、発酵処理汚泥の多量施用と土壤物理性の関係について三相分布に与える効果を調査した結果、施用量の増加とともに固相率が増大し、孔隙率、なかでも気相率が減少することを確認した。有機物の施用効果について、橋本<sup>2)</sup>は、土壤有機物の含量が増大すれば三相分布に占める固相率は減少し、孔隙率および水分保持容量は明瞭に増大すると報告している。また高橋<sup>6)</sup>は、下水汚泥および都市ゴミコンポストが堆肥など一般有機物質材と同様の効果があるとしているが、これらの報告と対比して、発酵処理汚泥に優位性を認めることはできなかった。

油粕・骨粉など通常の動植物質有機肥料は、標準施用量が10aあたり数百キロ以下であり、またイナワラおよび速成堆肥など有機物資材では10aあたり1~2 t程度である。しかし、本実験結果からみて、発酵処理汚泥を用い、有機質肥料あるいは農業用有機物資材の代替として同等の効果を得るためには、畑地では施肥に加え、10aあたり3 t以上という多量施用が不可欠である。また、一般有機質資材と比較して、施用後の分解および肥効発現力が著しく低く、その大部分は土壤中において長期残留すると推論されるが、それが農作物の生育に与える影響について本試験で解明することはできなかった。

以上のことから、供試した熱処理汚泥および発酵処理汚泥は、農業用有機資材として施用量および効果面から優良素材とは考えられず、実用化を図るためにはさらに堆肥化方法の改善が必要といえる。

## 摘 要

熱処理汚泥及び発酵処理汚泥の窒素無機化試験を行った。また、発酵処理汚泥をいれ各種作物に対する施用試験を行い、また、多量施用が土壤の理化学性に与える効果を検討した。

1. 熱処理汚泥の窒素無機化率は著しく低かった。発酵処理汚泥では、畑条件下においてインキュベイト35日後に5%であり、灌水状下では熱処理汚泥の窒素無機化率より劣った。

2. 発酵処理汚泥の多量施用により、施用後1ヵ月目にアンモニア態窒素の多量集積がみられ、一時的に硝酸化成分が抑制された。また、土壤の物理性に関しては、固相率の増大と孔隙率の減少が認められた。

3. 幼植物検定では、熱処理汚泥の施用により、コマツナの生育が抑制されたが、発酵処理汚泥では

生育は良好となった。

4. 発酵処理済熱処理汚泥の施用は、水稻、ホウレンソウ、促成イチゴに対し 1 t/10a, ダイコンに対し 3 t/10a, 半促成トマトに対し 5 t/10a, ハクサイに対し 5~10 t/10a で生育及び収量が増加した。

#### 引 要 文 献

1. 土木学会：1972. 下水汚泥の処理・処分および利用に関する研究報告書, 昭和46年度 P 145 ~260.
2. 橋元秀教：1979. 下水汚泥—リサイクルのために—日土肥学会編, 博友社. P 105 ~122
3. 栗原 淳：1978. 汚泥肥料の品質と肥料的価値, 汚泥・ダスト・残灰処理の新技术と効果的な再資源化商品対策—総合資料集. P 420 ~443. 経営開発センター出版部
4. 松崎敏英：1975. 汚泥の農業利用に関する研究, 神奈川県農研報. 第115号, 1~15.
5. NGUYEN, Quan-Lu ・大羽 裕：1981. 下水汚泥の有機態窒素の無機化. 土肥誌, 45(3), 219~224.
6. 高橋和司：1979. 都市廃棄物の特性と作物への施用効果, 土肥誌, 50(3), 273~284.

#### Summary

Composted and non-composted heating sludges were tested for nitrogen mineralization and the former was applied to some crops.

Mineralization rate of non-composted sludge was very low. As far as the composted sludge was concerned, the rate was only 5% after 35 days incubation in field condition, and no effect of composting was observed in paddy field condition.

In seedling test, the growth of 'Komatsuna' was better by application of composted sludge than by that of non-composted one.

By a great deal of application of composted sludge, excessive accumulation of ammoniated nitrogen was observed 1 month after the application, and nitrification was inhibited temporarily. Solid phase of soil was increased by application and porosity decreased.

The most effective amount of composted sludge applied to crop was considered 1t per 10a for rice, spinach and forcing cultured strawberry, 3t for Japanese raddish, 5t for semi-forcing cultured tomato and 5t to 10t for Chinese cabbage.