

製紙슬러지의 施用이 논 土壤의 化學性과 水稻生育에 미치는 影響

I. 슬러지施用이 土壤中 窒素形態 및 無機成分變化에 미치는 影響

許 鍾 秀* · 金 廣 植**

(1985년 11월 7일 접수)

Effects of Paper Sludge Application on the Chemical Properties of Paddy Soil and Growth of Paddy Rice

I. Effects of Paper Sludge Application on the Nitrogen Forms and Inorganic Nutrients of Paddy Soil

Jong-Soo Heo* and Kwang-Sik Kim**

Abstract

To investigate the effects of paper sludge, by-products of paper manufactory, on the chemical properties of paddy soil and growth of paddy rice, paper sludges were applied to the pots at the rates of 300, 600, 900 and 1,200 kg/10a which were either pread-justed C/N ratio to 30 : 1 or not adjusted. The effects were compared with those of control.

Seasonal variations of various forms of soil organic nitrogen, the mineralization of organic nitrogen and the contents of soil minerals were analyzed. The results were summarized as follows:

1) The contents of soil organic nitrogen, especially amino sugar-N and amino acid-N, organic matter, CEC and available SiO_2 were increased by application of paper sludge compared with that of control.

2) The mineralizations of organic nitrogen after 6 weeks of incubation at 30°C were 12.2, 12.6, 15.1, 9.7 and 15.2% in the control, 300 kg/10a sludge treatment, 300 kg/10a sludge treatment(C/N ratio adjusted), 600 kg/10a sludge treatment and 600 kg/10a sludge treatment(C/N ratio adjusted), respectively.

3) Cu and Pb contents in the soil were in the range of 0~0.2100 and 0~0.0013 ppm, respectively. Cr and Cu in the soil were not detected at all. There were no differences in the contents of all the heavy metals among all the treatments in the soil.

*慶尙大學校 農科大學 (College of Agriculture, Gyeongsang National University, Jinju, Korea)

**全南大學校 農科大學 (College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju, Korea)

緒 論

産業廢棄物의 利用에 관한 研究가 進行되고 있는 것은 世界的인 趨勢이며 이에 대한 研究가 活潑히 展開되고 있다.^(1,2,3,4) 最近 우리나라와 日本에서는 各各 産業廢棄物에 관한 國際세미나⁽⁵⁾ 및 이들의 農地에의 利用에 관한 國際심포지움⁽⁶⁾을 開催한 바 있고, 産業廢棄物의 農耕地施用에 관한 問題點 및 作物에의 施用效果등에 관한 研究는 해를 거듭할수록 많이 이루어지고 있다.^(7,8,9,10,11) 廢棄物의 農耕地還元은 公害物質의 處理와 資源의 活用이라는 利點을 지니고 있어 이의 施用으로 土壤環境을 汚染시키지 않는 한 바람직한 일일 것이다.

우리나라 都市廢棄物排出趨勢는 1964년에 年間 2,853千 ton인데 比하여 1974년에는 7,162千 ton 그리고 1979년에는 11,044千 ton으로서 每年 急激한 增加趨勢에 있고⁽⁶⁾, 現在 國內의 製紙工場 廢水處理場에서 生産되는 슬러지의 量은 正確하게 把握되어 있지 않으나 종이 總生産量이 年間 約 200萬 ton임을 勘案할 때 슬러지의 生産量은 年間 約 2萬 ton程度로 推算된다. 그러나 製紙슬러지의 處理方法은 埋沒, 燒却 및 海洋投棄등으로 하고 있으나 現在 이러한 方法들이 여러가지 面에서 問題視되고 있음은 周知의 事實이다.

이와같은 問題를 解決하는 方法으로 슬러지를 土壤中에 施用했을 때 土壤環境을 汚染시키지 않으면서 土壤의 理化學的 性質을 改善시키고 作物의 生育을 좋게 한다면 堆肥나 퇴적과 같은 有機物로서 土壤에 施用할 수 있을 것이다. 그러나 製紙슬러지에 관한 研究로는 前田⁽¹²⁾의 슬러지의 土壤中 分解特性에 관한 研究와 鄭 등⁽¹³⁾의 슬러지에 대한 몇種의 成分分析 data가 있으나 이의 土壤中 施用可能性을 提示할만한 多角的이고 깊이 있는 研究結果는 不足한 實情에 있다.

따라서 本 研究는 製紙工場에서 副産되는 슬러지를 土壤中에 施用하여 土壤中 窒素의 形態變化, 有機態

窒素의 無機化, 無機成分, 重金屬, 有機物 및 腐植의 形態變化 그리고 水稻의 生育狀況 및 無機成分 吸收와 슬러지의 分解樣相, 土壤中 CO₂發生量, 揮發性低級脂肪酸 및 高級脂肪酸變化등을 綜合的으로 檢討함으로써 슬러지의 土壤에로의 施用可能性을 提示코자 하였다.

本報에서는 슬러지를 施用함으로써 土壤中 窒素의 形態變化, 有機態窒素의 無機化, 無機成分 및 重金屬 含量變化를 調査한 結果를 報告코자 한다.

材料 및 方法

1. 供試材料

供試材料는 製紙슬러지를 使用하였으며 그 理化學的 特性은 Table 1과 같고 脂肪酸組成은 Table 2와 같으며 供試土壤의 理化學的 性質은 Table 3과 같다.

2. 處理內容

處理는 Table 4에서 보는 바와 같이 製紙슬러지의 施用水準을 300, 600, 900 및 1,200 kg/10 a 으로 달리하고 各 施用水準別로 C/N率을 30 : 1로 調節한 區를 두었으며 無肥區 및 3要素區와 함께 모두 10個 處理를 하였다.

3要素施用은 分量으로 N, P₂O₅, K₂O를 各各 20, 20, 15 kg/10a를 施用하였으며 磷酸 및 가리는 各各 過石 및 鹽化가리로써 移秧前日(1983年 6月 20日) 全量 基肥로 施用하였고 窒素는 尿素로써 基肥(6月 20日) 10 kg/10a, 分藥肥(7月 5日) 4 kg/10a, 穗肥(8月 10日) 4 kg/10a 및 實肥(8月 31日) 2 kg/10a를 施用하였다. 슬러지는 移秧前日 3要素와 함께 全體混合施用하였다.

各 處理는 4反覆으로 1/2, 000a pot에 完全任意配置하여 水稻品種 삼강벼(40日苗)를 供試作物로 1983年 6月 21日 pot當 4本씩 移秧하였으며 栽培管理는 一般耕種法에 準하였다.

土壤試料採取는 移秧後 25日, 有效分藥期(7月 25日),

Table 1. Analysis of paper sludge used

Moisture (%)	pH(1 : 5H ₂ O)		C (%)	N (%)	C/N Ratio	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
	Fresh	Dry					
53.2	7.3	7.3	37.0	0.20	185.0	0.20	1.54
CaO (%)	MgO (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Total carbohydrate (%)	Cellulose (%)	Lignin (%)	Total lipid (%)
0.23	0.38	0.60	0.86	30.0	25.2	9.1	0.81

Table 2. Fatty acid composition of paper sludge used

(Unit: %)

?	?	C 14 : 0	C 14 : 1	?	?	C 16 : 0
0.41*	0.45	0.49	0.58	0.72	0.77	1.00
0.27	1.65	2.72	0.06	2.08	0.92	39.85
C 16 : 1	?	?	?	C 18 : 0	C 18 : 2	C 18 : 3
1.16	1.44	1.59	1.83	2.03	2.65	3.54
5.99	1.68	1.29	1.01	22.81	11.94	7.73

* : Relative retention time ? : unidentified

Table 3. Physico-chemical properties of soil used

Soil texture	pH (1 : 5H ₂ O)	T-N (%)	O.M (%)	CEC (me/100g)	Ex.-Cation(me/100g)			Ave.-P ₂ O ₅ (ppm)
					Ca	Mg	K	
L	6.0	0.16	2.02	9.5	4.2	2.2	0.22	58
Ave.-SiO ₂ (ppm)	Ex.-Al (ppm)	SO ₄ ⁻ (ppm)	Fe ⁺⁺ (ppm)	Mn ⁺⁺ (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)
102	12.1	28.7	31	25	0	tr	0	0.15

Table 4. Experimental design

Number	Treatments
1	Non fertilizer
2	NPK(20-20-15 kg/10a)
3	NPK + paper sludge 300 kg/10a
4	NPK + paper sludge 300 kg/10a + C/N ratio to 30 : 1 adjusted
5	NPK + paper sludge 600 kg/10a
6	NPK + paper sludge 600 kg/10a + C/N ratio to 30 : 1 adjusted
7	NPK + paper sludge 900 kg/10a
8	NPK + paper sludge 900 kg/10a + C/N ratio to 30 : 1 adjusted
9	NPK + paper sludge 1,200 kg/10a
10	NPK + paper sludge 1,200 kg/10a + C/N ratio to 30 : 1 adjusted

最高分蘗期(8月 8日), 幼穗形成期(8月 22日) 및 收穫期(10月 19日)에 實施하였다.

3. 分析方法

1) 供試製紙슬러지

供試 製紙슬러지의 分析은 다음과 같이 하였다.

pH는 硝子電極으로, 炭素는 Tyurin法, 窒素는 Kjeldahl法으로 하였고 磷酸, 가리, 石灰, 苦土, 鐵

및 망간은 試料를 濕式分解液(HNO₃ : H₂SO₄ : HClO₄ = 10 : 1 : 4)으로 分解하여 磷酸는 比色法으로 가리, 石灰, 苦土, 鐵 및 망간은 atomic absorption spectrophotometer로 測定하였다. 全炭水化合物은 試料를 25% HCl로 3時間 加水分解하여 그 濾液을 Somogji 變法으로 測定하였으며⁽¹⁴⁾, cellulose는 Chlorite法⁽¹⁵⁾, lignin은 JIS法⁽¹⁴⁾으로 하였다. 總脂質은 homogenizer로 粉碎한 試料에 diethyl ether를 加하여 soxhlet 장치에

서 24時間 連續抽出한 後 sodium sulfate로 水分을 除去하고 濾過한 diethyl ether 層을 rotary evaporator로 濃縮乾燥시킨 後 總脂質을 구하였다. 抽出된 脂質을 常法⁽¹⁶⁾에 따라 鹼化하여 水溶性인 검화물을 1%-toluene sulfonic acid methanol 溶液으로 methylation하여 gas liquid chromatography로써 脂肪酸組成을 分析하였다. 脂肪酸 分析을 위한 GLC 條件은 Table 5와 같고 標準物質의 RRT는 Table 6과 같다.

Table 5. The operating conditions of GLC for higher fatty acids analysis

Column	15% DEGS(glass ϕ 3 mm \times 2 mm)
Detector	Flame ionization detector
Column temp.	170°C
Detector temp.	210°C
Carrier gas	N ₂ , 80 ml/min
Chart speed	5 mm/min

Table 6. Relative retention times of the authentic specimens of higher fatty acids

Higher fatty acids	RRT*	Higher fatty acids	RRT
C 12 : 0	0.37	C 18 : 0	2.03
C 14 : 0	0.49	C 18 : 1	2.21
C 14 : 1	0.58	C 18 : 2	2.65
C 16 : 0	1.00 ^b	C 18 : 3	3.54
C 16 : 1	1.16	C 20 : 0	3.92

*Relative retention time

^bRetention time for palmitic acid(7min) is taken as 1.00

2) 土 壤

土壤中 全窒素 및 NH₄-N는 Kjeldahl 法으로 測定하였으며 有機態窒素의 分別定量은 Bremner 法⁽¹⁷⁾으로 하였고 有機態窒素의 無機化는 Stanford⁽¹⁸⁾, Nguyen⁽¹⁹⁾ 및 Reddy⁽²⁰⁾의 方法에 따라 다음과 같이 하였다. 즉 pot 栽培試驗에 處理된 各區의 試驗後土壤 10g을 4 flask에 넣고 蒸溜水 10ml을 加하여 30°C 恒溫器에 保存하면서 6 週間 生成된 NH₄-N를 測定하여 有機態窒素의 無機化率을 求하였다.

그리고 有機物은 Tyurin 法, pH는 硝子電極法, 電氣傳導度는 Electric Conductivity Meter로 測定하였으며 有效磷酸은 Lancaster 法으로 하였고 置換性 가리, 石灰 및 苦土는 風乾土를 N-CH₃COONH₄로 浸出하여 가리는 flame photometer로 測定하였다 石灰 및 苦土는 EDTA로 滴定하였다.

CEC는 N-CH₃COONH₄ 浸出法으로 하였으며 有效珪酸은 N-CH₃COONa(pH 4.0) 可溶性 珪酸으로 測定하였다. Fe⁺⁺ 및 Mn⁺⁺은 (TEA+CaCl₂+DTPA) 混合溶液으로 浸出하여 atomic absorption spectrophotometer로 測定하였다.

銅, 납, 크롬 및 카드뮴은 0.1N-HCl로 1時間 浸出시켜 DDTC-MIBK로 抽出하여 atomic absorption spectrophotometer로 測定하였다⁽²¹⁾.

結果 및 考察

土壤中 全窒素 및 NH₄-N의 經時的 變化는 Table 7에서 보는 바와 같이 製紙슬러지區가 全生育期동안 無胞區 3 및 要素區에 비해 약간 增加하였으며 C/N率調節區에 있어서는 無調節區에 비하여 增加하는 傾向이었다. 그리고 NH₄-N는 全處理 共히 水稻移秧後 25日경에 그 含量이 가장 높았고 生育後期로 갈수록 減少하였다. 이와같은 結果는 Moore 등⁽²²⁾이 土壤은 灌水後 3~4 週後에 NH₄-N의 生成量이 最高에 達하며 그 후 서서히 減少한다고 한 報告와 거의 一致하는 傾向이었다. Takashi 등⁽²³⁾은 NH₄-N의 生成量은 溫度가 높을수록 많다고 하였으며, 苦月 등⁽²⁴⁾과 川口⁽²⁵⁾은 NH₄-N의 生成變化는 土壤中에 含有된 有機物의 量과 有機物에 關與하는 여러 種類의 微生物에 의하여 좌우된다고 報告하였다. 본 實驗結果에서도 이들 報告와 마찬가지로 傾向으로 슬러지의 施用量이 많을수록 NH₄-N의 生成量이 增加되었으며 C/N率을 調節한 區에서 無調節區에 비하여 增加하였다. C/N率調節區에서 NH₄-N의 含量이 높은 것은 無機態窒素의 添加에 基因된 것으로 생각된다.

土壤中 時期別 有機態窒素의 分別定量值를 보면 Table 8에서 보는 바와 같이 全時期에 있어서 모든 處理區의 土壤中 全窒素에 대한 有機態窒素가 차지하는 比率은 95~99% 範圍였다. 一般的으로 表層土에 含有되어 있는 窒素의 95% 以上이 有機態窒素로 存在하며 나머지 少量이 無機態인 것으로 알려져 있다. 그리고 全窒素에 대한 有機態窒素의 含量比率을 時期別로 보면 슬러지施用後 25日에는 95%程度로 낮았으나 그以後부터는 99% 以上이었다. 이와같이 슬러지施用後 初期에 有機態窒素의 含量比率이 낮은 것은 이 時期에 NH₄-N 含量이 相對的으로 높았기 때문이며 後期에 그 比率이 높은 것은 NH₄-N 含量이 매우 낮았기 때문이었다.

그리고 有機態窒素中 amino sugar態, amino acid態 및 未同定態窒素含量은 모두 슬러지區가 3要素區에 비하여 增加하였다. 특히 amino acid態窒素에 있어서

Table 7. Seasonal variation of total nitrogen and NH₄-N in paddy soil

Treatments	Total Nitrogen(%)					NH ₄ -N(ppm)				
	25 Days after trans-planting	Effective tiller-ing stage	Maximum tillering stage	Young panicle forma-tion stage	Harve-ting time	25 Days after trans-planting	Effec-tive tiller-ing stage	Maximum tillering stage	Young panicle forma-tion stage	Harve-ting time
Non fertilizer	0.13	0.12	0.13	0.11	0.09	7	6	5	2	4
N P K	0.14	0.14	0.13	0.14	0.11	41	13	7	19	5
Paper 300	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	64	12	3	11	5
sludge 300(C/N)	0.14	0.17	0.17	0.16	0.19	59	54	18	19	11
600	0.16	0.15	0.16	0.17	0.18	72	25	11	10	7
600(C/N)	0.15	0.17	0.18	0.20	0.19	75	31	15	22	11
900	0.16	0.17	0.17	0.16	0.17	82	23	13	19	10
900(C/N)	0.18	0.18	0.16	0.19	0.20	80	35	17	24	7
1,200	0.17	0.18	0.17	0.18	0.19	87	36	17	17	9
1,200(C/N)	0.19	0.18	0.19	0.19	0.21	94	46	25	33	13

Table 8. Organic forms of nitrogen in paddy soil

Treatments	Growing stage	Total nitrogen mg/100g	Inorganic nitrogen mg/100g(%)	Organic nitrogen			
				Amino sugar N mg/100g(%)	Amino acid N mg/100g(%)	Unknown N mg/100g(%)	Total mg/100g(%)
Non fertilizer	A	132	0.7(0.5)	44(33.6)	50(38.2)	37(28.2)	131(99.5)
	B	132	0.5(0.3)	41(31.3)	39(29.8)	51(38.9)	131(99.7)
	C	95	0.4(0.4)	36(38.3)	22(23.2)	36(38.3)	94(99.6)
NPK	A	144	4.1(2.8)	48(34.3)	55(40.0)	36(25.7)	140(97.2)
	B	133	0.7(0.5)	41(31.1)	37(28.0)	54(40.9)	132(99.5)
	C	116	0.5(0.4)	43(37.4)	28(24.3)	44(38.3)	115(99.6)
Paper sludge 600	A	163	7.2(4.4)	53(33.8)	44(28.0)	60(38.2)	157(95.6)
	B	163	1.1(0.6)	51(31.5)	43(26.5)	68(42.0)	162(99.4)
	C	185	0.7(0.3)	70(38.0)	61(33.2)	53(28.8)	184(99.7)
	A	152	7.5(4.9)	51(37.4)	45(31.3)	48(33.3)	144(95.1)
	600(C/N) B	182	1.5(0.8)	59(32.6)	50(27.6)	72(39.8)	181(99.2)
	C	192	1.1(0.5)	77(40.3)	67(35.1)	47(24.6)	191(99.5)

A: 25 days after transplanting B: Maximum tillering stage C: Harvesting time

3要素區는 生育後期로 갈수록 減少한데 比하여 슬러지 區는 增加하는 傾向이었다. 이것은 施用한 有機物中 단백질이 分解됨으로써 土壤中 amino acid 態窒素含量이 後期로 갈수록 增加된 것으로 생각된다. 그리고 全處理 모두 全有機態窒素에 대한 amino sugar 態가 차지하는 比率는 31~40%, amino acid 態의 比率는 23~40%, 未同定態의 比率는 24~42% 範圍였다. Stevenson⁽²⁶⁾은 토양중 amino sugar 態窒素의 含量은 土壤의

種類에 따라 다르다고 하였으며, 우리나라 土壤의 有機態窒素中 amino sugar 態窒素 및 amino acid 態窒素含量은 모두가 生産성이 높은 土壤일수록 높은 것으로 알려져 있다. 本實驗結果 슬러지의 施用으로 有機態窒素가 增加되어 土壤中 地力窒素를 增進시킨 結果로 보였다.

各 pot에 處理된 土壤 一定量을 湛水調節하여 30°C 에서 恒溫 保存한 6週後에 生成된 NH₄-N 를 測定하여

Table 9. Organic nitrogen mineralized after 6 weeks incubation at 30°C

Treatments	Initial		After 6 weeks NH ₄ -N(c) (mg/100g)	Organic N mineralized* (%)
	Total N(a) (mg/100g)	NH ₄ -N(b) (mg/100g)		
Non fertilizer	95	0.4	10.78	11.0
N P K	116	0.5	14.64	12.2
Paper 300	173	0.5	22.20	12.6
sludge 300(C/N)	195	1.1	29.88	15.1
600	185	0.7	18.62	9.7
600(C/N)	192	1.1	30.18	15.2

* : % of organic N mineralized = $\frac{(c) - (b)}{(a) - (b)} \times 100$

有機態窒素의 無機化를 調査해 본 結果는 Table 9에서 보는 바와 같이 C/N 率을 調節한 슬러지 300 kg/10a 및 600 kg/10a 區에 있어서는 3 要素區에 比하여 無機化가 增加했다.

以上과 같이 슬러지施用은 土壤中 有機態窒素의 含量을 높였고 有機態窒素의 無機化도 잘 일어나는 것으로 미루어 이들 施用으로 地力窒素를 增進시킬 수 있음이 밝혀졌으며, 일반적으로 버가 吸收利用하는 窒素中에 土壤中 地力窒素로부터 約 70%以上 吸收하며 나머지 30%程度만 施肥窒素에 依存한다는 事實을 勘案하면 슬러지施用은 水稻生育에도 그 效果가 있을 것으로 期待된다.

時期別 土壤中 有機物含量變化 및 CEC 變化는 Table 10과 같다. 有機物含量을 處理別로 보면 比較的 슬러

지施用後 初期에는 3要素區에 比하여 슬러지區가 增加되었으며 슬러지의 施用量이 많을수록 增加되는 傾向이었다. 그러나 收穫期 土壤中에는 有機物含量差異가 處理別로 初期보다 뚜렷하게 나타나지 않았다. 이것은 施用한 有機物이 時日이 경과함에 따라 分解되었기 때문인 것으로 생각된다. 土壤의 CEC도 3要素區에 比하여 슬러지區가 增加하였으며, 時期別로는 全處理 모두 變化가 없었다. 이와같이 슬러지區에서 CEC가 增加한 것은 有機物이 土壤中에서 分解되어 腐植이 되고 腐植은 表面積이 클 뿐만 아니라 많은 數의 作用基를 가져서 鹽基의 吸收能力이 크기 때문인 것으로 생각하여, 暎의 報告⁽²⁷⁾에 의하면 우리나라 田畝土壤 234 統에서의 有機物과 CEC의 關係는 높은 相關을 보여 CEC는 有機物 1% 增加에 約 2.3 me/100g 增加한다고 하였다.

Table 10. Seasonal variations of O.M. contents and CEC in paddy soil

Treatments	O.M. (%)					CEC (me/100g)				
	25 days after transplanting	Effective tillering stage	Maximum tillering stage	Young panicle formation stage	Harvesting time	25 days after transplanting	Effective tillering stage	Maximum tillering stage	Young panicle formation stage	Harvesting time
Non fertilizer	2.01	2.21	1.90	2.01	1.92	9.0	10.8	9.3	9.3	9.6
N P K	2.11	2.01	2.02	1.95	2.03	9.2	9.8	9.3	9.5	9.4
Paper 300	2.34	2.35	2.25	2.08	2.07	9.5	10.3	10.4	10.4	10.4
sludge 300(C/N)	2.35	2.35	2.16	2.17	2.09	10.7	11.3	9.8	9.8	9.7
600	2.36	2.54	2.11	2.14	2.15	9.5	10.1	10.3	9.5	10.5
600(C/N)	2.31	2.34	2.31	1.98	2.05	10.0	9.8	10.5	10.3	10.8
900	2.55	2.34	2.04	2.24	2.18	9.7	10.2	9.9	10.8	10.7
900(C/N)	2.44	2.24	2.14	2.27	2.30	10.0	10.3	10.5	10.6	10.3
1,200	2.57	2.54	2.38	2.47	2.08	10.2	10.4	10.2	10.0	10.4
1,200(C/N)	2.50	2.35	2.45	2.42	2.03	9.6	10.3	9.5	10.0	10.0

Table 11. Seasonal variations of pH and EC in paddy soil

Treatments	pH					E.C. (mmhos/cm)				
	25 days after trans-planting	Effective tillering stage	Maximum tillering stage	Young panicle formation stage	Harvesting time	25 days after trans-planting	Effective tillering stage	Maximum tillering stage	Young panicle formation stage	Harvesting time
Non fertilizer	6.8	6.9	6.8	6.8	6.6	0.32	0.33	0.31	0.31	0.27
N P K	6.8	6.7	6.8	6.8	6.7	0.89	0.25	0.37	0.26	0.37
Paper 300	6.8	6.9	6.7	6.7	6.5	1.12	0.61	0.94	1.00	1.12
sludge 300(C/N)	6.9	6.8	6.8	6.8	6.6	1.16	1.02	1.71	1.19	0.46
600	7.1	6.9	6.7	6.8	6.6	1.20	1.05	0.77	0.95	0.60
600(C/N)	7.1	6.8	6.9	6.9	6.6	1.30	1.10	0.96	0.80	0.62
900	7.1	7.2	6.8	6.7	6.5	1.24	1.10	0.99	0.85	0.70
900(C/N)	6.9	6.8	6.8	6.8	6.6	1.37	1.27	1.00	0.88	0.80
1,200	7.2	6.9	6.9	6.8	6.5	1.73	1.20	1.18	1.34	0.47
1,200(C/N)	6.9	6.9	6.8	6.8	6.5	1.74	1.25	1.04	1.29	0.60

土壤中 pH 變화를 보면 Table 11에서 보는 바와 같이 移秧後 25日의 土壤 pH는 全處理 모두 6.8~7.1 範圍로서 供試土壤의 pH 6.0에 比하여 急激한 上昇을 보였으며 處理別로는 슬러지區가 3要素區에 比하여 약간 上昇하는 傾向이었고, 最高分蘗期 以後부터는 處理間 別差없이 모든 處理區 共히 一定한 값을 보이면서 약간씩 低下하는 傾向이었다. 移秧後 25日의 pH가 全般의 으로 上昇한 것은 灌水에 의한 土壤의 還元에 基因된 것으로 생각하며 이와같은 結果는 土壤을 灌水함으로써 還元이 發達됨에 따라 Eh는 低下하고 pH는 上昇

한다는 이등⁽²⁸⁾의 報告와 一致하는 傾向이었다. 그리고 移秧後 25日에 슬러지區에서 3要素區에 比해 pH가 上昇한 것은 슬러지施用으로 土壤이 더욱 强 還元되었기 때문인 것으로 보며, 그 以後부터는 全處理 共히 微微한 低下를 보이면서 一定한 값을 維持한 것은 灌水後 數週日後에 土壤 pH는 6.5~7.0 範圍로 安定된 값을 維持한다는 Ponnampuruma⁽²⁹⁾의 報告와 비슷한 傾向이었다.

土壤의 E.C.變化를 Table 11에서 보면 全生育時期 동안 3要素區에 比해 슬러지區가 현저히 높은 값을 보였

Table 12. Seasonal variations ave.-P₂O₅ and SiO₂ in paddy soil (Unit : ppm)

Treatments	Ave.-P ₂ O ₅					Ave.-SiO ₂				
	25 days after trans-planting	Effective tillering stage	Maximum tillering stage	Young panicle formation stage	Harvesting time	25 days after trans-planting	Effective tillering stage	Maximum tillering stage	Young panicle formation stage	Harvesting time
Non fertilizer	52	53	47	42	25	104	92	108	104	103
N P K	63	52	61	54	59	96	107	104	103	106
Paper 300	69	67	63	65	59	113	102	110	108	111
sludge 300(C/N)	62	68	62	64	67	95	112	108	122	123
600	64	63	64	63	64	116	102	110	104	116
600(C/N)	64	77	67	62	67	110	98	104	113	121
900	66	61	68	63	64	84	112	113	116	120
900(C/N)	67	68	65	59	71	114	107	120	116	114
1,200	73	67	69	72	58	115	96	115	113	120
1,200(C/N)	71	65	71	62	64	117	125	124	135	127

으며 그 施用량이 많을수록 增加하는 傾向이었다. 이와같이 슬러지施用으로 E.C.가 增加한 것은 湛水土壤中 還元狀態에서 有機物質이 分解되면서 生成하는 有機酸 또는 CO₂ 때문인 것으로 생각되며, 一般的으로 有機酸이 分解하여 생긴 CO₂는 土壤溶液에 녹아서 H₂CO₃가 되고 이것이 土壤의 E.C.를 높이는 것으로 알려져 있으며 이밖에 各種 有機酸과 기타 陰 ion이 土壤中 E.C.를 높이는 것으로 알려져 있다.

土壤中 有效磷酸 및 珪酸含量은 Table 12에서 보는 바와 같이 有效磷酸含量은 모든 時期에 있어서 3要素에 比하여 슬러지區가 약간 增加하였으며 그 施用량이 많을수록 增加하였다. 특히 生育初期에 3要素區에 比하여 슬러지區에서 有效磷酸含量이 增加된 것은 이들 有機物의 分解時 生成되는 有機酸이 石灰 및 苦土의 磷酸鹽을 溶解시켰기 때문인 것으로 생각한다. 有機酸은 이들 磷酸鹽外에도 가리나 기타 鹽基도 置換浸出하는 것으로 알려져 있으며 鐵 및 망간을 포함한 여러 種類의 微量元素도 有效化시키는 것으로 알려져 있다.

土壤中 有效珪酸의 含量은 全時期 共히 3要素區에 比하여 슬러지區가 增加하였으며 時期別로는 後期로 갈수록 增加하였다. 이와같이 後期로 갈수록 有效珪酸含量이 增加된 것은 有機物中에 含有되어 있는 珪酸이 分解됨으로써 溶出된 것으로 생각하며, 이것은 橋本⁽³⁰⁾이 벼짚등 有機物施用으로 無機成分이 增加되며 특히 珪酸과 가리의 影響이 크다고 報告한 것으로 미루어 짐작할 수 있었다.

土壤中 가리, 石灰 및 苦土의 含量은 Table 13에서 보는 바와 같이 處理 및 時期別로 別 差異가 없었다.

土壤中 Fe⁺⁺, Mn⁺⁺, 銅 및 납의 含量은 Table 14와 같다. Fe⁺⁺ 含量은 슬러지區에 있어서 全般的으로 移秧後 25日 및 有效分蘗期가 幼穗形成期 및 收穫期에 比하여 그 含量이 높았다. 이것은 슬러지施用後 初期에 土壤이 還元되어 Fe⁺⁺⁺가 Fe⁺⁺로 되고 또는 初期에 有機酸이 多量生成되어 鐵과 結合한 磷酸鹽이 可溶化됨으로써 그 含量이 增加된 것으로 보며 이와 類似한 報告들은 多數가 있다. 金⁽³¹⁾은 벼짚을 施用하던 微生物에 의한 벼짚分解에 多量의 酸素가 소비되고 또 湛求에 의하여 酸素의 供給이 不足하여 還元狀態가 發達함으로써 鐵이 還元되어 그 溶解性이 增加된다고 하였다.

土壤中 Mn⁺⁺의 含量은 處理後 初期에는 슬러지區가 3要素區에 比하여 多小 增加하였으며 時期別로는 모든 處理區가 共히 別 차이가 없었다. 高井⁽³²⁾은 土壤中에서의 還元은 망간이 鐵보다 빨리 일어나 初期에 溶解性 망간이 增加된다고 하였으나 本實驗結果는 時期別로 別 差異가 나타나지 않아 高井 등의 報告와 一致

Table 13. Seasonal variations of exchangeable K, Ca and Mg in paddy soil (Unit: me/100g)

Treatments	K			Ca			Mg		
	25 days after transplanting	Effective tillering stage	Maximum tillering stage	25 days after transplanting	Effective tillering stage	Maximum tillering stage	25 days after transplanting	Effective tillering stage	Maximum tillering stage
Non fertilizer	0.24	0.19	0.20	4.2	4.5	4.6	2.1	1.9	2.5
N P K	0.25	0.24	0.23	4.3	4.4	4.7	2.0	2.1	2.0
Paper	0.23	0.24	0.24	4.3	4.2	4.5	2.2	2.3	2.4
studge	0.22	0.24	0.23	4.1	4.3	4.3	2.3	2.3	2.4
300(C/N)	0.24	0.25	0.26	5.7	5.1	4.4	1.9	2.4	2.5
600	0.23	0.24	0.22	4.5	4.7	5.2	2.4	2.4	2.3
600(C/N)	0.24	0.22	0.23	5.6	4.4	3.9	2.2	2.3	2.2
900	0.22	0.19	0.25	4.3	4.3	4.1	2.4	2.5	2.4
900(C/N)	0.22	0.23	0.24	4.2	4.3	4.1	2.4	2.4	2.3
1,200	0.22	0.23	0.24	4.2	4.3	4.1	2.4	2.4	2.3
1,200(C/N)	0.24	0.22	0.24	4.5	4.2	4.3	2.3	2.2	2.5

Table 14. Seasonal variations of Fe⁺⁺, Mn⁺⁺, Cu and Pb in paddy soil (Unit : ppm)

Treatments	Fe ⁺⁺			Mn ⁺⁺			Cu			Pb						
	25 days after trans-planting	Harve- form- tion stage	Maxi- mum panicle sting	25 days after trans-planting	Harve- form- tion stage	Maxi- mum panicle sting	25 days after trans-planting	Harve- form- tion stage	Maxi- mum panicle sting	25 days after trans-planting	Harve- form- tion stage	Maxi- mum panicle sting				
Non fertilizer	41	35	42	31	35	42	24	26	24	0.10	0.12	0.09	0.16	0.15	tr	0.0013
N P K	32	42	35	47	49	42	25	26	23	0.14	0.13	0.12	0.05	0.02	0.0012	tr
Paper	45	46	43	42	25	26	26	31	22	0.14	0.12	0.10	0.13	0.15	tr	tr
sludge 300(C/N)	47	42	43	25	43	32	25	31	30	0.09	0.17	0.16	0.15	0.18	0.0012	tr
600	53	36	42	37	38	27	27	31	29	0.18	0.09	0.20	0.21	0.08	tr	tr
600(C/N)	52	48	37	46	36	22	25	31	28	0.06	0.16	0.15	0.13	0.10	0.0012	tr
900	57	43	42	53	39	19	35	22	31	0.16	0.12	0.10	0.17	0.08	tr	0.0019
900(C/N)	42	43	44	37	36	25	27	30	29	0.15	0.14	0.12	0.08	0.13	0.0015	tr
1,200	59	52	36	35	37	23	26	32	31	0.13	0.11	0.11	0.14	0.13	0.0007	tr
1,200(C/N)	51	53	49	62	37	24	25	27	29	tr	0.12	0.13	0.13	0.15	tr	0.0014

하지 않은 傾向이었다. 그리고 土壤中 銅 및 납의 含量은 全處理 및 全時期間 差異가 없었으며, 크롬 및 카드뮴은 전혀 檢出되지 않았다.

要 約

製紙슬러지가 논 土壤의 化學성과 水稻生育에 미치는 影響을 檢討하기 위하여 슬러지의 施用量을 300, 600, 900 및 1,200 kg/10 a 으로 달리하고 各 施用水準 別로 C/N 率을 30 : 1로 調節하여 pot 試驗을 實施함으로써 土壤中 窒素의 形態變化, 有機態窒素의 無機成分 및 重金屬含量變化를 經時的으로 調査한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 土壤中 amino sugar 및 amino acid 態窒素, 有機物 CEC 및 有効珪酸의 含量은 슬러지區가 3要素區에 比하여 增加하였다.

2) 恒溫 6週後 有機態窒素의 無機化率은 3要素區가 12.2%, 슬러지 300 kg/10a 區 12.6%, 슬러지 300 kg/10 a 의 C/N 率調節區 15.1%, 슬러지 600 kg/10 a 區 9.7%, 슬러지 600 kg/10 a 의 C/N 率調節區는 15.2%로 나타났다.

3) 土壤中 銅 및 납의 含量은 各各 0~0.2100 및 0~0.0013 ppm 範圍였으며 크롬 및 카드뮴은 檢出되지 않았고 土壤中 이들 重金屬含量은 處理間에 差異가 없었다.

參 考 文 獻

1. 早瀬達郎 (1976) : 廢棄物の 肥料化のための 序論, 複合肥料, 14-2, 11.
2. 森久之, 藤井國博, 吉田富男 (1980) : 下水汚泥의 土壤還元による 汚泥成分의 分解, 日土肥誌, 51(6), 435.
3. 須郷佳治 (1976) : 産業廢棄物及び回收物을 利用した 肥料, 複合肥料, 14-2, 19.
4. 全國農業協同組合連合會 (1980) : 有機質肥料의 研究成果에 關する 文獻集錄.
5. 鄭南朝 (1983) : 우리나라의 固形廢棄物現況 및 處理方向. 固形廢棄物 管理에 關한 國際세미나, 國立環境研究所, I-2-1~I-2-16.
6. 藤井國博 (1984) : 下水汚泥의 綠豊地에 對ける 利用. 國際シンポジウム와 わ가國에 對ける 課題, 化學と生物, 22(2), 103.
7. 高橋和司 (1978) : 産業廢棄物의 農業利用에 關する 現狀とその問題點(第 4, 10, 11 部門合同), 日土肥學會講演要旨集, 24, 197.
8. 高橋和司 (1979) : 都市廢棄物의 特性と作物への 施

- 用效果, 日本土壤肥料學雜誌, **50**(3), 273.
9. 吉野實 (1978): 有機性産業廢棄物の 各種作物への土壤還元利用と 施用上の 問題點, 農業および園藝, **53**(9): 1083.
 10. 高橋和夫 (1980): 水田におけるわら類の 施用をめぐる諸問題, 日土肥學會 講演要旨集, **26**, 193.
 11. 吳旺根, 李春秀, 郭漢剛 (1984): 畚土壤에서 腐熟汚泥施用이 벼 收量性에 미치는 影響, 韓土肥誌, **17**(2), 134.
 12. 前田乾一 (1978): 水田における 各種施用有機物の 分解過程의 特徴, 農業および園藝, **53**(5), 48.
 13. 鄭甲永, 愼齊晟, 朴英善, 韓基確 (1981): 産業廢棄物の 肥料化에 關한 研究, 韓土肥誌, **14**(2), 83.
 14. 作物分析法委員會編 (1976): 栽培植物分析測定法, 養賢堂, 東京, p. 329~332.
 15. Browning, B. L. (1967): *Methods of Wood Chemistry*, Interscience Publishers, New York. U.S. A., p. 394~400.
 16. 日本油化學協會編 (1966): 基準油脂分析試驗法. 朝倉書店, 東京, p. 16~18.
 17. Black, C. A. (1976): Organic forms of nitrogen, *Methods of Soil Analysis*, Agronomy No. 9, Part 2, American Society of Agronomy, p. 1238~1255.
 18. Stanford, G. (1968): Extractable organic nitrogen and nitrogen mineralization in soils, *Soil Sci*, **106**, 345.
 19. Nguyen, Quan-Lu, 大羽裕 (1981): 下水汚泥の有機態窒素の無機化, 日本土壤肥料學雜誌, **52**(3), 219.
 20. Reddy, K. R. (1982): Mineralization of nitrogen in organic soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **46**, 561.
 21. 日本農林水産技術會議事務局 (1972): 土壤及作物體の重金屬分析法, 日土肥誌, **43**(7), 264.
 22. Moore, P. A., Jr., Gilmore, J. T. and Wells, B. R. (1981): Seasonal patterns of growth and soil nitrogen uptake by rice, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **45**, 875.
 23. Takashi, Y. & Yoshmiisu, D. (1974): Patterns of nitrogen release in paddy soils predicted by on incubation method, *Japan Agricultural Research Quarterly*, **8**(3).
 24. 苦月利之, 片山辛土, 石田細郎, 松尾嘉郎 (1978): 沖積および 洪積土壤の 風化過程におよび諸元素の 舉動, 日土肥誌, **49**(1), 32.
 25. 川口桂三郎 (1978): 水田土壤學, 講談社, p. 55~114.
 26. Stevenson, F. J. (1983): Isolation and identification of amino sugars in soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **47**, 61.
 27. 吳旺根 (1978): 有機物の 施用이 土壤의 化學的 性質에 미치는 影響, 韓土肥誌, **11**(3), 161.
 28. 이기상, 이성재, 허범량, 홍종운 (1979): 작토확대와 화학성개량에 관한 연구, 농기연시험연구보고서, p. 513~530.
 29. Ponnampuruma, F. W. (1977): Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility, *IRRI Research Paper Series*, No. 5.
 30. 橋本重入 (1960): 水田における 素糞施用의 効果, 農業及園藝, **35**(4), 652.
 31. 金廣植 (1974): 水稻栽培가 畚狀態土壤의 物質變化에 미치는 影響에 關한 研究, 韓土肥誌, **7**, 71.
 32. 高井康雄, 小山忠四郎, 加村崇雄 (1955): 水田土壤の微生物代謝に關する研究 第1報, 日農化誌, **29**, 967.