

畚田輪換土壤에서 窒素無機化의 特性에 關한 研究

安相培* · 本松輝久** · 延秉烈* · 陸昌洙***

Mineralization of Nitrogen in Soils under Paddy-Upland Switching Cultivation Systems

Sang-Bae Ahn*, T. Motomatsu**, Beong-Yeal Yeon*, and Chang-Soo Yuk***

SUMMARY

The rate and pattern of soil nitrogen mineralization were investigated under conditions of a paddy-upland switching cultivation system. Experimental results obtained are as follows

1. Amounts of soil nitrogen mineralized were different in the order of potato-cabbage>soybean>continuous paddy plot for the first year, but potato-cabbage>continuous paddy>soybean plot for the second year, respectively.

2. In the third year cropping under upland condition a higher amount of soil nitrogen was found mineralized at the plot of continuous upland cultivation than at the alternate paddy-upland switching plot in the case of potato-cabbage, on the contrary, however, the higher amount was found at the alternate paddy-upland switching plot in the case of soybean cultivation.

3. The amounts of total soil nitrogen and carbon were lower in paddy-upland switching plots than in continuous paddy plots. This trend is significant in soybean plots.

4. A positive relationship was found between phosphate buffer solution method for available nitrogen and submerged soil method for $\text{NH}_4\text{-N}$, both being utilized for the estimation of soil fertility.

緒 言

우리나라는 農家의 耕地面積이 狹小하고 人口가 많기 때문에 耕地利用度向上과 生産性提高가 새로운 課題로 提起되고 있다¹⁾. 合理的인 作付體系를 樹立하기 爲해서는 作物의 生育期間中 栽培地의 氣象環境, 土壤環境, 經濟性等 많은 要因이 考慮되어야 한다. 畚田輪換은 논과 밭狀態로 變換하여 栽培한다는 面에서 土壤環境이 單作의 경우와 判異하게 다르기때문에 한가지 作物을 連作하면 土壤養分의 不均衡과 欠乏 및 有害成分의 集積등에 의하여 生理障害와 品質低下등이 야기되나 連作障害防止는 물론 收量增加도 도모할 수 있다. 畚田輪換土壤의 암모니아態窒素生成

量은 畚 連作區보다 현저하게 많으며 畚田輪換으로 인한 增收効果는 2~3년까지 持續되나 그 後는 減少되며²⁾ 또한 作付形態別 土壤窒素의 變化는 논보다 밭狀態에서 增加되는 傾向이나 畚田輪換時에는 망간의 過剩과 土壤의 酸性化가 問題된다고 한다¹²⁾. 輪換畚에서 土壤窒素의 無機化發現樣相은 水稻連作과 크게 달라 土性, 有機物含量, 田輪換年數 및 作付體系 등에 따라 變動되며 輪換畚의 土壤窒素의 無機化量은 連作畚에 比하여 增大되는 경우가 많아서 基肥를 減肥할 必要性이 있다고 한다¹⁴⁾. 또한 土壤에서 有機態窒素가 無機化되는 程度는 土壤內 有機物의 C/N比 土壤水分含量, 溫度 및 土壤酸度등에 의해 左右된다고 한다^{1, 8, 10, 11)}. 本 研究은 畚田輪換基盤技術에 關한

* 農業技術研究所(Agricultural Sciences Institute, Suweon, Korea)

** 韓日農業共同研究團

*** 忠北大學校農科大學(College of Agriculture Chungbuk National University)

연구의 一環으로 遂行된 試驗中 室内試驗으로 輪換 畚土壤과 水稻連作畚土壤의 窒素無機化樣相을 比較檢 討한 結果 몇가지 特性이 究明되었기에 이를 報告코 자 한다.

材料 및 方法

供試土壤은 安城郡 寶蓋面에 所在한 石泉微砂質壤 土로서 試驗前土壤의 理化學的性質은 表1과 같이 pH 가 낮고 磷酸과 珪酸含量이 적은 편이나 그 밖의 成 分은 우리나라 논 土壤의 平均値와 비슷하였다.

供試作物은 水稻(秋晴벼), 大豆(普光), 배추(삼진) 로 이들 作物에 對한 N:P₂O₅:K₂O施肥量은 水稻 11:7:8, 감자 10:10:12, 배추 24:20:25, 大豆 4:7:6kg/10a를 施用하였으며 改良劑로써 감자區에

는 堆肥 2,000kg, 배추區에는 消石灰 100kg, 堆肥 2, 000kg 및 硼砂 2kg, 大豆區에는 消石灰 100kg 및 堆 肥 1,000kg/10a를 每作期 施用하였다. 處理內容은 表 2와 같이 1) 水稻連作區 2) 每年輪換區 3) 2年輪換 區 4) 田輪換區의 4個處理를 設置하여 水稻連作區는 논狀態, 每年 輪換區는 밭狀態와 논狀態로써 每年 밭-논狀態이며 밭狀態일때는 이를 二等分하여 半區 는 봄감자-가을배추를 栽培한 2毛作區이며 나머지 區는 大豆를 單作으로 栽培하였다. 2年輪換區도 每年 輪換區와 同一한 方法으로 2年마다 輪換하였고 田輪 換은 밭狀態로 이들 作物을 栽培하였다. 土壤窒素無 機化量調査는 '90年(2年次)은 水稻連作區와 每年 輪 換區의 감자-배추 및 大豆區에서, '91年(3年次)에는 2年輪換區의 同一處理에서 調査하였다.

그밖의 麥類研究所에서 遂行中인 畚田輪換試驗에서

Table 1. Physio-chemical properties of the soil used

pH (1:5)	O.M (%)	Av. P ₂ O ₅ (ppm)	Ex-me/100g			CEC (me/100g)	Av. SiO ₂ (ppm)	Fe ⁺⁺ (ppm)	Mn ⁺⁺ (ppm)	Zn (ppm)
			K	Ca	Mg					
5.2	2.2	71	0.35	4.3	0.83	9.4	32	330	92	195

Table 2. Treatment of paddy-upland rotation system

Rotation system	Year experimented			Remark
	1989	1990	1991	
Continous paddy	P	P	P	P: Paddy(rice)
1 year rotation	U	P	U	U: Upland(Soybean, potato-cabbage)
2 year rotation	U	U	P	
Converted paddy-upland	U	U	U	

溶液에 浸出한 後 無機化窒素를 水蒸氣蒸溜法으로 定量하였고 可給態窒素는 磷酸緩衝溶液 (pH7)으로 抽出하여 測定하였다(樋口法).

結果 및 考察

輪換形態別 土壤窒素의 無機化量

表3은 '90年(2年次) 輪換形態別 灌水恒溫(30°C±1) 時 濕潤土와 風乾土에 對한 土壤無機態窒素含量을 經時的으로 調査한 成績이다. 每年輪換區土壤의 NH₄-N 放出樣相은 水稻連作區의 NH₄-N 放出樣相과 크게 달라 每年 輪換區 濕潤土에서 NH₄-N의 經時的變化는 各區 公히 灌水期間이 經過될수록 NH₄-N 生成量이 크게 增加되었으며 連作區보다 大豆區 나 감자-배추區에서 灌水2週부터 10週까지 NH₄-N 放出量이 현저하게 增加되었으며 그 增加量은 감자-배추區>大豆區>連作區의 順이다.

이는 作目別 施肥量차이에서 由來된것으로 보여진 다. 즉 施用된 窒素가 일단 有機化 되었다가 灌水恒

'90年(3年次)에는 1) 水稻連作區 2) 田3作後水稻栽培 區 3) 田5作後水稻栽培區와 '91년에는 '90年(3年次) 處理와 田7作後水稻栽培區를 追加해서 土壤窒素의 無機化量을 調査하였다. 土壤窒素無機化量測定은 圃 場에서 濕潤土壤을 採取해서 2mm체로 通過시켜 土 壤을 10週間 恒溫(30°C±1)하면서 2週마다 10% KCl

Table 3. Effect of rotation system in paddy-upland cropping soil on the nitrogen mineralization(Fine sandy loam soil)

(NH₄-N ppm/dry soil)

Rotation system	Prior crops	Wet soil					Dry soil				
		2 Week	4	6	8	10	2 Week	4	6	8	10
Continous paddy	R*-R	15.9	30.7	35.2	54.6	63.9	55.2	63.5	74.6	83.3	94.3
1 year rotation	P.C*-R	19.7	35.1	46.0	64.6	75.8	68.6	77.7	92.8	104.0	118.7
〃	S*-R	21.0	38.0	51.6	65.6	86.8	68.1	79.1	91.4	112.7	118.7

* R - R : Rice-Rice
 P.C-R : Potato, Cabbage-Rice
 S - R : Soybean- Rice

溫에 의한 無機化로 無機態窒素가 增加되었음은 물론 大豆區와 감자-배추區에서는 堆肥를 各各 1,000~2,000kg/10a 施用하였기 때문에 堆肥가 易分解되어 NH₄-N放出量이 더욱 增加된것으로 생각된다. 一般的으로 土壤中の 無機態窒素放出量은 土性, 有機物含量, 前作作物의 栽培年數 作付體系등에 따라 變動된다고하며^{2,5)} 는 土壤에 蓄積된 易分解性有機物은 밭으로 轉換되면 分解가 促進되어 有機物含量이 減少되기 때문에 轉換 밭 土壤의 無機態窒素放出量은 畚土壤보다 적다고 한다^{3,6,12)}. 한편 風乾土의 有機態窒素의 無機化量은 灌水恒溫2週에는 濕潤土壤에 비해 현저하게 많았으나 4週~10週後에 生成된 無機態窒素量은 濕潤土의 生成量과 큰 差異가 없었다. 每年 輪換畝에서 土壤窒素無機化量의 增大는 畚田輪換에 따른 灌水初期의 土壤乾燥때문으로 생각되지만 濕潤土와 風乾土의 窒素無機化樣은 전혀 다른 것으로 판단된다. 따라서 輪換畝에서 土壤窒素無機化量에 增加된 要因은 土壤乾燥에 基因된것으로 乾土效果와 區別할 必要性이 있다고 생각된다⁴⁾. 表4는 '91年(3年次) 輪換形態別 灌水培養時 NH₄-N의 放出量이다.

土壤無機態窒素放出量은 灌水 10週동안 水稻連作區土壤에 비해 2年輪換區의 감자-배추區의 土壤에서 현저히 많아 4週에는 13%, 10週에서는 22% 增加되었으나 大豆區에서는 이와 反對로 4週째에 12%, 10週에서는 무려 22% 減少되었다. 畚土壤中에 蓄積된 易分解性 有機物은 田轉換에 의해서 分解가 促進되어 蓄積量이 減少되기 때문에 田輪換土壤과 畚土壤의 風乾試料를 灌水狀態 또는 田狀態로 培養한 경우에는 無機態窒素의 生成量은 畚土壤보다 田轉換土

Table 4. Effect of rotation systems in paddy-upland cropping soil on the nitrogen mineralization.(Fine sandy loam soil)

Rotation system	Prior crops	NH ₄ -N(ppm/dry soil)				
		2 week	4	6	8	10
Continous paddy	R-R-R	17.1	26.4	33.9	41.3	51.1
2 year rotation	P.C-P.C-R	17.0	29.8	40.4	50.1	62.5
〃	S-S-R	16.2	27.8	27.8	33.5	39.2

Table 5. Effect of rotation systems on the nitrogen mineralization and carbon in paddy-upland cropping soil(Fine sandy loam soil)

Rotation system	Prior crops	NH ₄ -N(ppm)		T-N (%)	Av-N (ppm)	T-C (%)
		4 week	10			
Continous paddy	R-R-R	31.5	42.6	0.11	76.1	1.20
1 year rotation	P.C-R-P.C	30.1	44.3	0.11	73.7	1.20
〃	S-R-S	29.6	37.9	0.11	67.9	1.20
2 year rotation	P.C-P.C-R	-	-	0.11	83.5	1.22
〃	S-S-R	-	-	0.10	74.9	1.04
Converted paddy-upland rotation	P.C-P.C-P.C	39.1	55.3	0.11	84.7	1.12
〃	S-S-S	23.4	32.0	0.09	62.1	0.90

Table 6. Effect of rotation systems in paddy-upland cropping soil on the nitrogen mineralization(Silt clay loam soil)

(NH₄-N ppm/dry soil)

Rotation system	Prior crops	Wet soil					Dry soil				
		2 week	4	6	8	10	2 week	4	6	8	10
Continous paddy	R* + R + R	14.1	21.0	27.7	37.3	45.2	41.2	49.4	54.6	70.2	77.7
Rice after 3 U-condition	Ry* + S* + Ry	19.3	34.7	49.0	70.0	70.0	62.0	77.4	109.8	125.3	140.0
Rice after 5 U-condition	B* + S + B + S + B	31.2	51.5	69.4	86.3	96.4	68.4	77.9	107.5	124.6	146.1
	W* + S + W + S + W	29.8	48.6	70.0	81.2	96.6	62.9	76.7	106.8	118.2	140.6
	Ry + S + Ry + S + Ry + S + Ry	29.6	53.3	72.5	96.1	103.3	75.2	88.4	114.0	128.5	144.2

* R : Rice Ry : Rye W : Wheat S : Soybean

壤에서 적다고 報告된바 있다³⁾.

表5는 밭狀態土壤을 培養한 後 NH₄-N, 全窒素, 可給態窒素 및 全炭素含量을 調査한 成績이다 '91年 밭狀態의 每年 輪換區와 田轉換區의 無機態窒素放出量을 比較하여 보면 감자, 배추區에서는 每年輪換區田輪換區이지만 大豆區에서는 反對로 每年輪換區田輪換區이었다.

이는 作物의 生育과 收量에서 감자-배추區와 大豆區에서 輪換處理間에 反對의 傾向이 있는것과 關聯性이 있는 것으로 생각된다. 全炭素 및 全窒素의 含量은 水稻連作區에 比하여 差異가 거의 없지만 大豆區에서는 현저히 低下되었다.

田輪換을 하면 土壤有機物의 分解가 논狀態보다 훨씬 促進되기 때문에 감자-배추區에는 年間 10a當 4 ton의 堆肥를 施用하였고 大豆區에는 1ton을 施用하여서 本成績으로 미루어보아 밭狀態에서 1ton정도의 堆肥施用으로 논狀態와 같은 有機物水準을 維持하는 것은 어려운 것으로 생각된다. 磷酸緩衝溶液抽出法에 의한 可給態窒素含量과 湛水培養法에 依한 4週 및 10週의 NH₄-N 生成量은 可給態窒素含量이 增加할 수록 土壤중의 NH₄-N이 增加되어 高度의 相關關係를 보였다(r=0.967**, 0.980**).

表6은 '90年度 麥類研究所 輪換形態別 圃場의 濕潤土와 風乾土壤을 湛水恒溫(30℃±1)하면서 土壤의 無機態窒素含量의 經時的變化를 調査한 成績이다.

濕潤土壤의 NH₄-N의 放出量은 밭狀態로 3작의 胡麥을 栽培後 水稻를 栽培한 區가 胡麥을 5작栽培

後 水稻를 栽培한 區보다 NH₄-N 放出量이 많았던 것은 胡麥의 長期間栽培로 每年 蓄積되었던 뿌리가 易分解되어 NH₄-N生成量이 增加하였던 것으로 보여진다. 한편 밭狀態로 5작을 大麥, 小麥 및 胡麥을 재배한 區에서 2週째부터 10週까지 約 2~2.5倍 放出量이 增加되었다. 같은 麥類間에는 胡麥區가 小麥區나 大麥區보다 全期間을 通하여 NH₄-N放出量이 많았는데 이는 胡麥區가 小麥區나 大麥區보다 뿌리의 量이 많았기 때문에 이뿌리가 分解되어 NH₄-N의 生成量과 無機化率이 많았던 것으로 생각된다. 한편 風乾土壤의 NH₄-N生成量은 濕潤土壤의 放出量보다 그 絕對量이 2倍以上 增加하였으나 無機化率은 濕潤土壤보다 적었다.

表7은 '91년(4年次) 麥類研究所의 畚田輪換土壤을 恒溫湛水하면서 無機態窒素의 含量을 調査한 것이다.

各區 公히 水稻連作區에 比하여 輪換畚의 無機態窒素生成量이 현저히 增加해서 4週째에는 15~20%, 10週에서는 15~29% 增加하였다. 水稻連作區보다 輪換區에서 모두 無機態窒素가 增大된것은 安城試驗地 土壤과 同一한 傾向을 보였다.

土壤窒素無機化量의 年次間의 變動은 '90年(3年次)와 '91年(4年次)에는 水稻連作區는 湛水培養 4週와 6週에서는 1~9% 增加되었으나 2, 8, 10週에서는 15~9% 減少되어 一定한 傾向을 찾아 볼 수가 없었다. 밭 3作後 水稻區에서도 各區 公히 4~52%가 無機化量이 增加되었는데 이는 앞서 지적한바와 같이 胡麥栽培로 잔존된 뿌리가 썩어서 NH₄-N 生成量이

Table 7. Effect of rotation systems on the nitrogen mineralization in paddy-upland cropping soil(Silt caly loam soil) (NH₄-N ppm/dry soil)

Rotation system	Prior crops	Wet soil				
		2 week	4	6	8	10
Continous paddy	R+R+R	13.8	22.8	27.7	33.8	38.3
Rice after 3 U-condition	Ry+S+Ry	29.3	50.1	64.9	72.8	82.4
Rice after 5 U-condition	Ry+S+Ry+S+Ry	24.3	41.8	48.1	57.8	64.9
Rice after 7 U-condition	Ry+S+Ry+S+Ry+S+Ry	28.5	49.8	66.0	75.2	87.5

많았던 것으로 보인다. 한편 田5作後 水稻區에서는 2週부터 10週까지 湛水日數가 經過할수록 無機化量이 減少되어 무려 40~19%에 減少率을 보였다.

摘 要

畚田輪換圃場에서 土壤窒素 無機化樣相의 몇가지 特性을 究明하여 얻어진 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 湛水培養한 窒素無機化量은 '90年(2年次)에서는 감자-배추區>大豆區>벼連作區이었으나 '91年(3年次)에는 감자-배추區>벼連作區>大豆區의 順이었다.
2. 3年次('91年) 발 狀態條件에서 生成된 土壤窒素 無機化量은 감자-배추區에서는 每年輪換區<田輪換이지만 大豆區에서는 反對로 每年輪換區>田輪換이었다.

3. 土壤의 全窒素 및 全炭素含量은 水稻連作區에 比하여 輪換區에서 낮아졌는데 특히 大豆輪換區에서 현저히 낮아졌다.

4. 地力窒素의 判定基準法으로 利用되는 磷酸緩衝 溶液法에 의한 可給態窒素含量과 湛水土壤法에 의한 NH₄-N 生成量과는 正의 相關關係가 있었다.

引 用 文 獻

1. Allison, F.E. 1973. Soil organic matter. Its role in crop production. Elevation. Amsterdam.
2. 北海道 中央農業試驗場 化學部編. 1984. 北海道 農業試驗場 會議資料「復元田の土壤環境と施肥對策」
3. 上郷千春. 1953. 2毛作化田輪換に伴う地力の變化と合理的施肥. 新しい土壤肥料の知識. pp. 54~66. 朝倉書店
4. 金田吉弘. 1990. 八郎瀧干拓地低濕重點土壤における田畑輪換効果の解明と水稻安定多收技術の確立. 日土肥誌. 61: 235~236.
5. 古賀野完爾. 1987. 輪換田における水稻の安定多收技術. 圃場と土壤 No. 220 221: 62~69.
6. 諸遊英行. 1983. 水稻轉換に伴う土壤の理化學的變化. 日土肥誌. 54(5): 434~441.
7. 農村振興廳. 1988. 耕地利用度 向上을 爲한 技術開發. 農振廳 심포지움 1.
8. Nyborgs, M., and P. B. Hoyt. 1978. Effect of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen. Can. J. Soil Sci. 58: 331~338.
9. 大久保隆弘. 1984. 作物輪換技術論. 豊山漁村 文化協會. p. 256~262.
10. Stanford, G., M. H. Frere., and D.H.Schwainger. 1973. Temperature Coefficient of soil nitrogen mineralization. Soil Sci. 115: 321~323.
11. Stanford, G., and E. Epstein. 1974. Nitrogen mineralization-Water relation in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 103~107
12. 吉田稔. 1983. 水稻轉作, 田畑の高度利用. 日本土壤肥料學會編. 博友社. p. 5~21
13. 渡部幸一郎, 高取寛, 樓田博. 1985. 山形農試報 20: 1~20
14. 渡邊公吉. 1986. 北海道中央地域における復元田の土壤特性と施肥法. 日土肥誌. 技術レボト: 512~514.