

화산회토에서 퇴비 및 요소시용에 따른 토양중 NO₃-N, 양이온의 용탈

*강봉균 · 송창길

제주대학교 농과대학

Crop Growth and Nutrient Leaching from Soil with Application of Urea and Compost in Volcanic Ash Soil

Kang Bong-Kyoon · Song Chang-Kil

College of Agri., Cheju National Univ., Cheju 690-756, Korea

〈 목 차 〉

ABSTRACT

I. 서 론

II. 재료 및 방법

III. 결과 및 고찰

IV. 적 요

인용문헌

ABSTRACT

Nitrogen applied as fertilizer for crop production is partly absorbed by plant, and the remaining nitrogen in soil might be leached out through complicated processes to the subsoil layer. Especially, NO₃-N in leachate causes environmental pollution.

The purpose of this study was focused on understanding of uptake of nutrients by plants, the behaviors of nutrients in soil and the possibility of leaching loss when nitrogen fertilizer and completely decomposed compost were applied.

Lysimeters (Volume 0.15 m³, Diameter 62cm, Height 62.8cm) were installed for collecting leachate in the Jeju volcanic ash soils. Lysimeter study consisted of thirteen

* Corresponding author : (Phone) +82-64-754-3391. (E-mail) kangbong@cheju.cheju.ac.kr

treatments : fallow, fallow with weeding, cropping without fertilizer and compost, three N fertilizer soil surface applications(16, 32, 64kg/10a), three N fertilizer and compost soil surface applications(16+800, 32+1600, 64+3200kg/10a), two water dissolved N fertilizer applications(16, 32kg/10a), and low and high plant densities. N fertilizer was applied as urea. The growth of corn(preceding crop) and potatoes(succeeding crop) and leaching loss were determined during the experimental period. The results obtained were summarized as follows :

With increased N, pH of leachate tended to decrease and $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration of leachate increased. $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching loss was remarkably greater in soil from the bare plot without fertilization and the weed control than from plots with medium N rate and was least in the cropping plot without fertilization. $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in leachates from the water dissolved N fertilizer application plots was 64% of that from the soil surface application plots. The concentration of Ca and K ions and the leaching loss of these ions were least from the cropping plot without fertilization and were greatest from bare plots(T1 and T2) without fertilization. The proportion of leaching and residual N in soil increased as N rate increased indicating that higher N rates increase the possibility of N leaching to subsoil layer. The proportion of N leaching losses was lower at the low N rate and the high plant density. In future, fertilization prescription which can maximize fertilizer use efficiency and minimize the pollution of ground water will be needed for conserving the environments.

Key words : lysimeter, nutrient leaching, dissolved in water, $\text{NO}_3\text{-N}$

I. 緒 論

土壤에 사용된 窒素肥料은 作物에 吸收되어 植物體構成에 이용되며 식물에 吸收되지 못하고 남은 窒素는 빗물과 함께 流失되거나 또는 粘土鑛物에 吸着, 固定되어 土壤에 蓄積된다. 작물에 의한 窒素回收率은 작물의 종류와 施肥量, 施用時期에 따라 다르지만 50%以下이고, 사용된 家畜糞의 窒素回收率은 10~20%에 불과하다. 揮散이나 脫窒된 窒素는 일반적으로 그 量이 적으며 토양에 남은 질소는 流失 또는 溶脫되어 水界에 流入되면 水質을 汚染시킬 潛在性을 갖게 된다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 溶脫은 經濟的 損失뿐만 아니라 地下水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を 높여 일정 수준 이상에 달한 물을 飲用水로 사용할 경우 유아에게 청색증과 되새김 동물에게 위장 장애를 일으킬 수 있어 세계적으로 음용수 수질기준을 10mg/l 내외로 규정하고 있다.

용탈에 의한 施用肥料의 損失은 식물의 栽培條件과 土壤特性에 따라 큰 차이가 있으며 施肥量의 0~25%에 달한 것으로 보고되어 있다(Nelson 等, 1980). 그리고 Timmons and Dylla(1982)은 土壤中에 NO₃-N 濃도가 높을수록 窒素溶脫量이 많아지며 表面水와 地下水에 NO₃-N 濃度 增加의 原因이 된다고 보고하였다. 농경지에서의 肥料과 畜産糞尿의 사용은 地下水中の 窒酸性窒素의 濃도를 높이는데 직접적으로 영향을 미친다. Nebraska는 非點汚染源(nonpoint source)에 의해 地下水가 窒酸性窒素로 汚染된다고 보고된 지역으로 窒素同位元素를 이용하여 調査한 바에 의하면 汚染源이 主로 肥料 또는 土壤有機物로부터 由來된 것으로 밝혀졌다(Gormly and Spalding, 1979).

NO₃-N의 土壤內에서의 移動은 convective transport로서(Krupp 等, 1972) 窒素 施用量, 降雨量, 土性에 크게 좌우된다. 특히 窒素施用量이 많을 경우에는 微生物에 의한 priming effect(Heilman, 1975; Laura, 1977)때문에 土壤中 有機態窒素의 無機化作用을 촉진하게 되므로 土壤中 NO₃-N 含量을 더욱 增加시키는 原因이 되기도 한다(Westerman과 Tucker, 1974).尹과 柳(1991)는 草地에 28kg N/10a를 施用하고 土壤中 無機態窒素의 季節別 濃度變化를 調査한 研究에서 降雨量이 많은 여름철에 窒素施用量이 많을수록 NO₃-N 濃도가 增加함을 보고하였다.

1960년대 이후 우리나라에서 化學肥料의 偏重使用으로 인하여 土壤酸性化가 가속화되고 여름철 집중호우로 土壤 養分 流失이 심해지고 深土層으로의 溶脫로 인한 肥料分의 損失과 地下水의 오염 가능성이 높아지고 있다. 따라서 본 시험에서는 제주지역 화산회토에서 라이시미터를 이용하여 施肥窒素 供給源으로써의 尿素 및 完熟堆肥를 施肥함에 따른 作物체 생육과 그 土壤내 施肥養分의 이동, 窒酸性窒素 등이 地下水로의 溶脫可能性 등을 推定하여, 土壤을 健全하게 유지 보전하는 環境調和形 農業의 기초자료를 얻고자 하였다.

II. 材料 및 方法

1. 試驗用 Lysimeter 設置 및 罫트내 토양의 充實

窒素質施肥에 의한 作物體의 生育形質變化 및 土壤 溶脫水의 量과 NO₃-N, Cl⁻, SO₄⁻² 등의 陰이온 및 K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺의 陽이온의 行方을 調査하기 위하여 사용한 Lysimeter는 <그림 1>과 같다.

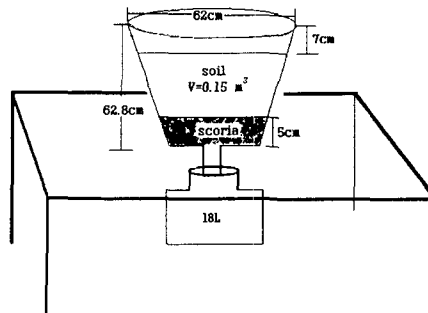


Fig. 1. Schematic diagram of lysimeter for leachate sampling.

시험에 사용한 Lysimeter는 有底 PVC 圓錐形 통으로 상부면적은 $0.302m^2$ ($R = 62cm$)이고, 전체부피(V)는 $0.156m^3$ (윗면내경 62.0cm, 밑면내경 50.0cm, 높이 62.8cm)이었다. 有底 PVC 圓錐形 통의 밑면중앙에 직경 6cm의 구멍을 뚫고 流出管을 18 l의 흑갈색의 貯水用 통과 연결하여 溶脫水 全量이 저수통에 모이도록 설치하였다. 試驗用 Lysimeter는 강관틀(길이 30m × 너비 2.5m × 높이 0.8m)위에 설치하였다.

사용된 供試土壤은 火山灰土가 母材인 농암갈색토 微砂質植壤土로 圃場 作土層 20cm내외의 土壤을 採取하여 골고루 섞은 후 가로, 세로 1.0cm구멍의 체를 통과시켜 사용하였다. 供試土壤의 充鎮은 포트의 바닥에 直徑 3mm내외의 마사토로 5cm높이를 채운 후 供試土壤을 각 포트당 186kg씩 充鎮하였으며 Lysimeter의 윗부분은 上部 7cm의 空間을 두어 비가 오더라도 빗물이 포트외부로 流出되는 것을 防止하였다. 시험기간(1996년 3월-1997년 4월)중의 氣象은 溫度, 濕度, 蒸發量, 日照時數 등은 平年에 비해 큰 차이가 없었으나, 降水量은 平年에 비해 500mm이상 적었으며, 時期別로는 7-8월의 降水量은 平年보다 적었던 반면 10, 11월에는 集中豪雨가 많았다.

2. 處理內容 및 供試作物

處理內容은 표 1과 같이 無肥放任區(T1), 無肥無栽培 除草區(T2), 無肥栽培區(T3), 窒素少肥 土壤處理區(T4), 窒素普肥(標準) 土壤處理區(T5), 窒素增量 土壤處理區(T6), 窒素·堆肥 少量 土壤處理區(T7), 窒素·堆肥 普通量(標準) 土壤處理區(T8), 窒素·堆肥 增量 土壤處理區(T9), 窒素少肥 水溶液處理區(T10), 窒素普肥(標準) 水溶液處理區(T11), 窒素普肥(標準) 疎植區(T12), 窒素普肥(標準) 密植區(T13) 등 13 處理를 亂塊法 3反復으로 配置하였다. 無肥放任區(T1)는 土壤에서 由來되어 溶脫되는 이온들의 양을 算出하는데 이용하였으며, 無肥栽培區(T3)는 施肥量中 植物體가 土壤에서 吸收한 肥料量을 算出하는데 이용하였다. 標準施肥量은 옥수수는 窒素- 磷酸- 加里- 堆肥를 각각 18- 15- 15- 800kg/10a, 감자는 각각 14- 11- 12- 800kg/10a 기준으로 施肥하였고, 窒素源은 尿素, 磷酸 및 加里는 각각 용성인비 및 염화가리를, 堆肥는 自然醱酵堆肥(窒素 0.76%, 磷酸 1.07%, 加里

0.65%, 유기물 31.1%, C/N 40.0, 水分 59.5%)를 사용하였다. 窒素施肥方法은 옥수수는 基肥 50%, 追肥(이식 45일 후) 50%를, 감자는 全量 基肥處理하였다. 窒素 및 堆肥 增量區 (T6, T9)는 磷酸 및 加里도 2배 水準으로 施肥하였다. 水溶液處理區는 普肥區基準으로 1%의 水溶液을 만들어 土壤灌注하였다.

Table 1. Description of the treatments.

Treat-ment	Fertilizer	Fertilizer rate (kg/10a)	Fertilizer application method	Method of cultivation
T1	None	-	-	Fallow
T2	None	-	-	Fallow with weeding
T3	None	-	-	¹ Corn(3 plants), Potato(3 plants)
T4	Nitrogen ¹	16	Soil surface	Corn(N 9kg/10a, 3 plants) Potato(N 7kg/10a, 3 plants)
T5	Nitrogen	32	Soil surface	Corn(N 18kg/10a, 3 plants) Potato(N 14kg/10a, 3 plants)
T6	Nitrogen	64	Soil surface	Corn(N 36kg/10a, 3 plants) Potato(N 28kg/10a, 3 plants)
T7	Nitrogen+ Compost	16 800	Soil surface	Corn(N 9kg+Comp. 400kg/10a, 3 plants) Potato(N 7kg+Comp. 400kg/10a, 3 plants)
T8	Nitrogen+ Compost	32 1600	Soil surface	Corn(N 18kg+Comp. 800kg/10a, 3 plants) Potato(N 14kg+Comp. 800kg/10a, 3 plants)
T9	Nitrogen+ Compost	64 3200	Soil surface	Corn(N 36kg+Comp. 1600kg/10a, 3 plants) Potato(N 28kg+Comp. 1600kg/10a, 3 plants)
T10	Nitrogen	16	Dissolved in water	Corn(N 9kg/10a, 3 plants) Potato(N 7kg/10a, 3 plants)
T11	Nitrogen	32	Dissolved in water	Corn(N 18kg/10a, 3 plants) Potato(N 14kg/10a, 3 plants)
T12	Nitrogen	32	Soil surface	Corn(N 9kg/10a, 2 plants) Potato(N 7kg/10a, 2 plants)
T13	Nitrogen	32	Soil surface	Corn(N 9kg/10a, 6 plants) Potato(N 7kg/10a, 5 plants)

¹ : Nitrogen was applied as urea.

² : com- preceding crop, potatoes-succeeding crop.

疎植 및 密植處理에 있어서 前作物인 옥수수는 각 區當 3株를 기본으로 疎植區(T12)는 2株, 密植區(T13)는 6株를 심었고, 後作物인 감자는 3株를 기본으로 각각 2株, 5株를 심었다. 無肥放任區(T1)는 自然狀態로 放置하였고, 無肥無栽培 除草區(T2)는 主雜草가 草長 2cm내 외가 될 때마다 20cm 길이로 耕耘處理하였다. 옥수수는 육묘한 묘종을 6월 1일에 Lysimeter 當 4株씩 移植하여 재배한 후 8월 20에 수확하였다. 後作物인 감자는 8월 24일에 3주씩 파종하여 재배한 후 11월 16일에 수확하였다.

3. 溶脫水の採水 및 分析

降雨시마다 각 處理區別로 流出管에 모아진 溶脫水量을 測定한 후 그 중 일부를 취하여 100ml의 무균플라스틱 채수병에 담아 Ion變化를 최대한 줄이기 위해 採水 즉시 냉장보관 후 실험실로 운반하였다. 分析方法은 수소이온 농도는 pH meter(Orion 520A, USA)로, $\text{NO}_3\text{-N}$, Cl^- , SO_4^{2-} 의 陰이온은 곧바로 3℃내외의 냉장고에 보관후 水溶性 Filter($0.45\mu\text{m}$)를 이용, 정제하여 Ion Chromatography(DX-100, Dionex 社, USA)를 이용하여 Flow rate = 112로 하여 測定하였으며, K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ 의 陽이온은 原子吸光光度計(Atomic Absorption Spectrophotometer; model SP 9-800, Pye-unicam 社, England)를 이용하여 이온별로 각각 766.5nm, 422.7nm, 285.2nm, 589.0nm 파장 부근에서 測定하였다.

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 降雨中 pH 및 陽, 陰이온의 濃도와 溶脫量

시험기간 중의 降雨量은 <표 2 및 3>에서 보는 바와 같이 714.6mm였으며, 降雨中の pH는 평균 4.83~5.65, Cl^- 은 0.06~2.58mg/l, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 0.12~0.52mg/l, SO_4^{2-} 는 0.77~2.88mg/l였다. 또한 陽이온인 Ca^{+2} 는 평균 0.88mg/l, Na^+ 0.9mg/l, K^+ 0.16mg/l, Mg^{+2} 는 0.24mg/l였다. 降雨中 pH는 봄철보다 여름~가을철에 낮아졌다가 겨울철인 12월에는 다시 약간 높아지는 것으로 나타났으며, 산성비로 인해 제주도 土壤의 酸性化에 一助를 하고 있는 것으로 보인다.

$\text{NO}_3\text{-N}$ 은 平均濃도가 0.3mg/l로 미미한 정도였으며, 降雨量의 다소에 따른 濃度 差異는 보이지 않았다. SO_4^{2-} 는 여름철을 지나면서 2mg/l 이상의 濃度を 나타내어 평균 1.82mg/l를 기록하였고 그 외 陽이온들의 濃度は 미미한 정도였다. 시험기간중 降雨로 인하여 Lysimeter內에 내린 降雨量은 표 3에서 보는 바와 같이 714.6mm였는데, 이는 평년에 비해 매우 적은 量이었다.

13 處理에 따른 溶脫水の 量은 總降雨量 對比 22.1~46.1%로 차이가 많았다. 가장 溶脫水量이 많은 處理區는 無肥無栽培 除草區(T2)로 329.7mm가 溶脫되어 總降雨量의 46%를 차지하였고, 다음으로 無肥放任區(T1), 無肥栽培區(T3), 窒素普肥 疎植區(T12) 順으로 溶脫量이 많았던 반면에 窒素·堆肥 增量區(T9) 및 窒素普肥 水溶液區(T11), 窒素普肥 密植區(T13)는 溶脫率이 22.0~23.0%로 매우 적게 나타났다. 降雨中 Lysimeter를 통해 溶脫된 물의 量은 無肥放任區(T1)가 40.2%, 無肥無栽培 除草區(T2)가 46.7%로 많았으며, 施肥量을 增加시킬수록 溶脫量은 미미하나마 減少하는 추세를 보였고, 密植栽培한 T13 處理區가 22.1%로 낮은 것으로 나타났다.

Table 2. Rainfall and pH, ion concentrations(mg/l) of rainfall during the experimental period.

Date	Rainfall(mm)	pH	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²
May 27-30	53.0	5.20	0.38	0.12	1.21	1.34	1.80	0.45	0.06
June 19-20	64.0	5.26	1.83	0.32	1.44	1.41	0.45	0.78	0.16
June 24-25	88.0	5.03	1.06	0.17	0.77	1.44	0.09	0.48	0.13
June 28-30	65.0	5.34	1.09	0.13	1.45	1.79	0.06	0.56	0.15
July 9-11	20.0	5.65	2.58	0.22	1.02	1.40	0.80	0.00	0.20
July 17-18	5.1	5.46	2.25	0.29	1.21	0.63	0.96	0.02	0.28
Aug. 29-30	64.0	5.10	0.06	0.24	2.88	1.22	0.52	0.00	0.18
Aug. 30-31	27.0	4.83	2.90	0.52	2.46	0.18	1.42	0.00	0.32
Sep. 6-13	24.4	5.16	1.17	0.45	2.73	0.43	0.84	0.00	0.21
Sep. 14-30	21.2	5.06	1.61	0.42	2.30	0.19	0.27	0.00	0.07
Oct. 6-12	19.9	4.85	2.28	0.52	2.51	0.63	1.91	0.00	0.43
Nov. 1- 2	99.4	5.11	0.58	0.22	2.18	0.10	0.38	0.00	0.08
Nov. 4- 5	49.9	4.95	0.42	0.15	1.76	0.21	0.29	0.00	0.09
Nov. 10-11	12.0	5.07	0.00	0.36	2.29	1.65	1.65	0.17	0.48
Dec. 3- 4	53.4	5.42	0.45	0.38	1.20	0.64	2.16	0.04	0.85
Mean	44.4	5.16	1.24	0.30	1.82	0.88	0.90	0.16	0.24

Table 3. Leaching amount and leachate ratio at 13 treatments.

Date	June 19-20	June 24-25	June 28-30	July 10-11	Aug. 29-30	Nov. 01-02	Nov. 04-05	Nov. 10-11	Dec. 02-13	Other ^b	Total	Leach-ate ratio (%)
Rainfall (mm)	64.00	88.00	65.00	20.00	64.00	99.40	49.90	12.00	53.40	119.8	714.6	
Treat. ^a	Leaching amount(mm)											
T1	30.59	53.69	43.84	7.46	26.51	57.27	27.21	5.90	34.60		287.1	40.17
T2	33.11	60.31	53.95	10.70	39.77	64.86	25.09	7.32	34.57		329.7	46.13
T3	31.18	46.53	41.56		23.50	52.86	23.70	4.64	31.18		255.2	35.70
T4	27.54	37.98	24.99		11.53	41.56	22.10	2.35	26.01		194.1	27.16
T5	27.57	36.92	25.58		7.52	35.16	22.50	2.25	34.57		192.1	26.88
T6	27.04	36.72	23.66		4.90	32.51	22.14	2.19	27.84		177.0	24.77
T7	29.66	36.26	24.42		6.33	33.77	22.37	2.32	31.52		186.7	26.12
T8	29.00	36.98	24.36		6.73	34.34	23.53	1.79	22.24		180.0	25.04
T9	27.34	37.38	24.36		5.70	19.59	20.48	1.86	24.89		161.6	22.61
T10	26.71	36.45	23.60		4.54	33.64	23.03	2.92	34.70		185.6	25.97
T11	25.98	36.72	22.87		5.14	26.64	19.22	1.23	27.14		164.9	23.08
T12	31.45	39.04	25.92		10.21	45.37	25.35	2.52	29.73		209.6	29.33
T13	23.30	34.73	20.94		2.95	29.49	21.38	0.99	24.13		157.9	22.10

^a : See Table 1.

^b : Non-leachate of rainfall.

2. 溶脫水中 pH 및 Cl⁻, NO₃-N, SO₄⁻² 濃度 및 溶脫量

<표 4>는 연중 溶脫水中 pH 및 陽·陰이온의 平均濃度を 나타낸 것이고, <표 5>는 각 溶脫時期別로 溶脫水量에 平均濃度を 곱하여 이온의 總溶脫量を 算出한 것이다.

窒素施肥量の 増加에 따른 pH 濃度變化는 統計的인 有意性은 없었으나 대체적으로 無肥栽培區가 높고 窒素施肥量を 増加시킬수록 溶脫水中의 pH는 점차 낮아지는 傾向을 보였으며, 施肥方法에 따라서는 水溶液區가 다소 높게 나타났다.

Table 4. Average pH and ion concentration(mg/l) of leachate during the experiment at 13 treatments.

Treatment ¹⁾	pH	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²
T1	6.83 ^{a2)}	16.67 ^g	26.56 ^{dc}	15.72 ^{de}	25.79 ^{te}	6.79 ^{dc}	14.15 ^{etg}	7.12 ^f
T2	6.76 ^a	20.12 ^f	36.40 ^b	17.53 ^{de}	34.22 ^b	8.25 ^{bc}	18.50 ^b	10.09 ^c
T3	6.68 ^a	14.52 ^g	10.29 ⁱ	8.50 ^f	17.70 ^h	6.18 ^d	10.37 ^h	5.36 ^g
T4	6.79 ^a	20.72 ^f	20.69 ^{te}	17.88 ^{bcd}	26.83 ^{de}	8.77 ^b	14.61 ^{det}	8.46 ^{det}
T5	6.75 ^a	33.74 ^c	25.04 ^d	19.95 ^d	30.48 ^c	8.59 ^b	16.50 ^{cd}	9.45 ^{cd}
T6	6.66 ^a	70.35 ^b	40.81 ^a	25.03 ^a	38.76 ^a	10.89 ^a	17.86 ^{cd}	19.20 ^a
T7	6.80 ^a	26.18 ^d	18.37 ^{fg}	18.53 ^{bc}	24.89 ^{ef}	7.68 ^{bc}	13.37 ^{gt}	7.92 ^{et}
T8	6.73 ^a	33.20 ^c	21.79 ^e	19.36 ^b	28.66 ^{cd}	8.61 ^b	15.65 ^{de}	9.03 ^{de}
T9	6.63 ^a	79.05 ^a	39.77 ^a	26.78 ^a	40.00 ^a	11.21 ^a	23.92 ^a	17.56 ^b
T10	6.85 ^a	24.56 ^{cd}	13.35 ^h	16.86 ^{cde}	23.89 ^{fg}	7.61 ^{bcd}	13.58 ^{fg}	7.67 ^{et}
T11	6.78 ^a	27.41 ^d	15.98 ^{hg}	17.60 ^{bcd}	26.37 ^e	7.93 ^{bc}	14.96 ^{det}	8.50 ^{det}
T12	6.67 ^a	31.62 ^c	28.18 ^c	18.82 ^{bc}	29.99 ^c	8.63 ^b	16.36 ^{dc}	9.69 ^{cd}
T13	6.82 ^a	22.62 ^{et}	15.37 ^h	15.44 ^e	22.6 ^g	7.53 ^{bcd}	12.27 ^g	7.20 ^f
CV(%)	5.40	4.99	6.78	6.95	4.35	9.61	6.90	8.26

¹⁾ : See Table 1.

²⁾ : Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

Cl⁻의 年中平均 溶脫濃度は 無肥區(T1, T3)에서 14.5~16.6mg/l로 낮은 濃度を 보였으며, 施肥量を 増加시킬수록 濃도가 높아져 窒素·堆肥 增量區(T9)는 79.1mg/l의 濃도를 보였다. Cl⁻의 溶脫總量은 增量區(T6, T9)에서 11.9~12.5kg/10a의 많은 量이 溶脫되었고, 無肥栽培區(T3) 및 窒素普肥 密植區(T13)는 溶脫量이 현저하게 減少하였다. 施肥方法間에는 窒素普肥 水溶液區(T11)의 平均濃도가 窒素普肥區(T5)에 비해 67%에 불과하였고, 密植試驗에서는 密植區(T13)가 疎植區(T12)에 비해 56.5%로 有意하게 낮아지는 것으로 나타났다. 時期別로 溶脫水中 Cl⁻의 濃도를 <그림 2>에서 살펴보면 전반적으로 無肥區에 비해 施肥區에서 시험기간동안 높은 濃도를 유지하였으며 時期別로는 施肥區에서는 施肥후 25일까지는

Cl⁻ 濃도가 增加하다가 옥수수 수확기인 8월 20일을 기점으로 減少하여 감자재배를 위한 施肥 後에는 濃度差異가 크게 나타나지 않았다. Oh 等(1996)은 도내 상수원의 수질에서 염소이온 濃도가 겨울부터 여름까지 增加하였고 여름부터 가을까지 낮은 濃度を 유지하다가 다시 높아 지는 傾向을 보였는데, 이는 窒酸態窒素 變化와 같은 원인으로 사료된다고 하였다.

일반적으로 地下水가 오염되어 가는 과정에서 窒酸態窒素는 검출빈도가 가장 높은 물질 중 에 하나이다(Somasundaram 等, 1993). 溶脫水中 NO₃-N의 平均濃度는 無肥栽培區(T3)에서 10.3mg/l로 가장 낮았으며, 增量區(T6, T9)가 39.8~40.8mg/l로 높게 나타났다.

그러나 窒素가 施用되지 않은 無肥區(T1, T2)의 平均濃度가 普肥區(T5, T8)보다 높게 나타났다. 無肥區(T1, T2)에서 溶脫水の NO₃-N 濃도가 높은 것은 地上部에 植物體가 없으면 施肥된 窒素가 無機化되어 생성되는 NO₃-N을 吸收, 除去하지 못하기 때문이다(尹, 1994).

Table 5. Leaching loss(kg/10a) of anions and cations during the experiment at 13 treatments.

Treatment ¹	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²
T1	4.97 ^{cde p}	8.69 ^b	4.78 ^b	7.73 ^b	2.09 ^a	4.47 ^b	2.34 ^d
T2	7.26 ^b	13.47 ^a	5.91 ^a	12.21 ^a	2.98 ^b	6.69 ^a	3.97 ^a
T3	3.98 ^e	3.01 ^{gt}	2.24 ⁱ	4.59 ^{ng}	1.58 ^{dc}	2.83 ^{cae}	1.51 ⁿⁱ
T4	4.60 ^{de}	4.72 ^e	3.74 ^{cde}	5.33 ^{gt}	1.68 ^{dc}	3.03 ^{cae}	1.82 ^{ign}
T5	7.05 ^b	5.54 ^{cd}	4.04 ^{cde}	5.90 ^{cat}	1.66 ^{dc}	3.27 ^{cae}	1.97 ^{et}
T6	12.53 ^a	7.86 ^{cd}	4.38 ^{bc}	7.37 ^{bc}	1.93 ^{bc}	3.07 ^{cae}	3.37 ^b
T7	5.21 ^{cde}	4.30 ^{et}	3.65 ^{de}	4.89 ^{ig}	1.49 ^{de}	2.67 ^{de}	1.68 ^{ign}
T8	6.39 ^{cd}	4.86 ^e	3.45 ^{etg}	5.52 ^{ige}	1.61 ^{dc}	3.00 ^{dc}	1.90 ^{etg}
T9	11.92 ^a	7.13 ^c	4.09 ^{cde}	6.74 ^{bcd}	1.91 ^{bc}	3.83 ^{bc}	2.92 ^c
T10	5.33 ^{cd}	3.09 ^g	2.93 ^{gn}	4.65 ^{gn}	1.42 ^{de}	2.57 ^{de}	1.58 ^{gni}
T11	4.72 ^{de}	3.35 ^{gt}	3.04 ^{ign}	4.69 ^{gn}	1.40 ^{de}	2.63 ^{de}	1.63 ^{ign}
T12	7.22 ^b	6.65 ^{cd}	4.27 ^{bcd}	6.46 ^{cde}	1.80 ^{bcd}	3.49 ^{bcd}	2.19 ^{de}
T13	4.08 ^e	3.08 ^{gt}	2.53 ⁿⁱ	3.71 ⁿ	1.20 ^f	2.05 ^e	1.28 ⁱ
CV(%)	10.31	12.55	9.67	9.23	12.30	15.96	8.78

¹: See Table 1.

²: Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

施肥量別로는 增肥할수록 NO₃-N의 濃度は 增加하는 양상을 보였으나, 少肥區(T4, T7)) 에 비해 普肥區(T5, T8)의 濃도가 크게 增加하지 않았으며 施肥方法間에 있어서도 窒素普肥 水溶液區(T11)의 平均濃도가 窒素普肥 土壤處理區(T5)의 64%에 불과하였다. 또한 疎植 및 密植試驗에서는 密植區(T13)의 濃도가 疎植區(T12)에 비해 54.5%로 낮아졌다. 溶脫時期

別로는 施肥以前 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度가 37.5mg/l 이었으나 施肥後 20일 경과후에는 대부분의 施肥區에서 增加하였다가 이후 계속적으로 濃度가 낮아졌다.

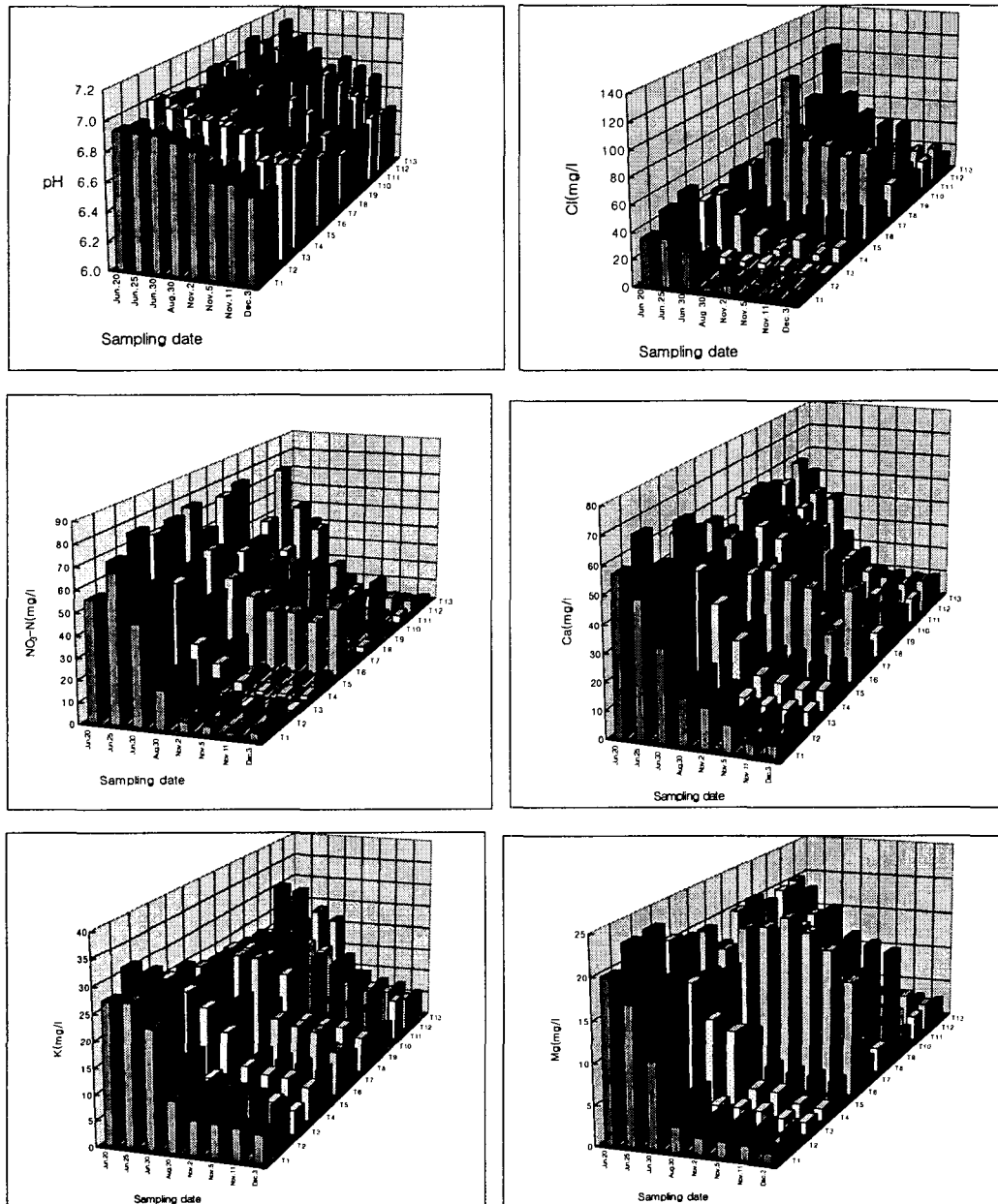


Fig. 2. pH and Cl, $\text{NO}_3\text{-N}$, Ca, K and Mg ion concentration of leachates on various sampling dates at 13 treatment.

감자 생육후기인 11월 이후에는 모든 處理區에서 濃度가 10mg/l 이하로 급격히 낮아졌다. 農耕地에서는 NO₃-N 濃度の 月變化는 작물이 생육하는 여름에 濃度가 낮고 겨울에 濃度가 높다고 보고(Weil 等, 1990)하였는데, 본 조사에서 이들과 차이를 보이는 것은 土壤調査가 아닌 溶脫水中의 濃度を 調査하였고 시험토양의 物理的 濾過機能, 化學的 吸着, 固定機能의 차이 및 강수량, 재배작물 等 복합적 요인에 기인한 것으로 보인다.

溶脫된 물의 量과 溶脫水中의 NO₃-N 濃度を 곱하여 算出한 NO₃-N 溶脫總量은 無肥無栽培 除草區(T2)에서 가장 많았으며 다음으로 無肥放任區(T1)에서 많은 것으로 나타났다. T2 處理區의 溶脫總量은 T3, T10, T13 處理區에 비해 4배 이상 많은 量이었다. 施肥量 別로는 多肥할수록 溶脫量이 增加하는 傾向이었으나 增量區(T6, T9)의 溶脫量이 無肥無栽培 除草區(T2)에 비해 40%이상 減少되는 것으로 나타났다.

이와 같은 結果는 작물을 수확한 후 裸地에서 NO₃-N 溶脫量이 增加한다는 보고(Liang 等, 1991)와 類似한 것이었으며 역으로 土壤內에서 無機化되어 溶脫 潛在性을 갖는 NO₃-N 을 식물이 吸收, 除去함으로 溶脫을 방지하는 효과를 갖는 것으로 해석할 수 있다(Edelhar 等, 1984). 또한 無肥栽培區(T3)의 總溶脫量이 3.0kg/10a인 반면 窒素少肥區(T4), 普肥區(T5)가 4.7~5.5kg/10a이었으며, 窒素少肥 水溶液區(T10)는 3.1kg/10a, 普肥 水溶液區(T11)는 3.4kg/10a를 나타내어 少肥 및 普肥區에서는 施肥에 의한 NO₃-N 溶脫量은 거의 없는 것과 같은 結果를 보였다. 이는 適正量의 窒素施肥는 작물의 생육을 촉진시키고 작물의 窒素吸收率을 높여 深土層으로의 NO₃-N 溶脫을 防止하는 積極的 方法이라고 생각되어진다.

SO₄²⁻의 平均 溶脫濃度는 處理區別로 NO₃-N과 類似한 양상을 보여 無肥區(T1, T2)가 15.7~17.5mg/l로 無肥栽培區(T3)보다 높은 濃度を 나타내고 있으며, 施肥水準別로는 多肥할수록 溶脫濃度가 높아져 增量區(T6, T9)는 25~26mg/l의 濃度を 보였다.

3. 溶脫水中 Ca²⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺ 濃度 및 溶脫量

處理에 따른 Ca⁺의 溶脫平均濃度는 無肥栽培區(T3)에서 다른 處理區에 비해 현저하게 낮게 나타났으며 施肥量이 增加할수록 Ca⁺의 濃度は 높아지는 것으로 나타났다. 또한 溶脫水中 Ca⁺의 濃度가 높은 處理區는 T9>T6>T2 處理 順으로 나타나고 있어 NO₃-N에서와 類似한 形態를 보였다.

時期別 Ca⁺의 溶脫程度는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 옥수수 생육 중반기인 7월 30일까지는 완만한 減少를 보이다가 8월 30일 이후에는 급속한 減少趨勢를 보였다. Ca⁺의 溶脫總量도 NO₃-N과 類似한 形態를 보여 無肥無栽培 除草區(T2)가 12.2kg/10a로 가장 많았으며 密植區(T13)가 3.7kg/10a로 가장 적은 것으로 調査되었다. 이는 어느 수준까지는 窒素施用量이 增加할수록 植物體의 생육이 촉진되고 Ca⁺의 吸收도 窒素가 多量施用된 處理區에서 增加함으로써 상대적으로 標準 施肥量을 施用한 處理區(T5, T8, T11)에서의 Ca⁺ 溶脫量이 無肥放任區(T1)보다 적고 無肥栽培區(T3)와 비슷한 것으로 調査되었다.

K⁺의 溶脫水中 平均濃度도 Ca⁺²에서와 비슷한 形態를 보이고 있어 無肥栽培區(T3)가 10.4mg/l로 가장 낮았던 반면 窒素·堆肥 增量區가 23.9mg/l로 높게 나타났다.

溶脫時期別로는 옥수수 생육 중반인 7월 30일 이후 溶脫水中 K⁺의 濃度가 급격하게 낮아져 감자 생육 중기인 11월 이후에는 K⁺의 濃度가 미미하여 NO₃-N에서와 類似한 傾向을 보였다. 加里의 總溶脫量에 窒素普肥 密植區(T13)가 2.1kg/10a로 無肥栽培區(T3)보다도 낮은 반면 無肥放任區(T1)에서는 4.5kg/10a가 溶脫되어 多肥區(T6, T9)보다도 많은 量이 溶脫되었을 뿐만 아니라 無肥無栽培 除草區(T2)는 窒素增量區(T6)보다도 2배이상 많은 量이 溶脫되었다. 이와 같은 結果는 尹等(1990)이 禾本科 牧草에 의한 加里의 吸收는 奢侈吸收라 할만큼 많다고 하였고, Griffith等(1964)은 窒素가 施用되어 土壤에 無機態窒素의 濃度가 높으면 加里의 吸收가 增加한다고 보고하고 있어 施肥區에 있어서는 加里의 植物體 吸收增加에 의해 溶脫量이 상대적으로 적어지는 것으로 보인다.

溶脫水中 Na⁺ 및 Mg⁺²의 濃度變化는 Ca⁺² 및 K⁺에서와 類似한 形態를 보였다. 無肥區(T2, T1)에서 溶脫水中 平均濃度 및 溶脫總量이 다른 處理區에 비해 많아졌으며 密植區(T13) 및 無肥栽培區(T3)에서 總溶脫量이 낮게 나타나고 있다. 된다.

4. NO₃-N과 pH 및 陽, 陰이온간의 相關

Table 6. Correlation coefficients among average pH and ion concentration of leachate at 13 treatments.

Item	Leaching amount	pH	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Na ⁺	K ⁺
pH	0.098							
Cl ⁻	-0.466	-0.681*						
NO ₃ -N	0.167	-0.555*	0.719**					
SO ₄ ⁻²	-0.435	-0.419	0.880**	0.776**				
Ca ⁺²	-0.081	-0.561*	0.828**	0.948**	0.907**			
Na ⁺	-0.424	-0.609*	0.923**	0.787**	0.942**	0.913**		
K ⁺	-0.085	-0.556*	0.794**	0.866**	0.859**	0.941**	0.857**	
Mg ⁺²	-0.283	-0.651*	0.954**	0.848**	0.884**	0.914**	0.943**	0.818**

*. **: Significant at 5% and 1%, respectively.

NO₃-N과 溶脫量, pH 및 陽·陰이온간의 相關關係를 <표 6>에서 살펴보면 pH와 Cl⁻과는 r = -0.681*, NO₃-N과는 r = -0.555*의 負의 相關을 보였고, 다른 陽이온과도 負의 相關關係를 보이고 있다. 窒酸態窒素와 pH의 相關分析에서 化學肥料와 豚糞의 질산화 속도가 달라 尿素施用인 경우 r = -0.74**, 豚糞施用에서는 r = -0.31*로 相關性이 다르게 나타났다는 尹(1994)의 報告와 제주도 地下水 污染源에 관한 試驗에서 δ 15(‰) 및 NO₃-N에 의한 汚染

源別 寄與率에서 化學肥料에 의한 寄與率이 27~59%, 家畜糞尿에 의한 것이 20~71%에 달하는 것으로 보고한 Hyun 等(1996)의 結果 및 본 시험 結果 등을 종합해 볼 때 제주도 농경지에서의 化學肥料에 의한 地下水 汚染可能性이 클 것으로 보인다.

NO₃-N은 Cl⁻, SO₄²⁻ 等の 陰이온과 正의 相關을 나타내고 있으며 陽이온간에도 고도의 正의 相關關係를 보이고 있다. NO₃-N과 陽이온간의 相關係數는 Ca⁺²>K⁺>Mg⁺²인 r=0.948**, 0.866**, 0.848** 順으로 나타내고 있다. 따라서 NO₃-N의 濃도가 增加할수록 陽이온의 濃도가 增加하고 있는데, 尹(1994)도 NO₃-N과 Ca⁺², Mg⁺², K⁺의 濃度間에는 NO₃-N 濃도가 增加할수록 陽이온의 濃도가 增加하는 正의 相關關係를 보여 NO₃-N이 表土에서 深土層으로 下向移動시 이들 陽이온과 同伴溶脫되어 蓄積되기 때문이라고 보고하고 있으며, Pleysier 等(1981)도 陽이온 溶脫試驗에서 深土層에 Ca, Mg, K 이온이 蓄積되며 Cl 이온도 深土에서 濃도가 增加함을 보고하고 있다. 따라서 溶脫水에 의해 移動되는 NO₃-N은 土壤中 陽이온들과 同伴溶脫되는 것으로 생각되며, NO₃-N 및 陽이온이 深土層 및 지하로 溶脫됨으로서 耕作層에서의 식물에 필요한 養分의 流失, 溶脫되어 시간이 경과함에 따라 더욱 밑으로 移動되어 地下水中の 鹽類濃度 增加를 誘發할 수 있는 가능성이 있다.

이러한 結果를 종합해 볼 때 植物에 의한 土壤中の 窒素吸收는 溶脫量을 줄이고 植物體에 의한 窒素吸收效率 增加와 연관되는 것으로서 地上部の 植物體 生育發達 程度, 降雨量 및 降雨時期에 대한 豫測 等を 통한 施肥量 및 施肥方法이 決定되어야 할 것이다. 土壤에 溶脫되는 量을 最小화시키고 식물에 의한 窒素吸收를 最大化시키는 方向으로 窒素推薦 施肥量을 算定하여 地下水 汚染을 防止하고 環境持續形 施肥管理가 이뤄져야 할 것으로 생각된다.

IV. 摘 要

作物生産을 위하여 土壤에 施用된 肥料는 溶解되어 一部는 作物에 吸收되고, 나머지는 土壤中에서 複雜한 過程을 거쳐 深土層으로 溶脫되는데 특히 NO₃-N은 地下水 汚染의 直接的인 原因이 되기도 한다. 본 試驗은 밭토양에서 窒素質肥料 및 完熟 堆肥를 施肥함에 따른 作物體의 吸收와 土壤內 施肥 養分의 移動, 地下水로의 溶脫 可能性에 파악하여 환경보존 형농업의 기초자료를 얻기 위하여 수행하였다. 제주지역 火山灰土에서 Lysimeter(체적 0.15 m³, 지름 62cm, 높이 62.8cm)를 이용하여 作物을 재배하면서 강우시 溶脫水를 채수하여 조사, 분석하였다. Lysimeter 試驗 處理 內容은 無肥放任區, 無肥無栽培 除草區, 無肥栽培區, 窒素 土壤處理區(16, 32, 64kg/10a), 窒素+堆肥 土壤處理區(16+800, 32+1600, 64+3200kg/10a), 窒素 水溶液處理區(16, 32kg/10a), 窒素普肥(32kg/10a) 疎植 및 密植區 13 處理로 하여 窒素는 尿素를 施用하였고, 前作物로는 옥수수, 後作物로는 감자를 栽培하면서 作物의 生育 및 이온의 溶脫程度를 조사하였다.

溶脫水の pH는 窒素施肥量を 増加시킬수록 점차 낮아지는 반면, NO₃-N 濃度は 増加하는 趨勢였다. NO₃-N의 溶脫總量은 無肥放任區(T1) 및 無肥無栽培 除草區(T2)가 普肥區(T5)보다 월등하게 높은 반면, 無肥栽培區(T3)에서 가장 낮게 나타났다. 또한 水溶液 施肥區의 溶脫 平均濃도가 土壤施肥區의 64%에 불과하였고, 密植區의 溶脫平均濃도는 疎植區의 54.5%로 낮았다. Ca 및 K 이온의 濃度 및 溶脫總量도 無肥栽培區(T3)에서 가장 낮았으며, 無肥放任區(T1) 및 無肥無栽培 除草區(T2)에서 높게 나타나 NO₃-N과 類似的한 傾向을 보였다. 施肥窒素의 溶脫率은 施肥量を 増加시킬수록 높아졌고 密植區 및 水溶液施肥區에서 낮아졌다. 따라서 앞으로는 施肥 養分の 地下水로의 溶脫을 줄이고, 施肥 效率을 극대화시킴으로써 持續 可能的한 環境親和形 農業에 바탕을 둔 高度의 施肥處方 機能이 要求될 것으로 判斷된다.

引用文獻

1. Edelhar, S.A., W.W. Frye, and R.L. Blevins. 1984. Nitrogen from legume cover crop for no-tillage corn. *Agron. J.* 76 : 51-55.
2. Gormly, J.R. and R.F. Spalding. 1979. Sources and concentration region, Nebraska. *Groundwater.* 17 : 291-301.
3. Griffith, W.K., M.R. Teel, and H.E. Parker. 1964. Influence of nitrogen and potassium on the yield and chemical composition of orchardgrass. *Agron. J.* 56(5) : 473-475.
4. Heilman, P. 1975. Effect of added salts on nitrogen release and nitrate levels in forests soil of the Washington coastal area. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39 : 778-782.
5. Hyun, I.H., Y.K. Oh, B.M. Kim, I.S. Cho, S.T. Song, S.S. Oh, M.K. Kim and S.B. Moon. 1996. Contamination sources of groundwater with nitrate-nitrogen. The report of public health & environment institute of Cheju-do. 7 : 119-140.
6. Krupp, H.K., J.W. Biggar., and D.R. Nielsen. 1972. Relative flow rates of salt and water in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36 : 412-417.
7. Laura, P.O. 1977. Salinity and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biol. Biochem.* 9 : 333-336.
8. Liang, B.C., M. Remillard., and A.F. MacKenzie. 1991. Influence of fertilizer, irrigation, and non-growing season precipitation on soil nitrate-nitrogen under corn. *J. Environ. Qual.* 20 : 123-128.

9. Nelson, K.E., A.J. Turgeon, and J.R. Street. 1980. Thatch Influence on mobility and transformation of nitrogen carriers applied to turf. *Agron. J.* 72 : 487-492.
10. Oh, S. M., S.H. Kim, Y.C. Song, K.S. Kim, T.H. Kim, S.R. Kim and C.Y. Koh. 1996. Drinking water quality of wells for private. The report of public health & environment institute of Cheju-do. 7 : 185-208.
11. Pratt, P.E., W.W. Jones, and V.E. Hunsaker. 1972. Nitrate in deep soil profile in relation to fertilizer rates and leaching volume. *J. Environ. Qual.* 1(1) : 97-102.
12. Somasundaram, M.V., G. Ravindran, and J.H. Tellam. 1993. Groundwater pollution of the Madras urban aquifer, India. *Ground Water* 31 : 4-11.
13. Timmons, D.R., and A.S. Dylla. 1981. Nitrogen leaching as influenced by nitrogen management and supplemental irrigation level. *Environ. Qual.* 10 : 421-426.
14. Weil, R.R., R.A. Weismiller, and R.S. Turner. 1990. Nitrate contamination of groundwater under irrigated coastal plain soils: *J. Environ. Qual.* 19 : 441-448.
15. Westerman, R.L., and T.C. Tucker. 1974. Effect of salts and salts plus nitrogen -15-labelled ammonium chloride in mineralization of nitrogen nitrification and immobilization. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38 : 602-605.
16. Whitehead, D.C. 1981. An improved chemical extraction method for predicting the supply of available soil nitrogen. *J. Sci. Food. Agric.* 32 : 359-365.
17. 柳寬植. 1988. 灌水에 의한 施肥養分の 土壤 中 移動에 관한 研究. 서울대학교 博士學位論文.
18. 尹順康, 柳順昊. 1991. 尿素를 施用한 草地의 土壤斷面에서 無機態窒素含量的 季節的 變化. 韓土肥誌. 24(3) : 171-176.
19. 尹淳康. 1994. 尿素와 家畜糞에서 由來한 窒酸態窒素 및 同伴 陽이온의 土壤中 行動. 서울대 대학원 박사학위논문.