

博士學位論文

火山灰土에서 尿素·堆肥 施用에 따른 作物 生育
및 그들 成分의 土壤中 溶脫에 관한 研究

濟州大學校 大學院

農 學 科



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

姜 奉 均

1997年 12月

火山灰土에서 尿素·堆肥 施用에 따른 作物 生育
및 그들 成分의 土壤中 溶脫에 관한 研究

指導教授 朴 良 門

姜 奉 均

이 論文을 農學博士學位 論文으로 提出함

1997年 12月

姜奉均의 農學博士學位 論文을 認准함

審査委員長	_____	인
委 員	_____	인

濟州大學校 大學院

1997年 12月

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

Bong-Kyoon Kang
(Supervised by Professor Yang-Mun Park)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF
AGRICULTURE

DEPARTMENT OF AGRICULTURE
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1997. 12.

目 次

SUMMARY	1
I. 序 論	4
II. 研 究 史	6
III. 材 料 및 方 法	14
試驗 1. 窒素施肥에 의한 作物 生育 및 土壤中 NO ₃ -N 및 陽이온의 溶脫	
1. 試驗用 Lysimeter 設置	14
2. 供試土壤 및 포트내 充鎮 方法	15
3. 試驗期間中の 氣象	16
4. 處理內容 및 供試作物	17
5. 試料의 調查, 分析	20
試驗 2. 土壤 깊이에 따른 NO ₃ -N 및 陽이온의 濃度 變化	
1. 試驗用 포트	22
2. 浸透水 採水用 Lysimeter 設置	22
3. 處理 內容 및 方法	24

IV. 結果 및 考察	25
試驗 1. 窒素施肥에 의한 作物 生育 및 土壤中 NO ₃ -N 및 陽이온의 溶脫	
1. 降雨中 pH 및 陽·陰이온의 濃도와 溶脫量	25
2. 作植體의 生育形質 變化	29
3. 作物體中 無機成分의 含量, 吸收量	35
4. 溶脫量中 pH 및 Cl ⁻ , NO ₃ -N, SO ₄ ⁻² 濃度 및 溶脫量	42
5. 溶脫水中 Ca ⁺² , Na ⁺ , K ⁺ , Mg ⁺² 濃度 및 溶脫量	53
6. 溶脫水中 이온의 當量値에 의한 比較	56
7. NO ₃ -N과 pH 및 陽, 陰이온간의 相關	57
8. 試驗後 土壤中 pH 및 치환성 Ca, Na, Mg, K의 變化	58
9. 施用 窒素의 吸收, 溶脫, 土壤 殘存量 推定	61
試驗 2. 土壤 깊이에 따른 NO ₃ -N 및 陽이온의 濃度 變化	
1. pH 變化	63
2. Cl ⁻ 의 濃度 變化	68
3. NO ₃ -N의 濃度 變化	69
4. SO ₄ ⁻² 의 濃度 變化	69
5. Na ⁺ 의 濃度 變化	70
6. K ⁺ 의 濃度 變化	70
7. Mg ⁺² 의 濃度 變化	71

8. Ca^{+2} 의 濃度 變化	71
9. 깊이별 浸透水中의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 陽, 陰이온과의 相關	71
V. 綜合 考察	76
VI. 摘 要	84
參考 文獻	87



SUMMARY

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, $\text{NO}_3\text{-N}$ 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. The studies were conducted to obtain fundamental information on sustainable agriculture.

Lysimeters (Volume 0.15m³, Diameter 62cm, Height 62.8cm) and pressure-vacuum soil water samplers were installed for collecting leachate in the Cheju volcanic ash soils. Lysimeter study consisted of thirteen 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.

For pressure-vacuum soil water samplers study, ion concentration of leachates taken from lysimeters at depths of 20, 40, 60, 80, 100 and 120cm was determined while corn and potatoes were grown at a nitrogen

rate of 64kg N/10a(preceding crop-corn 36kg. succeeding crop- potatoes 28kg) applied as urea.

The results obtained were summarized as follows :

1. The amount of leachate from lysimeter was remarkably greater at bare condition than at cropping conditions for corn and potatoes.

2. The N content of plants (corn and potatoes) tended to increase but the percentage of dry matter tended to decrease as fertilizer rate increased.

3. Fertilization of urea dissolved in water to soil was more efficient than surface fertilization for growth and yield characters and the uptake of N by corn and potatoes.

4. There were no differences in dry matter yield of plants between medium and high N rates, but N, Ca, K and Mg concentrations of plants were higher at higher N rates.

5. There were significant correlations between N uptake and each of Ca, K and Mg uptakes in corn and potatoes indicating that the uptake of N affect the uptake of the other nutrients.

6. With increased N, pH of leachate tended to decrease and NO₃-N concentration of leachate increased.

7. NO₃-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. NO₃-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.

8. Total N uptake by plants increased with increased N fertilizer and compost applications. Plants absorbed 54.9% of applied N at low N rate and 31.0 to 34.0% at high N rates. 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.

9. Cl^- , $\text{NO}_3\text{-N}$, Ca, and K concentrations of percolates were highest at soil depth of 20 to 40cm 1 month after fertilization and then reduced to concentration of soil before fertilization 5.5 months after fertilization.

10. At depth of 120cm, the concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ and the other cations in leachate was highest 1 to 1.5 months after fertilization.

11. pH was negatively correlated with $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in percolated water while there were positive correlation between $\text{NO}_3\text{-N}$ and Cl^- , Ca^{+2} and Mg^{+2} concentrations. This result showed that cations could be leached out with $\text{NO}_3\text{-N}$.

12. In future, fertilization prescription which can maximize fertilizer use efficiency and minimize the pollution of ground water will be needed for conserving the environments.

I. 序 論

農業活動의 手段으로 사용되는 窒素肥料은 農業에서 추구하는 作物로부터 원하는 水準의 收量을 獲得하는데 있어서 필수적인 材料로 수십 년에 걸쳐 土壤에 사용되어졌다. 그리고 가축사육시에 附隨적으로 발생하는 糞尿는 環境保護와 資源 再活用 차원에서 土壤에 還元하여 土壤肥沃度 增進, 肥料代替 效果 및 土壤의 理化學的 特性 改善에 이용되어져 왔다.

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. 作物에 의한 窒素回收率은 作物의 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 있으며, 胃癌의 주요원인중 하나로 알려져 있어 세계적으로 음용수 수질 기준을 $10\text{mg}/\ell$ 내외로 규정하고 있다.

일반 농가에서는 肥料의 過剩 投入이 관행화 되어 있어 발인 경우 施肥한 窒素의 10~30%가 作物에 吸收되지 않고 流失 또는 溶脫될 뿐만 아니라, 施設栽培, 田作物, 飼料作物 및 채소 등에 過多施用하는 窒素肥料은 NO_3^- 인한 環境, 食水汚染 뿐만 아니라 농산물의 可食部位內 NO_3^- 過多集積의 우려마저 있으므로 環境保全形 作目別 施肥戰略 樹立을 통한 窒素施用量 算定 및 可食部位內 NO_3^- 含量의 許容基準值가 마련되어야 할 것이다.

우리 나라에서도 최근 窒酸態窒素의 土壤中の 行動, 地下水로의 流入 및 主要農

作物의 可食部位內 集積 等에 관한 연구가 활발하게 이뤄지고 있다.

제주도 土壤은 火山灰土와 非火山灰土로 나누어져 있어 肥料要求量에서 서로 큰 차이를 보이지만 대부분의 농가에서는 施肥量이 훨씬 많은 火山灰土 勸奨施肥量을 기준으로 施肥함으로써 제주도의 肥料消費量이 우리 나라 平均消費量 및 제주도와 土壤性質이 비슷한 日本에 비해서도 2~3배나 많은 것으로 알려져 있다. 따라서 제주도내 柑橘園과 施設園藝 土壤에서는 窒素, 燐酸, 加里 等の 成分이 過剩 集積되어 鹽類의 濃度가 매우 높게 나타나고 있을 뿐만 아니라 一般 耕作地에서도 일부 成分이 不均衡을 이루고 있으며, 施設栽培土壤에는 窒酸態窒素가 상당히 높게 集積되고 있어 栽培土壤의 成分 調査와 함께 施肥基準의 再定立 및 土壤檢定에 의하여 施肥處方을 하는 體制構築이 필요한 시점이다.

NO₃-N 溶脫을 줄이기 위한 窒素肥料 管理方法으로는 각 作物別 窒素要求量에 근거한 施用量 設定으로 土壤殘存 窒素量을 최소화하고, 作物별 生育 상황에 따라 窒素施用時期를 조절하여 施用된 窒素의 效率을 높이는 방법이 제안되고 있으며, 施用된 窒素의 溶解速度를 느리게 조절함으로써 식물에 의한 窒素吸收率을 增加시키고 溶脫量을 줄이는 緩效性 窒素肥料를 개발하는 등 이에 대한 관심이 고조되고 있다.

이와 같은 觀點에서 本 研究는 地質學的으로 透水速度가 빠르고 汚染物質의 吸着 能力이 매우 낮아 汚染物質이 流入될 때 地下水 汚染의 危險性이 매우 높은 제주도 火山灰 밭토양에 있어서 施肥窒素 供給源으로써의 尿素 및 完熟堆肥를 施肥함에 따른 作物 生育과 土壤中에서의 窒素 및 無機成分의 移動, 窒酸態窒素 等이 地下水로 溶解·溶脫 可能性, 그들의 動態를 推定하는 동시에 현재의 生産性이나 品質 水準을 低下시키지 않고 施肥量을 효과적으로 줄여 環境과 調和를 이루는 소위 環境親和性 農業을 실시하기 위한 基礎資料를 얻고자 이 시험을 수행하였다.

II. 研究史

土壤에 施用된 尿素(Urea)는 쉽게 加水分解되며(Volk, 1959) 암모니아화작용, 窒酸化作用으로 形態的 變化를 겪게 된다. 이때에 생성된 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 식물에 의하여 吸收되는 한편 土壤에 吸着 또는 揮散되고(Black and Sherlock, 1985), 土壤內에서 窒酸化作用에 의하여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 변환되며, 이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 역시 식물에 吸收되는 形態이지만 環境條件에 따라서 脫窒 또는 溶脫에 의해 損失된다(Firestone 등, 1979; Rolston 등, 1978).

土壤 有機物中에 함유된 窒素는 有機物의 C/N ratio(Allison, 1973), 土壤溫度(Floate, 1970), pH(Edmeades 등, 1981), 土壤水分含量(Myers 등, 1982)의 영향을 받으면서 암모니아화성 또는 窒酸化性 細菌에 의하여 無機態窒素로 變형된다. 일반적으로 土壤 表層에서 全窒素에 대한 無機態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$)의 비율은 밭 土壤의 경우 평균 2%정도이며 主된 無機態 窒素는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 이다. 이들 無機態 窒素는 식물에 쉽게 吸收, 利用되지만 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 일부는 土壤格子內에 固定되기도 하고, 반면 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 陰荷電을 갖고 있어서 土壤 無機粒子나 有機 colloid에 의한 보유력이 약하므로 土壤水와 함께 植物의 根圈 밖으로 쉽게 移動된다(尹과 柳, 1991).

土壤에 사용된 窒素가 식물에 의하여 吸着되는 정도는 식물의 種類와 肥料의 施用量 및 施用 時期에 따라 달라질 수 있다(Hummel과 Waddington, 1981). Jarvis 등(1987)은 다른 작물에 비하여 栽植密度가 높고 뿌리 발달이 조밀한 草地에서 窒素를 施用하였을 때 牧草에 의한 窒素回收率이 肥料의 종류에 따라 25~45%에 달한다고 보고하였다. 金 등(1968)은 同位元素 N-15로 標識된 窒素質肥料을 포장에 施用하여 調査한 바에 의하면 벼의 경우 窒素吸收率이 40%내외임을 보고하였으며 Watson(1987)은 perennial ryegrass에 尿素를 施用하였을 때 窒

素回收率이 연간 31%에 불과하다고 보고하였다.

溶脫에 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(Brown 等, 1977; Nelson 等, 1980). 그리고 MacGregor 等(1974)과 Timmons and Dylla(1982)는 土壤中에 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃도가 높을수록 窒素溶脫量이 많아지며 表面水와 地下水에 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 增加의 原因이 된다고 보고하였다. 농경지에서의 肥料와 畜産糞尿의 사용은 地下水中の 窒酸性窒素의 濃도를 높이는데 직접적으로 영향을 미친다. Nebraska는 非點污染源(nonpoint source)에 의해 地下水가 窒酸性窒素로 汚染된다고 보고된 지역으로 (Spalding 等, 1978) 窒素同位元素를 이용하여 調査한 바에 의하면 污染源이 주로 肥料 또는 土壤有機物로부터 由來된 것으로 밝혀졌다 (Gormly and Spalding, 1979).

窒素施用量이 많으면 草地에서 牧草의 地上部 生育量은 增加하지만 牧草에 의한 施用窒素의 吸收率은 낮아져서(尹 等, 1990) 窒素利用效率이 떨어지고 揮散이나 脫窒, 溶脫 等에 의한 損失量은 增加하게 된다.

$\text{NO}_3\text{-N}$ 의 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 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量을 더욱 增加시키는 原因이 되기도 한다(Westerman과 Tucker, 1974; Westerman 等, 1973).

畜産 廢棄物은 地下水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 濃도를 높이는 主要因의 하나로 報告되었는데, 養豚 廢棄物을 土壤에 處理한 지역의 地下水는 非汚染 地域에 비하여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃도가 현저히 높은 편이다(Gerhart, 1986; Weil 等, 1990). 따라서 處理量을 減少시켜서 土壤中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 濃도를 減少시켰을 때 地下水中の 濃도는 거의 직 선적으로 減少하는 것으로 보고되었다(Hall, 1992).

土壤으로 流入된 有機態 窒素가 無機化 作用을 받아 생성된 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 土壤中에

서 거의 Cl 이온과 類似한 속도로 빠르게 下向移動하여 地下水를 오염시킬 수 있다. 土壤內 NO₃-N의 下向移動量은 기상 조건에 따라 크게 영향을 받는데, 降水量 또는 灌溉量이 많을수록 土壤 下層部の 濃度는 현저히 높아진다(Bergstrom, 1987).

Comly(1945)는 NO₃-N 濃도가 높은 地下水를 飲用水로 사용할 때 사람과 가축에 피해(Meghemoglobinemia와 Carcinogenic effect)를 미칠 수 있음을 보고하였고, 수량증대를 위해 다량으로 사용되는 질소는 수확후 식물체 可食部位에 남아 인체에 유해한 작용을 나타내 청색증 또는 사망에 이르게 하는 것으로 알려져 있으며(Comly, 1945; 孫과 吳, 1993), 세계 어느 나라보다도 채소류를 많이 먹는 우리나라는 總 NO₃⁻ 攝取量中 84.1~85.8%를 채소를 통해서 섭취하여 WHO의 일일 NO₃⁻ 섭취 허용기준치보다 1.9~3.7배나 많은 量의 NO₃⁻ 를 攝取하고 있다(孫, 1994). 우리 나라에서도 근래에 들어 주요농작물의 可食部位에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.(孫과 韓, 1993; 孫과 마크 엠 알리, 1996).

Schuman 等(1975)은 옥수수 재배지에 窒素肥料을 448kg/ha 施用하였을 때 4.9m 깊이의 地下水에 NO₃-N 濃도가 3.7ppm에서 12.9ppm으로 增加됨을 보고하였다. Linville과 Smith(1971)는 6년간 窒素肥料을 112~134kg/ha 施用하였을 때 상당량의 NO₃-N이 深土層에 蓄積되어짐을 보고하였다. 그리고 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. Pratt 等(1972)은 施用되는 窒素量이 작물이 要求하는 水準이나 또는 작물에 의하여 土壤으로부터 吸收되는 窒素量을 超過하지 않으면 溶脫되는 窒素量이 減少될 수 있음을 보고하였다.

Quisenberry와 phillps(1978), Thomas와 Phillips(1979)는 土壤의 大空隙을 통한 NO₃-N 溶脫이 크며 이러한 溶脫機作은 토양조건에 따라 다르지만 특히 耕耘이 가장 크게 작용하며, 耕耘은 土壤의 crack과 channel을 斷切하여 深土層

의 水分上昇을 抑制하므로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 더욱 深土層으로 移動된다고 보고하였다.

Mathers와 Stewart(1974), Mugwira(1979)는 土壤에 施用된 家畜廢棄物이 土壤有機物과 全窒素含量을 증가시켜 土壤肥沃度 增進에 効果적임을 보고하였다. 반면에 Adriano 等(1971), Smith 等(1980), Chang 等(1991)은 家畜糞을 施用하였을 때 深土層에 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 蓄積, 溶脫되어 水質汚染을 誘發하는 原因이 될 수 있다고 보고하였다.

Quin과 Forsythe(1978)는 草地에 液狀糞尿를 灌溉하고 토양깊이 50~100cm에서 浸透水를 채취하여 溶脫되는 陽이온의 濃度를 調査한 바 Ca, Mg의 상당량이 溶脫됨을 보고하였으며, Amoozegar-Fard 等(1975)은 家畜糞尿中の 陽이온 溶脫調査에서 加里와 Na 이온은 溶解度가 크기 때문에 土壤에서 移動性이 크고 대신 Ca와 Mg 또는 轉移元素같은 多價 陽이온들은 移動性이 적음을 보고하였다. 그리고 Pratt 等(1973)은 施用된 家畜糞이 分解될 때 窒素뿐 만 아니라 상당량의 Ca와 Mg도 溶出되어짐을 보고하였다. Pleysier와 Juo(1981)도 陽이온 溶脫試驗에서 시험초기보다 溶脫後 深土層에서 Ca, Mg K, Cl 이온의 濃度가 높아서 蓄積됨을 보고하였다. Mahilum 等(1970), Fiskell과 Calvert(1975)도 土壤表面에서 溶脫되는 陽이온 中 Ca가 가장 많고 이러한 傾向은 石灰施用量이 많을수록 심하게 나타남을 보고하였으며, Mg도 土壤으로부터 移動되는 정도가 크다고 보고되어 있다(Friesen 等, 1982; Messick 等, 1984). 그리고 柳(1988)는 밭 土壤에서 Cl 이온의 평균 이동거리는 7.52cm로 가장 크고 陽이온 중에서는 加里가 3.5cm로 다른 陽이온에 비하여 土壤에서 移動性이 큼을 보고하였다.

Starr 等(1986)은 2개의 다른 土層이 있는 포장에서 Cl의 移動樣相을, 그리고 Smith 等(1984)은 작물을 재배하고 있는 포장에서 陰이온의 移動樣相을 보고하였다. Johnson 等(1986)은 森林圃場에서 PO_4^- , SO_4^{-2} , Cl^- , NO_3^- 등의 移動樣相을 調査하여 吸着, 植物體에 의한 吸收, 土壤 pH 등이 각 成分의 移動에 미치는 影響을 보고하였다. Chan 等(1980)은 양전하를 띄고 있는 Oxison에서의 Cl^- 移

動에 있어서 吸着 및 溶脫의 중요성을 강조하였다.

Watts와 Hanks(1978), Tilloston과 Wagnet(1982)은 작물을 재배하고 있는 포장조건에서 窒素의 移動式을 구했으나, 시간적, 공간적으로 變化가 심하기 때문에 포장조건이 달라지면 적용할 수 없다는 限界를 가지고 있다고 하였다. 아직까지도 포장상태하에서의 窒素移動은 溶脫試驗이라든지 窒素의 土層內 분포에서 窒素移動을 밝히는 연구가 추가 되고 있다.

Arora와 Juo(1982)는 포장에서 植物體에 의한 吸收와 窒素의 여러 가지 形態變換이 窒素의 移動에 미치는 영향에 대하여 보고하였으며, Holland와 During(1977), Ball 등(1979)은 尿素의 여러 가지 形態變換 程度가 窒素의 移動에 미치는 영향에 대하여 보고하였다.

Humphreys와 Pritchett(1971)는 인광석과 같이 용해도가 낮은 磷酸肥料를 施用하거나, 水溶性 磷酸을 施用했을 때 磷酸移動이 거의 일어나지 않았다고 보고하였다. Hoffman과 Rolston (1980), Mansell 등(1985)은 실험실내에서의 混性置換 試驗을 통하여 磷酸의 吸着, 固定現象에 중점을 두어 磷酸의 移動을 解釋하였다.

Ca, Mg, K 등과 같은 陽이온의 移動은 土壤溶液과 土壤粒子사이의 상호작용으로 일어나는 吸着-置換現象을 해석하는데 중요점으로 연구되었다. 土壤溶液中에 있는 서로 다른 陽이온들이 土壤의 置換座에 동시적으로 경쟁하면서 吸着, 置換되기 때문에 이들 陽이온의 移動은 경쟁하는 陽이온의 種類와 數에 따라서 매우 복잡적으로 일어난다(柳, 1988). 포장조건에서의 陽이온 移動은 Lysimeter를 이용하여 溶脫量을 調査하거나(Terman, 1977; Neilsen과 Stevenson, 1983; Hakamata, 1983), 施用 陽이온의 土層內 분포를 調査, 研究하는 것(Misra 등, 1976; Amiel 등, 1986)이 주가 되고 있다. 특히 酸性土壤에 석회를 施用했을 때 K, Mg 등은 비교적 빠르게 下向移動되나, Ca이 深層으로 거의 移動되지 않아 土層內 陽이온 분포의 불균형을 야기시키거나 深土의 개량이 거의 이루어지지 않기 때문에

이러한 문제를 해결하기 위하여 양이온 이동에 대한 연구가 많이 수행되었다.

Pleysier와 Juo(1981), Messick 등(1984)은 석회를 사용한 토壤에 $\text{NO}_3\text{-N}$ 을 공급하였을 때, Hoyt와 Hennig(1982), Doerge와 Gardner(1985)는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 肥料를施用했을 때 窒酸化作用으로 생긴 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 溶脫됨에 따라 Ca의 下向移動이 많이 일어났다고 하였다.

Friesen 등(1982)은 Ca 및 Mg이 深土로 상당량 移動될 경우에도 주로 中性鹽의 形態로 移動되기 때문에 深土의 pH가 거의 높아지지 않았다고 하였다. Holland와 Daring(1977), Christianson 등(1979), Ball 등(1979)은 尿素를 밭 土壤에 施用했을 때 尿素의 加水分解로 생긴 $\text{NH}_4\text{-N}$ 에 의해 土壤 pH가 많이 높아졌다가 窒酸化作用이 進陟되어 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 無機態 窒素의 主種이 될 때는 시험 전 土壤보다도 더 낮아졌다고 보고하였다. 鄭(1975), 辛(1988)은 鹽類가 集積되어 있는 시설원예지 土壤을 除鹽하기 위하여 混性置換 試驗을 이용하여 Ca, Mg, K, Na, Cl 등의 溶出 樣相을 보고하였으며, 柳와 李(1988)는 간척지 토양을 제어하기 위하여 석고 및 탄산칼슘을 處理하였을 때 이들 處理 濃도와 혼합방법이 제어에 미치는 영향을 混性置換試驗으로 구명하였다.

우리 나라에서와 같이 施肥量이 많은 條件에서의 堆肥施用에 의한 增收要因은 養分供給 및 土壤養分の 有效度 增加 등 土壤化學性 改良보다는 通氣性, 保水力 등의 物理性 改良에 依한 것으로 解釋되고 있다(Kang 등, 1985).

옥수수가 必要로 하는 窒素를 土壤中の 窒素로는 充分하게 공급할 수 없으므로 適正量의 窒素施用은 옥수수의 收量 및 品質을 높이기 위하여 必要하다. 옥수수의 窒素不足은 光合成을 低下시켜 이삭이 달리지 않게 하거나 이삭上部에 달린 粒이 登熟되지 않게 하고 粒重을 減少시켜 收量減少를 招來하며 蛋白質含量을 低下시킨다. 窒素過用은 옥수수의 收量增加에 기여하지 못하거나 減少를 招來하여 窒素效率을 低下시키며 NO_3^- 溶脫에 의한 水質汚染의 可能性도 크다(Lacascio 등, 1972).

옥수수의 경우 窒素肥料은 肥種, 栽培法, 農民의 趣向 等에 따라 늦가을 또는 春期 播種時 全量基肥로 施用하거나 分施되는데 大體로 늦가을에 施用하는 것보다는 播種時 施用하는 것이 有利하며 降雨가 많은 곳이나 砂質土에서는 窒素肥效가 있는 것으로 알려져 있고(Black과 Greb, 1962), 일반적으로 窒素施肥量이 增加하면 雌穗長, 雌穗重은 增加하나 상품성 있는 雌穗數는 增加하지 않았다고 하였다(Kang 等, 1985; Mack, 1972). 우리 나라에서 옥수수재배시 窒素施肥量의 半量은 基肥로 하고 나머지는 7 또는 9葉期에 追肥로 주는 것이 種實收量이 높은 傾向을 보였다고 하였다(李 等, 1980).

窒素源이 감자의 收量과 乾物率에 미치는 영향에 대하여 Tyler 等(1962)은 다른 어떠한 窒素源보다 尿素가 감자의 品質을 저하시킨다고 하였으며, 이밖에도 많은 연구자가 같은 結果를 보고하였다(Hawkins, 1972; Chen과 Li, 1978; Meisinger 等, 1978; El-kashif 等, 1983). 특히, 塊莖의 乾物率 增進에는 窒素源中 황산암모늄 施用效果가 우수한 것으로 알려져 있다(White와 Sanderson, 1983; 金 等, 1985). 그러나 Murphy와 Goven(1966)은 6가지 窒素源을 비교 시험한 結果 窒素源間 차이가 없었다고 하였으며, 이와 類似한 연구결과도 다수 보고되고 있다(Rowberry와 Johnston, 1980; Maclean, 1983). Liegel과 Walsh(1976)는 재배기간중 강수량이 적거나 가뭄이 있는 지역에서는 尿素보다 황산암모늄 等の 速效性 窒素源이 효과적이라고 보고하였다.

窒素의 增施는 감자 塊莖의 乾物率을 減少시키며(White와 Sanderson, 1983), Kleinkopf 等(1981)은 窒素 施肥量이 과다할 경우 莖葉이 過繁茂되어 光合成 效率이 低下되고, 地上部와 地下部 生育의 불균형으로 乾物率이 떨어진다고 하였다. 窒素施肥에 따른 乾物率은 施肥量, 施肥方法 等에 따라 차이가 있으며(Button과 Hawkins, 1958), 塊莖 乾物率과 窒素의 適正施肥量은 환경조건에 따라 크게 變化된다고 보고되고 있다(Chamberland와 Scott, 1968). 한편 窒素의 施肥가 收量에 미치는 영향은 수확기에 따라 차이가 있고(Sawyer와 Dallyn,

1958), 增肥할 경우 株當 塊莖數, 平均 塊莖量 等を 增加시켜 增收되는 것으로 알려져 있다(Painter와 Augustin, 1976). 또한 土壤의 置換性칼륨 수준이 높으면 乾物率이 減少한다고 보고되었다(Terman 等, 1953).

窒素와 磷酸을 施用한 상태에서는 염화칼륨보다는 황산칼륨을 施用했을 때 塊莖 比重이 높아진다고 보고되었다(Hart와 Smith, 1966; Iritani와 Weller, 1978). Lucas 等(1954)은 염소의 施用은 塊莖의 澱粉含量을 減少시키므로 염소를 함유한 칼륨의 施用을 피하는 것이 바람직하다고 하였다. Eastwood와 Watts(1956)은 窒素와 칼륨의 施用에 의한 塊莖 乾物率의 減少는 두 肥種間 施肥水準에 따른 複合的인 影響때문인 것으로 分析하였다.



Ⅲ. 材料 및 方法

試驗 1 .窒素施肥에 의한 作物 生育 및 土壤中

NO₃-N, 陽이온의 溶脫

1. 試驗用 Lysimeter 設置

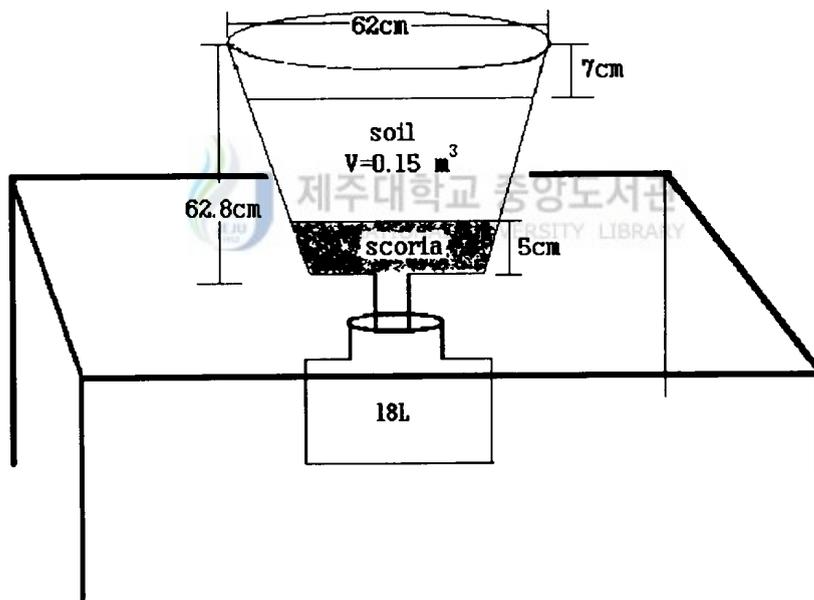


Fig. 1. Schematic diagram of lysimeter for leachate sampling.

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 $\text{NO}_3\text{-N}$, Cl^- , SO_4^{2-} 등의 陰이온 및 K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ 의 陽이온의 行方을 調査하기 위하여 사용한 Lysimeter는 그림 1과 같다.

시험에 사용한 Lysimeter는 有底 PVC 圓錐形 통으로 상부면적은 0.302m^2 ($R=62\text{cm}$)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.

시험기간중 降水量은 雨量計(rain gauge receiver)를 이용하여 測定하였다. 試驗用 Lysimeter는 강관틀(길이 30m × 너비 2.5m × 높이 0.8m)위에 설치하였으며, Lysimeter 시설 주위에 遮光率 95%의 遮光幕을 2겹으로 감아 포트내의 온도가 直射光線에 의하여 上昇하는 것을 防止하도록 하였다.

2. 供試土壤 및 포트내 充鎮方法



本 試驗은 1996年 3月부터 1997년 4월까지 濟州大學校 農科大學 附屬農場 (濟州市 我羅洞 1番地, 東經 $126^{\circ} 33' 56''$, 北緯 $33^{\circ} 27' 20''$, 標高 278m)에서 수행하였다.

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 1.0cm 구멍의 체를 통과시켜 사용하였으며 物理化學的 性質은 표 1과 같다.

供試土壤의 充鎮方法은 포트의 바닥에 물로 洗滌하여 自然乾燥한 直徑 3mm내외의 마사토(제주 송이)로 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 빗물

이 포트외부로 流出되는 것을 防止하였다.

Table 1. Chemical properties of the soil used for lysimeter study before experiment.

pH	T-N (%)	Avail. P ₂ O ₅ (ppm)	OM (%)	Exchangeable cations(me/100g)				CEC (me/ 100g)	Particle size distribution(%)			Texture
				Ca	Na	K	Mg		Sand	Silt	Clay	
6.72	0.29	326	5.32	2.69	0.54	1.12	1.47	13.91	7.9	18.3	73.8	Silt

시험용 Lysimeter에 供試土壤을 充鎮한 후 2일차 및 5일차에 각각 7mm의 수
돛물을 灌水하여 土壤水分의 密度가 均一해지도록 하였다.

시험 전후 土壤의 수소이온 농도는 pH meter(Orion 520A , USA)로, 全窒
素含量은 窒素自動分析裝置(Büchi 339, Germany)로, 有效磷酸은 Lancaster
法, 有機物은 Walkley-Black 法, 置換性 K, Ca, Mg, Na은 原子放出分光器
(Inductively-coupled-plasma atomic emission spectrometer; model JY
138-Ultrace, Johbin-yvon 社, France)를 이용하여 測定하였다.

3. 試驗期間中の 氣象

시험기간 중의 기상은 표 2에서 보는 바와 같이 溫度, 濕度, 蒸發量, 日照時數
等は 平년에 비해 큰 차이가 없었으나, 降水量은 平년에 비해 500mm이상 적었으
며, 時期別로는 7-8월의 降水量은 平年보다 적었던 반면 10, 11월에는 集中豪雨
가 많았다.

Table 2. Meteorological factors during the experimental period of 1996-1997.

Month	Mean air Temp.(°C)		Evaporation (mm)		Precipitation (mm)		Duration of sunshine(hr)	
	Normal	1996-1997	Normal	1996-1997	Normal	1996-1997	Normal	1996-1997
	1996							
May	17.0	17.2	150.6	135.9	54.8	88.8	241.2	215.8
June	21.9	20.9	112.5	138.2	197.8	183.7	185.8	185.6
July	24.2	25.6	157.8	167.6	54.2	230.2	203.3	209.3
Aug.	25.6	26.7	162.4	172.2	77.7	241.3	182.4	224.3
Sep.	21.2	22.7	131.1	127.8	14.6	179.4	176.6	172.8
Oct.	15.9	17.8	102.4	111.9	103.3	72.2	123.0	179.1
Nov.	11.1	12.4	70.2	76.8	104.4	79.0	79.0	128.0
Dec.	6.8	7.7	60.7	62.4	61.4	49.6	77.2	85.9
1997								
Jan.	5.3	5.2	54.6	57.6	23.8	92.2	69.9	74.8
Feb.	6.8	5.6	61.4	60.3	26.6	89.5	114.5	99.4
Mar.	10.2	8.5	77.8	93.8	72.1	68.3	179.1	171.0
Apr.	14.3	13.3	94.4	113.2	170.8	97.2	199.4	189.6
Total or Mean	15.0	15.3	103.0	109.8	961.5	1471	152.6	161.2



4. 處理內容 및 供試作物

1) 處理 內容

處理內容은 표 3과 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.

Table 3. 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: corn- preceding crop, potatoes-succeeding crop.

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-燐酸-加里-堆肥를 각각 18-15-15-800kg/10a, 감자는 窒素-燐酸-加里-堆肥를 각각 14-11-12-800kg/10a 기준으로 施肥하였고, 窒素源은 尿素, 燐酸 및 加里는 각각 용성인비 및 염화가리를, 堆肥는 自然醱酵堆肥(窒素 0.76%, 燐酸 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 燐酸 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하였으며, 土壤處理는 肥料를 10cm내외의 깊이 土壤과 골고루 섞어 處理하였다.

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 2cm내외가 될 때마다 20cm 깊이로 耕耘處理하였다.

2) 供試 作物

供試作物은 前作物은 吸肥力이 강하고 어느 정도의 少肥栽培에서도 적응하는 제주 재래종(Yellow) 옥수수(*Zea mays L.*)를 供試하였고, 後作物로는 제주도 제 2의 작물로 재배되는 大地(Dejima) 감자(*Solanum tuberosum L.*)를 供試하였다.

前作物인 옥수수는 PVC 흑색 포트(250ml)에 育苗用床土(窒素 1%, 有機物 90%, pH 6.0)를 사용하여 1996년 5월 14일에 1주 2분으로 파종하였다. 15일 후(3엽기)인 6월 1일에 시험용 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.

옥수수 및 감자의 기타 재배관리는 농촌진흥청 시험기준에 준하였다.

5. 試料의 調査, 分析

1) 溶脫水의 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.

2) 土壤試料 採取 및 分析

試驗前 土壤은 供試된 土壤試料中 일부를 이용하였고, 시험 후의 土壤은 콧트내 20 및 40cm 깊이의 土壤을 採取하여 風乾시켜 2mm체로 통과시킨 후 分析에 使用하였다.

$\text{NO}_3\text{-N}$ 은 採取後 곧바로 젖은 土壤試料 10g에 蒸溜水 50ml를 混合하여 200rpm 으로 30분간 shaking한 후 溶脫水와 동일한 방법으로 測定하고 토양수분을 測定하여 換算하였다.

수소이온 농도는 土壤:H₂O 1:5法을 이용하여 pH meter(Orion 520A, USA)로 測定하였고, 全窒素含量은 황산, 과산화수소법을 이용하여 試料를 분해시킨 후 窒素自動分析裝置(Büchi 339, Germany)로 測定하였으며 置換性 K, Ca, Mg, Na은 原子放出分光器(Inductively-coupled-plasma atomic emission spectrometer: model JY 138-Ultrace, Jobbin-yvon 社, France)를 이용하여 測定하였다.

3) 植物體의 生育形質 調査 및 分析

옥수수 的 稈長 및 葉綠素含量値는 定植後 45일(7/15), 60일(7/30), 수확후(8/20) 等 3회에 걸쳐 調査하였고, 葉數, 分枝數, 이삭수량, 總生體重, 總乾物重 等은 수확후 調査하였다. 감자는 수확후 草長, 莖直徑, 葉綠素含量値, 莖重, 塊莖重 等을 調査하였다.

옥수수 및 감자의 葉綠素含量値는 Chlorophyll-meter(Minolta Japan, SPAD-502)를 이용하여 10反復 測定하였으며, 植物體中の 肥料成分 吸收量은 옥수수 및 감자의 葉 및 줄기를 포함한 試料를 常溫에서 말린 후 乾燥機를 이용하여 75℃로 3~4일간 乾燥, 粉碎후 40mesh체로 통과시킨 試料를 分析에 이용하였다. T-N, K, Ca, Mg, Na 分析은 土壤에서와 같은 방법으로 定량하였다. 植物體의 肥料成分 吸收量은 植物體 乾物重에 각각의 成分含量을 곱하여 算出하였다.

4) 施肥窒素의 行方 推定

植物體 吸收率은 植物體中 窒素濃도에 乾物重을 곱하여 換算한 후 無肥栽培區(T3)의 植物體 吸收量을 減하여 算出하였고, 溶脫率은 施肥區 總溶脫量에서 無肥放任區(T1)의 總溶脫量을 減하여 算出하였으며, 土壤內 殘存率은 시험후 土壤의 殘存量에서 無肥放任區(T1)의 殘存量을 減하여 算出した 총합을 100으로 하여 각각의 비율을 算出하였다.

試驗 2. 土壤 깊이에 따른 NO₃-N, 陽이온의 濃度 變化

1. 試驗用 罫트

化學肥料 施肥後 토양 깊이에 따른 土壤中 無機成分의 變化程度를 調査하기 위하여 설치된 지 10여년이 지난 無底 콘크리트 圓形 罫트(直徑 1m, 上部面積 0.79m²)에서 수행하였으며, 본 시험에 사용된 土壤의 組成은 표 4와 같다. 罫트의 윗부분은 上部 10cm의 공간을 두어 비가 오더라도 빗물이 罫트외부로 流出되는 것을 防止하였다.

Table 4. Chemical properties of the soil before experiment.

pH (1:5H ₂ O)	T-N (%)	Avai. P ₂ O ₅ (ppm)	OM (%)	Exch. cation(me/100g)				CEC (me/100g)
				Ca	Na	K	Mg	
6.68	0.288	230	4.80	2.34	0.14	1.10	0.32	12.92

2. 浸透水 採水用 Lysimeter의 設置

토양 깊이에 따른 土壤內 NO₃-N 및 陽이온의 濃度 變化를 調査하기 위해 浸透水 採取用 Pressure-Vacuum soil water sampler(Soilmoisture 社, U.S.A)를 이용하였다. 이 浸透水 採取用 Lysimeter는 Single chamber (Model SW-071) 및 Battery powered vacuum pump(SW-073)로 구성되어 있으며,

埋設方法은 시험용 포트를 깊이별로 각각 20, 40, 60, 80, 100, 120cm로 흙을 파낸 후 처리 깊이에 토양중의 수분을 吸收하는 Porous Stainless Steel 部位가 각각의 깊이에 埋設이 되게 그림 2와 같이 설치하였다. 浸透水 採水方法은 수집병과 연결하는 Fluid return tube 밸브는 잠그고, Vacuum pump와 연결된 Air Pressure tube 밸브는 열어 土壤水分 정도에 따라 30분~24시간 동안 Pumping한 후 水分張力으로 浸透水가 Porous Stainless Steel를 통하여 Lysimeter tube내에 모이게 한 후 Lysimeter內的 浸透水를 採取하였다.

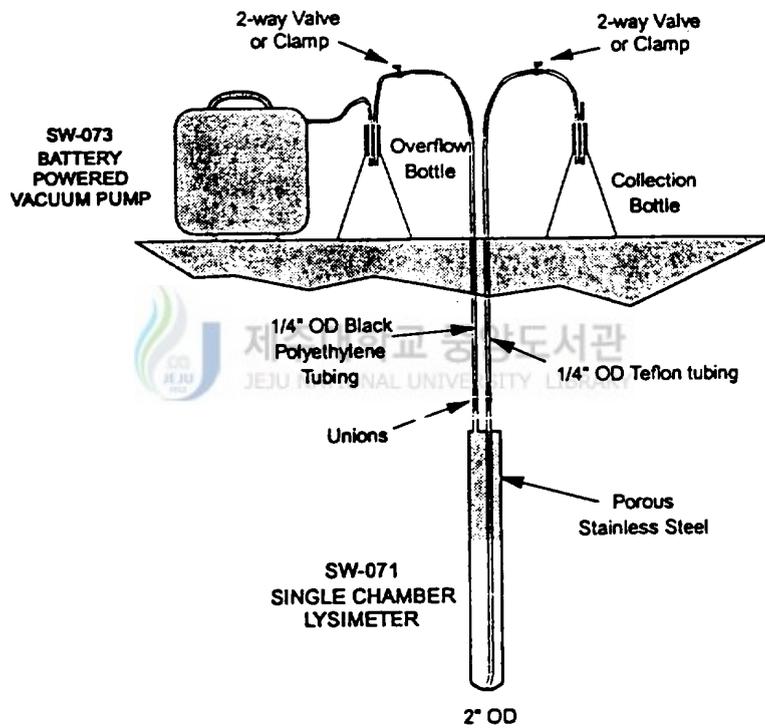


Fig. 2. Pressure-Vacuum soil water sampler for percolation water sampling.

3. 處理內容 및 方法

5월 6일에 각각의 깊이로 Lysimeter를 埋設한 후 5월 22일에 窒素는 尿素를 成分量 基準으로 標準施肥量의 2배수준인 36kg/10a(基肥 50%, 追肥 50% - 이식 55일 후)를 處理하였고, 磷酸, 加里는 용성인비 및 염화가리를 成分量 基準으로 각각 30kg/10a를 全量 基肥하였다.

施肥後 각 시험용 포트마다 5월 10일에 파종하여 육묘한 제주 재래종 옥수수 (Yellow) 묘종을 6株씩 이식하여 재배하였고, 옥수수 수확후 8월 20일에 감자 標準施肥量의 2배수준인 28kg/10a를 處理하였고, 磷酸, 加里는 용성인비 및 염화가리를 成分量 基準으로 각각 22, 24kg/10a를 全量 基肥한 후 大地(Dejima) 감자 6株를 파종하여 일상 관리하면서 재배하였다.

浸透水中的 $\text{NO}_3\text{-N}$, Cl^- , SO_4^{2-} 의 陰이온과 K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ 의 陽이온을 調査하기 위한 試料의 採取는 옥수수 재배기간중 일정량 이상의 降雨時 각 깊이별 Lysimeter內的 浸透水を 100ml의 플라스틱 병에 採水하여 Ion 變化를 최대한 줄이기 위해 採水 즉시 냉장 보관하였다. 分析方法은 시험 1의 溶脫水 分析方法과 동일하게 수행하였다.

IV. 結果 및 考察

試驗1. 窒素施肥에 의한 作物 生育 및 土壤中

NO₃-N, 陽이온의 溶脫

1. 降雨中 pH 및 陽, 陰이온의 濃度와 溶脫量

시험기간 중의 降雨量은 표 5 및 6에서 보는 바와 같이 714.6mm였으며, 降雨中の pH는 평균 4.83~5.65, Cl⁻은 0.06~2.58mg/ℓ, NO₃-N은 0.12~0.52mg/ℓ, SO₄⁻²는 0.77~2.88mg/ℓ였다. 또한 陽이온인 Ca⁺²는 평균 0.88mg/ℓ, Na⁺ 0.9mg/ℓ, K⁺ 0.16mg/ℓ, Mg⁺²는 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.

NO₃-N은 平均濃度가 0.3mg/ℓ로 미미한 정도였으며, 降雨量의 다소에 따른 濃度 差異는 보이지 않았다. SO₄⁻²는 여름철을 지나면서 2mg/ℓ 이상의 濃度를 나타내어 평균 1.82mg/ℓ를 기록하였고 그 외 陽이온들의 濃度는 미미한 정도였다. 시험기간중 降雨로 인하여 Lysimeter內에 내린 降雨量은 표 6에서 보는 바와 같이 714.6mm였는데, 이는 평년에 비해 매우 적은 量이었다. Kim 等(1996)은 1996년도에 제주도 住居地域 및 山林地域의 平均 pH가 5.07로 매회 降雨中 산성비 降下比率이 年中 50%를 超過하였다고 하였으며, 이는 本島에서 발생하는 大氣汚染 影響보다는 타 지역에서 流入된 酸性物質에 의한 영향이 더욱 크다고 보고하고 있어 산성비 降下原因과 산성비에 의한 作物體 生育 및 土壤酸性化에 미치는 影響 等에 대한 持續的인 연구가 요망된다 하겠다.

Table 5. 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



13 處理에 따른 溶脫水의 量은 표 6에서 보는 바와 같이 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.

20mm의 비가 내린 7월 10일~11일 사이에는 無栽培區인 T1, T2區에서는 溶脫水가 채수된 반면, 옥수수 栽培區에서는 溶脫水가 없었던 것은 이 시기가 옥수수의 生育最盛期로 地上부의 生育이 활발해지고 뿌리의 密度가 稠密한데 기인한 것으로 보인다.

Table 6. 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 ¹⁾	Total	Leachate 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. ²⁾	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

¹⁾ : See Table 3.

²⁾ : Non-leachate of rainfall.

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 미미하나 減少하는 추세를 보였고, 密植栽培한 T13 處理區가 22.1%로 낮은 것으로 나타났다.

無肥放任區(T1)에서는 옥수수 재배기간 중에는 독새풀, 바랭이, 명아주, 개비름, 세포아풀 등의 잡초가 生體重으로 360g이 발생하였고, 감자 재배기간 중에는 220g이 발생하여, 잡초가 T2 處理區에 비해 6%내외의 溶脫水量 減少에 기여한 것으로 나타나 耕耘後 放置時 강우에 의해 土壤中 養分이 深土層으로 溶脫憂慮가 있음을 보여주고 있다. 施肥量別로는 窒素普肥區(T5)가 溶脫率이 26.9%인 반면 窒素普肥 水溶液區(T11)는 23.1%로 낮게 나타났다.

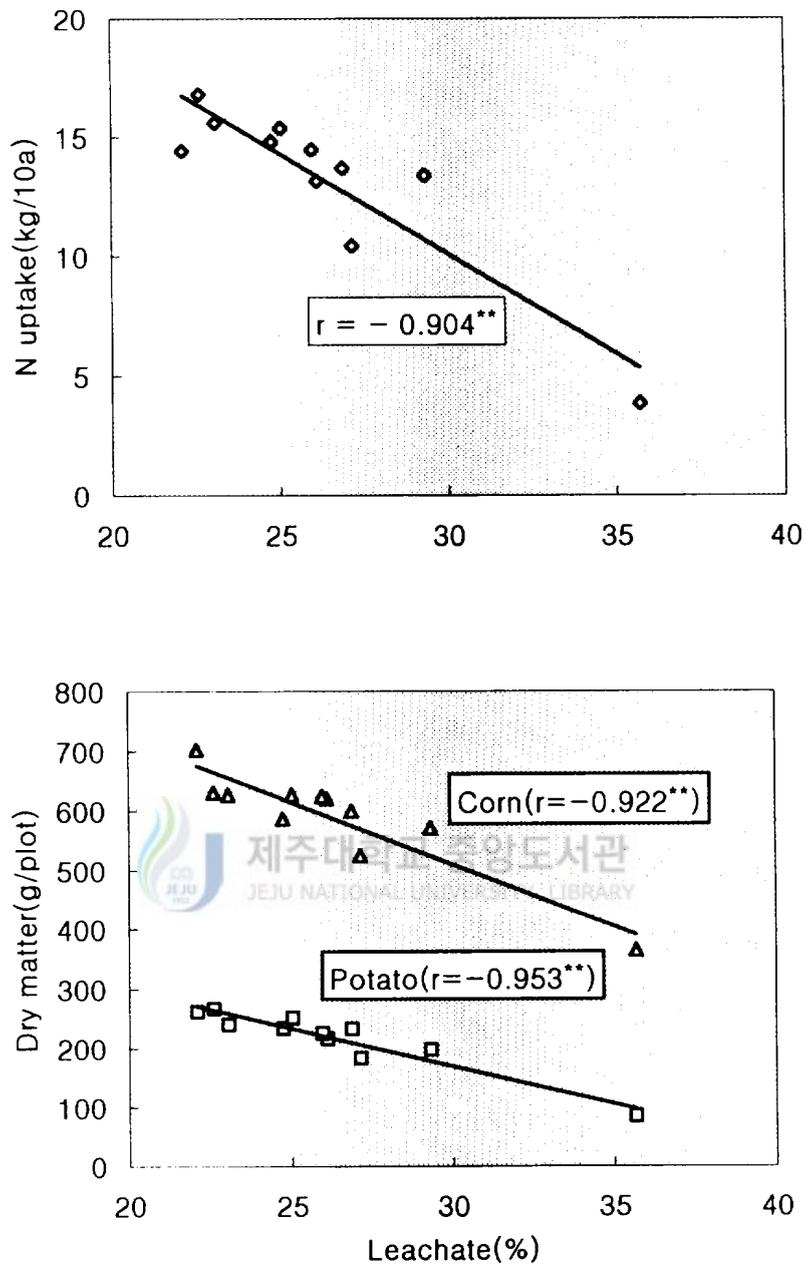


Fig. 3. Relationship between leachate ratio, and N uptake and dry matter of corn and potatoes as affected by nitrogen fertilizer and compost applications and planting density.

또한 窒素普肥 疎植區(T12)에서는 溶脫率이 29.3%로 높았으나 密植區(T13)는 22.1%로 낮았다.

그림 3은 降雨量中 Lysimeter로 부터 나오는 溶脫水 比率과 栽培作物 乾物重, 窒素吸收率과의 관계를 나타낸 그래프이다. 溶脫率과 植物體의 窒素吸收量과의 관계는 溶脫率이 減少할수록 窒素吸收量은 현저하게 增加하는 相關性($r=-0.904^{**}$)을 보였다. 또한 溶脫率과 옥수수의 乾物收量間에는 有意性있는 負의 相關($r=-0.922^{**}$)關係를 보였고, 감자의 乾物收量間에도 負의 相關($r=-0.953^{**}$)關係를 보이고 있어 施肥量 및 栽培方法에 따라 作物體의 生育이 양호하게 되면 Lysimeter로부터 溶脫되는 溶脫水의 量이 有意하게 減少하는 結果를 보였다.

化學肥料와 堆肥의 施肥量 및 施肥方法, 作物體의 種類, 密植程度 등에 따라 作物體 地上部의 生育상태가 달라지는데 地上部生育이 좋아지면 그에 따라 地下部의 生育도 양호해지고, 뿌리의 조성이 稠密해져 水分 保有力이 높아짐으로써 溶脫量이 적어지는 것으로 보인다. 이에 따라서 溶脫量을 줄이는 것은 施肥養分이 作物體에 의해 吸收될 可能性이 많아지는 반면 深土層으로의 溶脫可能性은 상대적으로 감소하게 되는 것으로 생각된다.



2. 作物體의 生育形質 變化

1) 前作物(옥수수)

Lysimeter를 이용하여 施肥量, 施肥方法, 栽培方法을 달리한 施肥養分 溶脫試驗에서 作物體의 生育 形質의 變化는 표 7 및 8에서 보는 바와 같다.

前作物로 재배한 제주재래 옥수수(Yellow)의 稈長 및 葉綠素測定值를 生育 시기별로 調査한 結果는 稈長은 無肥栽培區(T3)가 7월 15일에 121.6cm, 7월 30일에 135.5cm, 수확기인 8월 30일에 137.5cm로 가장 낮았던 반면, 窒素·堆肥 增量

區(T9) 및 窒素普肥 水溶液區(T11)에서 7월 15일에 155.7~156.2cm, 7월 30일 172.3~174.4cm, 8월 20일에 175.7~178.7cm로 크게 나타났다.

施肥量別로는 窒素 및 窒素·堆肥 處理區에서 多肥할수록 초장이 커지는 傾向을 보였으며, 施肥方法間에는 土壤施肥區인 窒素增量區(T6)가 7월 15일에 145.0cm인 반면 窒素普肥 水溶液區(T11)는 156.2cm로 有意하게 높게 나타나고 있다.

栽培方法別로는 2株를 심은 窒素普肥 疎植區(T12)와 6株를 심은 密植區(T13)間에는 생육 초반인 7월 15일에는 큰 차이를 보이지 않았으나 생육중반인 7월 30일에는 각각 152.4cm와 171.8cm로 급격한 차이를 보이고 있어 密植에 의한 施肥養分이 吸收競爭에 의해 施肥 養分이 생육 중반기를 지나면서 다량 소모되고 있음을 보여주고 있다.

Table 7. Culm length and SPAD value of corn at 13 treatments.

Treatment ¹⁾	Culm length(cm)			SPAD value	
	July 15	July 30	Aug. 20	July 15	July 30
T3	121.57 ^d	135.50 ^d	137.47 ^c	43.96 ^b	42.17 ^c
T4	141.83 ^c	155.67 ^{bc}	157.70 ^{cd}	44.47 ^b	48.23 ^d
T5	142.20 ^{bc}	157.73 ^{bc}	159.30 ^{cd}	46.50 ^{ab}	50.77 ^{bc}
T6	145.00 ^{bc}	159.00 ^{bc}	160.03 ^{bcd}	46.67 ^{ab}	51.03 ^{abc}
T7	142.90 ^{bc}	164.33 ^{bc}	167.70 ^{abcd}	45.67 ^{ab}	49.77 ^{cd}
T8	149.86 ^{abc}	167.90 ^{bc}	169.90 ^{abc}	46.70 ^{ab}	52.40 ^{ab}
T9	155.67 ^a	174.43 ^a	178.73 ^a	48.13 ^a	53.20 ^a
T10	153.02 ^{ab}	165.97 ^{abc}	168.40 ^{abcd}	44.83 ^{ab}	49.70 ^{cd}
T11	156.20 ^a	172.33 ^b	175.70 ^a	46.20 ^{ab}	53.43 ^a
T12	152.00 ^{abc}	171.83 ^b	173.50 ^{ab}	44.93 ^{ab}	52.20 ^{ab}
T13	144.80 ^{bc}	152.43 ^c	155.17 ^d	43.49 ^b	42.80 ^c
CV(%)	3.87	14.21	4.42	3.73	2.60

¹⁾ : See Table 3.

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.

葉綠素測定値는 과중 60일 후인 7월 15일에는 窒素·堆肥 增量區(T9)의 SPAD值가 48.1로 높은 반면 無肥栽培區(T3), 窒素普肥 密植區(T13), 窒素少肥區(T4)에서는 43.5~44.5로 낮게 나타났고 그 외 處理區는 비슷하였다. 하지만 생육중반인 7월 30일에는 多肥한 T9 處理區 및 吸收力이 높은 水溶液區(T11)의 SPAD值가 52.4~53.2로 높게 나타난 반면, 無肥栽培區(T3) 및 窒素普肥 密植區(T13)는 7월 15일 調査值보다도 낮은 수치를 보이고 있어 작물체 생육에 있어 施肥의 重要性을 보여주는 결과라 하겠다.

또한 施肥量別로는 多肥할수록 葉綠素測定値가 높아지는 추세를 나타내고 있으며, 窒素普肥 疎植區(T12)보다 密植區(T13)가 현저하게 낮아졌다. 옥수수의 수확후 地上部 生育形質은 표 8에서 보는 바와 같이 個體當 葉數는 無肥栽培區(T3) 및 窒素普肥 密植區(T13)에서 가장 적었던 반면에 그 외 處理區에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 出絲까지의 日數에서는 多肥區인 T6, T9에서 65.1~65.5일로 약간 길어지는 傾向이었으나 統計的인 有意性은 보이지 않았다. 이삭수량은 無肥栽培區(T3)는 窒素普肥區(T5)에 비해 51%정도만이 생산되는 낮은 收量性을 보였다.

窒素施肥 水準別로는 普肥區(T5)가 增量區(T6)보다 약간 높은 것으로 나타났으며 堆肥處理에 있어서는 T7, T8, T9 區 處理間에는 多肥할수록 이삭수량이 많아졌다. 施肥方法에 있어서는 窒素少肥 水溶液區(T10)가 窒素少肥 土壤處理區(T4)에 비해 28%나 增收된 것으로 나타나고 있어 水溶液 施肥가 少肥栽培할 경우 作物의 增收에 매우 유리할 것으로 사료된다. 栽培方法別로는 2株를 심었던 窒素普肥 疎植區(T12)가 6株를 심은 密植區(T13)보다도 增收되는 것으로 나타나고 있어 過多密植은 疎植보다도 增收에 불리함을 보여주고 있다.

地上部生體重 및 乾物重은 無肥栽培區(T3)는 施肥量이 가장 적었던 窒素少肥區(T4)의 70%에 지나지 않아 施肥의 重要性을 보여주고 있다. 施肥水準別로는 窒素少肥區(T4)에 비해 普肥區(T5) 및 增量區(T6)에서는 유의하게 무거웠으나, T5, T6 處理區間에는 차이가 없으며, 窒素·堆肥處理區에서도 이와 類似한 傾向을 보였다.

Table 8. The agronomic characters of corn at 13 treatments.

Treatment	No. of leaves /plant	Days to silking	Ear yield g/plot	Wt. of top fresh yield g/plot	Top dry matter yield g/plot	Dry matter content %
T3	9.33 ^{b,2}	61.83 ^a	261.7 ^a	840.0 ^c	364.0 ^d	0.433 ^a
T4	11.87 ^a	63.83 ^a	405.6 ^f	1215.0 ^d	524.0 ^c	0.431 ^a
T5	12.00 ^a	64.10 ^a	512.7 ^{bc,d}	1396.7 ^c	598.9 ^b	0.429 ^a
T6	11.53 ^a	65.47 ^a	507.6 ^{cd}	1475.0 ^{bc}	586.0 ^b	0.397 ^a
T7	12.13 ^a	63.67 ^a	501.3 ^c	1470.0 ^{bc}	619.0 ^b	0.421 ^a
T8	12.23 ^a	64.03 ^a	520.2 ^{abc}	1563.3 ^{ab}	625.4 ^b	0.400 ^a
T9	12.53 ^a	65.10 ^a	535.7 ^a	1600.7 ^{ab}	630.0 ^b	0.394 ^a
T10	12.25 ^a	64.23 ^a	520.3 ^{abc}	1540.0 ^{ab}	624.1 ^b	0.405 ^a
T11	12.57 ^a	64.80 ^a	530.0 ^{ab}	1565.0 ^{ab}	625.5 ^b	0.400 ^a
T12	12.00 ^a	64.40 ^a	498.3 ^d	1353.3 ^c	570.1 ^{bc}	0.421 ^a
T13	10.97 ^b	63.60 ^a	472.0 ^c	1630.0 ^a	701.9 ^a	0.431 ^a
CV(%)	9.65	3.39	1.99	5.17	5.34	13.86

¹ : See Table 3.

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.



吸肥력이 강한 옥수수가 増量區와 普肥區에서 차이를 보이지 않은 것은 施肥量이 옥수수 생육에 필요한 量보다 過多하였음을 나타내는 것으로 보인다.

施肥方法別로는 地上部生體重이 窒素少肥 水溶液區(T10)에서 少肥區(T4)보다 26%가 무거운 것으로 나타나 少肥할 경우 土壤施肥보다 水溶液施肥가 有利하였다. 栽培方法別로는 密植區(T13)의 地上部 乾物重이 2株를 심었던 疎植區(T12)보다 23%가 많아졌다.

Nunez와 Kamprath(1969)는 옥수수에서 窒素 施用效果는 地域이나 年次에 따라 다르며 10a當 窒素 28kg에서 가장 많은 종실수량을 얻었고, 窒素를 과용하면 缺株率이 높아지고 질소성분의 溶脫, 蒸發 등으로 인하여 窒素의 回收率이 떨어

진다고 보고하고 있어 標準施肥量を 上廻하는 窒素多肥는 옥수수 자신이 갖고 있는 窒素同化能力을 훨씬 초과하여 剩餘分이 植物體에 過剩蓄積되고 土壤내 集積, 深土層으로 溶脫되는 것으로 보인다. 地上部 乾物率は 모든 處理區間에 統計的인 有意性은 없었으나, 施肥量を 增加시킬수록 乾物率は 상대적으로 減少하는 傾向을 보였다.

2) 後作物(감자)의 生育形質

後作物로 재배한 감자의 生育상태는 표 9에서 보는 바와 같다. 草長은 無肥栽培區(T3)에서 가장 낮았으며 그 다음으로 窒素少肥區(T4)가 낮았고, 窒素·堆肥 增量區(T9)에서 53.3cm로 가장 높게 나타났다. 그 외 處理區에서는 統計的인 有意差는 없었으나 施肥量別로는 施肥量を 늘릴수록 草長이 길어지는 傾向을 보였다. 莖直徑은 多肥할수록 增加趨勢를 보였으나 統計的 有意性은 없었다.

葉綠素測定値는 多肥區(T6, T9), 窒素普肥 水溶液區(T11)에서 SPAD 値가 35.3~35.7로 높게 나타난 반면 無肥栽培區(T3)에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 疎植 및 密植處理에서는 疎植區(T12)는 34.7로 多肥區와 비슷하게 높게 나타나 密植區(T13)는 30.8로 매우 낮게 나타나 密植에 의한 養分競合으로 養分不足 現象이 초래된 것으로 보인다.

乾莖重에 있어서는 無肥栽培區(T3)는 窒素少肥區(T4)에 비해서도 50%이상 가벼운 것으로 나타나 無施肥에 의해 감자의 生育이 극도로 저조해진 것으로 調査되었고, 施肥量別로는 처리간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 窒素·堆肥處理에서는 普通量區(T8) 및 增量區(T9)에서 유의하게 무거웠다. 이와 같은 현상은 이 시험의 형태가 일반포장 시험과는 달리 Lysimeter를 이용한 시험이어서 前作物로 재배된 吸肥力이 강한 옥수수에 의해 土壤의 肥料成分中 많은 量이 吸收되었고, 溶脫水에 의해 Lysimeter 외부로의 放出量도 많아져 後作物인 감자가 吸收量이 減少된데서 起因한 것으로 推定된다.

塊莖 乾物重은 乾莖重에서와 같은 傾向으로 無施肥區(T3)는 少肥區(T4)의 45%,

普肥區(T5)의 35%에 불과한 것으로 나타났다. 施肥量別로는 窒素處理에서는 少肥區(T4)보다 普肥區(T5) 및 增量區(T6)에서 유의하게 무거운 것으로 나타났고, T5 및 T6 處理區 間에는 차이가 없었으나, 窒素·堆肥處理에서는 多肥할수록 무거워지는 것으로 나타났으며, 增量區(T9)가 다른 모든 處理區에 비해 가장 무거웠다. 이는 乾莖重에서와 같은 현상으로 前作物인 옥수수의 吸收에 의해 Lysimeter內 肥料成分이 많이 남아 있지 않아 窒素·堆肥 增量區의 肥料分을 감자가 대부분 吸收하여 상대적으로 肥料分이 부족한 다른 處理區에 비해 地上 및 地下部 生育이 양호해진 데서 기인한 것으로 보인다. 施肥方法別로는 少肥 水溶液區(T10)가 窒素 少肥區(T4)에 비해 25% 增收되어 少肥할 경우 土壤施肥보다 水溶液施肥가 유리하였다.

Table 9. The agronomic characters of potatoes at 13 treatments.

Treatment ¹⁾	Plant	Stem	SPAD	Dry matter	Day matter of tubers	
	height	diameter			of stems	yield
	cm	cm	value	g/plot	g/plot	%
T3	39.43 ^{c, f}	0.42 ^a	27.70 ^d	12.76 ^c	71.20 ^f	17.89 ^a
T4	47.90 ^b	0.63 ^a	31.27 ^c	26.81 ^b	156.0 ^c	17.00 ^a
T5	51.10 ^{ab}	0.67 ^a	32.10 ^{bc}	30.79 ^b	200.1 ^{bcd}	16.55 ^a
T6	52.80 ^{ab}	0.74 ^a	35.27 ^a	30.50 ^b	202.6 ^{bcd}	16.23 ^a
T7	48.87 ^{ab}	0.70 ^a	33.68 ^{ab}	28.33 ^b	187.1 ^d	16.59 ^a
T8	52.53 ^{ab}	0.74 ^a	34.30 ^{ab}	39.36 ^a	210.6 ^{abc}	16.50 ^a
T9	53.33 ^a	0.74 ^a	35.67 ^a	40.82 ^a	225.0 ^a	16.00 ^a
T10	49.53 ^{ab}	0.74 ^a	34.03 ^{ab}	29.46 ^b	195.7 ^{cd}	16.50 ^a
T11	52.37 ^{ab}	0.76 ^a	35.33 ^a	39.78 ^a	199.0 ^{dc}	16.20 ^a
T12	52.67 ^{ab}	0.75 ^a	34.70 ^a	27.65 ^b	169.5 ^c	16.20 ^a
T13	52.97 ^{ab}	0.69 ^a	30.80 ^c	42.42 ^a	218.3 ^{ab}	17.68 ^a
CV(%)	5.39	19.52	4.03	8.15	5.45	8.61

¹⁾ : See Table 3.

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.

疎植과 密植間에 있어서는 個體數가 많은 密植區(T13)가 疎植區보다 월등히 무거운 것으로 나타났고, 窒素普肥區(T5)보다도 약간 무거운 傾向을 보였다.

乾物率은 각 處理間에 統計的인 有意性은 보이지 않았으나 施肥量이 增加할수록 乾物率은 減少하는 추세를 보였으며, 상대적으로 肥料吸收가 적었던 無肥栽培區(T3) 및 窒素普肥 密植區(T13)의 乾物率이 17.7~17.9%로 높아지는 추세를 나타내었다.

Kleinkopf 等(1981)은 窒素 施肥量이 과다할 경우 莖葉이 過繁茂되어 光合成效率이 저하되고, 地上部와 地下部 生育의 불균형으로 乾物率이 떨어진다고 하였다. 窒素施肥에 따른 乾物率은 施肥量, 施肥方法 等에 따라 차이가 있으며(Button과 Hawkins, 1958), 塊莖 乾物率과 窒素의 適正施肥量은 환경조건에 따라 크게 變化된다고 보고하고 있어(Chamberland와 Scott, 1968) 본 시험결과 등을 고려해 볼 때 栽培時期의 土壤의 狀態 및 作物의 吸收力 等を 勘案한 經濟的인 土壤管理와 施肥處方이 요구되어진다 하겠다.

3. 作植體中 無機成分의 含量과 吸收量

1) 窒素 含量 및 吸收量

施肥量과 栽培方法에 따른 前作物인 옥수수와 後作物인 감자의 無機成分과 吸收量은 표 10~12 및 그림 4에서 보는 바와 같다.

옥수수의 窒素含量은 窒素施肥量이 많아질수록 增加하는 傾向을 보였으나 統計的인 有意性은 無肥栽培區(T3)와의 사이에서만 인정되었다. 施肥方法間에는 土壤施肥에 비해 水溶液 施肥가 상대적으로 吸收率이 높은 추세를 나타내었다. 옥수수의 窒素吸收量도 窒素含量에서와 類似한 形態를 보였다. 窒素施肥量이 많아지면 土壤中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度가 增加함으로써 結果적으로 植物이 吸收하는 量도 많아지게 된

다는 보고(Doughty와 Warder, 1942; Carey 등, 1952; Crawford 등, 1961)와 類似한 結果를 보였다. Marschner(1986)는 옥수수는 植物體가 크고 햇빛을 이용한 炭素同化能力이 월등한 작물로 吸肥力이 강하므로 어느 정도 減肥栽培에도 적응하나 많은 수량을 올리려면 충분한 施肥가 필요하다고 보고하고 있다.

감자의 窒素含量은 窒素施肥量을 增加시킬수록 莖葉 및 塊莖內 窒素含量이 유의하게 增加하여 莖葉은 2.18~2.98%, 塊莖은 1.74~2.14%를 나타내었다. 모든 處理區에서 無肥栽培區(T3)보다 유의한 增加를 보였으며, 窒素單用區보다 堆肥混用區가 상대적으로 窒素含量이 높은 것으로 調査되었다.

Table 10. Concentration and uptake of N, Ca, K and Mg of corn at 13 treatments.

Treatment	Concentrations(%)					Uptakes(g/plot)				
	N	Ca	Na	K	Mg	N	Ca	Na	K	Mg
T3	0.65 ^{b,1}	0.12 ^c	0.020 ^d	1.62 ^h	0.15 ^c	2.37 ^c	0.44 ^d	0.07 ^c	5.90 ^c	0.55 ^d
T4	1.25 ^a	0.17 ^{cd}	0.028 ^{ab}	1.74 ⁱ	0.18 ^{bc}	6.55 ^d	0.89 ^c	0.15 ^b	9.12 ^{bc}	0.96 ^c
T5	1.26 ^a	0.18 ^c	0.030 ^{ab}	1.84 ^d	0.19 ^{abc}	7.55 ^{ab}	1.08 ^c	0.18 ^{ab}	11.02 ^{abc}	1.16 ^{bc}
T6	1.39 ^a	0.25 ^b	0.030 ^{ab}	2.12 ^b	0.19 ^{abc}	8.15 ^{ab}	1.47 ^b	0.18 ^{ab}	12.42 ^{abc}	1.12 ^{bc}
T7	1.36 ^a	0.18 ^c	0.029 ^{ab}	1.80 ^c	0.19 ^{abc}	8.42 ^a	1.11 ^c	0.18 ^{ab}	11.14 ^{abc}	1.18 ^{bc}
T8	1.38 ^a	0.31 ^a	0.030 ^{ab}	2.00 ^c	0.21 ^{ab}	8.63 ^a	1.94 ^a	0.19 ^{ab}	12.51 ^{abc}	1.31 ^{ab}
T9	1.46 ^a	0.34 ^a	0.034 ^a	2.66 ^a	0.24 ^a	9.20 ^a	2.14 ^a	0.21 ^{ab}	16.76 ^a	1.51 ^a
T10	1.40 ^a	0.18 ^c	0.029 ^{ab}	2.08 ^b	0.18 ^{bc}	8.74 ^a	1.12 ^c	0.18 ^{ab}	12.98 ^{ab}	1.11 ^{bc}
T11	1.45 ^a	0.19 ^c	0.036 ^a	2.10 ^b	0.18 ^{bc}	9.07 ^a	1.19 ^{bc}	0.22 ^a	13.14 ^a	1.13 ^{bc}
T12	1.39 ^a	0.18 ^c	0.030 ^{ab}	2.12 ^b	0.19 ^{abc}	7.92 ^{ab}	1.03 ^c	0.17 ^{ab}	12.09 ^{ab}	1.08 ^{bc}
T13	1.25 ^a	0.14 ^{dc}	0.021 ^b	1.70 ^g	0.17 ^{bc}	8.77 ^a	0.98 ^c	0.15 ^b	11.93 ^{abc}	1.19 ^{bc}
CV(%)	10.84	9.66	12.06	1.14	15.33	11.08	9.20	12.34	13.03	14.47

¹ : See Table 3.

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.

Table 11. Concentration and uptake of N, Ca, K and Mg of potatoes stems at 13 treatments.

Treat- ment	Concentrations(%)					Uptakes(g/plot)				
	N	Ca	Na	K	Mg	N	Ca	Na	K	Mg
T3	1.82 ^{m, n}	0.67 ^c	0.060 ^d	1.16 ^c	0.14 ⁿ	0.232 ^t	0.085 ^c	0.008 ^d	0.148 ^c	0.018 ^t
T4	2.18 ⁿ	0.87 ^{abc}	0.069 ^{cd}	1.60 ^c	0.27 ^g	0.584 ^c	0.233 ^b	0.019 ^c	0.429 ^d	0.072 ^c
T5	2.79 ^c	0.90 ^{ab}	0.086 ^{ab}	1.67 ^c	0.51 ^{cd}	0.860 ^{cd}	0.277 ^b	0.027 ^{abc}	0.513 ^{cd}	0.157 ^d
T6	2.97 ^{ab}	0.99 ^{ab}	0.097 ^a	1.91 ^{ab}	0.53 ^{bc}	0.905 ^{bc}	0.302 ^{ab}	0.030 ^{abc}	0.583 ^{bc}	0.162 ^d
T7	2.27 ^g	0.92 ^{ab}	0.080 ^{bc}	1.60 ^c	0.33 ^t	0.644 ^{dc}	0.261 ^b	0.023 ^{bc}	0.453 ^d	0.093 ^c
T8	2.82 ^d	0.94 ^{ab}	0.085 ^{abc}	1.69 ^c	0.48 ^d	1.110 ^{ab}	0.370 ^{ab}	0.033 ^{ab}	0.665 ^b	0.189 ^c
T9	2.98 ^a	1.10 ^a	0.088 ^{ab}	1.99 ^a	0.57 ^{ab}	1.216 ^a	0.449 ^a	0.036 ^a	0.812 ^a	0.233 ^a
T10	2.65 ^t	0.90 ^{ab}	0.084 ^{abc}	1.61 ^c	0.29 ^g	0.781 ^{cde}	0.265 ^b	0.025 ^{abc}	0.473 ^{cd}	0.085 ^c
T11	2.87 ^c	0.91 ^{ab}	0.089 ^{ab}	1.66 ^c	0.53 ^{bc}	1.142 ^{ab}	0.362 ^{ab}	0.035 ^{ab}	0.660 ^b	0.211 ^{ab}
T12	2.93 ^b	0.94 ^{ab}	0.087 ^{ab}	1.85 ^b	0.59 ^a	0.809 ^{cde}	0.260 ^b	0.024 ^{abc}	0.512 ^{cd}	0.163 ^d
T13	2.24 ^g	0.77 ^{bc}	0.080 ^{bc}	1.34 ^d	0.39 ^c	0.950 ^{bc}	0.327 ^{ab}	0.034 ^{ab}	0.570 ^{bc}	0.165 ^{cd}
CV(%)	1.09	13.56	6.30	3.09	5.56	5.68	8.06	14.68	11.7	10.1

^a : See Table 3.

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

施肥方法別로는 莖葉 및 塊莖에서 水溶液區(T10, T11)가 窒素單用區(T4, T5)에 비해 유의하게 窒素含量이 높은 것으로 나타나고 있어 灌水施設 등을 이용한 水溶液 施肥方法 개발로 施肥養分の 吸收率을 增加시킴으로써 수량증대 뿐만 아니라 土壤으로의 溶脫을 방지하는 효과도 있을 것으로 생각된다.

窒素吸收量에 있어서 窒素·堆肥 增量區(T9)가 감자의 莖葉 및 塊莖部位 모두 가장 많은 것으로 調査되어 窒素의 多肥가 作物체의 무기성분 함량 및 흡수량에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 나타났다. 결과적으로 作物이 필요로 하는 충분한 量的 窒素를 土壤中の 窒素만으로는 충분하지 않으므로 適正量的 窒素施用은 옥수수의 收量 및 品質을 높이기 위해서 필요하다(Kang 等, 1985).

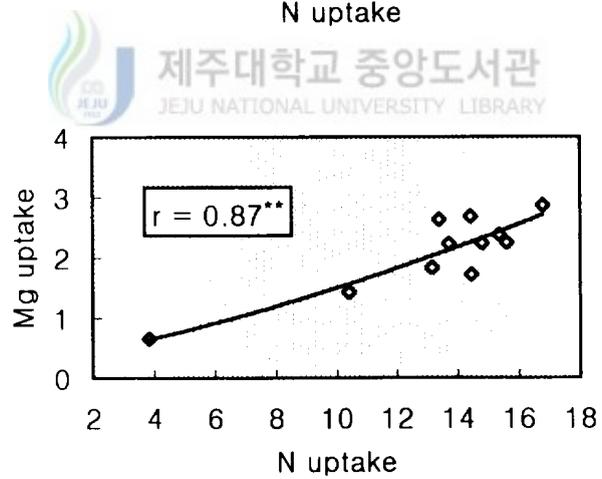
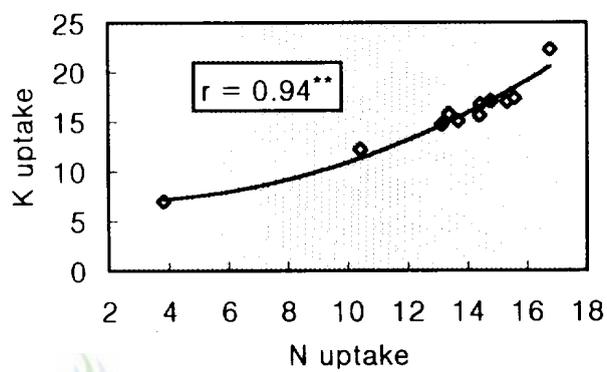
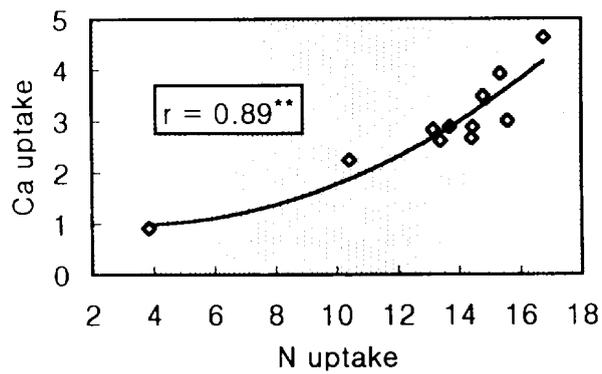


Fig. 4. Relationship between N uptake and Ca, K and Mg uptake(kg/10a) of plants(corn and potatoes) as affected by nitrogen fertilizer and compost applications and planting density.

Table 12. Concentration and uptake of N, Ca, K and Mg of potatoes tubers at 13 treatments.

Treat ment ^a	Concentrations(%)					Uptakes(g/plot)				
	N	Ca	Na	K	Mg	N	Ca	Na	K	Mg
T3	1.47 ^{h,j}	0.008 ^d	0.018 ^b	1.86 ^c	0.11 ⁱ	1.047 ⁱ	0.006 ^g	0.013 ^c	1.324 ⁱ	0.078 ^g
T4	1.74 ^g	0.010 ^d	0.030 ^c	2.06 ^d	0.14 ^{cd}	2.714 ^h	0.015 ⁱ	0.046 ^c	3.213 ^h	0.218 ^c
T5	1.77 ^{hk}	0.010 ^d	0.028 ^c	2.28 ^c	0.15 ^{bc}	3.549 ^c	0.020 ^c	0.057 ^b	4.582 ^d	0.301 ^c
T6	2.07 ^b	0.016 ^c	0.030 ^c	2.48 ^b	0.16 ^b	4.194 ^b	0.032 ^{cd}	0.061 ^b	5.025 ^b	0.324 ^b
T7	1.75 ^k	0.010 ^d	0.020 ^b	2.12 ^d	0.14 ^{cd}	3.274 ⁱ	0.019 ^c	0.037 ^d	3.966 ^g	0.266 ^d
T8	1.98 ^d	0.014 ^c	0.020 ^b	2.30 ^c	0.15 ^{bc}	4.159 ^b	0.029 ^d	0.042 ^{cd}	4.844 ^c	0.316 ^b
T9	2.14 ^a	0.020 ^b	0.031 ^c	2.62 ^a	0.18 ^a	4.815 ^a	0.045 ^b	0.070 ^a	5.895 ^a	0.405 ^a
T10	1.79 ^{kt}	0.017 ^{bc}	0.033 ^c	2.06 ^d	0.14 ^{dc}	3.503 ^c	0.033 ^c	0.065 ^{ab}	4.031 ⁱ	0.264 ^d
T11	2.02 ^c	0.016 ^c	0.029 ^c	2.30 ^c	0.15 ^{bc}	4.020 ^c	0.032 ^{cd}	0.058 ^b	4.577 ^c	0.299 ^c
T12	1.82 ^c	0.029 ^a	0.034 ^a	1.89 ^c	0.13 ^c	3.085 ^g	0.049 ^a	0.058 ^b	3.204 ^h	0.219 ⁱ
T13	1.75 ^g	0.020 ^b	0.022 ^b	1.88 ^c	0.14 ^{dc}	3.820 ^d	0.044 ^b	0.048 ^c	4.104 ^c	0.297 ^c
CV(%)	1.00	12.86	12.79	3.2	4.14	1.11	13.2	2.90	3.17	5.38

^a : See Table 3.

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

하지만 窒素過用은 옥수수의 收量增加에 기여하지 못하거나 減少를 招來하여 窒素效率을 低下시키며 NO₃⁻ 溶脫에 의한 水質汚染의 可能性도 크다(Lacascio 等, 1972).

우리 나라에서 推薦施肥量을 훨씬 上廻하는 窒素多肥栽培가 해가 갈수록 심해지고 있다(孫과 韓, 1993). 뿐만 아니라 우리 나라는 菜食을 주로 하고 있어 일일 채소 소비량이 세계 제 1위로서(농산물유통공사, 1993) 세계 그 어느 나라보다도 채소류 를 통한 NO₃⁻ 攝取量이 많아 84.1~85.8%를 채소를 통해서 섭취하며 WHO의 일 일 NO₃⁻ 섭취 허용기준치보다 1.9~3.7배나 많은 量의 NO₃⁻ 를 攝取하고 있다(孫, 1994). 收量增大를 위해 多量 施用되는 窒素는 收穫後 可食部位內에 남아 人體에 有害한 작용을 나타내 靑藍症 또는 사망에 이르게 하는 것으로 알려져 있다(Comly,

1945; 孫과 吳, 1993). 한편 作物體내에 吸收된 NO_3^- 가 NO_2^- 로 還元되지 못하고 NO_3^- 상태로 貯藏·集積되어 있는 것은 窒素質肥料의 過多施用時 作物體 자신이 갖고 있는 窒素同化能力을 훨씬 超過하는 extra- 및 intracellular NH_4^+ 의 供給, 그리고 最終產物에 의한 feed-back inhibition 때문인 것으로 알려지고 있다.

본 시험에서 普肥區에 비해 增量區의 옥수수 및 감자의 生體 및 乾物收量이 비슷하거나 오히려 減少하는 傾向을 보이고 있는 반면 植物體內 窒素含量 및 吸收量은 多肥할수록 有意하게 增加하는 것으로 나타나고 있어 필요 이상의 過多施肥임을 反證하고 있다.

작물의 適正施肥量은 土壤의 特性和 管理法, 作物의 種類와 品種, 氣象, 기타 여러 조건에 따라 달라질 수 있으나(Godwin과 Allan Jones, 1991), 본 시험에서 窒素의 土壤施肥에 비해 水溶液施肥는 상대적으로 비해 植物體 窒素含量 및 吸收量이 높아 土壤으로의 集積, 溶脫 可能性이 상대적으로 낮은 것으로 생각된다.

따라서 최소한의 施肥量으로 필요한 收量을 생산하면서 施肥養分이 土壤으로의 放出量을 최소한 줄일 수 있는 適正施肥量을 算出하기 위한 土壤의 窒素供給力과 作物의 窒素要求度를 함께 考慮하여 施肥量을 결정하는 방법이 요구되어진다.

2) Ca, Na, K, Mg의 含量 및 吸收量

植物體中 Ca의 含量은 옥수수에서는 窒素·堆肥 普通量區(T8), 增量區(T9)가 0.31~0.34%로 높게 나타났고, 다음으로 窒素增量區(T6)가 높게 나타났으며 無肥栽培區(T3)는 가장 낮았다. 이는 옥수수 吸收量에서도 類似한 結果를 보였다. 감자 莖葉의 Ca 含量은 T9 處理區가 1.10%로 가장 높았으며 감자 莖葉의 吸收量도 類似한 結果를 보였다. 이는 窒素源 施肥量을 增加시킴에 따라 磷酸의 공급도 2배로 增加시킴으로서 磷酸의 供給源으로 施用한 용성인비에 CaO 成分이 28~30%정도 含有되어 있어 Ca의 공급이 增加된데 기인한 것으로 생각된다.

옥수수 및 감자의 Na의 含量 및 植物體 吸收量은 增量區인 T6, T9 및 窒素普

肥 水溶液區(T11)에서 높아지는 傾向을 보였으며, Na 吸收量이 無肥栽培區 (T3)에서 다른 處理區에 비해 有意하게 적게 나타난 것은 全般的인 生育부진에 의 해 乾物收量이 減少한데 起因한 것으로 보인다.

옥수수 的 加里含量 및 吸收量은 施肥區의 모든 處理區가 無肥栽培區(T3)에 비해 有意하게 含量이 높고 吸收量 또한 增加되는 것으로 나타났다. 이는 加里의 공급원 인 염화加里(KCl)로부터 공급된 데서 비롯된 것으로 推定된다. 施肥量別로는 施肥 量을 增加시킬수록 加里의 含量 및 吸收量이 顯著하게 增加하였다. 또한 施肥方法 別로는 窒素少肥 水溶液區(T10), 普肥 水溶液區(T11)가 加里 含量 및 吸收量이 높게 나타나고 있다.

감자의 加里 含量은 莖葉에서는 窒素·堆肥 增量區(T9)가 1.99%, 塊莖에서는 2.62%로 가장 높게 나타나고 있다. 無肥栽培區(T3)와는 顯격한 차이를 보이고 있어 감자에 加里를 施肥하면 萌芽의 生長을 촉진하고(Harris, 1978), 炭素同化作用을 촉진함으로써 收量을 增加시킨다는 보고(Eastwood와 Watts, 1956) 및 窒素와 더불어 칼륨의 施肥量이 增加하면 塊莖의 生體重은 增加하나 일정수준 이상이 되면 塊莖 內 乾物은 增加되지 않고, 수분만 增加됨으로써 乾物率을 減少시킨다는 보고(Teich와 Menzies, 1964; Schippers, 1968) 등을 종합해 볼 때 감자의 加里 吸收率은 多肥 할수록 增加하는 것으로 생각되며 窒素의 吸收率과도 关联性이 큰 것으로 보인다.

옥수수 및 감자에 있어서 Mg의 含量 및 吸收量도 Na에서와 비슷한 傾向을 보 여 窒素·堆肥 增量區(T9)에서 대체적으로 높은 含量과 吸收量을 보이고 있으며 그 외 處理區에서는 큰 차이를 보이지 않았다. Mg은 磷酸의 供給源으로 施肥한 용성인비에 구용성 Mg이 10%내외로 포함되어 있었으나 이에 대한 효과는 뚜렷하 지 않은 것으로 나타났다.

옥수수 및 감자의 無機成分 吸收量間의 相關關係를 그림 4에서 살펴보면 窒素의 吸收量과 Ca, K, Mg과의 關係가 각각 $r = 0.89^{**}$, 0.94^{**} , 0.87^{**} 로 매우 높은 相關性을 유지하고 있어 窒素의 吸收가 다른 無機養分의 吸收에 작용하고 있음을

보여주고 있다.

Kim(1991)이 濟州火山灰土에서 窒素施用 增加에 따른 orchardgrass의 Ca 및 Mg 함량은 차이가 없었으나 Na 함량은 增加하는 것으로 보고하고 있고, 窒素와 加甲의 施用水準이 牧草내 窒素와 K, Ca, Mg과 Na 등의 함량, 그리고 이들간 상호작용에 영향을 미친다는 보고(Whitehead, 1970; Penny 等, 1980; Papanastasis와 Koukculakis, 1988) 등으로 볼 때 窒素施肥量 增加에 따른 植物體의 窒素吸收率과 Ca, Na, K, Mg 등의 無機成分 吸收에도 밀접한 연관성이 있는 것으로 생각되어 窒素施肥量 算定時 이에 대한 고려가 있어야 하겠다.

4. 溶脫水中 pH 및 Cl^- , NO_3-N , SO_4^{-2} 濃度 및 溶脫量

시험기간중 6월 20일부터 12월 3일까지 8회에 걸쳐 Lysimeter로 流入된 물 중의 pH 및 陽, 陰이온의 濃度 및 환산한 溶脫總量은 표 13, 14, 15 및 그림 5에서 보는 바와 같다.

Lysimeter 설치 10일 후인 施肥前 5월 27~29일에 53mm의 비가 내려 흘러 내린 溶脫水中의 pH 및 이온의 濃度는 표 13과 같다. 표 14는 연중 溶脫水中 pH 및 陽·陰이온의 平均濃度를 나타낸 것이고, 표 15는 각 溶脫時期別로 溶脫水量에 平均濃度를 곱하여 이온의 總溶脫量을 算出한 것이다.

1) pH

표 14에서 살펴보면 窒素施肥量의 增加에 따른 pH 濃度變化는 統計的인 有意性은 없었으나 대체적으로 無肥栽培區(T3)가 높고 窒素施肥量을 增加시킬수록 溶脫水中의 pH는 점차 낮아지는 傾向을 보였으며, 施肥方法에 따라서는 水溶液區(T10, T11)가 다소 높은 趨勢를 보였다.

Table 13. Chemical properties of leachate after 53mm rainfall before 13 treatments.

pH (1:5H ₂ O)	Cl	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺ (mg/ℓ)	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺
6.76	32.04	37.50	12.68	47.31	21.79	21.80	17.12

採水 時期別로는 시험전 溶脫水の pH 平均濃도가 6.76이었으며 그림 5에서 보는 바와 같이 施肥 20일 후에는 대부분의 處理區에서 약간 높아지는 趨勢를 보인 후 窒酸化作用이 진행됨에 따라 계속적으로 낮아져 12월초에는 pH가 6.5 수준으로 낮아졌다. 이는 Jolley와 Pierre(1977), Holland와 During(1977), Christianson 等(1979)의 연구자들이 尿素를 밭토양에 施用했을 때 尿素의 加水分解로 생긴 NH₄-N에 의해 土壤의 pH가 높아졌다가 窒酸化作用이 진척되어 NO₃-N 發生量이 增加됨에 土壤 pH가 따라 낮아져 NO₃-N이 無機態의 主種이 될 때는 시험전 土壤보다도 더 낮아졌다는 보고와 비슷하였다.



2) Cl⁻

표 14의 Cl⁻의 年中平均 溶脫濃도는 無肥區(T1, T3)에서 14.5~16.6mg/ℓ로 낮은 濃도를 보였으며, 施肥量을 增加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 표 15에서 보는 바와 같이 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 유의하게 낮아지는 것으로 나타났다.

Table 14. 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 ^{a,1)}	16.67 ^g	26.56 ^{dc}	15.72 ^{de}	25.79 ^{fg}	6.79 ^{dc}	14.15 ^{efg}	7.12 ^f
T2	6.76 ^a	20.12 ^f	36.40 ^d	17.53 ^{de}	34.22 ^b	8.25 ^{dc}	18.50 ^d	10.09 ^c
T3	6.68 ^a	14.52 ^g	10.29 ^f	8.50 ^f	17.70 ⁿ	6.18 ^g	10.37 ⁿ	5.36 ^g
T4	6.79 ^a	20.72 ^f	20.69 ^{te}	17.88 ^{dcg}	26.83 ^{de}	8.77 ^o	14.61 ^{def}	8.46 ^{def}
T5	6.75 ^a	33.74 ^c	25.04 ^d	19.95 ^d	30.48 ^c	8.59 ^d	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 ^{ig}	18.53 ^{dc}	24.89 ^{ef}	7.68 ^{dc}	13.37 ^{gf}	7.92 ^{ef}
T8	6.73 ^a	33.20 ^c	21.79 ^e	19.36 ^d	28.66 ^{cd}	8.61 ^d	15.65 ^{de}	9.03 ^{cd}
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 ⁿ	16.86 ^{cd}	23.89 ^g	7.61 ^{cd}	13.58 ^{ig}	7.67 ^{ef}
T11	6.78 ^a	27.41 ^d	15.98 ^{ng}	17.60 ^{cd}	26.37 ^e	7.93 ^{dc}	14.96 ^{def}	8.50 ^{def}
T12	6.67 ^a	31.62 ^c	28.18 ^c	18.82 ^{dc}	29.99 ^c	8.63 ^d	16.36 ^{cd}	9.69 ^{cd}
T13	6.82 ^a	22.62 ^{ef}	15.37 ⁿ	15.44 ^e	22.6 ^g	7.53 ^{cd}	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 3.

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.

時期別 溶脫水中 Cl⁻의 濃度를 그림 5에서 살펴보면 전반적으로 無肥區에 비해 施肥區에서 시험기간동안 높은 濃度를 유지하였으며 時期別로는 施肥區에서는 施肥后 25일까지는 Cl⁻ 濃度가 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 濃度가 겨울부터 여름까지 增加하였고 여름부터 가을까지 낮은 濃度를 유지하다가 다시 높아지는 傾向을 보였는데, 이는 窒酸態窒素 變化와 같은 원인으로 사료된다고 하였다. 柳(1988)는 土壤水分條件에 따른 施肥養分の 移動에 관한 시험에서 施肥 1.5개월 후에는 Cl 이온의 中心移動 깊이가 32.3cm, 3.5개월 후에는 76.3cm로 移動되었다고 보고하고 있어 土壤水の 移動에 따라 Cl 이온도 빠른 속도로 下向移動되는 것으로 나타났다.

Table 15. Leaching loss(kg/10a) of anions and cations during the experiment at 13 treatments.

Treatment	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²
T1	4.97 ^{cde}	8.69 ^d	4.78 ^d	7.73 ^d	2.09 ^a	4.47 ^d	2.34 ^d
T2	7.26 ^d	13.47 ^a	5.91 ^a	12.21 ^a	2.98 ^d	6.69 ^a	3.97 ^a
T3	3.98 ^e	3.01 ^g	2.24 ⁱ	4.59 ^{ng}	1.58 ^{dc}	2.83 ^{cde}	1.51 ^h
T4	4.60 ^{de}	4.72 ^e	3.74 ^{cde}	5.33 ^g	1.68 ^{dc}	3.03 ^{cde}	1.82 ^{gh}
T5	7.05 ^d	5.54 ^{ea}	4.04 ^{cde}	5.90 ^{ca}	1.66 ^{dc}	3.27 ^{cde}	1.97 ^{ef}
T6	12.53 ^a	7.86 ^{cd}	4.38 ^{bc}	7.37 ^{bc}	1.93 ^{bc}	3.07 ^{cde}	3.37 ^b
T7	5.21 ^{cde}	4.30 ^{ef}	3.65 ^{def}	4.89 ^g	1.49 ^{de}	2.67 ^{de}	1.68 ^{gh}
T8	6.39 ^{cd}	4.86 ^e	3.45 ^{efg}	5.52 ^{ge}	1.61 ^{dc}	3.00 ^{dc}	1.90 ^{efg}
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 ^{gh}	4.65 ^{gh}	1.42 ^{de}	2.57 ^{de}	1.58 ^{gh}
T11	4.72 ^{de}	3.35 ^g	3.04 ^{gh}	4.69 ^{gh}	1.40 ^{de}	2.63 ^{de}	1.63 ^{gh}
T12	7.22 ^d	6.65 ^{cd}	4.27 ^{bcd}	6.46 ^{cde}	1.80 ^{bcd}	3.49 ^{bcd}	2.19 ^{de}
T13	4.08 ^e	3.08 ^g	2.53 ^h	3.71 ^h	1.20 ^e	2.05 ^e	1.28 ⁱ
CV(%)	10.31	12.55	9.67	9.23	12.30	15.96	8.78

^a : See Table 3.

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

Adriano 等(1972)은 염소이온이 無機化作用을 받아 생성된 窒酸態窒素과 같이 거의 類似한 속도로 빠르게 下向移動하여 地下水를 오염시킬 수 있다고 보고하고 있다.

3) NO₃-N

일반적으로 地下水가 오염되어 가는 과정에서 窒酸態窒素은 검출빈도가 가장 높은 물질 중에 하나이다(Somasundaram 等, 1993).

溶脫水中 NO₃-N의 平均濃度는 표 14에서 보는 바와 같이 無肥栽培區(T3)에서 10.3mg/ℓ 로 가장 낮았으며, 增量區(T6, T9)가 39.8~40.8mg/ℓ 로 높게 나타났다.

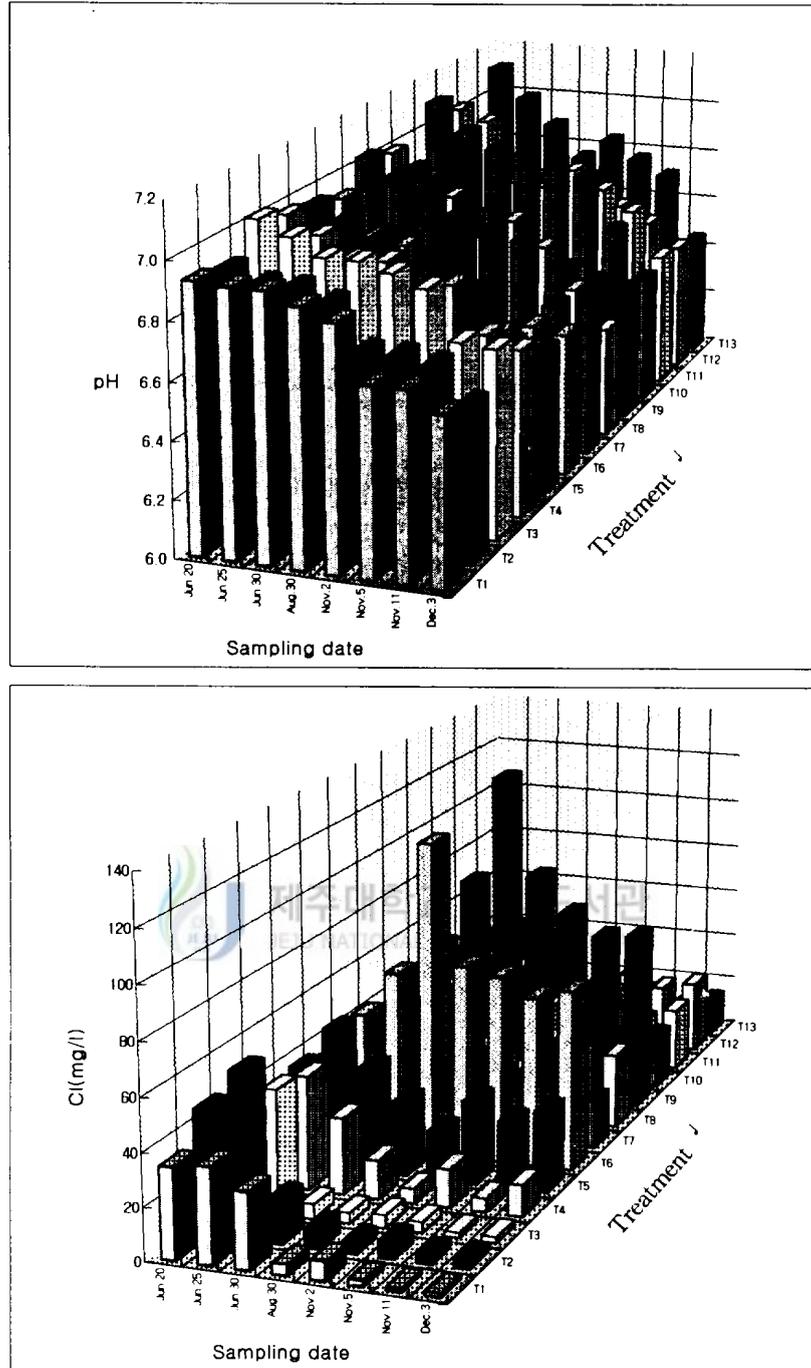


Fig. 5. pH and Cl, NO₃-N, SO₄, Ca, Na, K and Mg ion concentration of leachates on various sampling dates at 13 treatments.

* : See Table 3.

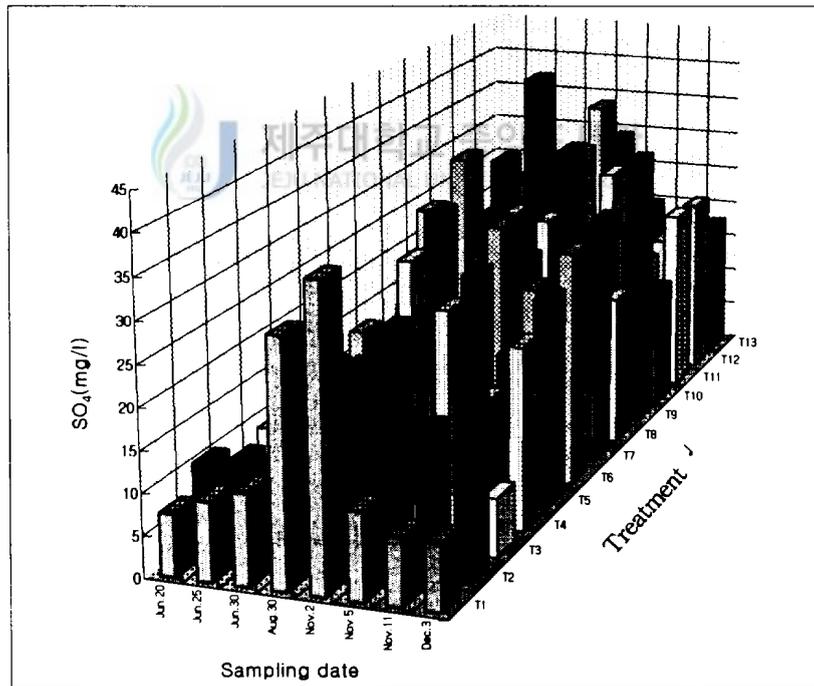
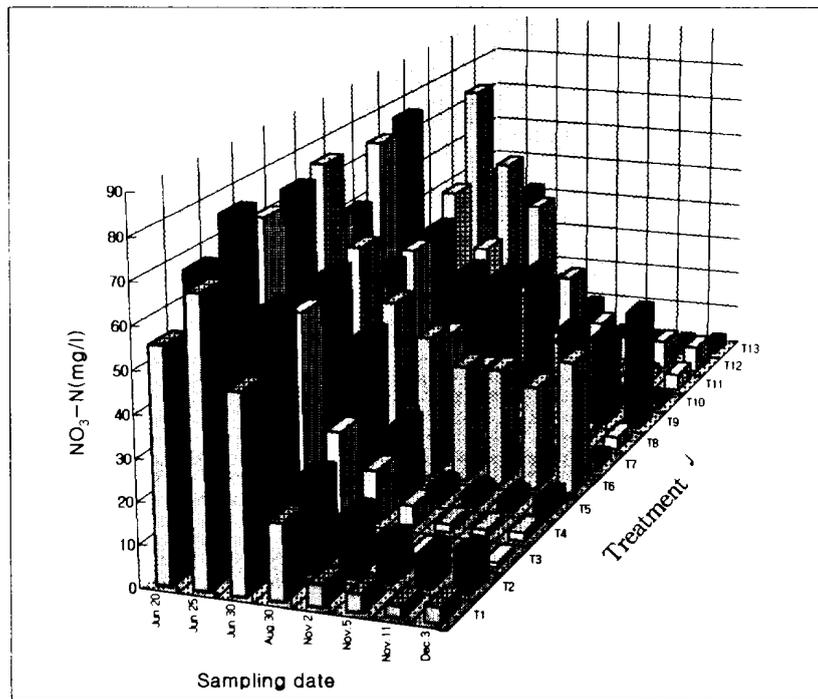


Fig. 5. (Continued).

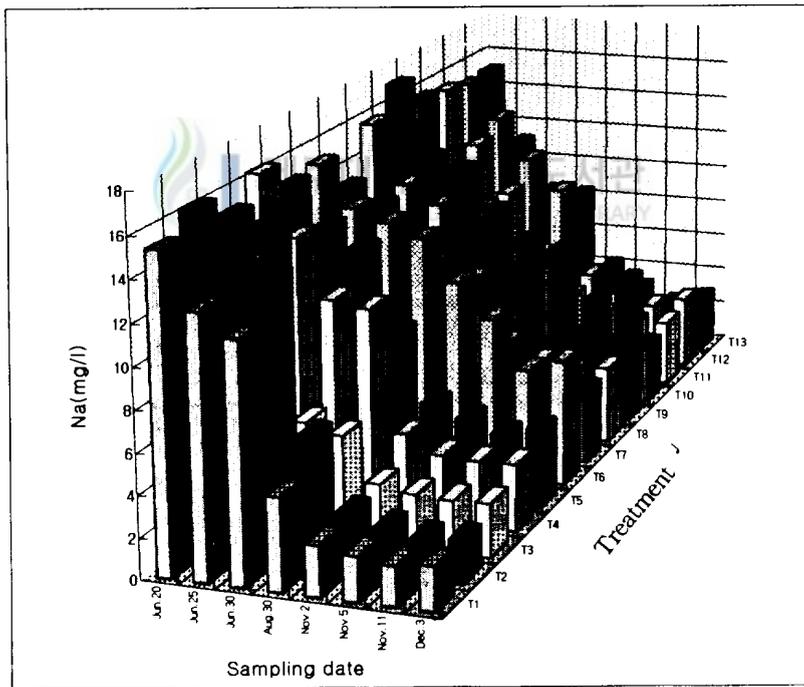
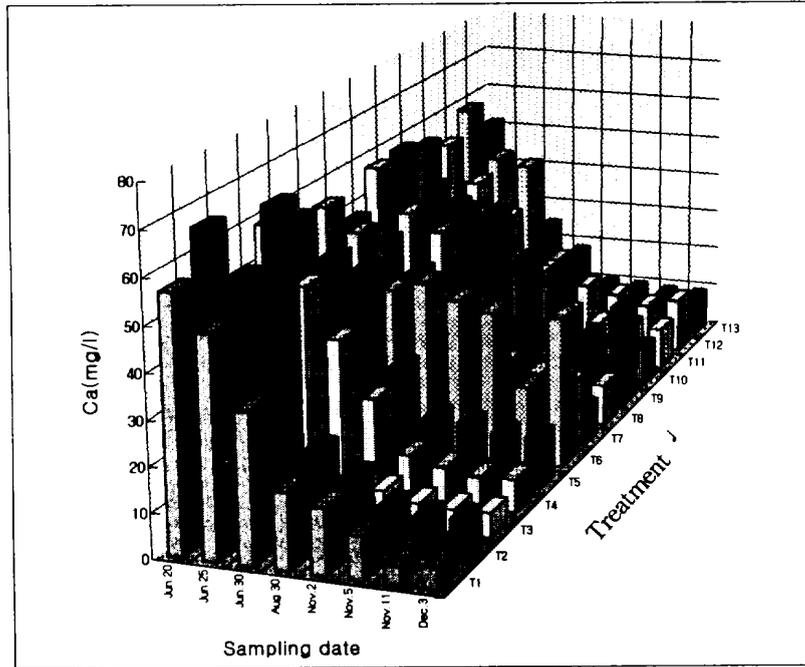


Fig. 5. (Continued).

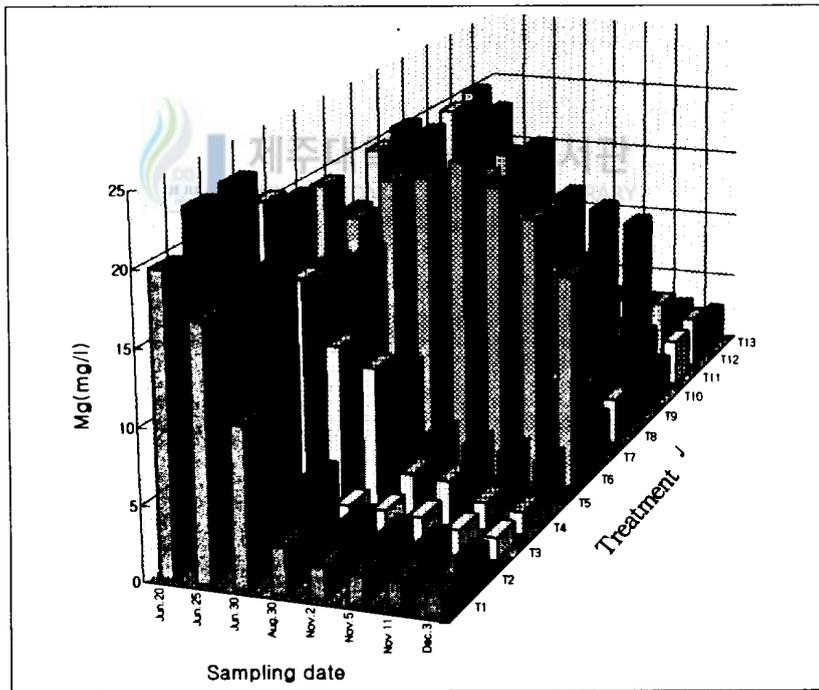
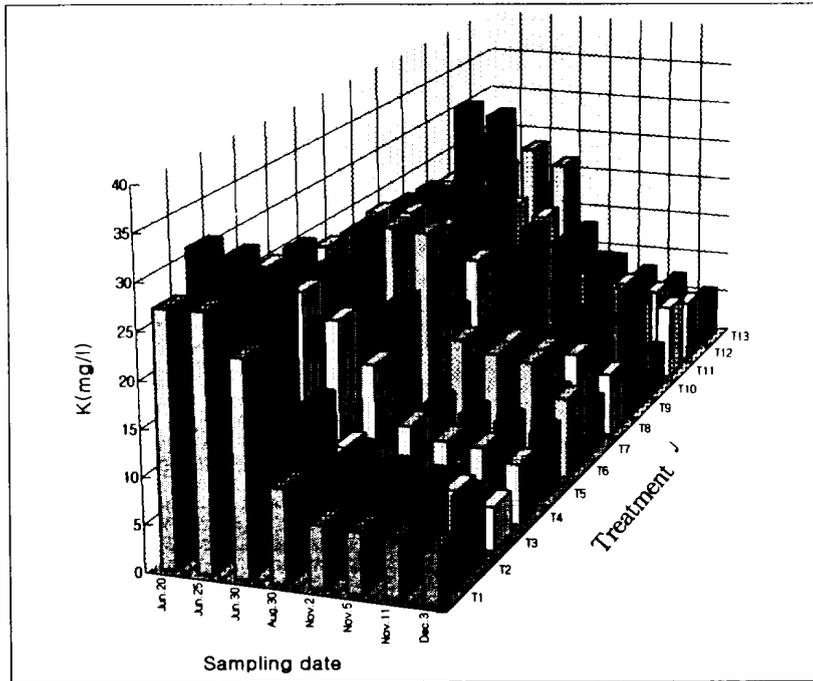


Fig. 5. (Continued).

그러나 窒素가 施用되지 않은 無肥區(T1, T2)의 平均濃도가 普肥區(T5, T8)보다 높게 나타났다. 無肥區(T1, T2)에서 溶脫水의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃도가 높은 것은 地上部에 植物體가 없으면 施肥된 窒素가 無機化되어 생성되는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 을 吸收, 除去하지 못하기 때문이다(尹, 1994). Low와 Armitage, 1970; Ryden 等, 1983)은 土壤에서 有機態窒素가 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 되는 無機化 作用은 식물의 窒素要求도와는 무관하다고 보고하고 있다. 일반적으로 土壤으로부터의 養分の 溶脫은 地上部에서의 증발산량에 비하여 降雨量이 많을 때 심하게 일어나며, 降雨量이 많을수록 土壤으로부터 溶脫되는 물의 量도 많아져 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 溶脫은 降雨量과 正의 相關을 갖고서 溶脫된다(Dancer, 1975).

施肥量別로는 增肥할수록 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 濃도는 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.

이와 같은 結果는 施用된 窒素가 옥수수 및 감자의 生育에 미치는 영향과 밀접한 關係가 있기 때문인 것으로 사료된다. 즉 窒素施肥量이 普肥(標準)量까지는 增加될수록 乾物收量도 비례적으로 增加하고(표 8, 9) 이에 따라 作物體의 窒素吸收量도 增加(표 10, 11, 12)하는 이유로 설명된다.

溶脫時期別로는 施肥以前 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃도가 $37.5\text{mg}/\ell$ 이었으나 施肥後 20일 경과한 6월 20일에는 대부분의 施肥區에서 $45\sim 75\text{mg}/\ell$ 까지 增加하였다가 이후 계속적으로 濃도가 낮아졌으며, 감자 生育후기인 11월 이후에는 모든 處理區에서 濃도가 $10\text{mg}/\ell$ 이하로 급격히 낮아졌다.

Song 等(1996) 및 Oh 等(1996)에 의하면 제주도 地下水 및 上水道 水質調査에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃도가 겨울에서 여름까지 계속 增加하다가 여름부터 가을까지 서서히 濃도가 낮아지는 傾向을 나타내었고, 조사대상 98개소의 地下水 상수원중

NO₃-N 濃도가 먹는 물 수질 기준인 10mg/ℓ를 1회이상 초과한 관정수가 '95년도 30개소, '96년도에 19개소라고 보고하고 있다.

農耕地에서는 NO₃-N 濃도의 月變化는 작물이 생육하는 여름에 濃도가 낮고 겨울에 濃도가 높다고 보고(Weil 等, 1990)하였는데, 본 조사에서 이들과 차이를 보이는 것은 土壤調查가 아닌 溶脫水中의 濃도를 調查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.

Holland와 During(1977), Ball 等(1979)은 施肥後 窒酸化 作用이 4~12일 후에 상당량 발생하였다고 보고하고 있으며, 柳(1988)는 溶脫量 試驗에서 시험 시작 3.5개월 후에는 NO₃-N 量이 매우 적어졌고 NO₃-N은 대부분이 50cm이하 土壤에 분포하였으며 최종 수확기인 5.5개월 후에는 극히 적은 量만이 토양에 남아 있다고 보고하고 있어 植物體에 의한 吸收量이 계속적으로 增加되고 植物體에 吸收되지 못한 量은 시간이 경과될수록 降雨에 의해 溶脫되는 것으로 보인다.

溶脫된 물의 量과 溶脫水中의 NO₃-N 濃도를 곱하여 算出した NO₃-N 溶脫總量은 표 15에서 보는 바와 같이 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-N을 植物이 吸收, 除去함으로 溶脫을 방지하는 효과를 갖는 것으로 해석할 수 있다(Low와 Armitage, 1970; Edelhar 等, 1984). 裸地에서는 식생이 없으므로 無機化된 NO₃-N은 식물에 의하여 吸收될 수 없고 NO₃-N은 土壤粒子에 의한 보유력이 약하므로 쉽게 溶脫될 수 있다. 더욱이 모래함량이 많은

사양토는 降雨時에 대공극을 통한 土壤水의 下向移動(Scotter, 1978; Tyler 等, 1977)이 크고 이때에 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 쉽게 溶脫될 잠재성이 크기 때문이다.

또한 無肥栽培區(T3)의 總溶脫量이 $3.0\text{kg}/10\text{a}$ 인 반면 窒素少肥區(T4), 普肥區(T5)가 $4.7\sim 5.5\text{kg}/10\text{a}$ 이었으며, 窒素少肥 水溶液區(T10)는 $3.1\text{kg}/10\text{a}$, 普肥 水溶液區(T11)는 $3.4\text{kg}/10\text{a}$ 를 나타내어 少肥 및 普肥區에서는 施肥에 의한 $\text{NO}_3\text{-N}$ 溶脫量은 거의 없는 것과 같은 結果를 보였다.

이는 適正量의 窒素施肥는 作物의 生育을 촉진시키고 作物의 窒素吸收率을 높여 深土層으로의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 溶脫을 防止하는 積極的 方法이라고 생각되며 이러한 推定은 窒素施肥量別 옥수수 및 감자의 乾物收量이 施肥量中의 窒素吸收率이 높은 반면 溶脫量이 적었던 水溶液施肥區(T10, T11)가 吸收率은 낮고 溶脫量이 많은 增量區(T6, T9)와 큰 차이가 없다는데서 뒷받침되고 있다.

Watt 等(1991)과 Petrovic(1990)도 窒素施用量 增加는 土壤으로부터 溶脫되는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 增加를 초래한다고 보고하고 있고, Whitehead 等(1981)은 土壤 殘存 窒素量을 줄이는 것이 窒素吸收率을 증진시키고 窒素溶脫에 의한 損失을 줄일 수 있다고 보고하고 있다. 이러한 結果를 종합해 볼 때 植物에 의한 土壤中의 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의 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 최소화시키고 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.

4) SO_4^{-2}

SO_4^{-2} 의 平均 溶脫濃度는 處理區別로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 類似한 양상을 보여 無肥區(T1, T2)가 $15.7\sim 17.5\text{mg}/\ell$ 로 無肥栽培區(T3)보다 높은 濃度を 나타내고 있

으며, 施肥水準別로는 多肥할수록 溶脫濃도가 높아져 增量區(T6, T9)는 25~26mg/ℓ의 濃도를 보였다. SO_4^{-2} 의 總溶脫量은 無肥無栽培 除草區(T2) > 無肥放任區(T1)에서 많은 量이 溶脫되었다. 溶脫時期別로는 그림 5에서 보는 바와 같이 裸地無肥區(T1, T2) 및 施肥區 모두 溶脫水量이 많았던 시기에 SO_4^{-2} 의 濃도도 높아지는 경향을 보여 降雨時 裸地區에서의 溶脫水量이 많아짐에 따라 施肥區보다 總溶脫量은 많아진 것으로 보인다. Oh 等(1996)은 제주도 상수도 수질 조사에서 상수원중 황산이온의 平均濃도는 3~10mg/ℓ로 보고하였고, 유 等(1991)은 海水의 영향을 받은 地下水에서 SO_4^{-2} 濃도는 매우 높게 나타난다고 보고하고 있어 앞으로 제주도에서 地下水의 SO_4^{-2} 에 의한 汚染은 施肥에 의한 것보다 地下水位가 낮아질 경우 海水侵入에 의한 汚染이 우려가 큰 것으로 보인다.

5. 溶脫水中 Ca^{+2} , Na^+ , K^+ , Mg^{+2} 濃度 및 溶脫量

1) Ca^+

溶脫水中의 Ca^+ 의 濃도는 표 14에서 보는 바와 같다. 處理에 따른 Ca^+ 의 溶脫 平均濃도는 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도는 높아지는 것으로 나타났다. 또한 溶脫水中 Ca^+ 의 濃도가 높은 處理區는 T9 > T6 > T2 處理 順으로 나타나고 있어 $\text{NO}_3\text{-N}$ 에서와 類似的한 形態를 보였다.

時期別 Ca^+ 의 溶脫程度는 그림 5에서 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 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 類似的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 촉진되

고 Ca^+ 의 吸收도 窒素가 多量施用된 處理區에서 增加함으로서 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.

2) K^+

K^+ 의 溶脫水中 平均濃度도 Ca^{+2} 에서와 비슷한 形態를 보이고 있어 無肥栽培區(T3)가 $10.4\text{mg}/\ell$ 로 가장 낮았던 반면 窒素·堆肥 增量區(T9)가 $23.9\text{mg}/\ell$ 로 높게 나타났다.

溶脫時期別로는 옥수수 생육 중반인 7월 30일 이후 溶脫水中 K^+ 의 濃도가 급격하게 낮아져 감자 생육 중기인 11월 이후에는 K^+ 의 濃도가 미미하여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 에서와 類似한 傾向을 보였다.

加里의 總溶脫量에 窒素普肥 密植區(T13)가 $2.1\text{kg}/10\text{a}$ 로 無肥栽培區(T3)보다도 낮아진 반면 無肥放任區(T1)에서는 $4.5\text{kg}/10\text{a}$ 가 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도가 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.

3) Na^+ , Mg^{+2}

溶脫水中 Na^+ 및 Mg^{+2} 의 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.

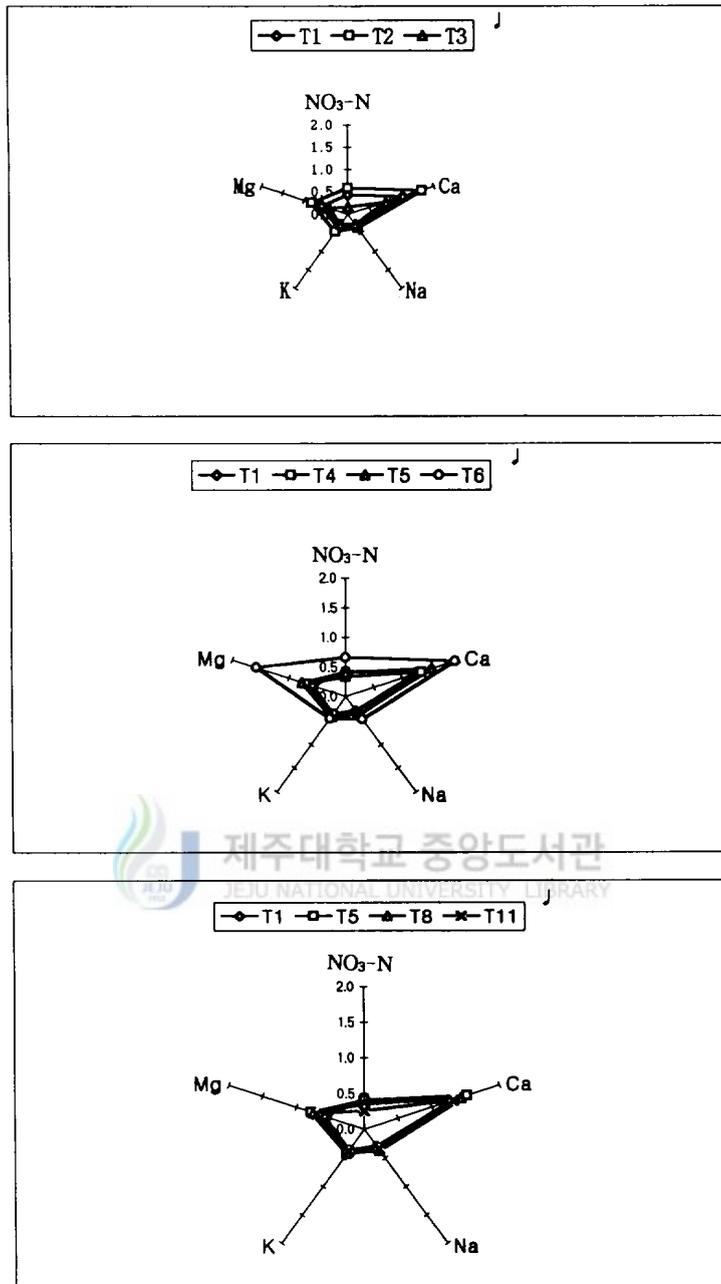


Fig. 6. Comparative diagram between equivalents of $\text{NO}_3\text{-N}$ and cations in leachate at 13 treatments.

∴ : See Table 3.

Na^+ 는 외부로부터 공급된 양이 전혀 없어 土壤으로부터 유래된 것으로 推定되고 Mg^{+2} 또한 施肥에 의해 공급된 양이 미미하였음에도 溶脫水中의 濃度 및 溶脫總量이 無肥區(T2, T1)에서 높고 많은 것은 地上部 植生이 없었던 裸地에서 總溶脫水量이 增加함에 기인한 것으로 생각되며 施肥가 된 作物栽培區는 土壤으로부터의 吸收가 增加되어 상대적으로 溶脫水 濃度 및 總溶脫量이 減少한 것으로 생각된다.

6. 溶脫水中 이온의 當量值에 의한 比較

處理에 따른 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 陽이온간의 특성을 파악하기 위해 각 이온들의 평균 濃度を 當量值(meq/l)로 換算하여 그림 6에 나타내었다.

無肥放任區(T1), 無肥無栽培 除草區(T2), 無肥栽培區(T3)간의 當量值 比較에서는 溶脫水中 陽이온의 濃度 및 溶脫量이 많았던 Ca^{+2} 의 當量值가 가장 높고 다음으로 Mg^{+2} 順으로 높게 나타났다. 반면 無肥放任區(T1)와 窒素 少肥區(T4), 普肥區(T5), 增量區(T6)와의 比較에서는 Ca^{+2} 의 當量值가 가장 높게 나타났고, 施肥水準別로는 T6>T5>T4>T1 處理區 順으로 나타났다.

無肥放任區(T1)와 窒素普肥區(T5), 窒素·堆肥 普通量區(T8), 窒素普肥 水溶液區(T11)간에 있어서는 비슷한 傾向을 보였으나 T11區가 조금 낮은 것으로 調査되었다.

Song 等(1996)은 제주 地下水의 수질 특성 조사 시험에서 地下水中の Ca^{+2} 의 當量值가 높은 것은 窒酸態窒素 濃도와 비례하여 높아지는 것으로 이는 地上 汚染物質인 肥料, 畜産廢水 等の 有機物汚染에 起因한 것으로 보고하고 있다. 본 시험에서도 溶脫水中 Ca^{+2} 의 當量值가 높게 나타나고 있어 제주지역의 火山灰土 農耕地에서 過多施肥로 인한 植物體 吸收 殘餘分이 土壤深土層을 거쳐 地下水로 溶脫될 潛在性이 있는 것으로 보여 施肥養分이 土壤內의 殘存量을 最小化(Prince 等, 1988:

Johnston, 1987)하여 窒素效率을 增加시키는 方案을 모색해야 할 것이다.

7. NO₃-N과 pH 및 陽, 陰이온간의 相關

NO₃-N과 溶脫量, pH 및 陽·陰이온간의 相關關係를 표 16에서 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 速度가 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 汚染源에 관한 試驗에서 δ¹⁵(‰) 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.

Table 16. 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-N은 Cl⁻, SO₄⁻² 등의 음이온과 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.

이와 같은 結果로 볼 때 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됨으로써 耕作層에서의 식물에 필요한 養分の 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 可能性이 있다.

8. 試驗後 土壤中の pH 및 置換性 Ca, Na, Mg, K의 變化

시험종료후 土壤 10~40cm 깊이의 이온의 變化를 표 17 및 18에서 살펴보면 pH는 각 處理間에 統計的인 有意性은 보이지 않았지만 각 處理 공히 10~20cm 보다 20~40cm의 深土層에서 pH가 다소 높아진 것으로 나타났으며 施肥量이 增加될수록 pH는 낮아지는 추세를 보였다.

尹(1994)은 밭토양중 豚糞施用으로 인해 有機態窒素의 無機化作用으로 NO₃-N 濃도가 增加될 뿐만 아니라 이 과정에서 생성된 H⁺이온은 土壤 pH를 낮추는 原因이 된다고 보고하고 있다. 시험후 土壤이 總窒素含量도 각 處理間에 統計的인 有意性은 인정되지 않았으나, 10~20cm보다 20~40cm 土壤中の 窒素含量이 보편적으로 높은 것으로 調査되었다.

肥料로 施肥된 용성인비 및 염화가리에 의해 土壤에 공급되었던 Ca 및 K, Mg의 含量은 多肥區일수록 높아져 土壤中에 殘存量이 많은 것으로 調査되었으나 施肥가 되지 않았던 Na는 일정한 傾向을 보이지 않았다.

Table 17. pH and total nitrogen concentration of soil after the experiment at 13 treatments.

Item Soil depth(cm) Treatment	pH		T-N (%)	
	10-20	20-40	10-20	20-40
T1	5.88 ^a	6.02 ^a	0.24 ^a	0.24 ^a
T2	5.83 ^a	6.03 ^a	0.23 ^a	0.24 ^a
T3	6.21 ^a	6.48 ^a	0.22 ^a	0.23 ^a
T4	6.03 ^a	6.40 ^a	0.23 ^a	0.24 ^a
T5	5.97 ^a	6.30 ^a	0.23 ^a	0.24 ^a
T6	5.81 ^a	6.02 ^a	0.25 ^a	0.26 ^a
T7	6.14 ^a	6.43 ^a	0.24 ^a	0.24 ^a
T8	6.01 ^a	6.29 ^a	0.24 ^a	0.25 ^a
T9	5.92 ^a	6.08 ^a	0.26 ^a	0.27 ^a
T10	6.15 ^a	6.22 ^a	0.24 ^a	0.24 ^a
T11	6.11 ^a	6.11 ^a	0.24 ^a	0.25 ^a
T12	6.12 ^a	6.42 ^a	0.24 ^a	0.25 ^a
T13	6.39 ^a	6.63 ^a	0.23 ^a	0.24 ^a
CV(%)	11.58	9.68	11.93	12.48

¹ : See Table 3.

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.

깊이별로는 置換性 Ca, K, Mg 모두 10~20cm의 表層보다 20~40cm의 深土層의 含量이 높게 나타나 植物體에 의해 吸收되고 남은 殘存量은 作土層이하로 移動되어 蓄積되고 深土層으로 溶脫되고 있음을 보여주고 있다. Hoyt와 Hennig(1982).

Doerge와 Gardner(1985)는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 肥料를 施用했을 때 窒酸化 作用으로 생긴 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 溶脫됨에 따라 置換性 Ca의 溶脫이 많아졌다고 보고하고 있다.

이와 같은 結果로 미뤄 볼 때 作物體에 吸收되지 못한 肥料成分들은 土壤에 殘存해 있으면서 降雨 等に 의해 深土層으로 점차적으로 溶脫되는 것으로 推定되는 바 深土層 溶脫을 줄이는 適正施肥策이 필요하다고 본다.

Table 18. Exchangeable cations(me/100g) of soil after the experiment at 13 treatments.

Item Soil depth(cm) Treatment	Ca		Na		K		Mg	
	10-20	20-40	10-20	20-40	10-20	20-40	10-20	20-40
T1	1.21 ^{ab, j}	1.30 ^{abcc}	0.22 ^a	0.28 ^a	0.43 ^d	0.62 ^d	0.58 ^a	0.56 ^c
T2	1.08 ^{ab}	1.24 ^{bcc}	0.23 ^a	0.25 ^{ab}	0.49 ^{bc}	0.57 ^{bc}	0.51 ^{abc}	0.65 ^{abc}
T3	1.33 ^a	1.45 ^{ab}	0.23 ^a	0.27 ^a	0.51 ^{bcd}	0.54 ^{cde}	0.60 ^a	0.72 ^{ac}
T4	1.27 ^a	1.06 ^d	0.23 ^a	0.21 ^d	0.38 ^{de}	0.45 ^{de}	0.58 ^a	0.51 ^c
T5	1.18 ^{ab}	1.27 ^{abcc}	0.22 ^a	0.25 ^{ab}	0.39 ^{bcd}	0.54 ^{bcd}	0.58 ^a	0.61 ^{abc}
T6	0.79 ^c	1.54 ^a	0.23 ^a	0.27 ^a	0.41 ^a	0.85 ^a	0.40 ^c	0.75 ^a
T7	1.27 ^a	1.25 ^{bcd}	0.23 ^a	0.25 ^{ab}	0.29 ⁱ	0.41 ⁱ	0.60 ^a	0.55 ^c
T8	1.20 ^{ab}	1.27 ^{abcc}	0.22 ^a	0.28 ^a	0.40 ^{bc}	0.57 ^{bc}	0.60 ^a	0.62 ^{abc}
T9	0.90 ^c	1.41 ^{ab}	0.23 ^a	0.29 ^a	0.47 ^d	0.62 ^d	0.42 ^{bc}	0.73 ^{ab}
T10	1.24 ^{ab}	1.31 ^{abcc}	0.24 ^a	0.28 ^a	0.39 ^{ef}	0.42 ^{ef}	0.56 ^a	0.61 ^{abc}
T11	1.12 ^{ab}	1.36 ^{abc}	0.24 ^a	0.29 ^a	0.41 ^{cde}	0.48 ^{cde}	0.58 ^a	0.74 ^{ab}
T12	1.17 ^{ab}	1.22 ^{abc}	0.22 ^a	0.25 ^{ab}	0.45 ^{cde}	0.46 ^{cde}	0.54 ^{abc}	0.59 ^{bc}
T13	1.23 ^{ab}	1.41 ^{ab}	0.24 ^a	0.29 ^a	0.35 ⁱ	0.37 ⁱ	0.58 ^a	0.56 ^c
CV(%)	8.92	11.07	13.97	9.92	12.82	11.86	9.96	8.02

^j : See Table 3.

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

9. 施肥窒素의 吸收, 溶脫, 土壤殘存量 推定

肥料로 施用된 窒素肥料의 植物體에 의한 吸收率, 降雨에 대한 溶脫率, 土壤內 殘存率을 推定하여 圖式化한 結果는 그림 7에서 보는 바와 같다.

各 處理에 따른 옥수수 및 감자의 전체적인 窒素 吸收量은 표 10, 11, 12에서 보는 바와 같이 施肥量이 많아질수록 增加하였으나 肥料로 施用된 窒素의 植物體 吸收率은 窒素少肥區(T4)에서 54.9%로 가장 높게 나타났으며 窒素增量區(T6) 및 窒素·堆肥 增量區(T9)에서는 施肥에 의한 窒素 吸收率이 각각 34.0%, 31.1%로 낮은 것으로 調査되었다. 그리고 施肥 窒素吸收率이 가장 높았던 區는 窒素普肥 密植區(T13)로 總 施肥窒素의 60%를 吸收한 것으로 推定되었다.

降雨에 의한 施肥窒素의 溶脫率은 전체적으로 0.2%~8.7%로 나타나 적었으나, 窒素增量區(T6) 및 窒素普肥 疎植區(T12)에서는 溶脫率이 8%이상으로 나타나고 있다. 溶脫率이 가장 낮았던 處理區는 窒素普肥 密植區(T13) 및 窒素少肥 水溶液區(T10), 窒素普肥 水溶液區(T11)로 0.1~0.8%로 낮게 調査되었다. 施肥된 窒素가 深土層에 殘存된 窒素의 比率은 38.6~63.4%로 植物體 吸收 및 溶脫率에 비해 전반적으로 높은 것으로 나타났으며, 窒素施用量이 增加할수록 殘存率이 높아지는 傾向을 나타내었다.

Watts 等(1991)은 施用된 窒素量과 土壤條件, 灌溉施設 與否에 따라 0.6~22.8kg N/ha가 溶脫됨을 보고하였고, Omoti 等(1983)은 施用된 窒素의 5~20%가, Owens(1960), Mansell 等(1986)은 22%이상인 溶脫에 의해 損失되었다고 하였고, Owens(1960)은 140kg N/ha를 施用하였을 때 35%가, Smith 等 (1985)은 20~50%가 土壤에 殘存됨을 보고하였으며, Kissel 等 (1976)은 施用된 窒素의 20%가 미생물에 의하여 不動化됨을 보고하였다. 그러나 土壤에 殘存된 窒素率은 다음에 재배되는 식물에 의하여 이용될 가능성은 있으나 오히려 식물이 생육하지 않는 기간에 深土層으로 더욱 溶脫될 潛在性을 갖게 된다(Roth와 Fax, 1990; Liang 等 1991).

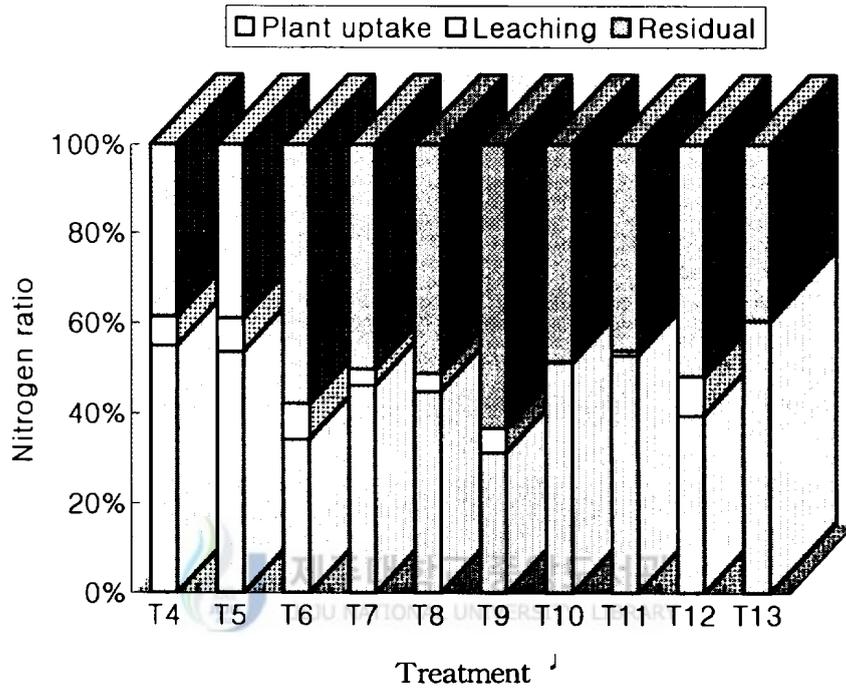


Fig. 7. Distributional proportion of applied nitrogen at 13 treatments.
 ↓ : See Table 3

임(1994)은 제주도 柑橘園의 施肥現況은 標準施肥를 하는 농가는 30%내외이고 대부분의 농가는 標準施肥基準의 2~3배 이상을 사용하고 있으며, 窒素質 및 加里質肥料가 특히 많이 사용되고 있고 磷酸質肥料도 표준시비에 비해 2배정도 더 사용되고 있다고 보고하고 있다. 1960년대 이후 化學肥料의 偏重使用으로 인하여 土壤酸性化가 가속화되고 人力不足과 惡性 勞動忌避로 深耕 및 有機物 投入이 부진하여 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 농업으로부터 발생하는 環境沮害 要因을 최대한 줄이고 삶의 기본 원천인 土壤을 건전하게 유지 보전하는 環境調和形 農業을 定着하기 위한 適正施肥量 算出이 무엇보다 중요할 것으로 생각된다.

試驗 2. 土壤 깊이에 따른 $\text{NO}_3\text{-N}$, 陽이온의

濃度 變化



시험용 포트에 20~120cm까지 각각 20cm 간격으로 Lysimeter를 매설한 후 窒素供給源인 尿素를 普肥(標準)량의 2배로 處理한 土壤에서 降雨時 Vacuum pump를 이용하여 강우시 浸透水를 채취하여 pH, 陽, 陰이온의 濃度を 調査한 結果는 그림 8, 9에서 보는 바와 같다.

1. pH 變化

5월 20일부터 11월 2일까지 5회 採水한 浸透水의 평균 pH는 그림 8에서 보는 바와 같이 40~80cm 깊이에서 높아지는 2次曲線的인 傾向을 보였다.

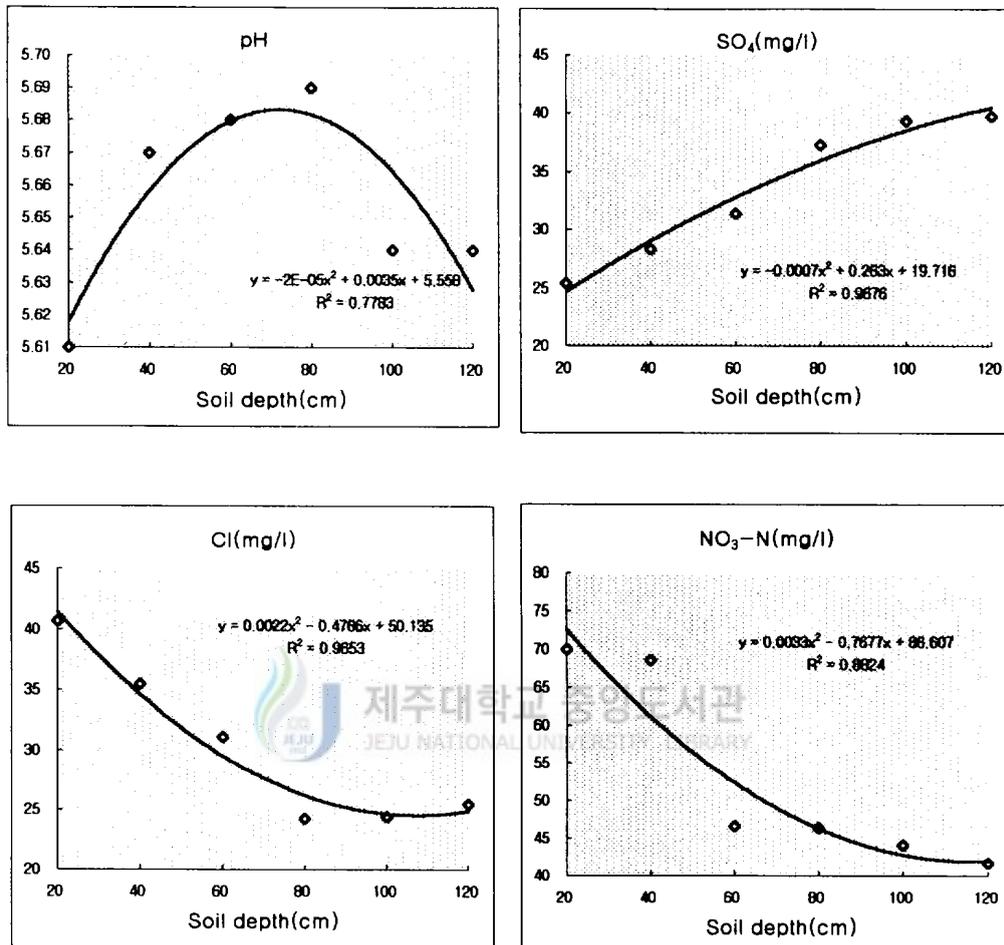


Fig. 8. pH and ion concentration of leachates taken at soil depths of 20 to 120cm.

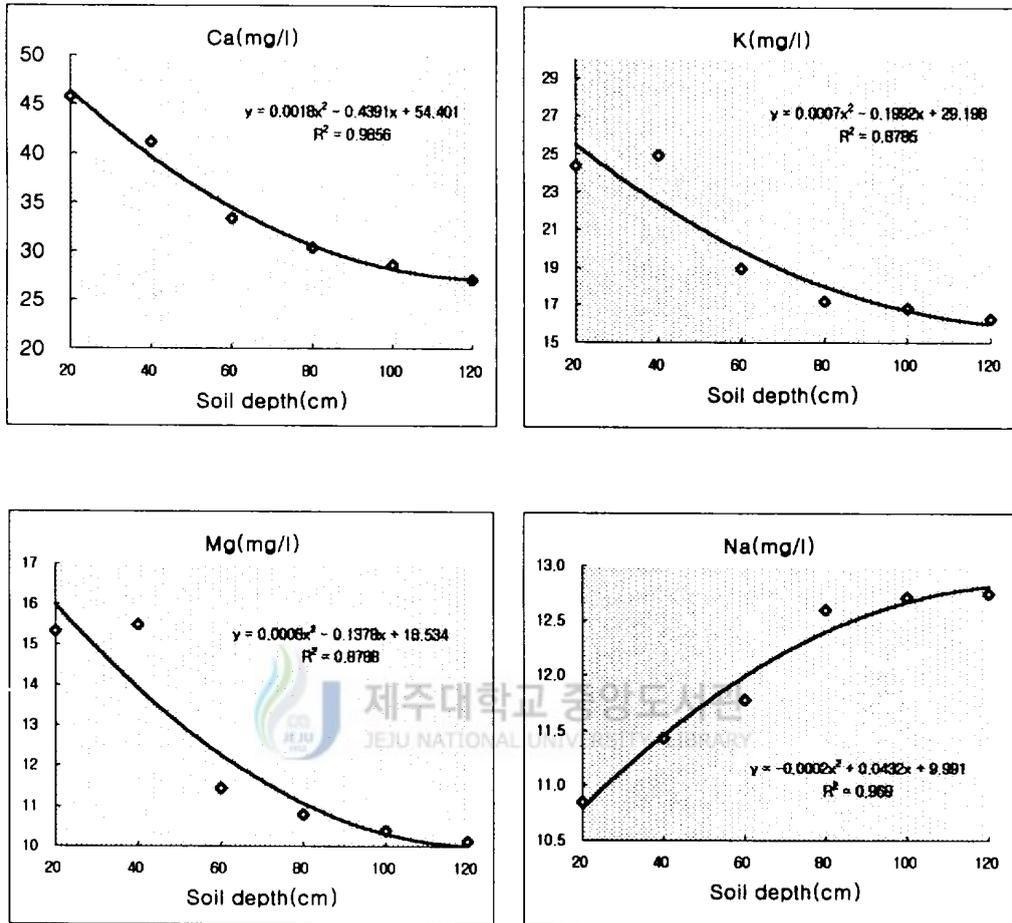


Fig. 8. (Continued).

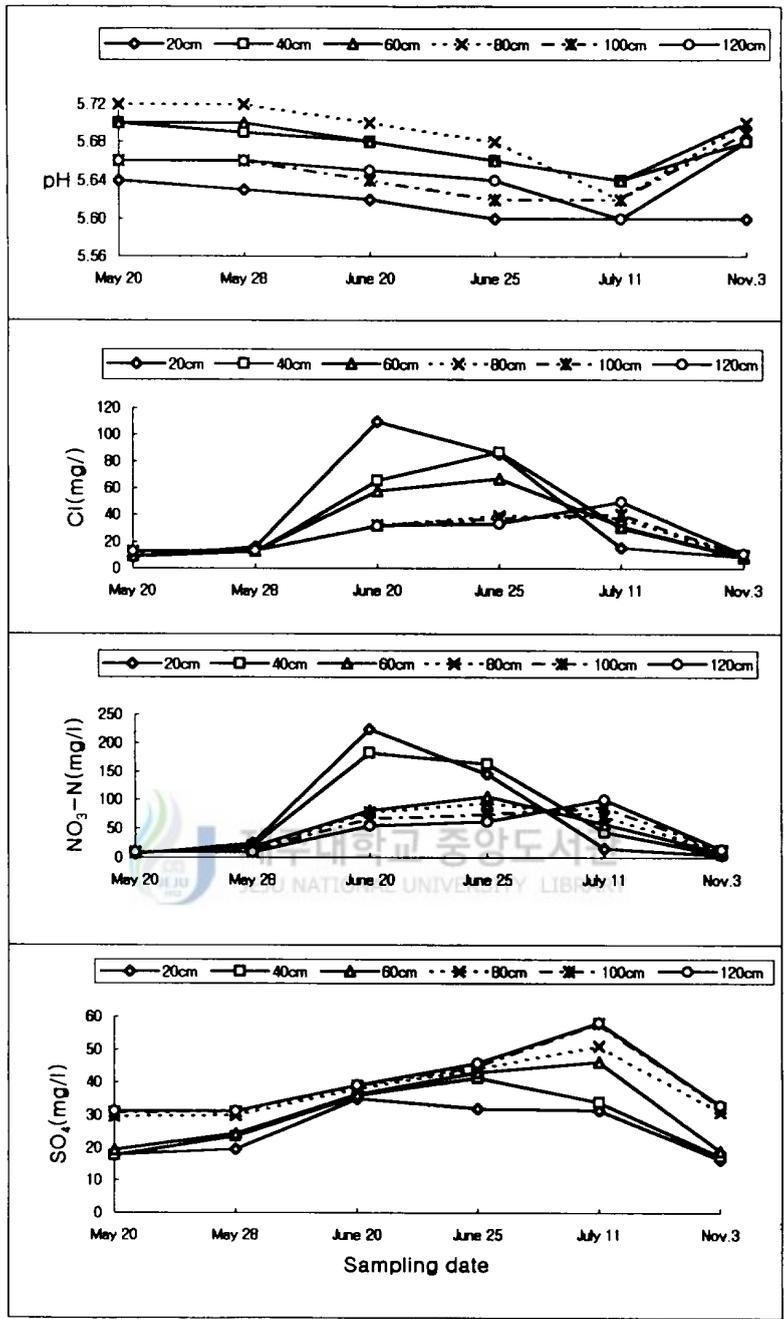


Fig. 9. pH and ion concentration of leachates taken from the lysimeter at soil depths of 20 to 120cm during the experimental period.

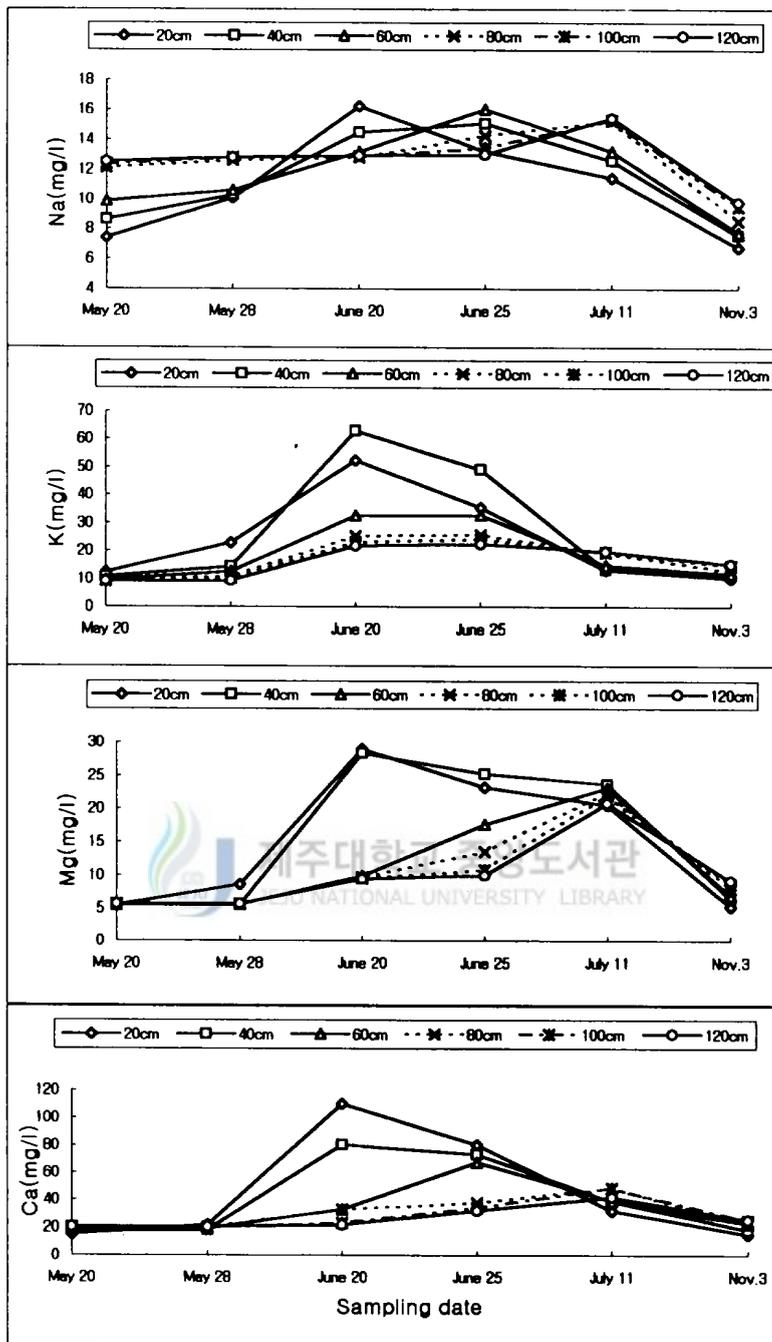


Fig. 9. (Continued).

그림 9에서 時期別로는 시험 시작 1개월 이후인 6월 20일 浸透水부터 pH가 施肥前 土壤보다 낮아지기 시작하여 1.5개월 후에는 현저하게 낮아지는 傾向이었다. 이는 尿素를 발토양에 施肥時 窒酸化作用이 進陟되면서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 발생량이 增加됨에 따라 土壤 pH가 낮아져 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 無機態窒素의 주종이 될 때는 시험전 土壤보다 더 낮아졌다는 Jolly와 Pierre(1977) 등 많은 연구자들의 보고한 것과 같은 현상이다. 하지만 시험시작 5개월 후에는 40cm이하의 深土層에서 pH가 다소 높아지는 傾向을 보였는데 이는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 溶脫速度가 빨라 深土下層으로 溶脫되고 상대적으로 移動速度가 느린 치환성칼슘에 의해 다소 상승한 것으로 생각된다.

이와 같은 결과는 토양수분 조건에 따른 시험에서 생육 중기에는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 下向 移動으로 深土의 pH가 시험전보다 낮아졌다가 생육 후기에 Cl^- 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 microplot(85cm) 외부로 移動되고, Ca^{+2} 및 Mg^{+2} 가 深土로 상당량 移動됨에 따라 深層으로 내려갈수록 pH가 다시 높아지는 傾向이었다는 柳(1988)의 보고와 일치하는 傾向이었다.

2. Cl^- 의 濃度 變化



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 8에서 보는 바와 같이 Cl^- 의 平均濃度는 6월 20일 浸透水中 20cm 깊이에 서 높게 나타난 후 토양 깊이가 깊어질수록 減少하는 추세를 보였다.

時期別로는 6월 20일부터 6월 25일 浸透水中 20~60cm의 깊이에서 濃度가 급격히 높아진 후 옥수수 수확 후인 11월까지 계속적으로 낮아지는 양상을 보였다. 1개월 후인 6월 20일에는 20cm 깊이에서 가장 높은 $109\text{mg}/\ell$ 의 濃度를 보였고, 1.5개월 후인 7월 11일에는 80~120cm의 深土 下層部 濃度가 20~60cm보다 높게 나타났으며, 5개월 후인 11월 11일에는 120cm의 深土에서 가장 낮아져 Cl^- 이 深土層으로 移動이 심하게 이뤄졌음을 보여주었다. 85cm 깊이의 microplot

를 이용한 灌水試驗에서 시험 시작 5.5개월 이후에는 폼트내 Cl^- 이 거의 존재하지 않았다는 柳(1988)의 보고로 볼 때 Cl^- 의 下向移動은 매우 빠르게 일어나 地下水로의 浸透 可能性을 보여주고 있다.

3. NO_3-N 의 濃度 變化

그림 8에서 보는 바와 같이 浸透水中 NO_3-N 의 平均濃度는 20~40cm 깊이에서 69~70mg/l로 높게 나타난 후 하층부로 내려갈수록 濃度가 낮아지는 傾向을 보였다($Y = 0.0033X^2 - 0.7677X + 86.607$). 時期別로는 시험 시작 1개월 후(6월 20일)부터 20~40cm 깊이에서 濃度가 급격하게 增加된 후 下向移動이 계속되어 1.5개월 후(7월 11일)에는 100~120cm에서 약간 높게 나타났다가 5개월 후에는 모든 깊이에서 施肥前 土壤과 비슷한 濃度로 낮아졌다.

본 시험에서 시비 1주일 후 5월 28일의 濃度에 비해 1개월 후 6월 20일의 NO_3-N 의 농도가 급격하게 높아진 것은 그 사이에 浸透水가 없어 질산화 작용이 급격하게 진행된 시점을 파악할 수는 없었으나, Nyborg와 Hoyt(1978), Rosengerg 等(1986), Hadas 等(1986)의 pH가 낮고 土層이 깊어질수록 質산화 작용이 느리게 일어났다는 보고 및 尿素를 10cm 土層에 施用했을 때 1.5개월이 지나서야 NO_3-N 이 처음으로 검출되었다는 柳(1988)의 보고 등을 종합해 볼 때 尿素를 10cm 내외의 깊이에 살포한 본 시험에서도 質산화 작용이 느리게 일어난 것으로 推定되어 尿素의 土壤施肥時 表層施肥보다도 深層施肥가 NO_3-N 溶脫防止에 유리한 것으로 생각된다.

4. SO_4^{-2} 의 濃度 變化

SO_4^{-2} 의 깊이별 平均濃度 變化는 토양 깊이가 깊어질수록 높아져 $Y = -0.0007X^2 - 0.263X + 19.716$ 의 2次回歸式을 보였다. 時期別로는 60cm이상의 깊

이에서 6월 20일부터 1.5개월 이후인 7월 11일까지 持續적으로 濃도가 증가하여 肥料에 의해 공급된 이온들과는 다른 변화 양상을 보였다.

5. Na^+ 의 濃度 變化

施肥에 의한 供給量이 없었던 Na^+ 의 土壤 깊이별 平均濃度는 深土層으로 갈수록 濃도가 높아지는 傾向을 나타내었다. 時期別로는 다른 이온에 비하여 濃度變化가 적었으며 集中降雨가 많았던 6월 20일부터 6월 25일 사이에 濃도가 일시 增加하는 현상을 보여 降雨 및 窒素質 肥料의 無機化作用으로 생성된 $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 의한 同伴溶脫에 의한 것으로 보인다.

6. K^+ 의 濃度 變化

염화가리에 의해 공급된 K^+ 의 토양 깊이별 平均濃度는 40cm 깊이에서 27mg/l로 높게 나타났으며 토양 깊이가 깊을수록 점차 濃도가 낮아지는 형태를 보였다. 時期別 變化는 그림 9에서 보는 바와 같이 시비 1개월 후부터 20~40cm 깊이에서 濃도가 增加하기 시작하여 1.5개월 후까지 비슷한 양상을 보였다.

5개월 후인 11월 2일의 浸透水中에서는 80cm 이하의 깊이에서 K^+ 의 濃도가 20~60cm 깊이에 비해 약간 增加하는 傾向을 보였다. 이처럼 1.5개월 이후에는 대부분의 土層에서 K^+ 의 濃도가 비슷한 水準이고, 그 후 全 土層에서 減少되고 있는 것은 K^+ 의 下向移動이 계속적으로 일어나 深土層으로 溶脫되고 植物體 生育이 왕성해지면서 植物體에 의한 K^+ 의 吸收量이 현저하게 增加되었기 때문으로 생각된다.

Mengel(1985)은 土壤中 K^+ 의 損失은 주로 溶脫에 의해 일어난다고 하였고, 尹(1994)은 CEC가 낮은 土壤에서 K^+ 의 溶脫이 쉽게 일어나는데, 특히 酸性土壤에서는 吸着된 Al이 K^+ 에 의해 쉽게 置換이 되지 않아 溶脫이 더욱 쉽게 일어난다고 하였다.

7. Mg^{+2} 濃度 變化

Mg^{+2} 는 施肥된 용성인비에 의해 일부 공급되어졌으며 시험기간중 깊이별 平均濃도가 20~40cm에서 높게 나타났고, 深土層으로 移動될수록 낮아지는 추세를 나타내었다. 時期別로는 6월 20일에는 20~40cm 깊이에서 28mg/ℓ 내외의 濃도로 增加하였으나, 1.5개월 후인 7월 11일에는 20~120cm 깊이에서 22mg/ℓ 내외로 下層部로의 移動은 심하게 이뤄지지 않은 것으로 나타났으며, 5개월 후인 11월 2일에도 80cm이상 深土層에서 약간 濃도가 增加하는 傾向을 보였다. 이는 施用량이 미미하여 土壤深層部로의 溶脫보다는 植物體에 의한 吸收량이 많아졌기 때문인 것으로 생각된다.

8. Ca^{+2} 의 濃度 變化

그림 8에서 보는 바와 같이 Ca^{+2} 의 平均濃도는 20cm 깊이에서 45mg/ℓ 로 높게 나타났으며, 深土層으로 내려갈수록 계속적으로 낮아졌다. 그림 9에서 보면 시험 시작 1개월 후의 20cm 깊이에서 110mg/ℓ 의 높은 濃도를 보인 후 점차 下向移動이 시작되어 1.5개월 이후에는 80cm이상 깊이의 Ca^{+2} 濃도가 높아지는 것으로 나타났으며 5개월 후의 깊이별 濃도는 시험 시작 전보다 약간 높아지는 傾向을 보였다.

Sumner 等(1986)은 $CaCO_3$ 을 施用했을 때 Ca 이온이 深土로 거의 移動하지 않았으며, Pavan 等(1984)은 Ca 이온의 下向移動을 위해서는 $CaCO_3$ 을 석고와 混合施用 해야 한다고 보고하고 있다. 그런데 본 시험에서는 肥料로 施用한 용성인비의 CaO의 下向移動이 비교적 많이 일어나 Hoyt와 Hennig(1982)이 NH_4-N 을 肥料로 施用했을 때 窒酸化作用으로 생긴 NO_3-N 이 溶脫됨에 따라 Ca 이온의 溶脫이 많아졌다는 보고와 類似한 傾向을 보였다.

9. 깊이별 浸透水中의 NO_3-N 과 陽, 陰이온과의 相關

깊이별 浸透水中의 NO₃-N과 pH, 陽, 陰이온과의 相關은 표 19와 같다.

Table 19. Correlation coefficients among pH and ion concentration of leachate taken from the lysimeters at soil depths of 20 to 120cm.

Sampling depth(cm)	Item	pH	Cl	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²
20	Cl	-0.161						
	NO ₃ -N	-0.102	0.995**					
	SO ₄ ²⁻	-0.386	0.461	0.777				
	Na ⁺	-0.168	0.900*	0.904*	0.929*			
	K ⁺	0.021	0.962**	0.978**	0.727	0.912*		
	Mg ⁺²	-0.362	0.862*	0.850*	0.990**	0.961**	0.807*	
	Ca ⁺²	-0.186	0.992**	0.991**	0.850*	0.935**	0.957**	0.909*
40	Cl	-0.438						
	NO ₃ -N	-0.288	0.957**					
	SO ₄ ²⁻	-0.674	0.924**	0.863*				
	Na ⁺	-0.558	0.927**	0.904*	0.986**			
	K ⁺	-0.139	0.900*	0.985**	0.769	0.830*		
	Mg ⁺²	-0.681	0.863*	0.862*	0.936**	0.928**	0.787	
	Ca ⁺²	-0.401	0.960**	0.990**	0.900*	0.926**	0.958**	0.922**
60	Cl	-0.615						
	NO ₃ -N	-0.712	0.990**					
	SO ₄ ²⁻	-0.953**	0.794	0.866*				
	Na ⁺	-0.763	0.911*	0.946**	0.892*			
	K ⁺	-0.417	0.969**	0.927**	0.637	0.797		
	Mg ⁺²	-0.992**	0.563	0.668	0.921**	0.718	0.359	
	Ca ⁺²	-0.729**	0.855*	0.897*	0.797	0.881*	0.755	0.738
80	Cl	-0.719						
	NO ₃ -N	-0.559	0.977**					
	SO ₄ ²⁻	-0.930**	0.921**	0.839*				
	Na ⁺	-0.595	0.813*	0.708	0.768			
	K ⁺	-0.459	0.890*	0.965**	0.709	0.511		
	Mg ⁺²	-0.993**	0.792	0.680	0.966**	0.667	0.538	
	Ca ⁺²	-0.939**	0.911*	0.835*	0.994**	0.723	0.721	0.970**

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

Table 19. (Continued).

Sampling depth(cm)	Item	pH	Cl	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺
100	Cl	-0.934**						
	NO ₃ -N	-0.890*	0.994**					
	SO ₄ ²⁻	-0.807	0.900*	0.905*				
	Na ⁺	-0.910*	0.787	0.735	0.773			
	K ⁺	-0.676	0.855*	0.883*	0.652	0.371		
	Mg ²⁺	-0.625	0.764	0.788	0.962**	0.654	0.518	
	Ca ²⁺	-0.688	0.789	0.796	0.969**	0.665	0.545	0.965**
120	Cl	-0.937**						
	NO ₃ -N	-0.920**	0.996**					
	SO ₄ ²⁻	-0.938**	0.969**	0.980**				
	Na ⁺	-0.933**	0.812	0.763	0.759			
	K ⁺	-0.502	0.766	0.791	0.704	0.304		
	Mg ²⁺	-0.860*	0.874*	0.899*	0.938**	0.644	0.573	
	Ca ²⁺	-0.843*	0.843*	0.877*	0.950**	0.605	0.588	0.932**

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



1) pH와 NO₃-N

pH와의 관계는 20~100cm까지의 모든 處理區에서 負의 相關傾向을 보였으며 특히 100cm이상의 深土에서 높은 負의 相關性을 보여 窒素施用으로 인한 無機化된 NH₄-N의 窒酸化가 진행됨에 따라 pH가 낮아진 것으로 보인다. 尹(1994)도 尿素施用 試驗에서 土壤에서의 窒酸化作用에 의해 NH₄-N이 NO₃-N으로 변하는 過程에서 1 mole의 암모니아성 窒素當 2 mole의 H⁺ 이온이 생성되므로 土壤에 NO₃-N의 濃度가 높을수록 H⁺ 이온의 增加로 土壤의 pH는 낮아지고 H⁺의 일부는 土壤粒子中の 陽이온과 置換되고 植物의 養分으로 이용되어지며 過剩의 이온들은 土壤水와 함께 深層部로 移動하게 되고 蓄積되어 있던 陽이온 및 窒酸化窒素는 降水 等に 의하여 地下水로 同伴溶脫되기 때문에 窒酸化窒素와 陽이온과의 관

계에 있어서도 일정한 相關性을 나타내는 것으로 보고하였다.

2) NO₃-N과 陰이온

NO₃-N과 Cl⁻과는 각 깊이에 따라 $r = 0.957^{**}$ 에서 $r = 0.996^{**}$ 까지 高度의 正의 相關性을 보여 比反應性인 Cl⁻은 NO₃-N과 移動性이 비슷(Hyun 等, 1996)하기 때문에 同一媒質下에서 地下層으로 同伴移動이 이뤄지는 것으로 보였다. NO₃-N과 SO₄⁻²와도 40cm이하의 깊이에서 相關程度는 $r=0.839^{\cdot}$ 에서 $r=0.980^{**}$ 까지로 類似한 傾向을 보여 Cl⁻과 마찬가지로 NO₃-N과 同伴 移動됨을 알 수 있다.

3) NO₃-N과 陽이온

NO₃-N과 Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺ 濃度間의 相關關係는 20~120cm의 깊이별로 다소 차이는 있지만 대부분의 깊이에서 正의 相關關係를 보이고 있어 窒酸態窒素가 深土層으로 下向移動時 이들 陽이온과 同伴溶脫되어 蓄積되었기 때문에 나타나는 結果로 생각된다. 깊이별 NO₃-N과 陽이온들과의 相關係數는 20cm 깊이에서는 Ca⁺²>K⁺>Na⁺>Mg⁺²가 0.991^{**}, 0.978^{**}, 0.904[·], 0.850[·] 이였고, 120cm에서는 Mg⁺²>Ca⁺²>K⁺>Na⁺인 0.899[·], 0.877[·], 0.791, 0.763으로 調査되었다.

이는 尹(1994)이 尿素施用 溶脫試驗에서 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($r=0.89^{**}$, 0.98^{**} , 0.87^{**})를 보여, NO₃-N이 表土에서 深土層으로 下向移動時 이들 陽이온과 同伴溶脫되어 蓄積되었기 때문에 나타난 結果라고 보고하고 있고, Pleyzier 等(1981)도 陽이온 溶脫試驗에서 시험 초기보다 溶脫後에 深土層에서 Ca, Mg, K 이온이 蓄積되며 Cl 이온도 深土에서 濃도가 增加함을 보고하였다.

土壤에서 NO₃-N의 移動이 對流輸送(Convective transport)에 따른다면 深土에서 NO₃-N과 陽이온간에 正의 相關關係가 있었으므로 溶脫水에 의하여 移動되는 NO₃-N은 土壤 陽이온들과 쌍을 이루어 同伴溶脫된 것으로 해석할 수 있으며

深土에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 陽이온 濃度가 높은 사실로부터 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 溶脫은 表土에서 食物에 有用한 養分의 損失을 유발하며 또한 同伴 陽이온들이 시간이 경과함에 따라 더욱 밑으로 移動될 때 地下水에 鹽類濃度를 增加시키는 結果를 招來할 수 있을 것이다(尹, 1994).

V. 綜合 考察

土壤에 施用된 窒素는 作物에 吸收되어 植物體 構成에 이용되며 식물에 吸收되지 못하고 남은 窒素는 빗물과 함께 遺失되거나 또는 점토광물에 吸着, 固定되어 土壤에 蓄積된다. 그러나 식물에 의한 窒素回收率은 植物種類와 肥料의 施肥量, 施用時期, 土壤條件 等に 따라 다르지만 50%이하이며, 8~23%는 土壤에 있는 有機物과 결합되어 複合體를 形成하거나 土壤微生物에 의하여 不動化되어 有機態窒素로 존재하게 된다. 이러한 窒素는 시간이 경과함에 따라 土壤에서 無機化되어 N~pool로 작용하게 된다.

揮散이나 脫窒된 窒素는 일반적으로 그 量이 적으며 施用窒素의 2~18%가 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 산화되어 土壤水의 下向移動時에 深土層으로 移動되고, 결국 地下水에 도달할 潛在性을 갖게 되므로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 溶脫은 경제적 損失과 地下水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 同伴溶脫 陽이온의 濃度を 增加시켜 地下水汚染의 原因으로 작용할 수 있다.

따라서 제주도 火山灰土 밭土壤에서 窒素肥料 및 完熟堆肥를 施肥하고, 施肥養分の 作物體 吸收 및 土壤內 移動程度를 推定하여, 肥料의 使用量을 효과적으로 줄여 環境持續形 農業(sustainable agriculture)을 위한 基礎資料를 얻기 위하여 有底 PVC 圓錐形 Lysimeter 및 Pressure-Vacuum soil water sampler를 이용하여 본 연구를 수행하였다.

降雨中 Lysimeter를 통해 溶脫된 물의 總量은 無肥無栽培 除草區(T2)에서 總降雨量의 46%를 차지하여 가장 많았고, 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 溶脫量이 매우 적게 나타났다. 施肥量別로는 多肥할수록 溶脫水量은 현저하게 減少하여 多肥에 의한 植物體의

地上部生育이 왕성해지고 뿌리의 造成이 稠密해져 溶脫水量이 減少하는 것으로 생각된다. 溶脫水量과 옥수수 및 감자의 乾物收量間에는 高度의 負의 相關關係를 보여 作物體의 生育이 양호하게 되면 Lysimeter로부터 溶脫되는 溶脫水의 量이 유의하게 減少하는 結果를 보였다. 또한 溶脫率과 植物體의 窒素吸收量과의 關係는 溶脫量이 減少할수록 窒素吸收量은 현저하게 增加하는 相關性($r=-0.904^{**}$)을 보여 地上部生育이 좋아지게 되면 그에 반비례하여 溶脫量이 적어지는 것으로 나타났다.

옥수수 및 감자의 生育은 無肥區(T3)는 施肥區에 비해 50%정도의 收量만이 생산되는 낮은 收量性을 보여 施肥의 重要性을 보여 주었다. 하지만 前作物인 옥수수는 普肥區와 增肥區間에는 차이가 없는 것으로 나타나 增肥區의 施用量이 植物體生育에 필요한 量보다 過多한 것으로 推定되어 標準施肥量을 상회하는 窒素多肥는 植物體自身이 갖고 있는 窒素同化能力을 훨씬 초과하여 剩餘分이 植物體에 過剩 蓄積되고 土壤內 集積 및 深土層으로 溶脫되는 것으로 보인다.

水溶液 施肥가 少肥栽培할 경우 作物的 增收에 매우 유리하였으며 栽培方法別로는 疎植區가 密植區보다 增收되는 것으로 나타나고 있어 過多密植은 疎植보다도 增收에 불리함을 보여주고 있다. 따라서 재배 시기별 土壤의 狀態 및 作物的 吸收力 등을 勘索하여 경제적인 토양 관리와 施肥處方을 해야 할 필요가 있을 것으로 생각된다. 옥수수 및 감자의 植物體中 窒素含量은 窒素施肥量이 많을수록 增加하는 傾向을 보였으나 統計的인 有意性은 無肥栽培區(T3)와의 사이에서만 인정되었다. 施肥方法間에는 土壤施肥에 비해 水溶液 施肥가 상대적으로 吸收率이 높은 추세를 나타내었다. 窒素吸收量도 含量에서와 類似한 形態를 보였다. 施肥方法別로는 水溶液處理區에서 窒素含量이 월등하게 높은 것으로 나타나 灌水施設 등을 이용한 水溶液施肥가 施肥養分の 吸收率을 增加시키고 收量增大 뿐만 아니라 土壤으로의 溶脫을 防止하는 효과도 있을 것으로 생각된다.

施肥로 공급된 Ca, K, Mg의 植物體中 含量 및 吸收量은 施肥區의 모든 處理區가 無肥栽培區(T3)에 비해 유의하게 含量이 높고 吸收量 또한 增加되는 것으로

나타났다. 施肥量別로는 施肥量을 增加시킬수록 植物體中の 含量 및 吸收量이 增加하는 傾向을 보였다. 또한 施肥方法別로는 水溶液施肥區의 吸收率에 높게 나타나고 있어 窒素吸收率과 相互 聯關性이 있는 것으로 생각된다. 옥수수 및 감자의 窒素 吸收量과 Ca, K, Mg의 吸收量과의 관계가 각각 $r = 0.89$, 0.94 , 0.87 로 매우 높은 相關性을 유지하고 있어 窒素의 吸收가 다른 無機養分의 吸收에 작용하고 있음을 보여주고 있어 窒素施肥量 산정시 이에 대한 考慮가 있어야 하겠다.

窒素施肥量의 增加에 따른 溶脫水中의 pH 濃度 變化는 統計的인 有意性은 없었으나 窒素施肥量을 增加시킬수록 溶脫水中의 pH는 점차 낮아지는 傾向을 보였다. 溶脫水中 NO₃-N 濃度は 窒素가 施用되지 않은 裸地區의 平均濃度가 普肥區보다 높게 나타났다. 施肥量別로는 增肥할수록 NO₃-N의 濃度は 增加하는 양상을 보였으나, 少肥區에 비해 普肥區의 濃도가 크게 增加하지 않았으며 施肥方法間에 있어서도 水溶液施肥區의 平均濃도가 土壤施肥區에 비해 64%에 불과하였다. 또한 密植區의 濃도가 疎植區에 비해 54.5%로 낮아졌다. 溶脫時期別로는 施肥後 20일 경과한 6월 20일에는 대부분의 處理區에서 增加하였다가 이후 계속적으로 濃도가 낮아졌으며 감자 생육후기인 11월 이후에는 모든 處理區에서 濃도가 시험 이전의 濃도보다 낮아졌다. 이는 植物體에 의한 吸收量이 계속적으로 增加되고 植物體에 吸收되지 못한 量은 施肥後 시간이 경과될수록 降雨에 의해 溶脫되는 것으로 보인다.

溶脫된 물의 量과 溶脫水中의 NO₃-N 濃도를 곱하여 算出한 NO₃-N 溶脫總量은 無肥無栽培 除草區(T2)에서 가장 많았으며 다음으로 裸地放置區(T1)에서 많은 것으로 나타났다. T2 處理區의 溶脫總量은 無肥栽培區(T3) 및 密植區(T13)에 비해 4배 이상 많은 量이었다. 施肥量別로는 多肥할수록 總溶脫量이 增加하는 傾向이었으나 增量區(T6, T9)의 溶脫量이 T2 處理區에 비해 40%이상 減少되는 것으로 나타났다. 이와 같은 結果는 土壤內에서 無機化되어 溶脫 潛在性을 갖는 NO₃-N을 植物이 吸收, 除去함으로써 溶脫을 防止하는 效果를 갖는 것으로 해석할 수 있다(Low와 Armitage, 1970; Edelhar 等, 1984). 溶脫水中의 Ca⁺, K⁺의 濃度は 無肥栽

培區(T3)에서 다른 處理區에 비해 현저하게 낮게 나타났으며 施肥量이 增加할수록 濃度가 높아지는 것으로 나타났다.

溶脫時期別로는 옥수수 생육 중반인 7월 30일 이후 溶脫水中의 濃度가 낮아지기 시작하여 감자 생육 중기인 11월 이후에는 매우 낮아져 $\text{NO}_3\text{-N}$ 에서와 類似한 傾向을 보였다. Ca^+ 및 K^+ 의 總溶脫量에서 窒素普肥 密植區(T13)가 無肥栽培區(T3)보다도 낮아진 반면 無肥無栽培 除草區(T2)에서는 多肥區(T6, T9)보다도 2배정도 많은 量이 溶脫되었는데 이는 裸地에서는 窒酸態窒素와 同伴溶脫이 이뤄졌고, 施肥區는 植物體의 吸收增加에 의하여 상대적으로 溶脫量이 적어진 것으로 보인다. 溶脫水中 Na^+ 및 Mg^{+2} 의 濃度變化는 Ca^{+2} 및 K^+ 에서와 類似한 形態를 보였다.

$\text{NO}_3\text{-N}$ 및 陽이온간의 當量值(meq/l)는 대부분의 處理區에서 溶脫水中 陽이온의 濃度 및 溶脫量이 많았던 Ca^{+2} 의 當量值가 가장 높고 다음으로 Mg^{+2} , K^+ , Na^+ 順으로 낮아졌다.

pH는 $\text{NO}_3\text{-N}$, Cl^- 과는 負의 相關을 보였고 다른 대부분의 陽이온과도 負의 相關關係를 보이고 있다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 陽이온간에 正의 相關關係를 보이고 있는데 이는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 濃度가 增加할수록 陽이온의 濃度도 增加하는 것으로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 表土에서 深土層으로 下向移動時 이들 陽이온과 同伴溶脫되어 深土層 및 地下로 浸透됨으로서 耕作層에서의 식물에 필요한 養分の 遺失 및 地下水中的 鹽類濃度 增加를 誘發할 수 있는 가능성이 있다.

시험 종료 후 土壤이 總窒素含量은 각 處理間에 統計的인 有意性은 인정되지 않았으나, 10~20cm보다 20~40cm 土壤中的 窒素含量이 보편적으로 높은 것으로 調査되었다. 깊이별로는 置換性 Ca, K, Mg 모두 10~20cm의 表層보다 20~40cm의 深土層의 含量이 높게 나타나 植物體에 의해 吸收되고 남은 殘存量은 作土層이하로 移動되어 蓄積되고 深土層으로 溶脫되고 있음을 보여주고 있다.

肥料로 施用된 窒素의 植物體에 의한 吸收率, 降雨에 대한 溶脫率, 土壤內 殘存率을 推定한 結果 各 處理에 따른 옥수수 및 감자의 植物體內 실제적인 窒素 吸收

량은 施肥량이 많아질수록 增加하였으나 肥料로 施用된 窒素의 植物體 吸收率は 窒素少肥區(T4)에서 50%내외로 가장 높게 나타난 반면 多肥區에서는 낮아졌다. 그리고 施肥窒素 吸收率が 가장 높았던 區는 窒素普肥 密植區(T13)로 總 施肥窒素의 60%를 吸收한 것으로 推定되었다.

降雨에 의한 施肥窒素의 溶脫率は 전체적으로는 0.2~8.7%로 나타났으며, 窒素增量區(T6) 및 窒素普肥 疎植區(T12)에서 溶脫率が 높은 반면 窒素普肥 密植區(T13) 및 水溶液區(T10, T11)는 낮게 調査되었다.

施肥된 窒素가 深土層에 殘存된 窒素의 比率은 38.6~63.4%로 植物體 吸收 및 溶脫率에 비해 전반적으로 높은 것으로 나타났으며, 窒素施用量이 增加할수록 殘存率이 높아지는 傾向을 나타내었다.

窒素를 標準施肥量の 2배로 處理한 試驗區에서 Lysimeter를 통해 採水한 浸出水의 pH 濃度 變化는 시험 시작 1개월 이후부터 pH가 施肥前 土壤보다 낮아지는 傾向을 보였다. 깊이별 浸出水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 平均濃度は 20~40cm 깊이에서 높게 나타났으며, 時期別로는 시험시작 1개월 후(6월 20일)부터 濃도가 급격하게 增加하기 시작하여 5개월 후까지 下向移動이 계속되어 50일 후(7월 19일)에는 100~120cm에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃도가 높게 나타났다가 5개월 후에는 施肥前 土壤과 큰 차이가 없었다. 본 시험에서 시험 시기가 여름철임에도 불구하고 窒酸化 作用이 施肥後 1개월 후에야 왕성하게 일어난 것으로 보여 이는 窒素施肥時 10cm내외의 깊이에서 施肥함으로써 窒酸化가 늦어진 것으로 推定되는 바 土壤施肥時 表層施肥보다도 深層施肥가 $\text{NO}_3\text{-N}$ 溶脫防止에 유리할 것으로 보인다. 깊이별 Ca^{+2} 의 濃度變化는 시험 시작 1개월 후의 20cm 깊이에서 높은 濃도를 보인 후 점차 下向移動이 시작되어 1.5개월 이후에는 80cm이상 깊이의 Ca^{+2} 濃도가 약간 높아지는 것으로 나타났다

깊이별 浸透水中的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 pH와 관계는 깊이별로 모든 處理區에서 負의 相關傾向을 보여 窒素施肥로 인한 無機化된 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 질산화에 따라 pH가 낮아진

것으로 보이며, $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 Cl^- 과도 正의 相關性을 보여 非反應性인 Cl^- 이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 移動性이 비슷하기 때문에 同一媒質下에서 地下層으로 同伴移動이 이뤄지는 것으로 보였다.

$\text{NO}_3\text{-N}$ 과 Ca, Mg, K, Na 이온의 濃度間에는 깊이별로 다소 차이는 있지만 正의 相關關係를 보이고 있어 溶脫水에 의하여 移動되는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 土壤 陽이온들과 쌍을 이루어 同伴溶脫되는 것으로 해석할 수 있으며, 이는 식물에 유용한 養分의 損失을 誘發하고 地下水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 鹽類의 濃度를 增加시키는 요인으로 작용하는 것으로 보인다.

이러한 結果를 종합해 볼 때 普肥區에 비해 增量區의 옥수수 및 감자의 生體重 및 乾物重이 비슷하거나 오히려 減少하는 傾向을 보이고 있는 반면, 植物體內 窒素含量 및 吸收量은 多肥할수록 유의하게 增加하는 것으로 나타나고 있어 필요 이상의 過多施肥임을 反證하고 있다. 따라서 適正量의 窒素施肥는 作物의 生育을 촉진시키고 作物의 窒素吸收率을 높여 深土層으로의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 溶脫을 줄이는 積極的 方法이라고 생각되며 여름철 集中降雨時 耕作地를 耕耘後 오랜 기간동안 裸地狀態로 放置하는 것을 방지함으로써 降雨에 의해 窒素質成分 및 陽이온의 深土層으로 溶脫되고, 地下水로의 浸透를 줄여야 할 것으로 생각된다. 또한 地上部의 植物體 生育程度, 降雨量 및 降雨 時期에 대한 豫測 등을 통하여 시비량 및 시비 시기를 결정함으로써 土壤에 溶脫되는 量을 最小化시키고 식물에 의한 窒素吸收를 최대화시키는 방향으로 施肥方法을 摸索하여 地下水汚染을 防止하고 環境持續形 施肥管理가 이뤄져야 할 것이다.

제주도 土壤은 火山灰土와 非火山灰土로 크게 2가지로 구분되며 土壤別 理化學的 特性이 크게 다른 실정이다. 火山灰土에서는 토양의 地力增進이 중요한 과제로 부각되어 1960년대 이후 경제 수준이 나아지면서 화학비료 사용량이 급격한 증가를 보이게 되었고, 施肥量增加가 곧 生産量增加와 直結된다는 固定觀念에 따라 지역별

로 4개 土壤群과 63개 土壤統으로 구분되어 土色別 토양 특성이 매우 다양하여 肥料要求量에서 서로 큰 차이를 보이지만 대부분의 농가에서는 施肥量이 훨씬 많은 火山灰土 勸奨施肥量을 기준으로 施肥함으로써 適正值보다 2~3배나 많은 肥料를 사용하여 왔다(임, 1994). 제주도 토양의 年代別 化學性的 변화 추세는 1960년대에 pH가 6.4~6.1에서 1990년대에는 5.0으로 낮아진 반면 有效磷酸은 23~76ppm에서 415ppm으로, 置換性 加里는 0.5me/100g에서 1.33me/100g으로 높아져 양분이 충분하여도 양분의 불균형으로 拮抗作用에 의한 生理障礙 및 鹽類障礙 現象이 발생하고 있다(현, 1997). 특히 1996年度에는 일부 농가에서 過多施肥로 인하여 감귤 나무가 枯死하는 現象이 發生하는 등 土壤狀態가 매우 惡化되고 土壤養分の 不均衡이 매우 심각하다. 제주도의 이와 같은 肥料消費量은 우리 나라 平均消費量 및 제주도와 土壤性質이 비슷한 日本에 비해서도 2~3배나 많은 것으로 알려져 있다. 이로 인하여 제주도내 施設栽培地域, 柑橘, 菜蔬, 일반 밭작물에 이르기까지 대부분의 耕作地에서 作物體의 要求量以上の 過多施肥를 함으로써 生産費를 높이는 結果를 招來할뿐만 아니라 作物體가 吸收하고 남은 殘餘量은 土壤에 蓄積되고, 일부는 溶脫되어 地下水 汚染의 可能性을 높여 農業環境汚染의 原因으로 작용하고 있다. 현(1997)에 의하면 제주도내 地下水 上水源의 窒酸性窒素 濃도가 점차 增加하여 '93년도에는 飲用水 水質基準(10ppm)을 1회이상 초과하는 관정 1개소에 불과하였으나 '96년도에는 19개소로 증가한 것으로 보고되었다.

따라서 이제는 農業生産性を 最大化시키면서 農業活動에 따른 環境汚染을 최소화할 수 있는 營農方法을 摸索해야 할 때이다. 우선적으로 勸奨施肥量 즉 普肥水準을 초과하는 過多施肥를 止揚하여 農業環境의 保存的 管理를 위한 生産性を 最大化하면서 흙을 살리는 低投入 農法에 대한 노력이 계속되어야 하겠다. 두 번째로 각각 농가 필지별로 土壤精密檢定을 실시하여 栽培作物別, 時期別 施肥處方書에 의한 施肥가 이뤄져야 하겠다. 셋째로 시비 양분의 토양내 殘存率을 최소화할 수 있는 緩效性肥料의 開發, 기존 관수시설을 이용한 水溶液 土壤 및 葉面施肥 方法을 모색

하여야 할 것이다. 이를 위해서는 自然과 人間이 共存하기 위한 持續 가능한 環境保
存形 農業(sustainable agriculture)技術의 組織的인 普及과 範政府次元의 積極
的인 支援意志가 要求된다 하겠다.



VI. 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 複雑한 過程을 거쳐 深土層으로 溶脫되는데 특히 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 地下水 汚染의 直接的인 原因이 되기도 한다.

따라서 本 試驗은 裸地와 作物栽培條件의 밭토양에서 窒素 供給源으로 窒素質肥料 및 完熟 堆肥를 施肥함에 따른 作物體의 生育 및 養分 吸收와 土壤內 施肥 養分の 移動, 地下水로의 溶脫 可能性을 推定하여 環境保存形 農業을 위한 基礎資料를 얻고자 수행하였다. 이 研究는 제주도 火山灰土에서 作物 生育과 溶脫水 採水를 위한 Lysimeter(체적 0.15m³, 지름 62cm, 높이 62.8cm) 試驗과 토양 깊이별 浸出水 採水를 위한 Pressure-Vacuum Soil Water Sampler 試驗으로 區分하여 실시하였다.

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+ 3200 kg/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 옥수수를, 後作物로는 감자를 栽培하면서 作物의 生育 및 이온의 溶脫程度를 조사하였다.

Pressure-Vacuum Soil Water Sampler 試驗은 Lysimeter(Single chamber : model SW-071)를 각각 20, 40, 60, 80, 100, 120cm의 깊이에 埋設하여 窒素 64kg/10a를 尿素로 施用하고 前作物로는 옥수수, 後作物로는 감자를 재배하면서 降雨時 浸透水를 採水하여 pH 및 陽, 陰이온의 濃度를 調査하였다.

1. Lysimeter를 통하여 溶脫된 물의 量은 裸地區(T1, T2)가 作物栽培區들보다 현저하게 많았다.

2. 施肥量을 增加시킬수록 前作物(옥수수)과 後作物(감자)의 植物體內 窒素含量은 增加하는 반면 乾物率은 減少하는 傾向이었다.

3. 作物體의 生育은 水溶液施肥區가 土壤施肥區에 비해 有意하게 양호하였고, 窒素吸收率도 水溶液施肥區가 相對的으로 높았다.

4. 옥수수 및 감자의 生體 및 乾物收量은 窒素·堆肥 普肥(標準)區에 비하면 增量區가 비슷하거나 오히려 減少하는 傾向을 보이는 반면, 植物體內 N, Ca, Na, K, Mg의 含量은 施肥量이 많을수록 높아지는 것으로 나타나 勸奨量以上の 增施는 過多한 施肥임을 알 수 있었다.

5. 옥수수, 감자의 總窒素와 다른 無機成分의 吸收量間에는 Ca, K, Mg과 각각 0.89^{**}, 0.94^{**}, 0.87^{**}로 매우 높은 相關性을 維持하고 있어 窒素의 吸收가 다른 無機成分의 吸收에 影響을 미치고 있음을 보여주었다.

6. 溶脫水의 pH는 窒素施肥量을 增加시킬수록 점차 낮아지는 반면, NO₃-N 濃度는 增加하는 趨勢였다.

7. 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 平均濃度가 土壤施肥區의 64%에 불과하였고, 密植區의 溶脫 平均濃度は 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한 傾向을 보였다.

8. 植物體의 실제적인 窒素吸收量은 施肥量을 增加시킬수록 增加하였으나, 肥料로 施用된 窒素의 吸收率은 少肥區(T4)가 54.9%로 가장 높은 반면, 增量區에서는 31.0~34.0%로 낮아졌다. 施肥窒素의 溶脫率은 施肥量을 增加시킬수록 높아졌고 密植區 및 水溶液施肥區에서 낮아졌다. 土壤殘存率은 施肥量이 많을수록 높아져 溶脫 可能性이 컸다.

9. 土壤깊이별(20~120cm)試驗에서 채취한 浸透水中 Cl⁻, NO₃⁻-N, Ca⁺², K⁺의 平均濃度가 施肥 1개월 후에 20~40cm 깊이에서 급격하게 높아진 후 濃度가 점차 낮아지면서 深土層으로의 下向 移動이 계속되어 5개월 후에는 試驗 前 土壤

과 비슷한 水準이 되었다.

10. 120cm의 深土層에서의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 施肥 1~1.5개월 후 가장 높아졌고, 다른 陽이온도 비슷한 傾向을 보였다.

11. 溶脫水의 pH와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 負의 相關을 보였고, $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 陽이온간에는 고도의 正의 相關을 보여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 表土에서 深土層으로 下向移動時 Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} 등의 陽이온이 同伴 溶脫되었다.

12. 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.



參考文獻

1. Adriano, D.C., P.E. Pratt, and S.E. Bishop. 1971. Nitrate and salts in soils and groundwaters from land of diary manure. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35 : 759-762.
2. Adriano, D.C., P.F. Pratt, and F.H. Takatori. 1972. Nitrate in saturated zone of an alluvial soil in relation to fertilizer nitrogen rate and irrigation level. *J. Environ. Qual.* 1 : 418-422.
3. Allison, F.E. 1973. *Soil organic matter and its role in crop production.* Elsevier. Amsterdam.
4. Amiel, A.J., M. Nameri, and M. Magaritz. 1986. Influence of intensive cultivation and irrigation on exchangeable cations and soil properties : A case study in Jordan Valley, Israel. *Soil Sci.* 142 : 223-228.
5. Amoozegar-Fard, A., W.H. Fuller, and A.W. Warrick. 1975. Migration of salt from feedlot waste affected by moisture regime and aggregate size. *J. Environ. Qual.* 4 : 468-472.
6. Arora, Y, and A.S.R. Juo. 1982. Leaching of fertilizer ions in a kaolinitic Ultisol in the high rainfall tropics: Leaching of nitrate in field plots under cropping and bare fallow. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46 : 1212-1218.
7. Ball, R., D.R. Keenzy, P.W. Theobald, and P. Nes. 1979. Nitrogen balance in urine affected areas of a New Zealand pasture. *Agron. J.* 71 : 309-314.
8. Bergstrom, L. 1987. Nitrate leaching and drainage from annual and perennial crops in tile drained plots and lysimeters. *J. Environ. Qual.* 16 : 11-18.

9. Black, A.L., and J.W. Greb. 1962. Nitrate accumulation in soils covered with plastic mulch. *Agron. J.* 54 : 366.
10. Black, A.S., and R.R. Sherlock. 1985. Ammonia loss from nitrogen fertilizer. *N. Z. Fert. J.* 68 : 12-17.
11. Brown, K.E., R.L. Doble, and J.C. Thomas. 1977. Influence of management and season on fate of N applied to golf greens. *Agron. J.* 69 : 667-671.
12. Button, E.F., and A. Hawkins. 1958. Foliar application of urea to potatoes. *Am. Potato J.* 35 : 559-572.
13. Carey, V., H.L. Mitchell, and K. Anderson. 1952. Effect of nitrogen fertilization on the chemical composition of Bromegrass. *Agron. J.* 44 : 467-469.
14. Chamberland, E., and A. Scott. 1968. N-P-K experiments with potatoes in the lower St. Lawrence region of Quebec. *Am. Potato J.* 45 : 93-102.
15. Chan, K.Y., H.R. Geering, and B.G. Davey. 1980. Movement of chloride in a soil with variable charge properties. *J. Environ. Qual.* 9 : 579-582.
16. Chang, C., T.G. Sommerfeldt, and T. Entz. 1991. Soil chemistry after annual application of cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 20 : 475-480.
17. Chen, H.H., and P.H. Li. 1978. Potato growth and development in relation to NO_3^- and NH_4^+ forms of nitrogen sources. *Am. Potato J.* 55 : 467-469.

18. Christianson, C.B., R.A. Hedlin, and C.M. Cho. 1979. Loss of nitrogen from soil during nitrification of urea. *Can. J. Soil Sci.* 59 : 147-154.
19. Comly, H.H. 1945. Cyanosis in infants caused by nitrates in well water. *J. Am. Med. Assoc.* 129 : 112.
20. Crawford, R.F., W.K. Kennedy, and W.C. Johnson. 1961. Some factors that affect nitrate accumulation in forages. *Agron. J.* 53 : 159-162.
21. Dancer, W.S. 1975. Leaching losses of ammonium and nitrate in reclamation of sand spoils in corn well. *J. Environ. Qual.* 4 : 499-504.
22. Doerge, A., and E. Gardner. 1985. Reacidification of two lime amended soils in Western Oregon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 : 680-685.
23. Doughty, J.L., and F.G. Warder. 1942. The accumulation of nitrates in oat straw. *Sci. Agric.* 23 : 233-236.
24. Eastwood, T., and J. Watts. 1956. The effect of nitrogen fertilization upon potato chipping quality. 1. Chip color. *Am. Potato J.* 33 : 187-189.
25. 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.
26. Edmeades, D.C., M. Judd, and S.U. Sarathchandra. 1981. The effects of lime on nitrogen mineralization as measured by grass growth. *Plant & Soil.* 60 : 177-186.
27. El-kashif, M.E., S.J. Locascio, and D.R. Hensel. 1983. Isobutylidene diurea and sulfur-coated urea as N sources for potatoes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108(4) : 523-526.

-
28. Firestone, M.K., M.S. Smith, R.B. Firestone, and J.M. Tiedje. 1979. The influence of nitrate, nitrite, and oxygen on the composition of the gaseous products of denitrification in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43 : 1140-1144.
 29. Fiskell, J.G.A., and D.V. Calvert. 1975. Effects of deep tillage, lime, incorporation and drainage on chemical properties of spodosol profile. *Soil Sci.* 120 : 132-139.
 30. Floate, M.J.S. 1970. Decomposition of organic materials from hill soils and pastures. *Soil Biol. Biochem.* 2 : 173-185.
 31. Friesen, D.K., A.S.R. Juo, and M.H. Miller. 1982. Residual value of lime and leaching of calcium in a kaolinitic ultisol in the high rainfall tropics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46 : 1184-1189.
 32. Gerhart, J.M. 1986. Ground-water recharge and its effects on nitrate concentration beneath a manured field site in Pennsylvania. *Groundwater.* 24 : 483-489.
 33. Godwin, D.C., and C. Allan Jones. 1991. Nitrogen dynamics in soil-plant systems. p 287-321. In *modeling plant and soil systems*. J. Hanks and J.T. Ritchie(ed.). Soil Sci. Soc. Am. Inc. Publ. Wisconsin U.S.A.
 34. Gormly, J.R. and R.F. Spalding. 1979. Sources and concentration region, Nebraska. *Groundwater.* 17 : 291-301.
 35. 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.

-
36. Hadas, A., S. Feigenbaum, A. Feigin, and R. Protnoy. 1986. Nitrification rates in profiles of differently managed soil types. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50 : 633-639.
 37. Hakamata, T. 1983. Multivariate analysis of anion-cation relationships in soil solution in a lysimeter experiment. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 29 : 429-438.
 38. Hall, D.W. 1992. Effects of nutrient management on nitrate levels in ground water near Ephrata, Pennsylvania. *Ground water.* 30 : 720-730.
 39. Harris, P.M. 1978. Water. In : P. M. Harris (Ed.) *The potato crop.* Chapman & Hall. London, pp 244-277.
 40. Hart T.G., and O. Smith. 1966. Effect of levels and sources of potassium on absorption of phosphorus by potato plants. *Am. Potato J.* 43 : 217-235.
 41. Hawkins, A. 1972. phosphorus and nitrogen sources in fertilizer blends for potatoes. (Abstr.) *Am. Potato J.* 49 : 368.
 42. 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.
 43. Hoffman, D.L., and D.E. Rolston. 1980. Transport of organic phosphate in soil as affected by soil type. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44 : 46-52.
 44. Holland, P.T., and C. During. 1977. Movement of nitrate-N and transformations of urea-N under field conditions. *N. Z. J. Agr. Res.* 20 : 479-488.
 45. Hoyt, P.B., and A.W. Henning. 1982. Soil acidification by fertilizers and longevity of lime applications in the Peace-River region. *Can. J. Soil Sci.* 62 : 155-163.

46. Hummel, N.W., and D.V. Waddington. 1981. Evaluation of slow-release nitrogen source on Baron Kentucky bluegrass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45 : 966-970.
47. Humphreys, F.R., and W.L. Pritchett. 1971. Phosphorus absorption and movement in some sandy forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35 : 495-500.
48. 玄海男. 1994. 제주도 地下水중 오염물질의 濃도와 土壤中 그의 행동에 관한 연구. II. 서북부지역 양돈단지주변 地下水중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 濃도와 다른 이온과의 관계. *韓土肥誌*. 13(2) : 151-159.
49. 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.
50. 현승원. 1997. 제주 환경농업의 방향과 과제. p 37-54. 제주지역 지속가능한 농업의 방향과 과제. 제주농업발전포럼.
51. Iritani, W.M., and L.D. Weller. 1978. Influence of low fertility and vine killing on sugar development in apical and basal portions of Russet Burbank potatoes. *Am. Potato J.* 55 : 239-246.
52. Jarvis, S.C., M. Sherwood, and J. Steenvoorden. 1987. Nitrogen losses from animal manure : from grazed pastures and from applied slurry. 1987. In *Animal manure in grassland and fodder crops*(ed. H. G. Meer et al).
53. Johnson, D.W., D.W. Cole., H. Van Miegroet. and F.W. Homg. 1986. Factors affecting anion movement and retention in four forest soils. *Soil Sci. Soc. Am J.* 50 : 776-783.

54. Johnston, E. 1987. Reduction nitrate pollution. *Sci. Agric. and The Environment*. p. 8-9.
55. Jolley, V.D., and W.H. Pierre. 1977. Soil acidity from long - term use of nitrogen fertilizer and its relationship to recovery of the nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41 : 368-373.
56. 鄭英祥. 1975. 灌水에 의한 비닐하우스내 土壤의 除鹽效果에 關한 研究. 서울 大學教 碩士學位論文.
57. Kang, Y.K., S.U Park, K.Y. Park, H.G. Moon and S.J. Lee. 1985. Effects of compost, rate and split application of nitrogen on growth and yield of sweet corn. *Kor. J. Crop. Sci.* 30(2) : 140-145
58. 金浩植, 趙伯顯, 李殷雄, 沈相七, 柳順吳, 權容雄, 曹在星. 1968. 수도에 대한 磷酸 및 窒素質肥料의 效用에 關한 研究. - 同位元素를 利用한 6개년 間的 共同試驗結果 -. *韓土肥誌*. 1(1) : 13-26
59. Kim, H.C., S.Y. Kim, Y.J. Kim, G.H. Yang and J.Y. Lee. 1996. Acid rain and the chemical feature in cheju city. The report of public health & environment institute of Cheju-do. 7 : 216-218.
60. Kim, M.C., 1991. Effect of nitrogen and potassium application on pasture of Cheju volcanic ash soil. I. Dry matter yield and mineral concentration(N, P, K, Ca, Mg, Na) of orchardgrass. *Korean. J. Anim. Sci.* 33(9) : 683-691.
61. 金崇烈 柳彦夏. 韓秉熙. 蔡濟天. 1985. 加里質 肥種과 施肥水準이 감자의 收量 및 品質에 미치는 影響. *韓園誌*. 26(3) : 246-253.
62. Kissel, D.E., S.J. Smith, and D.W. Dillow. 1976. Disposition of fertilizer nitrate applied to swelling clay soil in the field. *J. Environ. Qual.* 5 : 66-71.

63. Kleinkopf, G.E., D.T. Westermann, and R.B. Dwelle. 1981. Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. *Agron J.* 73 : 799-802.
64. 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.
65. Lacascio, S.J., J.G.A. Fiskell and F.G. Martin. 1972. Influence of fertilizer placement and micronutrient rate on watermelon composition and yield. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 97(1) : 119-123.
66. Laura, P.O. 1977. Salinity and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biol. Biochem.* 9 : 333-336.
67. 李錫淳, 朴根龍, 金順權, 朴勝義, 文賢貴, 咸泳秀, 裴東鎬. 1980. 施肥量과 栽植密度가 斷交雜種 옥수수의 生育과 種實 및 Silage 收量에 미치는 影響. *農試研報.* 22(作物) : 128-133.
68. 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.
69. Liegel, E.A., and L.M. Walsh. 1976. Evaluation of sulfer-coated urea(SCU) applied to irrigated potatoes and corn. *Agron. J.* 68 : 457-463.
70. 임한철. 1994. 감귤원 관리실태와 토양의 화학적 특성. p 97-121. 柑橘의 競爭力 提高를 위한 土壤管理와 施肥技術 심포지움. 제주도 농촌진흥원.
71. Linville, K.W., and G.E. Smith. 1971. Nitrate content of soil cores from corn plots after repeated nitrogen fertilization. *Soil Sci.* 112(4) : 249-255

-
72. Low, A.J, and E.R. Armitage. 1970. The composition of the leachate through cropped and uncropped soils in lysimeters compared with that of rain. *Plant and Soil*. 33 : 393-411.
73. Lucas, R.E., E.J. Wheeler, and J. F. Davis. 1954. Effect of potassium carriers and phosphate-potash ratios on the yield and quality of potatoes grown in organic soils. *Am. Potato J.* 3 : 349-352.
74. MacGregor. J.M., G.R. Blake., and S.D. Evans. 1974. Mineral nitrogen movement into subsoils following continued annual fertilization for corn. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38 : 110-112.
75. Mack, H.J. 1972. Effects of population density, plant arrangement, and fertilizer on yield of sweet corn. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97(6) : 757-760.
76. Maclean, A.A. 1983. Sources of fertilizer nitrogen and phosphorus for potatoes in Atlantic Canada. *Am. Potato J.* 60 : 913-918.
77. Mahilum, B.C., R.L. Fox, and J.A. Silva. 1970. Residual effect of liming volcanic ash soil in the humid tropics. *Soil Sci.* 109 : 102-109
78. Mansell, R.S., J.G.A. Fiskell, D.V. Calvert, and J.S. Rogers. 1986. Distribution of labelled nitrogen in the profile of a fertilized sandy soil. *Soil Sci.* 141 : 120-126.
79. Mansell, R.S., P.J. McKenna. E. Flaig, and M. Hall. 1985. Phosphate movement in columns of sandy soil from wastewater-irrigated site. *Soil Sci.* 140 : 59-68.
80. Marschner, Horst. 1986. Mineral nutrition in higher plants. Academic Press Inc. Ltd. London. p 674.

-
81. Mathers, A.C., and B.A. Stewart. 1974. Corn silage yield and soil chemical properties as affected by cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 3 : 143-147.
82. Meisinger, J. J., D.R. Bouldin, and E.D. Jones. 1978. Potato yield reductions associated with certain fertilizer mixtures. *Am. Potato J.* 55 : 227-234.
83. Mengel, K. 1985. Dynamics and availability of major nutrients in soils. *Adv. Soil Sci.* 2 : 65-131.
84. Messick, C.L., M.M. Alley, and L.W. Zelazny. 1984. Movement of calcium and magnesium in ultisols from dolomitic limestone. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48 : 1096-1101.
85. Misra, U.K., W.J. Upchurch, and C.E. Marshall. 1976. Lysimetric and chemical investigations of pedological changes : part 4. Mineral equilibria in relation to potassium and magnesium-enriched environment in the profile. *Soil Sci.* 122 : 25-35.
86. Mugwira, L.M. 1979. Residual effects of dairy cattle manure on millet and rye forage and soil properties. *J. Environ. Qual.* 8 : 251-255.
87. Murphy, H.J., and M.J. Goven. 1966. Effect of three nitrogen sources and biuret on yield and specific gravity of Katahdin potatoes in Maine. *Am. Potato J.* 43 : 291-293.
88. Myers, R.J.K., C.A. Campell, and K.L. Weier. 1982. Quantitative relationship between net nitrogen mineralization and moisture content of soils. *Can. J. Soil Sci.* 62 : 111-124.

-
89. Neilsen, G.H., and D.S. Stevenson. 1983. Leaching of soil calcium, magnesium, and potassium in irrigated orchard lysimeters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47 : 692-696.
90. 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.
91. 농산물유통공사. 1993. 농수산물 무역정보. 53. p 11.
92. Nunez, R. and E. Kamprath. 1969. Relationship bet. N response, plant population and row width on growth and yield of corn. *Agron. J.* 61 : 279-282.
93. Nyborg, M., and P.B. Hoyt. 1978. Effects of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen. *Can. J. Soil Sci.* 58 : 331-338.
94. 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.
95. Omoti, U., D.O. Ataga, A.E. Isenmila. 1983. Leaching losses of nutrients in oil palm plantation determined by tenton lysimeter. *Plant and Soil.* 73 : 365-376.
96. Owens, L.B. 1960. Nitrogen movement and transformations in soils as evaluated by a lysimeter study utilizing isotopic nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24 : 372-376.
97. Painter, C.G., and J. Augustin. 1976. The effect of soil moisture and nitrogen on yield and quality of the Russet Burbank potato. *Am. Potato J.* 53 : 275-284.

98. Papanastasis, V.P., and P.H. Koukculakis. 1988. Effects of fertilizer application to grassland in Greece. *Grass and Forage Sci.* 43(2) : 153-158.
99. Pavan, M.A., F.T. Bingham, and P.F. Pratt. 1984. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48 : 33-38.
100. Penny, A., F.V. Widdowson, and R.J.B. Williams. 1980. An experiment begun in 1958 measuring effects of N, P and K fertilizers on yield and N, P, K contents of grass. 1. Effects during 1964-67. *J. Agric. Sci. Camb.* 95 : 575-582.
101. Petrovic, A.M. 1990. The fate of nitrogenous fertilizers applied to turfgrass. *J. Environ. Qual.* 19(1) : 1-4.
102. Pleysier, J.L., and A.S.R. Juo. 1981. Leaching of fertilizer ions in a Ultisol from the high rainfall tropics : Leaching through undisturbed soil columns. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45 : 754-760.
103. 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.
104. Pratt, P.F., F.E. Broadbent, and J.P. Martin. 1973. Using organic waste as nitrogen fertilizers. *Calif. Agric.* 27 : 10-13.
105. Prince, W.H., and Neeteson, J.J. 1988. Current recommendations for nitrogen fertilization within the EEC in relation to nitrate leaching. Proceeding No. 276. The Fertilizer Soc. The Netherlands.

106. Quin, B.F., and L.J. Forsythe. 1978. Surface irrigation of pasture with treated sewage effluents. II. Drainage losses of nitrate and other nutrients. *J. Agric. Res.* 21 : 427-434.
107. Quisenberry, V.L., and R.E. Phillips. 1978. Displacement of soil water by simulated rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42 : 657-679.
108. Rolston, D.E., D.L. Hoffman, and D.W. Toy. 1978. Field measurement of denitrification. 1. Flux of N_2 and N_2O . *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42 : 863-868.
109. Rosenberg, R.J., N.W. Christensen, and T.L. Jackson. 1986. Chloride, soil solution osmotic potential, and soil pH effects on nitrification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50 : 941-945.
110. Roth, G.W., and R.H. Fox. 1990. Soil nitrate accumulations following nitrogen fertilized corn in Pennsylvania. *J. Environ. Qual.* 9 : 243-248.
111. Rowberry, R.G., and J.G.R. Johnston. 1980. Alternative sources of nitrogen and phosphorus in potato fertilizer. *Am. Potato J.* 57 : 543-552.
112. Ryden, J.C., D.R. Locker, and A.W. Bristow. 1983. Annual report. Grass Research Institute. 27-29.
113. Sawyer, R.L., and S.L. Dallyn. 1958. Nitrogen fertilization of potatoes. *Am. Potato J.* 35 : 645-746.
114. Schippers, P.A. 1968. The influence of rates of nitrogen and potassium application on the yield and specific gravity of four potato varieties. *Eur. Potato J.* 11 : 88-99.

115. Schuman, G.E., T.M. McCalla, K.E. Saxton, and H.T. Knox. 1975. Nitrate movement and its distribution in the soil profile of differentially fertilized corn watersheds. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39 : 1192-1197.
116. Scotter, R.D. 1978. Preferential solute movement through larger soil voids. I. Some computations using single theory. *Aust. J. Soil Res.* 16 : 257-267.
117. 신찬기. 1996. 우리나라 地下水의 窒酸性窒素 汚染現況. p 67-70. 환경친화형 농업을 위한 국제 심포지움. 제주대학교 아열대원예산업연구센터.
118. 辛元教. 1988. 施設園藝誌 土壤의 鹽類集積과 障害 및 除鹽効果에 關한 研究. 서울大學教 博士學位論文.
119. Smith, S.J., A.C. Mathers, and B.A. Stewart. 1980. Distributions of nitrogen forms in soil receiving dairy cattle feedlot waste. *J. Environ. Qual.* 9 : 215-218.
120. Smith, S.J., and J.F. Power. 1985. Residual forms of fertilizer nitrogen in a grassland. *Soil Sci.* 140 : 362-367.
121. Smith, S.J., L.R. Ahuja, and J.D. Ross. 1984. Leaching of soluble chemical under field crop conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48 : 252-258.
122. 孫尙穆. 1994. 채소를 통한 한국인의 일일 NO_3 섭취량과 안전농산물의 NO_3 함량 허용기준 설정. p 251-276. 유기농업의 현황 및 발전방향에 관한 심포지움. 농촌진흥청 농업기술연구소/농협중앙회/한국토양비료학회 공동 주최.
123. 孫尙穆. 韓仁娥. 1993. 선진농업국의 환경보존형 지속농업 전환추세. 단국대학교 논문집. 27 : 843-853.

124. 孫尙穆. 마크 엠 알리. 1996. 適正窒素施肥를 위한 미국의 토양질산염진단법
과 이용현황. 국제농업개발학회지. 8(1) 24-33.
125. 孫尙穆, 吳京錫. 1993. 질소비료 저투입에 의한 우수농산물 간이관정지표로서
주요농작물의 “가식부위내 N03 집적량” 활용가능성에 관한 연구. 韓國行
機農業學會誌 2(1) : 2-15.
126. Somasundaram, M.V., G. Ravindran, and J.H. Tellam. 1993.
Groundwater pollution of the Madras urban aquifer, India. Ground Water
31 : 4-11.
127. Song, Y.C., S.H. Kim, K.S. Kim, S.M. Oh, T.H. Kim, S.R. Kim, S.R. im,
H.J. Kim, C.Y. Koh, U.G. Oh and J.G. U. 1996. Results of public well
water servey. The report of publichealth & environment institute of
Cheju-do. 7 : 155-183.
128. Spalding, R.F., J.R. Gormly, B.H. Curtiss, and M.E. Exner. 1978.
Nonpoint nitrate contamination in Merrick County, Nebraska.
Groundwater 16 : 86-95.
129. Starr, J.L., J.Y. Parlange, and C.R. Frink. 1986. Water and chloride
movement through a layered soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 50 : 384-1390
130. Sumner, M.E., H. Shahandeh, J. Bouton, and J. Hammel. 1986.
Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface
application of gypsum. Soil Sci. Soc. Am. J. 50 : 1254-1258.
131. Teich, A.H., and J.A. Menzies. 1964. The effect of nitrogen,
phosphorus and potassium on the specific gravity, ascorbic acid
content and chipping quality of potato tubers. Am. Potato J. 41 :
169-173.

132. Terman, G.L. 1977. Quantitative relationships among nutrients leached from soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 411 : 935-940.
133. Terman, G.L., P.N. Carpenter, and C.E. Cunningham. 1953. Relation of soil and fertilizer potassium to dry matter content and yield of potatoes. *Soil Sci.* 75 : 449-458.
134. Thomas, G.W., and R.E. Phillips. 1979. Consequence of water movement in macropore. *J. Environ. Qual.* 8 : 149-152.
135. Tillotson, W.R., and R.J. Wagenet. 1982. Simulation of fertilizer nitrogen under cropped situations. *Soil Sci.* 133 : 133-143.
136. Timmons, D.R., and A.S. Dylla. 1981. Nitrogen leaching as influenced by nitrogen management and supplemental irrigation level. *Environ. Qual.* 10 : 421-426.
137. Tyler, D.D., and G.W. Thomas. 1977. Lysimeter measurements of nitrate and chloride losses from soil under conventional and no-tillage corn. *J. Environ. Qual.* 6 : 63-66.
138. Tyler, K.B., O.A. Lorenz, F.H. Takatori, and J.C. Bishop. 1962. Urea nitrogen for potatoes. *Am. Potato J.* 39 : 89-99.
139. 유장걸, 정창조, 송성준, 안종성. 1991. 동위원소를 이용한 제주지역 수자원에 관한 연구(V). 제주대학교 방사능이용연구소 연구보고. 5 : 36-59
140. Volk, G.M. 1959. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare soils. *Agron. J.* 51 : 746-749.
141. Watson, C.J. 1987. The comparative effects of ammonium nitrate, urea, or a combination of nitrate/urea granular fertilizer on the efficiency of nitrogen by perennial ryegrass. *Fert. Res.* 11 : 69-78.

142. Watts, D.G., G.W. Hergert, and J.T. Nichols. 1991. Nitrogen leaching losses from irrigated orchardgrass on sandy soils. *J. Environ. Qual.* 20 : 355-362.
143. Watts, D.G., and R.J. Hanks. 1978. A soil-water-nitrogen model for irrigated corn on sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42 : 492-499.
144. 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.
145. Westerman, R.L., and L.T. Kurtz. 1973. Priming effect of ¹⁵N-labelled fertilizer on soil nitrogen in field experiments. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37 : 725-727.
146. 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.
147. White, R.P., and J.B. Sanderson. 1983. Effect of planting date, nitrogen rate and plant spacing on potatoes grown for processing in Prince Edward Island. *Am. Potato J.* 60 : 115-126.
148. Whitehead, D.C. 1970. The role of nitrogen in grassland productivity. Bull 48, Commonwealth bur. Pastures and field crops. Common W. Agric. Bur., Fanham Royal, Bucks. 202.
149. Whitehead, D.C. 1981. An improved chemical extraction method for predicting the supply of available soil nitrogen. *J. Sci. Food. Agric.* 32 : 359-365.
150. 柳寬植. 1988. 灌水에 의한 施肥養分の 土壤 中 移動에 관한 研究. 서울大學校 博士學位論文.

151. 柳順昊, 李相模. 1988. 干拓地 除鹽過程에서 일어나는 土壤의 수리전도도와 유출액의 化學的 特性變化에 關한 研究. 韓土肥誌. 21 : 3-10.
152. 尹淳康, A. Dyckmans., and E. Zimmer. 1990. 放牧利用 草地에서 窒素肥料施用이 植生 構成과 乾物生産에 미치는 영향. 한국초지학회지. 10(1) : 36-41.
153. 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.
154. 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.



감사의 글

본 연구를 수행하는데 있어 아낌없는 격려와 보살핌으로 이 논문이 완성될 수 있도록 이끌어주신 朴良門 교수님께 마음 깊이 감사를 드립니다.

바쁘신 중에도 논문심사에 수고하여 주신 李殷雄 교수님, 趙南棋 교수님, 姜榮吉 교수님, 宋昌吉 교수님께 머리 숙여 감사드립니다. 그리고 오늘이 제가 있기까지 항상 깊은 관심을 가지고 지도 조언을 해주신 權五均 교수님, 吳現道 교수님, 金翰琳 교수님, 高永友 교수님께 심심한 감사를 드립니다. 아울러 많은 조언과 격려를 해주신 康順善 농과대학 학장님과 여러 교수님, 선생님들께 감사드립니다.

본 논문의 실험수행과 자료정리에 많은 도움을 준 농학과 오시현, 현경탁 조교선생, 고동환, 고미라, 김동우 외 여러 대학원생 여러분 그리고 차정선 학생에게 고마움을 전합니다. 또한 시료분석에 많은 도움을 주신 공동실험실습관 고정은 선생님, 한지숙 선생, 농촌진흥원 양영택 연구사, 농화학과 오상호 선생, 강태후 학생에게도 고마움의 뜻을 전합니다. 그리고 시험수행기간동안 물심양면으로 뒷바라지 해주신 신형균 선생님께 감사드립니다.

끝으로 어제와 오늘도 기도와 염려로 보살펴 주신 어머니, 장인 장모님, 여러 친지분들, 누님과 매형, 민형의 숙모와 숙부 외삼촌 이모와 이모부, 그리고 짧지만도 않은 인고의 나날들을 묵묵하게 함께해 준 아내 나순희와 잘생긴 민형, 민재와 함께 이 영광을 나누고자 하오며, 이 논문을 아버지님 영전에 바칩니다