

濠洲 Narayen 試驗場(CSIRO) 圃場土壤의 深度別 成分 分布

安允秀* · 崔 延**

Distribution of Soil Components and Their Relationships in Different Soil Depths in Australian Upland Soil (Narayan Exp. sta., CSIRO)

Yoon Soo Ahn*, Jyung Choi**

SUMMARY

This study was carried out to find out the distribution of soil components and their relationships in layer of soil profiles under upland condition. Concentrations of nitrate, chloride, and that sort of thing in soil profiles were tested in a field covering 235m² by core sampling down to 150cm depth.

Total nitrogen contents in soil profiles progressively decreased in lower depths down to 150cm. Nitrate concentrations in deeper layers than 110cm, which revealed a similar distribution pattern with total nitrogen down to 110cm, increased with the depth lowering to 150cm, indicating that nitrate has leached to deep layer.

Natural abundance of ¹⁵N in total nitrogen and nitrate in all the soil profiles showed higher values compared with the other general cultivated soils and tended to get higher in deeper layers. The horizontal variation of ¹⁵N distribution in the field surveyed was not significant.

Chloride concentrations and EC values in soil profiles increased with depth where nitrate was accumulated, and showed a highly positive correlation between them.

緒 言

窒素는 作物生育에 있어서 가장 重要한 營養素에 속하며 밭土壤에서는 主로 窒酸態窒素로서 供給된다. 그렇지만 作物이 必要로 하는 自然的인 窒素 供給量은 作物의 生産量을 最大로 發揮할 수 있는 水準이 되지 못하는 境遇가 많아서 窒素의 施肥依存度는 다른 營養素보다 크다.

Kjellerup 등²⁰⁾에 의하면 밭土壤에 施用된 窒素質肥料의 60%는 作物에 吸收되며 20%는 土壤과 結合하여 殘存하고, 5%는 溶脫되며 15%는 脫窒되었다고 하였다. 여러 農學者들은 施用窒素의 利用率을 높이기 위해 많은 勞力を 기울여 왔으나 土壤下層으로 溶脫되어 集積된 窒素의 再利用에는 關心이 疏忽했

던 것 같다.

NO₃⁻는 陽이온 置換容量이 큰 大部分의 土壤에서 溶脫이 甚하다³⁴⁾. 더우기 土壤의 主 粘土鑛物이 2:1 格子構造로서 陽荷電量이 적은 排水良好한 밭土壤인 境遇에는 NO₃⁻는 土壤粒子에 吸着되지 못하고 水分의 移動과 함께 下層으로 甚하게 溶脫된다³⁴⁾.

窒素의 溶脫은 氣候와 氣象條件, 土壤의 特性和 排水程度, 土壤管理, 表土의 窒素含量等 여러가지 條件에 따라 影響을 받는다⁸⁾. 乾燥 또는 半乾燥 氣候條件에서는 溶脫이 적으나 濕潤地帶에서 灌溉하면서 多肥栽培를 할 때는 溶脫에 의한 損失이 深刻하다. Shaw²⁹⁾와 Dancer¹²⁾는 蒸散量을 超過하는 降雨量과 겨울철의 降雨은 NO₃⁻의 溶脫을 增加시키고, Avnimelech 등⁴⁾은 構造가 잘 發達된 埴質土에서는 砂質土

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

** 慶北大學校 農科大學(Agricultural College, Kyung-buk National University, Taegu, Korea)

에서 보다 NO_3^- 의 용탈損失이 적었다고 하였다. Wild³³⁾와 Black⁸⁾들은 高度로 風化된 土壤에서 NO_3^- 는 B層에 있는 陽電荷의 hydrous oxides에 吸着됨으로서 土壤水만큼 빨리 移動하지 못한다고 하였다.

또한 窒素의 溶脫은 氣象, 土壤等 自然的 條件外에도 施肥, 有機物施用, 물管理, 栽培作物 等 人爲的 耕種方法에 의해서도 影響을 받는 것으로 알려져 있다. Kolenbrander²¹⁾와 Dowdell들¹⁴⁾은 耕作地土壤에서 溶脫損失되는 窒素는 土壤有機物로부터 無機化된 것이 거의 大部分으로 約 90%가 되며, 이러한 現象은 窒素가 施用될 때 有機物分解 促進效果 때문에 더욱 增進된다고 하였다.

Khanna¹⁸⁾는 火災, 收穫, 休閒, 耕耘 等과 같은 生態界의 攪亂은 때때로 NO_3^- 의 溶脫損失을 加重시킨다고 하였다. Kilmer들¹⁹⁾과 Guiot¹⁵⁾는 豆科作物이 栽培되는 土壤에서는 NO_3^- 의 溶脫에 의한 損失이 크며, Singh들³⁰⁾은 alfalfa와 같은 深根性作物이 栽培된 土壤에서는 柑子和 같은 淺根性作物이 栽培된 土壤에서 보다 NO_3^- 의 溶脫이 적었다고 하였다.

Burns^{9,10)}, Nielsen들²⁵⁾, Richter들²⁸⁾, Addiscott¹⁷⁾等 많은 研究者들은 適正施肥量과 環境汚染防止를 위해서 窒素循環界의 模型으로 NO_3^- 의 溶脫을 豫測하고자 試圖하였으나 그들의 模型式들은 圃場의 不均一성과 土壤特性의 多様な 變異때문에 野外圃場에 適用하기에는 어려움이 있으며 이것들은 窒素循環界의 部分的模型으로서 評價를 받고 있다.

本 橋는 土壤深層에 溶脫集의 되어 있는 窒酸態 窒素와 鹽素 및 다른 몇가지 土壤成分들의 土壤內 分布를 調査하여 이들의 吸收量으로부터 窒素吸收을 阻害하는 成分을 찾아내고 특히 검은 綠豆의 窒素吸收에 影響을 미치는 土壤內 鹽素의 臨界含量을 設定코저 遂行한 一連의 研究 中에서 土層內 窒酸態 窒素, 鹽素 및 몇가지 다른 成分의 分布狀態와 相互關係에 對한 結果를 報告하는 바이다.

材料 및 方法

土壤深度別 理化學的 成分의 分布調査를 한 土壤은 濠洲의 Brisbane에서 西北쪽으로 約 500Km地點에 所在하는 濠洲國立科學産業研究機構(CSIRO)의 年間 降雨量이 約 700mm인 Naraven 試驗場 圃場의

土壤이었다. 供試土壤은 火山灰에서 由來한 黑色 Brigalow土壤으로서 U.S.D.A分類法에 의하면 Pellus-tert에 屬하며 主粘土鑛物은 montmorillonite였다. 調査地의 圃場面積은 235.2m²(16.8×14.0m)로서 이를 14.7m²(4.2×3.5m)씩 16個區로 區劃하고 區當 2個 地點에서 油壓裝置를 한 大型 트라타에 直徑 4.7 cm의 鐵製 Core를 附着하여 150cm까지의 土壤을 採取한 後 이것을 正確히 10cm間隔으로 8等分하여 各各 2個의 core sample을 하나씩 합쳤다.

土壤의 全窒素(T-N)는 Dalal들¹¹⁾의 方法을 若干 變更한 것으로 土壤을 分解한 後 TRIS(HYDROXY-METHYL) methylamine을 黃酸標定液으로 使用하여 蒸溜測定하였고, 窒酸態窒素는 2M-KCl로, 鹽素는 Beech들⁷⁾의 方法에 의해 0.1M barium acetate로 各各 1時間씩 沈出한 後 Technicon Autoanalyzer (Chemlab, England)로 測定하였다. 電氣傳導도는 土壤과 물의 比率을 1:5로 하여 30分 진탕後 PW95 05 conductivity meter (PHILIPS, ENGLAND)로 測定하였다. 土性은 pipette法으로 測定하여 U.S.D.A土性分類法에 따랐다. 同位元素稀釋法에 의한 土壤의 ¹⁵N의 天然含量比率인 $\delta a^{15}N$ 値는 다음과 같이 하여 計算하였다.

$$\delta a^{15}N\% = \frac{\text{atom}\%^{15}N \text{ in sample} - \text{atom}\%^{15}N \text{ in atmosphere}}{\text{atom}\%^{15}N \text{ in atmosphere}} \times 1000$$

土壤과 植物體의 T-N中 ¹⁵N分析는 蒸溜測定한 後의 窒素溶液을 NH_3 로의 揮散을 防止하기 위해 0.25M- H_2SO_4 로 pH3.0附近까지 酸性化시켜 water bath上에서 ¹⁵N含量이 500-2,500 μg 程度가 될 수 있도록 乾燥濃縮시킨 後 ammonium sulfate($\delta a^{15}N = -0.66\%$)를 blank로 하여 Double collector-Double inlet mass spectrometer(Micromass 602E, England)로 $\%^{15}N \text{ atom excess}$ 單位로 測定하였다. 土壤의 窒酸態 窒素中 ¹⁵N分析는 2M-KCl로 沈出한 試料液에 MgO 를 넣고 蒸溜하여 암모니아態窒素를 除去한 後 다시 devarda alloy를 넣어 蒸溜한 窒素溶液을 T-N과 같은 方法으로 測定하였다.

結 果

1. 土壤深度別 各種 成分의 分布樣相

1) T-N, NO₃⁻-N, δa¹⁵N의 分布

밭土壤에서 作物의 主要 窒素原인 T-N, NO₃⁻-N 과 이들 窒素에 含有되어 있는 ¹⁵N의 大氣中 ¹⁵N에 對한 分子比率인 δa¹⁵N(% atom base)의 分布를 調査한 結果는 그림1과 같았다.

T-N含量은 有機物含量이 많은 表土 10cm까지에서 0.26%, 20-30cm에서 0.11%, 40-50cm에서 0.06%로서 土深이 깊어질수록 急激히 減少하였으며 그 以下 土深에서는 緩慢한 減少를 보여 150cm깊이에서는 0.02%로 극히 적었다.

NO₃⁻-N은 表土 10cm까지가 41ppm, 20-30cm에서 8ppm, 40-50cm에서 3ppm으로서 表土에서 土深50cm까지는 아래로 내려갈수록 急激히 減少하였다. 그러나 그 以下에서 110cm까지는 NO₃⁻-N含量이 約 2 ppm으로 거의 變化가 없었으나 그 以下 120-130cm는 5ppm, 140-150cm에서는 13ppm으로 아래로 갈수록 점점 增加하였다.

T-N의 δa¹⁵N는 表土에서 土深 50cm까지는 11.5-11.1%로서 비슷하였으나 土深 60cm부터 130cm까지는 急激히 높아져 13.0-12.7%를 維持하였고 140-150cm에서는 14.8%로서 매우 높은 값을 보여 주었다.

NO₃⁻-N의 δa¹⁵N도 T-N과 비슷한 傾向으로서 10cm까지의 表土에서 10.9%, 20-30cm에서 14.4%, 140-150cm에서 13.4%로서 아래로 갈수록 表土보다 높게 나타났다.

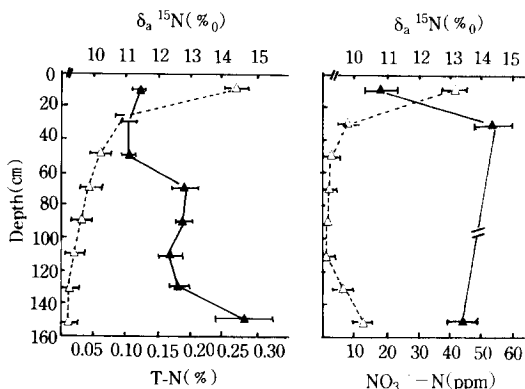


Fig. 1. Distribution of δa¹⁵N, T-N, and NO₃⁻-N in the soil profiles to 150cm depth of 16 plots in the field surveyed.

* ▲ : δa¹⁵N, △ : T-N or NO₃⁻-N

2) 鹽素 및 電氣傳導度의 分布

鹽素의 土層內 分布는 그림2와 같이 10cm까지의 表土가 95ppm, 20-30cm에서 58ppm, 40-50cm에서 98ppm으로서 비슷하였으나 60-70cm에서는 200ppm으로 急激히 많아졌다. 또 70cm以下의 土深에서 鹽素의 含量은 急激한 增加를 보여 土深 140-150cm에서는 864ppm이었다.

電氣傳導度는 10cm까지의 161 μS/cm, 20-30cm에서 166 μS/cm로서 큰 差異가 없었으나 40-50cm에서는 326μS/cm로 急激히 높아졌다. 그 以下 土深에서도 繼續 增加幅이 커서 80-90cm에서는 659μS/cm, 140-150cm에서는 910μS/cm이었다.

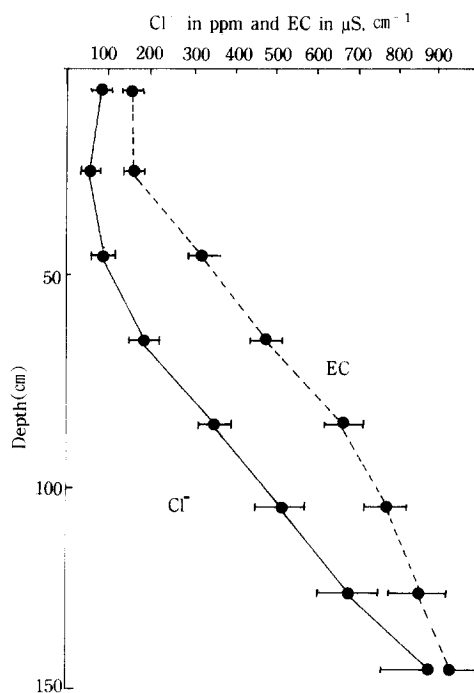


Fig. 2. Distribution of Cl⁻ and the values of EC in the soil profiles to 150cm depth of 16 plots in the field surveyed.

3) 各種 成分의 分布

表1에서 보는바와 같이 土性은 微砂質 埴壤土-埴壤土-埴土-埴壤土로 土深80-90cm에서 粘土含量이 51%로서 가장 높았고, pH는 10cm까지의 表土가 7.5, 70cm 깊이에서는 9.0으로 土深이 깊어질수록 높아졌으나 그 以下 150cm깊이에서는 變化가 없었다.

Table 1 Physico-chemical properties in the soil profiles to 150 cm in the field surveyed.

Depth (cm)	pH Water (1 : 5)	0.01M CaCl ₂	O.M (%)	Avail. P ₂ O ₅ (ppm)	Ex. Cations(me/100g)				CEC (me/100g)	Base satu. (%)	Soil** tex- ture	Clay cont. (%)	Bulk densi. (g/m ³)	Moist.* cont. (%)
					K	Ca	Mg	Na						
0-10	7.5	6.7	4.2	32	.89	13.2	15.1	0.9	40.3	74.7	SiCL	29	1.1	24.2
20-30	8.6	7.5	1.7	2	.20	12.3	18.4	2.6	38.7	86.6	SiCL	33	1.3	28.5
40-50	8.9	7.9	1.2	1	.19	12.9	25.5	6.5	37.8	119.3	CL	41	1.3	26.9
60-70	9.0	8.1	0.9	1	.16	11.6	23.4	7.8	38.1	112.8	C	44	1.3	27.8
80-90	9.0	8.1	0.6	1	.17	11.8	25.6	10.5	40.0	120.2	C	51	1.4	27.0
100-110	9.0	8.1	0.5	1	.15	12.6	23.4	10.5	35.9	129.9	C	46	1.5	23.1
120-130	9.0	8.1	0.4	1	.13	12.6	23.2	11.2	32.4	145.5	CL	29	1.5	21.9
140-150	9.0	8.2	0.3	2	.11	12.2	22.7	11.6	39.4	118.3	CL	27	1.5	22.0

* Oven dry base at 105°C, the other as air dry base

** Si : Silt, C : Clay, L : Loam

0.01M-CaCl₂로 沈出한 沈出液의 pH는 活酸度보다 各 깊이別 試料에서 0.8-1.0程度 낮은 값을 보였다.

10cm까지 表土의 有機物, 磷酸 및 加里는 各各 4.2%, 32ppm과 0.89me/100g으로서 深土로 갈수록 적어졌고, Mg와 Na含量은 0-10cm에서 各各 15.1와 0.9me/100g였으며 土深이 깊어질수록 많아져 Mg는 40-50cm에서 25.5 me/100g, Na는 140-150cm에서 11.6me/100g이었다. Ca含量과 C.E.C는 土深別로 特別한 傾向이 없었다. 鹽基飽和度는 表土 10cm에서는 74.7%이었고 土深이 깊어질수록 점점 높아져 120-130cm 깊이에서는 145.5%로 높아졌으며 土深別活酸度の 變化와 비슷한 傾向이었다. 假比重은 表土 10cm까지는 1.1였으나 深土로 갈수록 若干씩 높아져 110cm 이하에서는 1.5이었다.

2. 各 成分間의 相互關係

그림3에서 보는 바와 같이 T-N의 含量이 많아질수록 NO₃⁻-N 含量도 많아지는 傾向이었으나 T-N이 0.02% 이하로 극히 낮은 試料에서는 오히려 NO₃⁻-N含量이 最高 18ppm까지 높아졌다.

鹽素含量과 NO₃⁻-N含量間의 關係는 그림4와 같이 鹽素含量 200ppm以上에서는 鹽素含量이 많아질수록 NO₃⁻-N含量도 若干씩 많아졌다. 그러나 鹽素含量 約 100ppm以下에서는 NO₃⁻-N含量이 많은 表土와 鹽素와 NO₃⁻-N含量이 적은 土深 20-50cm 土壤때문에 NO₃⁻-含量 變異가 컸다.

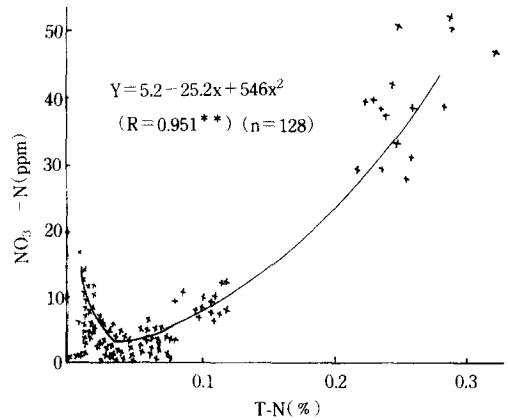


Fig. 3. Relationship between NO₃⁻-N and T-N in the soil profiles to 150cm depth of 16 plots in the field surveyed.

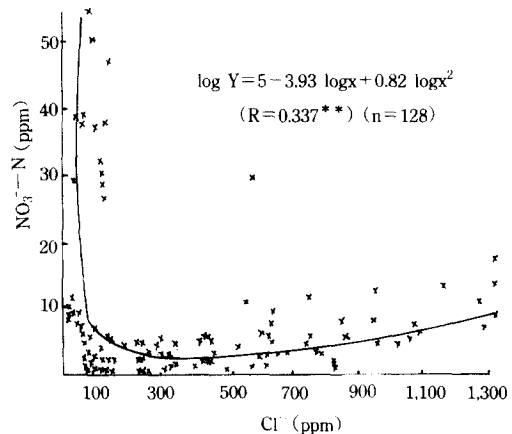


Fig. 4. Relationship between Cl⁻ and NO₃⁻-N in the soil profiles to 150cm of 16 plots in the field surveyed.

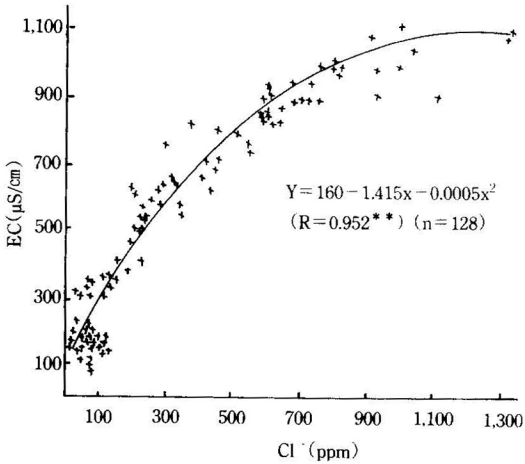


Fig. 5. Relationship between Cl⁻ and EC in the soil profiles to 150 cm depth of 16 plots in the field surveyed.

그림5가 보여주듯이 EC와 Cl⁻含量과의 關係는 Cl⁻含量이 增加할수록 EC값도 增加하여 高度의 正相關을 나타내었다.

考 察

Nitrate의 溶脫과 集積된 nitrate의 利用에 聯關된 것으로 여겨지는 몇가지 土壤成分들의 土層내 分布를 調査한 結果 全窒素(T-N)는 表土에서 많았다가 아래로 내려갈 수록 적어졌다(그림1參照). 이와 같은 結果는 大部分의 T-N은 土壤有機物로부터 由來하며 表1에서 보는 바와 같이 表土에 有機物含量이 많았기 때문에 考察된다.

Nitrate는 土深110cm까지는 점점 적어지다가 그 以下부터는 다시 많아져 nitrate의 溶脫集積을 나타내고 있었다(그림 1참조). 이는 Anderson들³⁾의 調査結果와 비슷한 數值였으며 여러 研究者들^{12, 15, 19, 21, 30)}은 이와 聯關된 여러가지 要因에 대해 報告한 바 있다. 年間 降雨量이 約 700mm에 지나지 않고 귀리를 無肥栽培하고 있는 本 調査地 土壤은 水分不足에 의한 窒素吸收過少^{12, 29)}, 높은 pH와 有機物 및 高溫의 氣候條件에 의한 窒酸化作用增大²⁾, 陽荷電量이 적은 montmorillonite계 土壤으로 된 點으로 보아 nitrate가 溶脫되기 좋은 條件의 土壤으로 考察된다. 또 土深 180cm 또는 240cm까지 nitrate가 溶脫集積되었다는 Peterson들²⁷⁾의 報告로 미루어 보면 土深 150cm

이하까지도 充分히 nitrate가 溶脫集積되어 있을 것으로 推察된다. 深根性作物의 뿌리는 地下 180cm 또는 4m까지도 伸長할 수 있기 때문에⁶⁾ 作物의 施肥 適量 決定時 深層에 溶脫集積된 nitrate의 量을 考慮해야 할 것으로 생각된다.

土壤中 T-N과 nitrate中 ¹⁵N의 天然含量比率인 δa¹⁵N값은 土深 150cm까지에서 各各 11.5~14.8% 와 10.9~14.4% 로서 大氣中の 것보다 높았고, 土壤 深度가 깊을수록 높아지는 傾向이었으며 土深 50cm까지의 圃場內 C.V.는 6.95%로서 重窒素를 利用하여 試驗할 수 있는 水準이었다(그림1參照). 이들 값은 Karamanos들¹⁷⁾의 saline seep 土壤의 調査値와는 비슷하였으나 Ledgard들²²⁾의 土壤母材別 調査値, Steele들³¹⁾의 New Zealand 土壤에서의 調査値, Turner들³²⁾의 栽培作物別 調査値보다는 높은 편이었다.

이와 같이 높은 값을 보여준 原因은 本 調査地 土壤은 pH가 높고 有機物含量이 많고 또 年間 氣溫이 높아 一連의 窒素循環過程이 旺盛하며²⁾ 이때의 關聯 微生物들의 ¹⁵N 嗜好性때문에¹³⁾ ¹⁵N集積이 많아진 것으로 思料된다. 또한 土壤이 깊어질 수록 δa¹⁵N 값이 높아진 것은 Steele들³¹⁾의 調査結果와 같았다. 이러한 理由에 대하여 Ledgard들²²⁾은 土層내 ¹⁵N의 深層集積은 安全性 있는 humus含量과 相關이 있었다고 報告하였다.

土壤深度別 chloride含量은 nitrate와 마찬가지로 下層으로 내려갈수록 그 含量이 많아졌고 60cm以下에서는 nitrate含量의 約 100배에 이르렀다(그림2 및 表1 參照). 陰이온이 土壤에 吸着되는 양은 pH가 낮을 수록 많아지며 主要 陰이온의 bonding strength는 Cl⁻ < NO₃⁻ < SO₄²⁻ < PO₄³⁻의 順으로 알려져 있다⁶⁾. 특히 Cl⁻와 NO₃⁻는 높은 pH에서도 土壤에 吸着하는 PO₄³⁻나 AsO₄³⁻와는 달리 pH7.0 以上에서는 montmorillonite계 土壤에서도 吸着이 거의 일어나지 않기 때문인 것으로 考察된다⁶⁾. 이와 같은 結果는 chloride의 深層集積은 nitrate보다 심하다는 Morghan²⁴⁾의 報告와 같으며, 作物의 生理的 鹽素 必要量을 勘案할 때 本 調査地의 chloride含量은 過多하며 이로 因하여 深層에 溶脫 集積된 nitrate의 吸收가 阻害될 수도 있을 것이라 推察되었다.

EC값은 chloride分布와 같이 深土로 갈수록 높아졌고(그림2 參照), chloride含量과 高度의 正相關을

보였다(그림5參照). 이는 下層으로 溶脫된 Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ 등의 影響때문이다.(表1 參照). 深層의 높은 EC 값은 높은 chloride含量과 함께 作物뿌리의 伸長과 溶脫集된 NO_3^- 의 吸收를 阻害할 수 있는 水準으로 생각되었다.

摘 要

밭土壤의 深層에 溶脫集積되어 있는 nitrate를 作物이 利用할 때 이의 吸收를 阻害하는 土壤成分을 찾고 그 要因을 究明하기 위하여 먼저 土壤深度別로 nitrate와 chloride를 비롯한 몇가지 土壤成分들의 分布를 調査하였다.

1. 土深 150cm까지 몇가지 土壤成分들의 分布를 調査한 結果 T-N含量은 表土에서 많았다가 下層으로 갈 수록 적어졌고, nitrate의 含量은 아래로 갈 수록 적어지다가 土深110cm부터는 다시 增加하여 nitrate의 溶脫 集積現象을 보였다.

2. ^{15}N 의 天然含量比率인 T-N과 nitrate의 $\delta a^{15}N$ 값은 下層으로 갈수록 높아졌고 다른 報文의 土壤들에 比하여 높은 편이었다. 그러나 調査圃場內에서 이들의 變異는 크지 않았다.

3. chloride含量과 EC값은 nitrate가 集積된 下層으로 갈수록 急激히 높아져 chloride와 鹽基들이 溶脫集積되었음을 알 수 있었고 이들 間에는 高度의 正의 相關이 있었다.

引 用 文 獻

1. Addiscott, T.M. 1977, A simple computer model for leaching in structured soils, J. Soil Sci., 28 : 554~563.
2. Allison, F.E. 1973, Soil organic matter and its role in crop production. Am. Elsevier, New York.
3. Anderson, F.N., G.A. Peterson and R.A. Olson. 1972, Uptake patterns of ^{15}N tagged nitrate by sugarbeets as related to soil nitrate level and time, J. of the A.S.S.B.T., 17(1) : 42~48.
4. Avnimelech, Y. and J. Raveh. 1976, Nitrate leakage from soils differing in texture and nitrogen load. J. Environ. Qual., 5 : 79~82.
5. Bartholomew, W.V. 1977, Soil nitrogen changes in farming systems in the humid tropics, P.P. 27~44. In : Biological Nitrogen Fixation in Farming Systems of the Tropics, Chichester Wiley.
6. Bear, F.E. 1969, Chemistry of the soil, Reinhold publishing corp., Holland, P.P. 198~201.

7. Beech, T.A. and S. McLeod. 1984, An autoanalyser method for the determination of chloride in soil extracts, Presented paper in the national Soils Conference of the Australia.
8. Black, A.S. and S.A. Waring. 1976, Nitrate leaching and adsorption in a krasnozem from Redland Bay, Qld, I. Leaching of banded ammonium nitrate in a horticultural rotation, Aust. J. Soil Res., 14 : 171~180.
9. Burns, I. G. 1975, An equation to predict the leaching of surface-applied nitrate, J. agric. Sci. Camb., 85 : 443-454.
10. Burns, I. G. 1976, Equations to predict the leaching of nitrate uniformly incorporated to a known depth or uniformly distributed throughout a soil profile, J. Agric. Sci. Camb., 86 : 304~313.
11. Dalal, R.C., K.L. Sahrawat and R.J.K.Myers. 1984, Inclusion of nitrate and nitrite in the Kjeldahl nitrogen determination of soils and plant materials using sodium thiosulphate, commum. in soil sci. plant anal., 15(12) : 1453~1461.
12. Dancer, W.S. 1975, Leaching losses of ammonia and nitrate in the reclamation of sand spoils in Cornwall, J. Environ. Qual., 4 : 499~504.
13. Delwiche, L. C. and P. L. Steyn. 1970, Nitrogen isotope fractionation in soils and microbial reactions, Environ. Sci. techno., 4 : 929~935.
14. Dowdell, R.J., C.P. Webster, D.Hill and E.R.Mercer. 1984, A lysimeter study of the fate of fertilizer nitrogen in spring barely crops grown as shallow soil overlying Chalk : Crop uptake and leaching losses, J. Environ. Qual., 9 : 243~250.
15. Guiot, J. 1981, The nature and origin of leached nitrogen in cultivated land, P.P. 289~306. In : Nitrogen Losses and Surface Run-off from Landspreading of Manures, The Hague.
16. James, D.W., W.H. Weaver and R.L. Reeder. 1970, Chloride uptake by potatoes and the effects of potassium, chloride, nitrogen and phosphorus fertilization, soil Sci., 109 : 48~52.
17. Karamanos, R.E., R.P. Voroney and D.A. Rennie. 1981, Variation in natural N-15 abundance of central saskatchewan soils, Soil Sci. Soc. Ame. J., 45 : 826~828.
18. Khanna, P.K. 1981, Leaching of nitrogen from terrestrial ecosystems : Patterns, mechanisms and ecosystem responses, P.P. 343~352. In : Terrestrial Nitrogen Cycles, Processes, Ecosystem Strategies and Management Impacts. Ecological Bulletins, Stockholm.
19. Kilmer, V.J. 1974, Nutrient losses from grasslands through leaching and runoff, p.p. 341~362. In : Forage Fertilization, Am. Soc. Agro, Madison, Wisconsin.
20. Kjellerup, V. and A. Dam Kofoed. 1983, Nitrogen fertilization in relation to leaching of plant nutrients from soil. Lysimeter experiments with ^{15}N , Tidsskr. Planteavl., 87 : 1~22.
21. Kolenbrander, G. J. 1981, Leaching of nitrogen in agriculture, P.P. 199~216. In : Nitrogen Losses and Surface Run-off from Landspreading of Manures, Martinus Nijhoff, The Hague.
22. Ledgard, S. F., J. R. Frency and J. R. Simpson. 1984, Variations in natural enrichment of ^{15}N in the profiles of some Australian

- pasture soils, *Aust. J. Soil Sci.*, 22 : 155~164.
23. Lee Rodkey, F. 1964. Tris(hydroxymethyl) aminomethane as a standard for kjeldahl nitrogen analysis, *clinical chemistry*, 10 (7) : 605~610.
24. Moraghan, J. T. 1987, Nitrogen fertilizer effects on uptake and partitioning of chloride in sugarbeet plants. *Agron. J.*, 79 : 1054~1057.
25. Nielsen, D.R., J.W. Biggar and P.J. Wierenga. 1982, Nitrogen transport process in soil, P.P. 423~448. In : *Nitrogen in Agricultural Soils*, Amer. Soci. of Agro., Madison, Wisconsin.
26. Paradopoulos, I. and V.V. Rending . 1982, Growth and yield of tomato plants with roots growing in soils varying in salinity. *Agro. J.* (Submitted).
27. Peterson, G.A., F.N. Anderson, G.E. Varvel and R.A. Olson. 1979, Uptake of ¹⁵N-labeled nitrate by sugar beets from depths greater than 180cm, *Agron. J.*, 71 : 371~372.
28. Richter, J.A.N., M.Boehmer and J. Wehrmann. 1980, Simulation of nitrogen mineralization and transport in loess-parabrownearths plot experiments, *Plant Soil*, 54 : 329~337.
29. Shaw, K. 1962. Loss of mineral nitrogen from soil. *J. Agric. Sic.*, 58 : 145~151.
30. Singh, B.R. and G.S. Sekhon. 1979, Nitrate Pollution from farm use of nitrogen fertilizers-a review, *Agric. Environ.*, 4 : 207~225.
31. Steele, K.W. and A.T. Wilson. 1981, Nitrogen isotope ratios in surface and subsurface horizons of New Zealand improved grassland soils. *N. Z. J. Agri. Res.*, 24 : 167~170.
32. Turner, G.L., R.R. Gault, Linda Morthohorpe, D.L. Chase and F.J. Bergersen. 1987, Differences in the natural abundance of ¹⁵N in the extractable mineral nitrogen of cropped and fallowed surface soils, *Aust. J. Agri. Res.*, 38 : 15~25.
33. Wild, A. 1972, Nitrate leaching under bare fallow at a site in northern Nigeria. *J. Soil Sci.*, 23 : 315~324.
34. Wild, A. and K.C. Cameron. 1980, Soil nitrogen and nitrate leaching. In *Soils and Agriculture*, Soc. Chem. Industry, Crit. Rep. Appl. Chem., Vol. 2 P.P. 35~70.