

# 灌水에 의한 施肥養分の 土壤中 移動에 關한 研究

## 2. 土壤水分 條件과 Cl와 P의 移動

柳寬植\* · 柳順昊\*\* · 宋寬哲\*\*\*

### Movement Of Applied Nutrients Through Soils By Irrigation

#### 2. Effect of soil water on the movement of Cl and P in the soil

Kwan Shig Ryu\*, Sun Ho Yoo\*\*, Kwan Cheol Song\*\*\*

#### SUMMARY

A field microplot(D 20cm, L 85cm) experiment filled with Bonryang sandy loam soil (Typic Udifluvents) was conducted to obtain quantitative information on the movement of applied nutrients under difetent soil moisture regimes and ladino clover cultivation.

Chloride moved rapidly with soil water. When soil moisture tension was maintained at lower than 0.2 bar most of the Cl appeared to move outside the microplot 4 month after the microplot installation. Regardless of soil moisture condition, Cl was not detected in the soil due to the fast movement of the Cl beyond the microplot after 5.5 months

Although large amount of P and water were applied to the soil of high available P during the field experiment, movement of P was negligible and most of P remained in the place where applied due to the low solubility of the fused and superphosphate. Phosphate in the soil extracted by Bray No.1 solution and taken up by plant increased with soil moisture. Under the condition of irrigation at 0.2 bar, plant took up 23% of the applied P, and 24% of the P was extracted by Bray No.1 solution, while plant took up 14% and 13% of the P was turned out to be Bray No. 1 P. at the nonirrigated condition after final harvest.

#### 序 言

土壤내에서 시용한 養分の 移動에는 여러가지 因子들이 複合的으로 作用할뿐만 아니라 成分에 따라 養分移動에 작용하는 주 因子들이 각각 다르다. Ca, Mg, K 등과 같은 陽이온의 移動에는 흡착-치환현상이, 磷酸은 固定 또는 不溶化, 窒素는 토양내에서 形

態變換이 주요 因子로 작용한다. 따라서 토양내에서의 養分移動에 종합적인 研究보다는 개별적인 成分에 대한 研究가 추가 되고 있다.

土壤내에서의 養分の 移動에 關여하는 因子들을 극히 단순화시켜 수행되는 實驗室 내에서의 column 試驗에서는 養分移動에 대한 기작을 상당한 수준으로 해석하고 있으나 포장에의 適用은 초기 단계이다

\* 대구대학교 농과대학(College of Agriculture, Taegu University, Kyungsan, Korea).

\*\* 서울대학교 농과대학(College of Agriculture, Seoul National University, Suwon, Korea).

\*\*\* 농업기술연구소(Agricultural Sciences Institute, Suwon, Korea).

6.10). 포장에서 作物을 재배하는 경우 養分移動에 관여하는 因子들이 많을 뿐만아니라 시간적으로 공간적으로 끊임 없이 변화하기 때문에 圃場條件에서의 養分移動을 model화하는 研究보다는 養分移動의 결과 토층내에 있는 養分分布를 조사·연구하는 것이 주가 되고 있다.

本 研究에서는 圃場條件에서 microplot을 설치하고 Ladino clover를 供試作物으로 하여 作物 栽培시기별 土壤水分 條件의 차이에 따른 養分의 垂直移動 양상을 究明하고자 試驗을 수행하였으며, 1차적으로 鹽素와 磷酸의 移動에 관하여 보고하는 바이다.

材料 및 方法

供試土壤, microplot설치 및 土壤 分析方法은 灌水量에 따른 養分移動 시험 (1報)에서와 같이 하였으며, Ladino clover (*Trifolium repens* L.)를 供試作物으로 하여 microplot 試驗을 수행하였다.

土壤水分 처리는 관수점 0.2bar, 1bar, 5bar구 및 無灌수구 와 裸地구 처리를 두었다. 토심 20cm를 기준으로 하여 土壤水分이 관수점에 도달했을때 灌水量은 관수점 0.2bar, 1bar, 5bar구의 경우 각각 18mm, 35mm, 45mm를 灌水하였다.

土壤 및 植物體 시료는 Ladino clover를 4월 26일 播種하여, 무관수 나지구에서는 15일 후부터 10월 16일까지 15일 간격으로 microplot(2반복)를 파내어 열개하여 1報와 같이 채취하였다. microplot의 1/2은 土壤試料 채취용으로 하고, 나머지 1/2은 뿌리 분포 조사용으로 하였다. 灌水區에서는 처음으로 관수점에 도달한 이후부터 15일 간격으로 試料를 채취했으며, 無灌수구에서는 관수점 5bar구의 試料를 처음 채취한 15일 후부터 試料를 채취 하였다.

土壤水分測定은 土深 20cm에 설치한 gypsum block을 이용하여 土壤의 水分 張力을 측정하고 土壤水分조절을 위한 灌水時期를 이 방법으로 결정하였다.

植物體 分析은 HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액으로 植物體를 濕式 分解시킨후 土壤分析和 같은 方法으로 정량하였다.

結果 및 考察

Microplot에 Ladino clover를 播種한 4월말부터 最終收穫期인 10월 중순까지 5.5개월간 降雨量이 1207mm로서 平年에 비해 많았으며, 시기적으로 偏重되지 않고 비교적 고른 降雨分布를 보였다(表 1).

그러나 栽培面積에 비해 生育이 왕성했으므로 試驗條件에 따른 土壤水分 상태를 쉽게 유지할 수 있었다. 灌水点 0.2bar구인 경우 24회에 걸쳐 432mm나 灌水했고, 1bar구에서 7회 245mm, 5bar구에서 1회 45mm를 灌水하였다.

土壤水分 條件에 따른 Ladino clover의 收穫시기별 收量을 보면 表2에서 보는 바와 같이 土壤水分 條件이 좋을수록 증수되었다. 灌水点 0.2bar구에서 최종 수확기에 生體重이 microplot당 623.4g으로 無灌수구에 비하여 72%나 증수되었고, 1bar구에서도 40% 증수되었다.

뿌리량도 지상부와 마찬가지로 土壤水分 條件이 좋을수록 많았으나 그 차가 적었다. 모든 처리구에서 뿌리가 0-25cm의 土層에 주로 分布되어 있으나 3.5개월 後인 8월 14일 以後에는 microplot 최 하층부인 85cm 깊이까지 뻗어 있었다.

Ladino clover를 栽培하면서 灌水点을 0.2bar로 유지한 처리구에서 時期別 Cl의 移動様相을 보면 그림

Table 1. Cumulative amount of water applied to the soil rainfall at different time during ladino growth

Date(Month/day)	5/10	5/29	6/14	7/2	7/16	7/30	8/14	8/27	9/12	10/6
Cumulative rainfall(mm)	84	212	215	322	441	488	686	768	865	1,027
Amount of water(mm) irrigated at 0.2bar					-	54	108	180	306	432
1.0bar						-	35	70	175	245
5.0bar								-	45	45

Table 2. Cumulative fresh weight of ladino clover under different soil moisture regimes (g/microplot)

Harvesting stage	7/30		8/14		8/27		9/12		10/16	
	Top	Root	Top	Root	Top	Root	Top	Root	Top	Root
Irrigated at										
0.2bar	67.2	10.2	194.6	38.0	258.3	41.2	364.6	50.1	623.4	71.4
1.0bar		—	139.9	30.6	215.0	40.4	312.9	51.7	507.4	58.8
5.0bar					162.6	27.7	264.8	48.3	386.4	51.5
Non irrigated							243.6	36.8	362.8	45.6

1에서와 같이 生育後期로 갈수록 microplot 상층부에서 현저하게 減少되고 있다. 生育初期에는 상층부에서 Cl 含量이 減少됨에 따라 하층부에서 그 含量이 增加되고 있는데, 生育後期에는 하층부에서도 減少되고 있어, 土壤에 공급된 Cl이 빠른 速度로 下向移動되고 있음을 알 수 있다.

試驗 시작 1.5개월(6월14일) 후에는 表層의 Cl 含量이 0.04me/100g에 불과하였고, 40cm깊이의 土壤에서는 0.57me/100g이나 될 정도로 많은 양이 下向移動된 결과 Cl의 移動中心 깊이가 32.3cm나 되었다. 그러나 灌水량에 따른 養分移動 試驗(1報)에서 4.68 pore volume을 灌水했을 때 Cl의 移動中心 깊이가 36.9cm인 것에 비해 이때까지의 累積降雨量이 6.72 pore volume이나 되었는데도 平均 移動거리는 오히려 짧았다. 이는 microplot을 圃場에 설치하여 自然條件下에서 試驗을 수행했기 때문에 降雨水の 地下排水에 의한 下向移動과 作物의 蒸發散에 의한 土壤水分의 上向移動이 복합적으로 일어난 결과라고 생각된다.

Cl의 下向移動은 生育후기에도 계속적으로 급속하게 進척되어 3.5개월(8월14일) 후에는 microplot의 40cm이상 上層部에 거의 檢출되지 않을 정도로 소량만이 남아있었다. 그 以後에도 Cl의 下向移動이 계속 進척되어 最終 收穫期(10월16일)에는 깊이가 85cm인 microplot내 어느 土壤에서도 檢출되지 않았다.

土壤水分 條件에 따른 土壤내에서 Cl의 分布樣相은 그림2와 같다. 最終收穫期에는 모든 처리구에서 土壤中에 남아있는 Cl이 거의 없었으므로 4개월(8월29일)후에 採取한 土壤試料에서 토양수분 조건에 따른 Cl의 分布樣相을 比較하였다.

Cl의 下向移動이 매우 많이 일어나 4개월 後에도

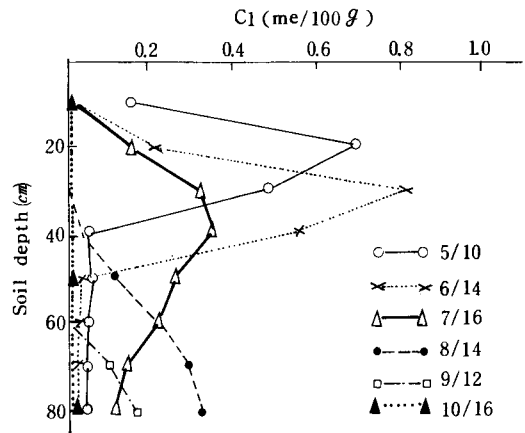


Fig. 1. Vertical distribution of Cl of the soil as a function of time in the microplot under irrigated at 0.2 bar.

全 處理區를 통하여 microplot 40cm 이상의 上層部에 거의 남아있지 않았다. 灌水點 5bar구에서는 공급된 Cl중 80% 정도가 土深 50cm 이하의 土壤에 분포되어 있는데 비하여 水分條件이 좋은 灌水點 0.2bar구에서는 28%만이 65~85cm 깊이의 土壤에 남아 있었다. 이와 같이 土壤水分 條件이 좋을수록 土壤中에 남아있는 양이 적어졌다.

그런데 나지구에서는 灌水點 5bar 또는 1bar 구에서보다 下向移動이 많았다. 이는 作物이 없는 조건에서 土壤에 의한 蒸發量이 作物栽培區에서의 蒸發散量보다 적어 上向移動보다는 下向移動이 많이 일어났기 때문이라고 생각된다.

土壤水分 條件에 따른 시기별 Cl의 平均 移動거리를 그림3으로 나타냈다. 灌水點 0.2bar구에서 試驗 시작 3개월(7월30일) 後에서부터 Ladino clover가 最終收穫期까지는 10% 정도 자랐는데, 이때까지 Cl의

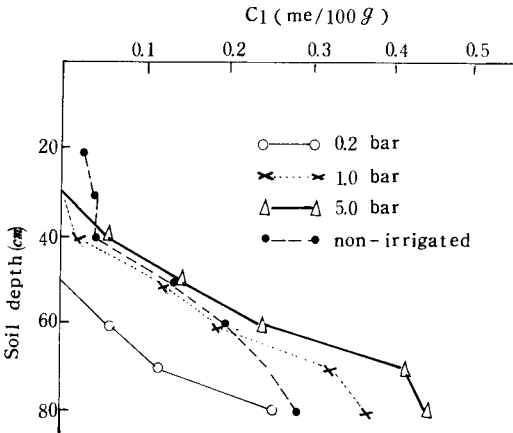


Fig. 2. Vertical distribution of Cl of the soil 4 months after sowing under different soil moisture regimes

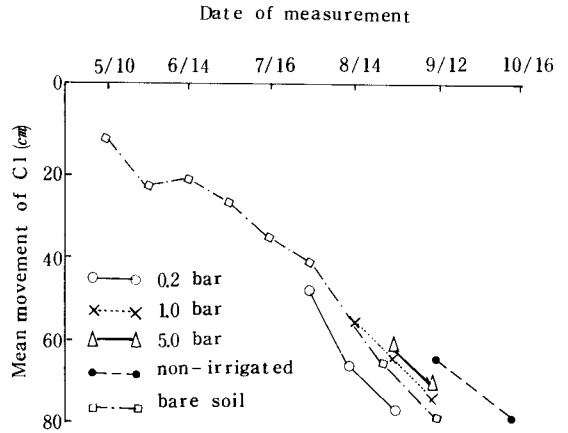


Fig. 3. Mean movement of Cl with time under different soil moisture regimes.

下向移動이 많이 일어나 45cm 깊이까지의 上層부에 남아있는 양이 거의 없으므로 植物體에 의한 吸收量을 무시할 수 있으리라 생각된다. 따라서 鹽化加里로 공급된 Cl양에서 土壤에 남아있는 양을 뺀 값을 microplot 아래 85~95cm 깊이의 가상적인 土層으로 용탈된 양이라고 假定하여 平均移動거리를 求했다.

裸地區에서의 平均 移動거리는 시일이 經過됨에 따라 길어지는 경향이였다. 그러나 1.5개월 후에는 平均 移動거리가 22.0cm로 1개월 후의 23.6cm보다 짧아 이 期間에 上向移動이 주로 일어났음을 나타내고 있다. 나지구에서의 平均 移動거리가 3개월 후부터 4개월까지는 灌水点 0.2bar구에 비하여 10cm 정도 짧고, 4.5개월 후에는 76.3cm로 移動中心 깊이가 microplot 外部에 위치하고 있으며, 대체적으로 灌水点 1bar 구와 비슷하였다. 土壤水分 조건이 좋을수록 平均 移動거리가 길었다. 灌水点 0.2bar구에서는 3.5개월 후에 平均 移動거리가 66.3cm로서 microplot 최하층에 移動 中心깊이가 존재하고, 그 이후 시기에는 移動中心 깊이가 microplot 外部에 위치하였다. 無灌水區에서는 4.5개월 후의 平均 移動거리가 65.2cm로 灌水点 0.2bar구에서의 3.5개월 후의 移動거리와 비슷하였다.

最終收穫期인 5.5개월 후에는 모든 처리구의 土層에서 Cl이 전혀 검출되지 않았다. 이때의 平均 移動거리는 microplot 外部로 용탈된 Cl이 85~95cm 깊이의 가상적인 土層에 분포한다고 假定하여 구한 것

이므로 80cm로 계산되었으나 實際는 이보다 훨씬 길고, 처리간 차이도 클 것이라 생각된다.

灌水点 0.2bar 처리구에서 有效磷酸의 시기별 分布樣相을 그림4로 나타냈다. 磷酸 施用후 5.5개월이 경과되고, 降雨량이 1207mm, 灌水량이 432mm로 많은 양의 물이 microplot에 供給되었는데도 表層에서만 有效磷酸 含量이 높고 20cm 이하 土層에서는 供試土壤과 비슷한 수준이였다. 表層에서의 有效磷酸 含量은 1.5개월 후까지 生育初期에는 灌水量에 따른 養分移動 試驗에서보다 낮으나 2개월부터 4개월 후까지 生育中期에 높았는데 그 이후 生育後期에 다시 낮았다. 20cm깊이의 土壤中 有效磷酸 含量은 生育後期로 갈수록 증가되는 경향이나 最終收穫期에도 약 10 ppm 증가되었을 정도로 移動이 거의 일어나지 않았음을 알 수 있다.

磷酸은 土壤에 쉽게 固定 또는 不溶化하여 有效態로 존재하는 비율이 낮으며<sup>1)</sup>, 有效磷酸 含量이 높은 비옥한 土壤이라도 土壤溶液中 농도가 매우 낮기때문에<sup>4)</sup> 土壤中에서 거의 移動되지 않는다는 것이 일반적인 통념으로 받아들여지고 있다<sup>4,7)</sup>. 그러나 磷酸 施用량이 많으면<sup>5)</sup> 砂質土壤에서<sup>8)</sup> 처리 灌水량이 많거나<sup>7)</sup> 磷酸 전처리에 의해<sup>3)</sup> 많이 移動된다. 本 試驗에서도 그러한 條件들은 충족되나 磷酸肥料로서 용과린을 사용했기 때문에 溶解度가 낮아 거의 移動되지 않았다고 생각된다<sup>2)</sup>. 특히 本 試驗에서는 灌水량에 따른 養分移動 試驗과 비교해서도 磷酸移動량이

적었다. 磷酸이 土壤과 반응하는데는 어느정도 시일이 걸리는데<sup>4)</sup>, 灌水量에 따른 養分移動 試驗에서는 적은 양이나나 灌溉水에 녹은 磷酸이 土壤과 반응하기 전에 下向移動하였기 때문에 나타난 결과라고 생각된다.

土壤水分 條件에 따른 최종수확기의 有效磷酸의 分布樣相은 그림5와 같다. 20cm이하 土層에서는 土壤水分 條件이 좋을수록 有效磷酸 含量이 높아지는 경향이나 처리간에는 거의 차이가 없이 供試土壤과 비슷한 수준이었다.

表層에서의 有效磷酸 含量은 나지구에 비해 作物 栽培區에서 낮는데, 土壤水分을 적게 유지한 처리구일수록 더욱 낮아지는 경향이였다. 특히 無灌溉區에서 낮아 132ppm에 불과하였다. 이는 下向移動이나 作物에 의한 흡수보다는 施用 磷酸의 용해정도가 有效 磷酸의 토층내 分布에 더 큰 영향을 미치기 때문이라고 생각된다.

土壤水分 條件에 따른 시기별 磷酸의 養分收支는 표 3과 같다. 전 처리를 통하여 20cm 이하 土層에서의 有效磷酸 含量이 공시토양과 비슷한 수준으로 下向移動이 거의 일어나지 않고, 表層에서의 有效磷酸 含量 증가량이 施用량에 비해 매우 적었다. 따라서 (시험전 土壤의 有效磷酸+磷酸 施用량)-(시험후 土壤의 有效磷酸+식물체에 의한 磷酸 吸收量)을 비유효화 磷酸으로 계산하였다. 이에선 施用 磷酸中 Bray No. 1-P로 定量되지 않는 것과 土壤에 흡착된

것이 주로 포함된 것이다.

土壤水分 條件이 좋을수록 作物에 의한 磷酸 흡수량이 많았다. 無灌溉區에서의 최종수확기까지 P 흡수량은 microplot당 0.25g으로 施用 磷酸의 14%인데, 여기에다가 供試土壤의 有效磷酸 含量을 고려하면 5%에 불과하였다. 灌水点 0.2bar구에서도 磷酸 흡수량이 0.41g으로 施用 磷酸의 23%에 불과하였다.

土壤水分 條件이 좋을수록 植物에 의한 흡수량이 많을 뿐만 아니라 土壤中에 남아 있는 有效磷酸 含量도 높았기 때문에 비유효화 磷酸量은 적어졌다. 무관개구에서 최종수확기의 非有效化 磷酸의 量이 microplot당 1.28g으로 施肥量의 73%에 해당되는데 비해 灌水点 0.2 bar구에서는 0.93g으로 施肥量의 53%였다. 나지구에서의 비유효화 磷酸은 시험시작 15일(5월10일) 후에 microplot당 1.4g으로 施肥量의 80%인데, 시일이 경과됨에 따라 감소되어 3.5개월 후에는 1.12g으로 施肥量의 64%이고, 그후 5.5개월까지 같은 水準으로 유지되었다. 이는 용과원에서 용출되는 양이 初期에는 土壤에 흡착되는 양보다 많은데, 3.5개월 이후에는 비슷해졌다는 것을 의미한다. 灌水点 0.2bar 구를 제외한 Ladino clover 재배구에서도 植物體에 의한 흡수량은 생육후기로 갈수록 많아지나 非有效化 磷酸은 시간의 경과에 관계없이 一定한 수준이고, 灌水点 1bar 구에서의 비유효화 磷酸이 나지구와 같은 수준이었다. 灌水点 0.2bar구에서는 生育시기가 오래될수록 비유효화 磷酸이 감소되는 경

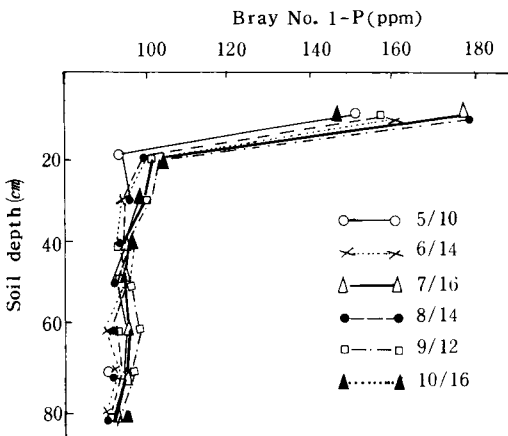


Fig. 4. Vertical distribution of available P of the soil as a function of time in the plot under irrigated at 0.2bar.

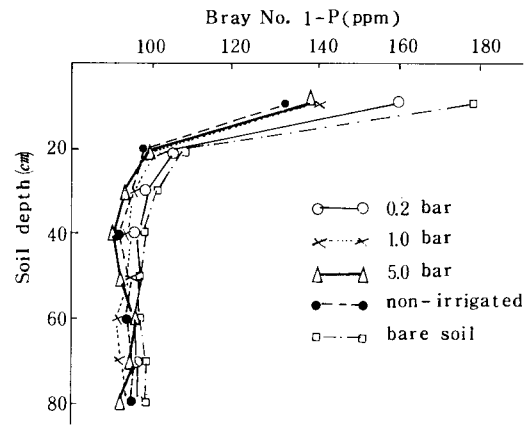


Fig. 5. Vertical distribution of available P of the soil after Ladino clover basrvest under diffetent soil moisture regimes.

**Table 3. Balance sheet for P under different soil moisture regimes and plant growth in the microplot(g).**

Soil moisture regime		Time after sowing(month)				
		3.0	3.5	4.0	4.5	5.5
Irrigated at 0.2bar	Soil	3.70	3.73	3.74	3.66	3.61
	Plant	0.04	0.15	0.19	0.25	0.41
	Non-Av.*	1.21	1.07	1.02	1.04	0.93
1.0bar	Soil		3.71	3.61	3.56	3.49
	Plant		0.11	0.18	0.24	0.32
	Non-Av.		1.13	1.16	1.15	1.14
5.0bar	Soil			3.59	3.57	3.45
	plant			0.14	0.20	0.27
	Non-Av.			1.22	1.18	1.23
Nonirrigated	soil				3.54	3.42
	Plant				0.19	0.25
	Non-Av.				1.22	1.28
Nonirrigated bare soil	Soil	3.75	3.83	3.84	3.85	3.84
	Non-Av.	1.20	1.12	1.11	1.10	1.11

\* Non-Av.P=(Av.P in the original soil + Applied P)-  
(Av.P in the post experimented soil + P in the plant).

향이있다. 최종수확기에도 모든 처리구에서 磷酸肥料를 육안으로 식별할 수 있을 정도의 입자상태로 施肥地點에 존재하고 일부만이 有效磷酸으로 침출되는데, 灌水點 0.2bar 구에서는 植物體에 의한 흡수량이 많고, 水分상태가 좋기 때문에 다른 처리구에 비해 有效化率이 높은 것이라고 생각된다.

**摘 要**

土壤水分 조건을 달리하였을 때 土壤에 시용한 養分이 作物 生育時期別로 어떻게 移動하는가를 究明하기 위하여 本良 砂壤土 (Typic Udifluvents)에서 Ladino clover를 供試作物로 하여 microplot(D 20cm, L 85cm)試驗을 수행하였다.

土壤水分張力을 0.2, 1.0, 5.0 bar, 및 무관수의 4수준으로 하였을때 鹽素 이온의 下向이동은 土壤水分 조건이 좋을수록 빠르게 진행되어 灌水點 0.2bar 처리구에서는 5.5개월후에는 모든 처리구에서 microp-

lot 내 土層에서 Cl이온은 검출되지 않았다.

供試土壤은 有效磷酸함량이 매우높고 砂質임에도 磷酸肥料로 용과린을 사용하였기 때문에 磷酸 사용량이 많으며, 관수량이 많았으나 磷酸이 거의 移動되지 않아 시용 磷酸의 대부분이 施肥地點에 분포되어 있었다. 土壤水分張力이 낮게 유지된 구의 土壤일수록 有效態로 침출되는 磷酸이 많고 植物體에 의하여 흡수되는 양도 증가 하였다. 最終收穫期에 무관계구에서는 施用 磷酸의 13%가 有效態로 침출되고 14%가 作物에 흡수되었는데 비해 灌水點 0.2bar 처리구에서는 24%가 침출되고 23%가 作物에 의해 吸收되었다.

**Literature Cited**

1. Enfield, C.G. and R. Ellis, Jr. 1983. The movement of phosphorus in soil. P. 93-107. In D.W. Nelson, K.K. Tanji, and D.E. Elrick (ed.). Chemical mobility and reactivity in soil systems. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub. No.11, Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
2. Khasawneh, F.E., E.C. Sample, and I. Hashimoto. 1974. Reactions of ammonium ortho- and polyphosphate fertilizers in soil. 1. Mobility of phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38 : 446~451.
3. Mansell, R.S., P.J. Mckenna, E. Flaig, and M. Hall. 1985. Phosphate movement in columns of sandy soil from waste waterirrigated site. Soil Sci. 140 : 59~68.
4. Mengel, K. 1985. Dynamics and availability of major nutrients in soils. Adv. Soil Sci. 2 : 65~131.
5. Miller, M.N. 1979. Contribution of nitrogen and phosphorus to subsurface drainage water from intensively cropped mineral and organic soils in Ontario. J. Envir. Qual. 8 : 42~48.
6. Nielsen, D.R., M. Th. Van Genuchten, and J.W. Biggar. 1986. Water flow and solute transport process in the unsaturated zone. Water Resour. Res. 22 : 89~108.
7. Sharma, P.K., A.K. Sinha, and T.N. Chaudhary. 1985. Movement of surface and deep placed phosphorus in a snady loam soil in relation to initial soil wetness, amount of water applied, and evaporation potentials. Soil Sci. 140 : 256~262.
8. Sommers, L.E., D.W. Nelson, and L.B. Owens. 1979. Status of inorganic phosphorus in soils irrigated with municipal waste-water. Soil Sci. 127 : 340~350.
9. Sorensen, R.C. and R.A. Wiese. 1982. Distribution of phosphorus in columns of very sandy soils after leaching with water or diammonium phospnate solution. Soil Sci. 134 : 97~104.
10. Wagnet, R.J. 1983. Principles of salt movement in soils. P. 123~140. In D.W. Nelson, K.K. Tanji, and D.E. Elrick(ed.). Chemical mobility and reactivity in soil systems. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub. No.11, Am. Agron. Madison, Wis.