

화산회토에서 옥수수과 감자의 시비처리에 따른 양분 흡수 및 용탈

강봉균*† · 박양문* · 강영길*

*제주대학교 농과대학

Nutrient Uptake and Leaching Under Different Fertilizer Treatment for Corn and Potato Growth in Volcanic Ash Soil

Bong-Kyoon Kang*†, Yang Mun-Park* and Young-Kil Kang*

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

ABSTRACT : 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 N fertilizer (urea) and mature compost were applied. Lysimeters (volume 0.15 m³, diameter 62 cm, height 62.8 cm) were installed for collecting leachate in the Jeju 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, and 64 kg/10a), three N fertilizer and compost soil surface applications (16+800, 32+1600, and 64+3200 kg/10a), two water dissolved N fertilizer applications (16 and 32 kg/10a), and low and high plant densities. The growth of corn (preceding crop) and potatoes (succeeding crop) and leaching loss were determined during the experimental period. The amount of leachate from lysimeter was remarkably greater at bare conditions than at cropping conditions for corn and potatoes. The N content of plants (corn and potatoes) tended to increase as fertilizer rate increased. Fertilization of urea dissolved in water to soil was more efficient than surface fertilization for the growth, yield, and the N uptake N of corn and potatoes. 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. There were significant correlations between N uptake and each of Ca, K and Mg uptakes in corn and potatoes. 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 N leaching losses was lower at low N rate and high plant density.

Keywords : lysimeter, nutrient leaching, corn, potato, leaching loss, dissolved in water.

질소비료 사용은 대부분의 작물에 있어서 다수확을 올리기 위해 필수적이다. 요소는 제조비용이 비교적 저렴하고 질소함량이 높아 단위 질소당 운송비용이 낮으므로 국내에서 가장 많이 사용되는 질소비료이다. 토양에 사용된 요소는 쉽게 가수분해되며(Volk, 1959) 암모니아화작용, 질산화작용으로 형태적 변화를 겪게 된다. 이때에 생성된 NH₄-N은 식물에 의하여 흡수되는 한편 토양에 흡착 또는 휘산되고(Black & Sherlock, 1985), 토양내에서 질산화작용에 의하여 NO₃-N로 변환되며, 이 NO₃-N 역시 식물에 흡수되는 형태이지만 환경조건에 따라서 탈질 또는 용탈에 의해 손실된다(Firestone *et al.*, 1979; Rolston *et al.*, 1978). 질소사용량이 많으면 작물의 생육은 증가하지만 사용질소의 흡수율이 낮아져서 비료 이용효율이 떨어지고 동시에 용탈에 의한 손실량은 증가하게 된다.

따라서 본 연구에서는 투수속도가 빠르고 오염물질의 흡착 능력이 낮아 지하수 오염성이 매우 높은 제주도 화산회토 밭 토양에서 lysimeter를 이용하여 시비양분에 따른 작물의 생육과 그 토양내 시비양분의 이동, 용탈가능성을 추정하여 현재의 생산성이나 품질수준을 저하시키지 않고, 비료의 사용량을 효과적으로 줄여 환경과 조화를 이루는 친환경적 농업의 기초 자료를 얻기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험용 lysimeter 설치 및 토양 총진

본 시험은 제주대학교 부속농장(표고 278 m)에서 1996년 5월부터 12월까지 수행하였다. 시험에 사용한 lysimeter(Fig. 1)는 유저 PVC 원추형 통으로 상부면적은 0.302 m²이고, 전체 부피(V)는 0.156 m³이었고, 높이 80 cm인 강관틀 위에 설치하였다. PVC 통의 밑면에 직경 6 cm의 구멍을 뚫고 유출관을 18 l의 저수통과 연결하여 용탈수 전량이 저수통에 모이도록 설치하여 강우시마다 용탈수를 채수하였다.

사용된 토양은 화산회토가 모재인 농암갈색토 미사질양토로

†Corresponding author: (Phone) +82-64-754-3391 (E-mail) kang-bong@cheju.cheju.ac.kr

<Received May 23, 2001>

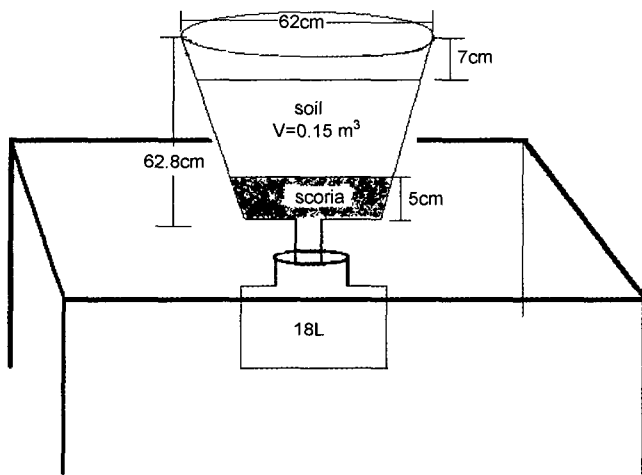


Fig. 1. Schematic diagram of lysimeter for leachate sampling.

pH는 6.72, T-N는 0.29%, 유효인산 326 ppm, 유기물함량은 5.32%, 치환성 Ca, Na, K, Mg은 각각 2.69, 0.54, 1.12, 1.47 me/100 g이었고, CEC는 13.91 me/100 g이었다. 공시토양은 포트의 바닥에 5 cm의 마사토(제주송이)로 채운 후 각 포트당 186 kg씩 충전하였으며 lysimeter의 윗부분은 상부 7 cm의 공간을 두어 비가 오더라도 빗물이 외부로 유출되는 것을

방지하였다.

시험기간중의 기온 및 일조시수는 평년에 비해 큰 차이가 없었으나 강수량은 714 mm로 평년에 비해 적은 편이었으며, 시기별로는 7~8월의 강수량은 평년보다 적었던 반면 10, 11월에는 집중호우가 많았다.

처리내용

처리내용은 Table 1과 같이 무비방임구(T1), 무비무재배 제초구(T2), 무비재배구(T3), 질소소비구(T4), 질소보비구(T5), 질소증량구(T6), 질소·퇴비 소량구(T7), 질소·퇴비 보비구(T8), 질소·퇴비 증량구(T9), 질소소비 수용액처리구(T10), 질소보비 수용액처리구(T11), 질소보비 소식구(T12), 질소보비 밀식구(T13) 등 13 처리를 난괴법 3반복으로 배치하였다. 전작물로 제주 재래종(Yellow) 옥수수(*Zea mays* L.), 후작물로는 감자(*Solanum tuberosum* L.)를 공시하였다. 감자는 대지품종을 이용하였다. 표준시비량은 옥수수는 질소-인산-가리-퇴비를 각각 18-15-15-800 kg/10a, 감자는 각각 14-11-12-800 kg/10a 기준으로 시비하였다. 질소원은 요소, 인산 및 가리는 각각 용성인비 및 염화가리를, 퇴비는 자연발효퇴비(질소 0.76%, 인산 1.07%, 가리 0.65%, 유기물 31.1%, 수분 59.5%)를 사용하였다. 질소시비방법은 옥수수는 기비 50%, 추비(이식 45일 후)

Table 1. Description of the treatments

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

†: Nitrogen was applied as urea.

‡: Corn-preceding crop, potato-succeeding crop.

50%를, 감자는 전량 기비로 하였다. 질소증량구는 인산 및 가리도 2배 수준으로 시비하였으며, 수용액처리구는 보비구 기준으로 1%의 수용액을 만들어 토양관주하였다. T2구는 주잡초가 초장 2 cm 내외가 될 때마다 20 cm 깊이로 경운하였다.

옥수수는 상토에 파종, 육묘후 3엽기인 6월 1일에 이식하여 8월 20일에 수확하였고, 감자는 8월 24일에 파종하여 11월 16일에 수확하였다.

식물체 분석 및 시비질소의 행방 추적

옥수수 및 감자 잎의 엽록소함량치는 chlorophyll meter (SPAD-502)를 이용하여 측정하였다. T-N, K, Ca, Mg, Na 분석은 전질소함량은 황산, 과산화수소법을 이용하여 시료를 분해시킨 후 질소자동분석장치(Büchi 339, Germany)로, 치환성 K, Ca, Mg, Na은 원자방출분광기(Inductively-coupled-plasma atomic emission spectrometer; model JY 138-ultrace, Jobin-yvon사, France)를 이용하여 측정하였다.

시비질소의 식물체 흡수율은 식물체중 질소농도에 건물중을 곱하여 환산한 후 무비재배구(T3)의 식물체 흡수량을 감하여 산출하였다. lysimeter 밖으로의 용탈율은 강우시마다 유출관에 모아진 용탈수량을 측정하고 그 중 일부를 취하여 NO₃-N 농도를 측정하여 환산한 후 시비구 총용탈량에서 방입구(T1)의 총용탈량을 감하여 산출하였다. 토양내 잔존율은 시험후 토양의 잔존량에서 방입구(T1)의 잔존량을 감하여 산출하였다. 이들 각각의 총합을 100으로 하여 각각의 비율을 산출하였다.

결과 및 고찰

시험기간 중의 총 강우량은 714.6 mm였으며, 13 처리에 따른 용탈수의 양은 Table 2와 같이 총강우량 대비 22.1~46.1%로 차이가 많았다. 가장 용탈수량이 많은 처리구는 무비무재배제초구(T2)로 329.7 mm가 용탈되어 총강우량의 46%를 차지하였고, 다음으로 T1, T3, T12구 순으로 용탈량이 많았던 반면에 T9, T11, T13구는 용탈율이 22.0~23.0%로 매우 적게 나타났다. 용탈율과 식물체의 질소흡수량과의 관계(Table 3)는 용탈율이 감소할수록 질소흡수량은 현저하게 증가하는 상관성(r=-0.90**)을 보였고, 용탈율과 옥수수 및 감자의 건물수량간에도 각각 r=-0.92**, r=-0.95**의 유의성있는 부의 상관관계를 보이고 있어 작물체의 생육이 양호하게 되면 용탈수량이 유의하게 감소하는 결과를 보였다.

Table 2. Percolation amount and leachate ratio at 13 treatments

Treat.†	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Total percolation amount (mm)	287.1	329.7	255.2	194.1	192.1	177.0	186.7	180.0	161.6	185.6	164.9	209.6	157.9
Percolation ratio (%)	40.2	46.1	35.7	27.2	26.9	24.8	26.1	25.0	22.6	26.0	23.1	29.3	22.1

†: See Table 1.

Total rainfall of the experient period (19 June~13 Dec.) was 714.6 mm.

Table 3. Correlation coefficients between percolation ratio, and N uptake and dry matter of corn and potatoes as affected by nitrogen fertilizer

Percolation ratio	N uptake	Dry metter	
		Corn	Potato
	-0.90**	-0.92**	-0.95**

**Significant at the 1% probability level.

작물 생육

옥수수의 간장은 무비구(T3)가 7월 15일에 가장 낮았던 반면, 증량구(T9) 및 수용액구(T11)에서 길게 나타났다(Table 4). 다비할수록 초장이 커지는 경향을 보였으며, 밀식구에서는 양분흡수 경쟁으로 양분이 다량 소모되어 초장이 작아진 것으로 나타났다. 엽록소측정치는 다비할수록 높아지는 추세를 보인 반면, 소식구에 비해 밀식구가 현저하게 낮아졌다. 수용액구(T10)의 이삭수량은 소비구(T4)에 비해 28%나 증수된 것으로 나타나고 있어 수용액 시비가 소비재배시 작물의 증수에 매우 유리할 것으로 사료된다. 지상부건물중은 무비구(T3)는 소비구(T4)의 70%에 지나지 않았으며, 시비수준별로는 소비구(T4)에 비해 보비구(T5) 및 증량구(T6)에서 유의하게 무거웠다.

감자의 전반적인 생육상태는 옥수수의 생육상태와 유사한 경향을 보였다. 무비구(T3)의 건경중은 소비구(T4)의 47%, 증량구(T9)의 31%에 불과하였고, 질소·퇴비보비구(T8) 및 증량구(T9)에서 유의하게 무거웠다. 전작물인 옥수수에 비하여 후작물인 감자의 무비구의 수량이 감소가 컸었던 것은 옥수수에 의한 양분흡수와 강우에 의한 양분용탈에 기인되었던 것으로 생각된다.

작물체중 무기성분의 함량과 흡수량

처리별 옥수수과 감자의 무기성분과 흡수량은 Table 5, 6 및 7과 같다. 옥수수의 질소함량은 시비량이 많아질수록 증가하는 경향을 보였고, 토양시비에 비해 수용액 시비가 상대적으로 흡수율이 높은 추세를 나타내었다. 감자의 질소함량도 옥수수와 유사한 경향을 보였으며, 시비방법별로는 수용액구(T10, T11)가 질소단용구(T4, T5)에 비해 유의하게 질소함량이 높은 것으로 나타나고 있어 수용액시비가 시비양분의 흡수율을 증가시키는 것으로 생각된다. 또한 보비구에 비해 증량구의 옥수수 및 감자의 생체 및 건물수량이 비슷한 경향을 보이는 반면 식물체내 질소함량 및 흡수량은 다비할수록 유의하게 증가

Table 4. The agronomic characters of corn and potatoes at 13 treatments

Treatment	Corn				Potato			
	Culm length (cm)	SPAD value	Ear yield g/plot	Top dry matter yield g/plot	Plant height (cm)	SPAD value	Stem dry matter yield (g/plot)	Tuber dry matter yield (g/plot)
T3	136 ^d	42.1 ^e	262 ^g	364 ^d	39.4 ^c	27.7 ^d	12.7 ^c	71 ^f
T4	156 ^{bc}	48.2 ^d	406 ^f	524 ^c	47.9 ^b	31.2 ^c	26.8 ^b	156 ^e
T5	158 ^{bc}	50.7 ^{bc}	517 ^{bcd}	599 ^b	51.1 ^{ab}	32.1 ^{bc}	30.7 ^b	200 ^{bcd}
T6	159 ^{bc}	51.0 ^{abc}	508 ^{cd}	586 ^b	52.8 ^{ab}	35.2 ^a	30.5 ^b	203 ^{bcd}
T7	164 ^{bc}	49.7 ^{cd}	501 ^c	619 ^b	48.8 ^{ab}	33.6 ^{ab}	28.3 ^b	187 ^d
T8	168 ^{bc}	52.4 ^{ab}	520 ^{abc}	625 ^b	52.5 ^{ab}	34.3 ^{ab}	39.3 ^a	211 ^{abc}
T9	174 ^a	53.2 ^a	536 ^a	630 ^b	53.3 ^a	35.6 ^a	40.8 ^a	225 ^a
T10	166 ^{abc}	49.7 ^{cd}	520 ^{abc}	624 ^b	49.5 ^{ab}	34.0 ^{ab}	29.4 ^b	196 ^{cd}
T11	172 ^b	53.4 ^a	530 ^{ab}	626 ^b	52.3 ^{ab}	35.3 ^a	39.7 ^a	199 ^{dc}
T12	172 ^b	52.2 ^{ab}	498 ^d	570 ^{bc}	52.6 ^{ab}	34.7 ^a	27.6 ^b	170 ^e
T13	152 ^c	42.8 ^e	472 ^e	702 ^a	52.9 ^{ab}	30.8 ^c	42.4 ^a	218 ^{ab}
CV(%)	14.2	2.6	1.9	5.3	5.4	4.0	8.2	5.5

†: See Table 1.

‡: Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level by Duncan's new multiple range test.

Table 5. Content and uptake of N, Ca, K and Mg of corn plant at 13 treatments

Treatment [†]	Content (%)					Uptake (g/plot)				
	N	Ca	Na	K	Mg	N	Ca	Na	K	Mg
T3	0.65 ^b	0.12 ^e	0.020 ^b	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 ^f	0.18 ^{bc}	6.55 ^b	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 ^e	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 ^{dc}	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 ^{de}	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(%)	10.8	9.7	12.1	1.1	15.3	11.1	9.2	12.3	13.0	14.5

†: See Table 1.

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

하는 것으로 나타나고 있어 질소과용은 작물체의 수량증가에 기여하지 못하여 질소효율을 저하시키며 NO₃⁻ 용탈에 의한 수질오염의 가능성도 큰 것 같다(Lacascio *et al.*, 1972).

옥수수 Ca의 함량은 질소증량구(T8, T9)가 높게 나타났고, 무비구(T3)가 가장 낮았으며, 옥수수 흡수량에서도 유사한 결과를 보였다. 이는 질소 시비량을 증가시킴에 따라 인산의 공급도 2배로 증가시킴으로써 시용한 용성인비의 CaO 성분(28~30%)에 의해 Ca의 공급이 증가된데 기인한 것으로 생각된다.

옥수수의 가리함량 및 흡수량은 시비구의 모든 처리구가 무

비구(T3)에 비해 유의하게 높았다. 감자의 가리 함량도 시비증량구가 무비구(T3)에 비해 현저히 높았다. 옥수수 및 감자에 있어서 Mg의 함량 및 흡수량도 증량구(T9)에서 대체적으로 높았으나 그 외 처리구에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 인산의 공급원으로 시비한 용성인비에 구용성 Mg이 10% 내외로 포함되어 있었으나 용성인비 시비와 Mg 흡수에의 기여는 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다.

옥수수 및 감자의 무기성분 흡수량간의 상관관계를 Table 8에서 살펴보면 질소의 흡수량과 Ca, K, Mg과의 관계가 각각 r=0.89**, 0.94**, 0.87***로 매우 높은 상관성을 유지하고 있

Table 6. Content and uptake of N, Ca, K and Mg of potato stems at 13 treatments

Treatment [†]	Concentration (%)					Uptake (mg/plot)				
	N	Ca	Na	K	Mg	N	Ca	Na	K	Mg
T3	1.82 ^{hi‡}	0.67 ^c	0.060 ^d	1.16 ^e	0.14 ^h	232 ^f	85 ^c	8 ^d	148 ^e	18 ^f
T4	2.18 ^b	0.87 ^{abc}	0.069 ^{cd}	1.60 ^c	0.27 ^g	584 ^e	233 ^b	19 ^c	429 ^d	72 ^c
T5	2.79 ^e	0.90 ^{ab}	0.086 ^{ab}	1.67 ^c	0.51 ^{cd}	860 ^{cd}	277 ^b	27 ^{abc}	513 ^{cd}	157 ^d
T6	2.97 ^{ab}	0.99 ^{ab}	0.097 ^a	1.91 ^{ab}	0.53 ^{bc}	905 ^{bc}	302 ^{ab}	30 ^{abc}	583 ^{bc}	162 ^d
T7	2.27 ^g	0.92 ^{ab}	0.080 ^{bc}	1.60 ^c	0.33 ^f	644 ^{de}	261 ^b	23 ^{bc}	453 ^d	93 ^e
T8	2.82 ^d	0.94 ^{ab}	0.085 ^{abc}	1.69 ^c	0.48 ^d	1110 ^{ab}	370 ^{ab}	33 ^{ab}	665 ^b	189 ^c
T9	2.98 ^a	1.10 ^a	0.088 ^{ab}	1.99 ^a	0.57 ^{ab}	1216 ^a	449 ^a	36 ^a	812 ^a	233 ^a
T10	2.65 ^f	0.90 ^{ab}	0.084 ^{abc}	1.61 ^c	0.29 ^g	781 ^{cde}	265 ^b	25 ^{abc}	473 ^{cd}	085 ^e
T11	2.87 ^c	0.91 ^{ab}	0.089 ^{ab}	1.66 ^c	0.53 ^{bc}	1142 ^{ab}	362 ^{ab}	35 ^{ab}	660 ^b	211 ^{ab}
T12	2.93 ^b	0.94 ^{ab}	0.087 ^{ab}	1.85 ^b	0.59 ^a	809 ^{cde}	260 ^b	24 ^{abc}	512 ^{cd}	163 ^d
T13	2.24 ^g	0.77 ^{bc}	0.080 ^{bc}	1.34 ^d	0.39 ^e	950 ^{bc}	327 ^{ab}	34 ^{ab}	570 ^{bc}	165 ^{cd}
CV(%)	1.1	13.6	6.3	3.1	5.6	5.7	8.1	14.7	11.7	10.1

[†]: See Table 1.

[‡]: 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 7. Content and uptake of N, Ca, K and Mg of potato tubers at 13 treatments

Treatment [†]	Concentrations (%)					Uptakes (mg/plot)				
	N	Ca	Na	K	Mg	N	Ca	Na	K	Mg
T3	1.47 ^{h‡}	0.008 ^d	0.018 ^b	1.86 ^e	0.11 ^f	1047 ⁱ	6 ^g	13 ^e	1324 ⁱ	78 ^g
T4	1.74 ^g	0.010 ^d	0.030 ^c	2.06 ^d	0.14 ^{cd}	2714 ^h	15 ^f	46 ^c	213 ^h	218 ^e
T5	1.77 ^g	0.010 ^d	0.028 ^c	2.28 ^c	0.15 ^{bc}	3549 ^e	20 ^e	57 ^b	4582 ^d	301 ^c
T6	2.07 ^b	0.016 ^c	0.030 ^c	2.48 ^b	0.16 ^b	4194 ^b	32 ^{cd}	61 ^b	5025 ^b	324 ^b
T7	1.75 ^g	0.010 ^d	0.020 ^b	2.12 ^d	0.14 ^{cd}	3274 ^f	19 ^e	37 ^d	3966 ^g	266 ^d
T8	1.98 ^d	0.014 ^c	0.020 ^b	2.30 ^c	0.15 ^{bc}	4159 ^b	29 ^d	42 ^{cd}	4844 ^c	316 ^b
T9	2.14 ^a	0.020 ^b	0.031 ^c	2.62 ^a	0.18 ^a	4815 ^a	45 ^b	70 ^a	5895 ^a	405 ^a
T10	1.79 ^{ef}	0.017 ^{bc}	0.033 ^c	2.06 ^d	0.14 ^{de}	3503 ^e	33 ^c	65 ^{ab}	4031 ^f	264 ^d
T11	2.02 ^c	0.016 ^c	0.029 ^c	2.30 ^c	0.15 ^{bc}	4020 ^c	32 ^{cd}	58 ^b	4577 ^e	299 ^c
T12	1.82 ^e	0.029 ^a	0.034 ^a	1.89 ^e	0.13 ^e	3085 ^g	49 ^a	58 ^b	3204 ^h	219 ^f
T13	1.75 ^g	0.020 ^b	0.022 ^b	1.88 ^e	0.14 ^{de}	3820 ^d	44 ^b	48 ^c	4104 ^e	297 ^c
CV(%)	1.0	12.9	12.8	3.2	4.1	1.1	13.2	2.9	3.2	5.4

[†]: See Table 1.

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

어 질소의 흡수가 다른 무기양분의 흡수에 작용하고 있음을 보여주고 있다. 질소와 가리의 시용수준이 목초의 질소와 K, Ca, Mg과 Na 등의 함량, 그리고 이들간 상호작용에 영향을 미친다는 보고(Papanastasis & Koukculakis, 1988)로 볼 때 질소시비량 증가에 따른 식물체의 질소흡수율과 Ca, K 등의 무기성분 흡수에도 연관성이 큰 것으로 보여 시비량 산정시

이에 대한 고려가 있어야 하겠다.

시험후 토양중의 T-N 및 치환성 Ca, Na, Mg, K의 변화

시험종료후 토양 10~40 cm 깊이의 T-N 및 이온의 변화는 Table 9와 같다. 시험후 토양의 총질소함량은 각 처리간에 통계적 유의성은 없었으나, 10~20 cm보다 20~40 cm 깊이의 토양에서 높은 것으로 조사되었다. 비료로 시비된 용성인비 및 염화가리에 의해 토양에 공급되었던 Ca 및 K, Mg의 함량은 다비구일수록 높아져 토양중에 잔존량이 많은 것으로 조사되었으나 시비가 되지 않았던 Na는 일정한 경향을 보이지 않았다. 깊이별로는 치환성 Ca, K, Mg 모두 10~20 cm의 표층보다 20~40 cm의 심토층의 함량이 높게 나타나 식물체에 의해

Table 8. Correlation coefficients between N uptake and Ca, K and Mg uptake of plants as affected by nitrogen fertilizer

	Ca	K	Mg
N	0.89 ^{**}	0.94 ^{**}	0.87 ^{**}

^{**}Significant at the 1% probability level.

Table 9. T-N (%) and Exchangeable cations(me/100g) of soil after the experiment at 13 treatments

Treatment.†	Item	T-N		Ca		Na		K		Mg	
		Soil depth (cm)		10-20	20-40	10-20	20-40	10-20	20-40	10-20	20-40
	10-20	20-40	10-20	20-40	10-20	20-40	10-20	20-40	10-20	20-40	
T1	0.24 ^{af}	0.24 ^a	1.21 ^{ab}	1.30 ^{abcd}	0.22 ^a	0.28 ^a	0.43 ^b	0.62 ^b	0.58 ^a	0.56 ^c	
T2	0.23 ^a	0.24 ^a	1.08 ^{ab}	1.24 ^{bcd}	0.23 ^a	0.25 ^{ab}	0.49 ^{bc}	0.57 ^{bc}	0.51 ^{abc}	0.65 ^{abc}	
T3	0.22 ^a	0.23 ^a	1.33 ^a	1.45 ^{ab}	0.23 ^a	0.27 ^a	0.51 ^{bcd}	0.54 ^{cde}	0.60 ^a	0.72 ^{ab}	
T4	0.23 ^a	0.24 ^a	1.27 ^a	1.06 ^d	0.23 ^a	0.21 ^b	0.38 ^{def}	0.45 ^{def}	0.58 ^a	0.51 ^c	
T5	0.23 ^a	0.24 ^a	1.18 ^{ab}	1.27 ^{abcd}	0.22 ^a	0.25 ^{ab}	0.39 ^{bcd}	0.54 ^{bcd}	0.58 ^a	0.61 ^{abc}	
T6	0.25 ^a	0.26 ^a	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	0.24 ^a	0.24 ^a	1.27 ^a	1.25 ^{bcd}	0.23 ^a	0.25 ^{ab}	0.29 ^f	0.41 ^f	0.60 ^a	0.55 ^c	
T8	0.24 ^a	0.25 ^a	1.20 ^{ab}	1.27 ^{abcd}	0.22 ^a	0.28 ^a	0.40 ^{bc}	0.57 ^{bc}	0.60 ^a	0.62 ^{abc}	
T9	0.26 ^a	0.27 ^a	0.90 ^c	1.41 ^{ab}	0.23 ^a	0.29 ^a	0.47 ^b	0.62 ^b	0.42 ^{bc}	0.73 ^{ab}	
T10	0.24 ^a	0.24 ^a	1.24 ^{ab}	1.31 ^{abcd}	0.24 ^a	0.28 ^a	0.39 ^{ef}	0.42 ^{ef}	0.56 ^a	0.61 ^{abc}	
T11	0.24 ^a	0.25 ^a	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	0.24 ^a	0.25 ^a	1.17 ^{ab}	1.22 ^{abc}	0.22 ^a	0.25 ^{ab}	0.45 ^{cdef}	0.46 ^{cdef}	0.54 ^{abc}	0.59 ^{bc}	
T13	0.23 ^a	0.24 ^a	1.23 ^{ab}	1.41 ^{ab}	0.24 ^a	0.29 ^a	0.35 ^f	0.37 ^f	0.58 ^a	0.56 ^c	
CV(%)	11.9	12.5	8.9	11.1	14.0	9.9	12.8	11.9	10.0	8.0	

†: See Table 1.

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

흡수되고 남은 잔존량은 작토층이하로 이동되어 축적되고 심토층으로 용탈되고 있음을 보여주고 있다. Doerge & Gardner(1985)는 NH₄-N 비료를 사용했을 때 질산화 작용으로 생긴 NO₃-N이 용탈됨에 따라 치환성 Ca의 용탈이 많아졌다고 보고하고 있다.

시비질소의 흡수, 용탈 및 토양잔존량 추정

옥수수과 감자에 사용된 질소비료의 식물체에 의한 흡수율, 강우에 의한 용탈율, 토양내 잔존율을 Fig. 2에서 추정해 보면 각 처리에 따른 옥수수 및 감자의 전체적인 질소 흡수량은 시비량이 많아질수록 증가하였으나 비료로 사용된 질소의 식물체 흡수율은 질소소비구(T4)에서 54.9%로 가장 높게 나타났고, 질소중량구(T6) 및 질소·퇴비중량구(T9)에서는 시비에 의한 질소 흡수율이 각각 34.0%, 31.1%로 낮은 것으로 조사되었다. 그리고 시비 질소흡수율이 가장 높았던 구는 밀식구(T13)로 총 시비질소의 60%를 흡수한 것으로 추정되었다. 강우에 의한 시비질소의 용탈율은 0.1%~8.7%로 나타났으며, 중량구(T6) 및 소식구(T12)의 용탈율이 8%이상인 반면 밀식구(T13) 및 수용액시비구(T10, T11)는 0.1~0.8%로 낮게 조사되었다. 시비된 질소가 심토층에 잔존된 질소의 비율은 38.6~63.4%로 식물체 흡수 및 용탈율에 비해 전반적으로 높은 것으로 나타났으며, 질소사용량이 증가할수록 잔존율이 높아지는 경향을 나타내었다. Omoti *et al.*(1983)은 사용된 질소의 5~20%가 용탈에 의해 손실되었다고 보고하고 있어 토양에 잔존된 질소는 다음에 재배되는 식물에 의하여 이용될 가능성은 있으나 오히려 식물이 생육하지 않는 기간동안 심토층

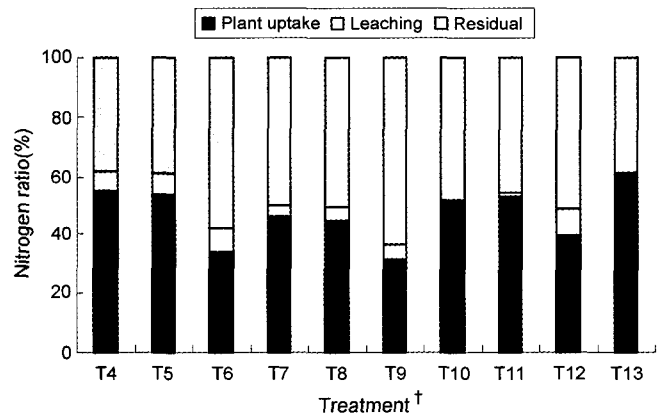


Fig. 2. Distributional proportion of applied nitrogen at 13 treatments.

†: See Table 1.

으로 더욱 용탈될 잠재성을 갖게 된다(Liang *et al.*, 1991).

이와 같은 결과로 미뤄 볼 때 작물체에 흡수되지 못한 비료 성분들은 토양에 잔존해 있으면서 강우 등에 의해 심토층으로 점차적으로 용탈되는 것으로 추정되는 바 토양에 용탈되는 양을 최소화시키고 식물에 의한 질소흡수를 최대화시키는 방향으로 시비방법을 모색하여 지하수오염을 줄일 수 있는 환경친화형 시비관리가 이뤄져야 할 것이다.

적 요

나지와 작물재배조건의 발토양에서 질소 공급원으로 질소질

비료 및 완숙 퇴비를 시비함에 따른 작물체의 생육 및 양분 흡수와 토양내 양분의 이동, 지하수로의 용탈 가능성을 추정하여 시비양분의 행방을 추정하기 위하여 lysimeter에 무비방 입구, 무비무재배 재초구, 무비재배구, 질소 토양처리구(16, 32, 64 kg/10a), 질소+퇴비 토양처리구(16+800, 32+1600, 64+3200 kg/10a), 질소 수용액처리구(16, 32 kg/10a), 질소보비(32 kg/10a) 소식 및 밀식구 13 처리로 하여 전작물 옥수수과 후작물 감자의 생육 및 양분의 흡수, 용탈정도를 조사하였다.

lysimeter를 통하여 용탈된 물의 양은 나지구(T1, T2)가 작물 재배구들보다 현저하게 많았다. 시비량을 증가시킬수록 전작물(옥수수)과 후작물(감자)의 식물체내 질소함량은 증가하는 경향이였다. 작물체의 생육은 수용액시비구가 토양시비구에 비해 유의하게 양호하였고, 질소흡수율도 수용액시비구가 상대적으로 높았다. 옥수수 및 감자의 건물수량은 질소·퇴비보비구와 증량구가 큰 차이가 없었으나, 식물체내 N, Ca, Na, K, Mg의 함량은 시비량이 많을수록 높아지는 것으로 나타났다. 옥수수, 감자의 총질소 함량과 다른 무기성분의 흡수량간에는 Ca, K, Mg과 각각 0.89**, 0.94**, 0.87**로 매우 높은 상관성을 유지하고 있어 질소의 흡수가 다른 무기성분의 흡수에 영향을 미치고 있음을 보여주었다. 식물체의 실제적인 질소흡수량은 시비량을 증가시킬수록 증가하였으나, 비료로 시용된 질소의 흡수율은 소비구(T4)가 54.9%로 가장 높은 반면, 증량구에서는 31.0~34.0%로 낮아졌다. 토양잔존율은 시비량이 많을수록 높아져 다비구일수록 용탈 가능성이 커지는 것으로 나타났다.

인용문헌

Black, A. S. and R. R. Sherlock. 1985. Ammonia loss from nitrogen fertilizer. *N. Z. Fert. J.* 68:12-17.

Button, E. F. and A. Hawkins. 1958. Foliar application of urea to potatoes. *Am. Potato J.* 35:559-572.

Doerge, A. and E. Gardner. 1985. Reacidification of two lime amended soils in Western Oregon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:680-685.

Eastwood, T. and J. Watts. 1956. The effect of nitrogen fertilization upon potato chipping quality. 1. Chip color. *Am. Potato J.* 33:187-189.

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.

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.

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.

Omoti, U., D. O. Ataga, and A. E. Isenmila. 1983. Leaching losses of nutrients in oil palm plantation determined by tenton lysimeter. *Plant and Soil.* 73:365-376.

Papanastasis, V. P. and P. H. Koukculakis. 1988. Effects of fertilizer application to grassland in Greece. *Grass and Forage Sci.* 43(2):153-158.

Volk, G. M. 1959. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare soils. *Agron. J.* 51:746-749.