

## 석비레 성토지에서 경사도 및 시비방법이 시용 질소의 행동에 미치는 영향

김기덕\* · 안재훈 · 박경훈 · 이응호 · 박철수 · 황선웅 · 이상모<sup>1</sup>

농촌진흥청 고령지농업연구소, <sup>1</sup>서울대학교 농업과학공동기기센터

### Effects of Slope and Fertilizer Application Method on the Behavior of Nitrogen in Saprolite Piled Highland

Ki-Deog Kim\*, Jae-Hoon Ahn, Kyung-Hoon Park, Eung-Ho Lee, Chol-soo Park, Seon-Woong Hwang, Sang-Mo Lee<sup>1</sup>

National Institute of Highland Agriculture, RDA, Pyeongchang 232-955, Korea

<sup>1</sup>National Instrumentation Center for Environmental Management, SNU, Seoul 151-921, Korea

The lysimeter (1.2 m with × 1.6 m length) experiment using <sup>15</sup>N tracer method was conducted to investigate the influence of slopes (degree 5, 15 and 30%) and fertilizer application methods (solid application and fertigation) on the behavior of applied urea in saprolite piled highland with Chinese cabbage cultivation. NDFFs( nitrogen derived from fertilizer) in soil were increased with decreasing of degree of slope and of depth of soil.

The recovery as percentage of fertilizer nitrogen by Chinese cabbage were 69.5% for solid application and 76.5% for fertigation in 5% slope, 65.0% for solid application and 70.2% for fertigation in 15% slope, and 56.1% for solid application and 62.3% for fertigation in 30% slope.

There, fertigation will make great contributions to the reduction of environmental contamination by runoff and to the increase of fertilizer efficiency in Chinese cabbage cultivated highland.

**Key words** : Saprolite, Slope, Fertigation, <sup>15</sup>N, Chinese cabbage, Highland

## 서 언

고랭지는 여름철 저온 기후자원을 이용한 배추, 무우 등 저온성 작물의 재배지로 확고한 자리매김을 하고 있으나, 경사도 7%이상의 밭이 차지하는 비율이 62%나 되어 (NIAST, 1992) 토양 및 비료유실 등으로 인한 환경오염이 우려되고 있다. 또한 1980년대에 접어들어 배추 등 원예작물이 고소득 작목으로 급부상하면서 단일작목의 재배로 인한 연작장해 (NIHA, 2002)가 심화되고 있으며, 근권환경개선 등을 위한 석비레 과다 성토 (Lee et al., 2002)와 대관령 지역의 여름철 집중호우는 토양유실과 유기물 및 비료 용탈을 가중시키고 있다 (Cho, 1999). 현재 고랭지에서의 시비는 유기물과 기비를 투입하고, 추비를 1회 또는 2회 실시하는데, 대부분 대면적을 재배하기 때문에 추비 노력을 줄이기 위해 고랑표면에 복합비료를 살포하고 있을 뿐만 아니라 석비레 성토지에 새로이 투입

된 유기물과 비료는 강우에 의해 용탈되기 쉽기 때문에 평지보다도 과다 시비하게 되고 (Lee et al., 2002) 이들 영양염류의 이동은 환경오염을 일으킬 우려가 있다. Huh et al. (2001)의 보고에 의하면 송천유역은 일반 하천 유역에 비하여 매우 높은 경사도를 유지하고 있어 강우시 상당량의 토사가 유출되며, 유역내에서 발생하는 주 오염 요인을 가축 및 경작지로부터 유출되는 오염물질인 것으로 추정하고 있다. 또한 Komor and Anderson (1993)의 중질소를 이용한 오염원 추적 연구에서도 경작지로부터의 유래한 오염원의 비율이 높다고 보고하였다. 따라서 상수원지역에서의 영농방법은 최대한 토양유실 등 오염원 유출을 방지할 수 있는 재배방식체계로의 전환이 이루어져야 할 것으로 보인다.

우리나라의 시설재배 혹은 외국의 일부 노지에서는 관비재배가 일반화되어 있으며, 관비할 경우 표면 살포하는 것보다 시비비료의 효율이 높다 (Jung, 2001; Mohammad, 2004). 경사가 심한 경작지에서의 점적 관개방식을 현실적으로 적용하기에는 시설의 설치나

접수 : 2006. 4. 25 수리 : 2006. 9. 1

\*연락처 : Phone: +82333307960,

E-mail: kwanbi2n@rda.go.kr

관리적 측면에서 아직 곤란한 점이 있다. 그러나 앞으로 계속될 환경오염 유발 압박에 대한 기술적 대처를 위해서는 비료유실을 최소화하는 방식이 개발·도입되어야 할 것이다. 이를 위해서는 경사지 토양에서의 비료 시용방법에 따른 시비한 질소비료가 어떻게 이동·흡수되는 지 면밀히 검토하여야 하는데, 중질소를 추적자로 이용하면 토양 중 위치에 따른 질소 함량 차이를 더 정확히 측정할 수 있으며 (Selles et al., 1986), 시용한 비료로부터 유래한 질소를 구분할 수 있어 편리하기 (Lee and Yoo, 1994) 때문에 비료의 이동 및 이용효율을 연구·분석하는데 활용되고 있다 (Gormly and Spalding, 1979; Yun and Yoo, 1994; Jung, 2001; Mohammad, 2004).

한편 고랭지에서는 석비레를 이용한 성토가 많이 이뤄지고 있으며 (Lee et al., 2002), 이들 토양조건은 불안정하여 양분의 이동 특성이 일반토양과 다를 것으로 여겨진다. 지금까지 석비레를 이용한 성토지 토양의 특성과 토양유실저감방안 (Joo et al., 2004; Park et al., 2004; Park et al., 2005) 등에 관한 연구는 다소 이루어졌으나 시용 양분의 이동에 관한 연구는 아직 미진한 실정이다.

이에 본 연구는 석비레 성토지에서 고랭지배추 재배시 시비 효율 증대를 위한 기초 자료를 얻기 위하여, 라이시메터에서 중질소 추적자법을 이용하여 경사도 및 시비방법이 시용 질소의 행동에 미치는 영향을 파악하였다.

### 재료 및 방법

**라이시메터의 설치** 경사도 별 시비질소의 행동특성을 구명하기 위하여 경사장 1.6 m, 폭 1.2 m, 높이 1 m, 경사도 5, 15 및 30%의 라이시메터를 각각 2조씩 제작하였다 (Fig. 1). 침출수의 원활한 배수를 위하여 바닥면을 상하 10%, 좌우 15%의 경사를 두어 가운데로 침출수가 흐르도록 하고, 중앙에  $\phi$  40 mm의 배수관을 설치하였다. 그 위에 5 mm 두께의 부직포를 깔고 2~3 cm의 강자갈과 모래를 각각 10 cm씩 덮었다. 라이시메터의 충진은 석비레로 성토하여 3년간 경작한 토양을 사용하였다. 라이시메터 아랫 부분 70 cm를 경작 표층 하부의 토양으로 채우고, 윗부분 30 cm를 경작지 표토로 채웠다. 라이시메터 측벽과 충진 토양 사이의 간극에 의한 라이시메터 하부로 신속한 물흐름을 차단하기 위하여 표층 20 cm 위치에 폭 3 cm의 격막을 토양면과 수평으로 측벽 사방에 부착하였다.

**중질소 ( $^{15}\text{N}$ ) 시비 및 배추재배** 배추종자 (CR싱싱, 흥농)를 상토를 채운 128구 플러그 트레이에 파종하여 온실에서 육묘하였다. 이랑을 고르게 작성한 후 60 × 35 cm의 재식간격으로 시험구 당 16주씩 2005년 7월 5일에 정식하였다. 시비량은 농촌진흥청이 권장하는 배추 표준시비량 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O : 32-7.8-19.8kg/10a)을 기준으로 (NIAST, 1999), 기비 40%는 7월 5일에 표층에 고르게 살포하고 혼합하였으며, 추

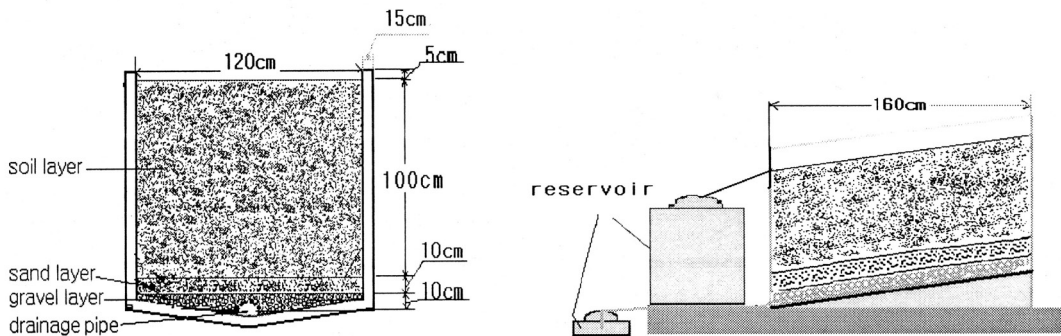


Fig. 1. Schematic diagram and photographs of lysimeter used in experiment. Left : front view, Right : side view

비는 나머지 60%를 7월 26일, 8월 9일, 8월 24일 등 3번에 걸쳐 20%씩 균등하게 분시하였다. 시비방법별 시비 질소의 행동 특성을 구명하기 위하여 고행비료 시비와 관비를 비교하였다. 중질소 함량이 10 atom %인 요소 (Aldrich 49097-0)를 일반 요소비료 (중질소 함량 0.366 atom %)와 혼합, 중질소 함량이 2 atom %가 되도록 희석하여 사용하였다. 기비 사용시에는 고행비료시비구나 관비구 모두 입자상태로 중질소를 사용하였으며, 추비 사용시에는 고행비료시비구는 입자 상태로 토양 표면에 살포하였으며, 관비구는 물에 녹여서 고랑관수하였다. 시험구 배치는 단구제로 하였으며, 기타 일반적인 재배방법은 농촌진흥청 표준재배법에 준하였다.

**토양화학적 및 중질소 분석** 시비 비료의 토양 중 이동특성을 구명하기 위하여 추비직전에 표토, 25, 50 및 75 cm의 깊이별 토양을 오거와 100 mL core로 채취하여 음건한 건조토양을 2 mm의 체로 쳐서 분석 시료로 사용하였고, 식물시료는 8월 31일에 배추를 수확하여 건조한 후 마쇄하여 사용하였다. 식물체와 토양 중 중질소 함량은 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 따라 킬달법으로 분석하였다. 식물체와 토양의 중질소 함량은 연속 흐름형 안정동위원소비 질량분석기 (IsoPrime-EA, Micromass, UK)를 이용하여 분석하였다(Hauck, 1982). 식물체와 토양 중 에 사용한 요소로부터 유래한 질소가 차지하는 비율 (Nitrogen derived from fertilizer, NDFFF)과 사용한 비료의 회수율(Recovery)은 다음의 식으로 계산하였다.

$$NDFFF(\%) = \frac{(\text{Soil or Plant } ^{15}\text{N atom } \% - 0.366)}{\text{Fertilizer } ^{15}\text{N atom } \% - 0.366} \times 100$$

$$\text{Recovery}(\%) = \frac{N_{\text{total}} \times NDFFF}{\text{Amount of fertilizer nitrogen applied}} \times 100$$

$N_{\text{total}} \times NDFFF$ 는 식물 또는 토양 중 사용한 요소로부터 온 질소의 함량이며, 회수율은 식물체에 들어 있는 사용한 질소 비율을 나타낸다.

### 결과 및 고찰

본 연구는 석비레를 성토하여 작물을 재배해 오던

토양으로 충전한 유저 라이시메터에서 실시하였으며, 충전한 토양의 시험 전후의 토양 이화학적은 Table 1 과 같다. 충전시의 가밀도와 공극률은 각각 1.22 g/cm<sup>3</sup> 및 54.1%였으나 시험 후에는 각각 1.31 g/cm<sup>3</sup> 및 50.5%로 토양이 안정화되는 과정에서 가밀도와 공극률의 변화가 나타난 것으로 보인다. 고랭지 지역에서는 토양유실에 의해 알려진 작토층을 확보하고, 근채류 등의 품질향상을 위하여 흔히 석비레를 이용한 객성토가 이뤄지고 있는데, 이것은 토양유실을 더욱 가중시키며 (Joo, et al., 2004), 경작년수가 증가함에 따라 물과 양분의 이동 양상이 일반토양과 다르다 (Park et al., 2004)고 알려져 있다. Neilsen et al. (1998)에 의하면 사양토에서는 토양 깊이 75 cm 부위에서 토양용액 중 질산태 질소의 농도가 관수방법에는 상관없이 상승하였으나, 석양토에서는 30 cm이하의 부위에서 질산태질소의 농도가 상당히 낮고 75 cm 이하의 부위로 이동하는 것도 상당히 적었다고 보고한 바와 같이, 토성에 따라서 양분의 이동 특성이 전혀 달라서, 석비레에 의한 객성토 토양에서의 재배는 토양이 교란된 조건에서 재배하는 것이므로, 일반 농업지역보다 양분의 용탈이 높은 것으로 알려져 있다 (Park, 2002). 따라서 이와 같은 조건에서의 중질소 요소를 이용한 질소의 이동 특성을 구명하는 것은 적절한 양분관리를 위한 기초 자료를 얻는 데 큰 의미를 가질 것으로 여겨진다.

Table 2는 경사도에 따른 토양 깊이별 질소의 이동 특성을 알아보기 위하여 기비로 중질소가 표지된 요소비료를 관행방법에 따라 사용하고 15일이 경과한 후에 깊이 별로 토양을 채취하여 T-N, <sup>15</sup>N atom % 및 NDFFF를 조사한 결과이다. 표토의 T-N 함량은 30% 경사구에서 가장 낮았고, 하층토에서도 경사도가 커질수록 낮았다. 이는 사용한 질소의 일부가 경사도가 증가할수록 침투수에 의한 이동보다 표면 유거에 의한 질소의 손실이 많다는 것을 의미한다. 한편 하층으로 갈수록 중질소의 함량은 낮아졌으나 토양의 중질소 함량은 공기 중 중질소의 자연존재비(0.366 atom %)보다 높게 나타나 사용 요소 중 질소성분이 강우에 의해 하층으로 이동되었음을 짐작할 수 있다. 따라서 작물재배시 사용한 질소는 하층으로 이동되거나 유실되므로 작물에 의한 비료 이용률은 경사가 심할수록 낮아지게 된다. Kang and Cho (2001)는 노지

**Table 1. Physico-chemical properties of soil used in lysimeter experiment.**

Division	pH	T-N	Bulk density	Porosity
	1:5	%	g cm <sup>-3</sup>	%
Before expt.	6.7	0.040	1.22	54.1
After expt.	6.3	0.040	1.31	50.5

**Table 2. Distribution of total nitrogen,  $^{15}\text{N}$  atom % and NDFP of soil in lysimeter with 3 different slopes observed at 21 days after basal dressing.**

Slope	Depth of soil	Total-N	$^{15}\text{N}$	NDFP
%	cm	%	atom %	%
5	0	0.040	0.4978	8.0
	25	0.019	0.4324	4.0
	50	0.025	0.3931	1.6
	75	0.027	0.3813	0.9
15	0	0.042	0.4712	6.4
	25	0.019	0.4366	4.3
	50	0.017	0.4247	3.6
	75	0.019	0.3892	1.4
30	0	0.036	0.4187	3.2
	25	0.019	0.4183	3.2
	50	0.012	0.3947	1.7
	75	0.014	0.3919	1.6

포장에서는 토층 20~40 cm 부위의 양분은 시비 후 1개월경 가장 높았으나 하층토로 이동이 계속되어 5개월 후에는 시험 전 토양과 비슷한 수준이 되었다고 하였는데, 본 연구에서는 시용한 후 경과시간이 짧았기 때문에 이러한 결과가 나온 것으로 판단되며, NDFP가 하층토보다는 표토에서, 경사도가 높은 처리구보다는 낮은 처리구에서 높은 것이 이를 뒷받침하고 있다.

Table 3은 경사도 30%의 라이시미터에서 시비방법에 따른 1차 추비 후 15일 경의 토양 깊이별 T-N,  $^{15}\text{N}$  atom % 및 NDFP를 조사한 결과이다. T-N 함량은 표토에서 가장 많았고, 하층으로 내려갈수록 적어지는 경향을 보였다. 고행비료시비구의 표토의 질소 함량이 관비구에 비해 다소 높은 것은 추비시 관비구 요소시용은 물에 녹여 토양 표면에 고행관수하였기 때문에 시용된 요소가 빠르게 토양 내부로 확산되어 (Lee and Yoo, 1994) 고행비료시비구에 비해 강우에 의한 표면 유거손실이 적었기 때문이라고 생각된다. 고행지 지역에서는 추비시 고행에 복합비료 등 고행

비료를 주고 있기 때문에 강우에 의해 용탈되기 쉬운 조건이며, 이 때문에 필요한 양 이상의 비료를 시비를 하는 경우가 있다. 이러한 측면에서 추비시에는 관비로 하는 것이 비료 이용률을 높이는데 효과적일 것으로 판단되었다. 그러나 표토의 T-N 함량이 관비구에서 다소 높았지만 NDFP는 관비구보다 고행비료시비구에서 높았는데, 이러한 결과는 시용한 요소가 하부로 신속하게 이동한 관비구보다 고행비료시비구에서는 하부로의 이동이 적어 표토에 더 많이 남아있기 때문으로 해석된다.

Figure 2는 관비구의 중질소 요소시용에 따른 표토의 경시적  $^{15}\text{N}$  atom % 및 NDFP 변화를 나타낸 것이다. 추비 시용횟수가 증가함에 따라 NDFP가 증가하는 경향이 있었다. 배추가 생육함에 따라서 흡수량이 많아지고, 아울러 표토에서 하층으로의 질소 이동이 있다 하더라도 요소를 시용함에 따라 토양 질소 중 시비질소가 차지하는 비율이 상승한 결과로 판단된다.

**Table 3. Contents of total nitrogen,  $^{15}\text{N}$  atom % and NDFP of soil in 30% sloped lysimeter as affected by fertilizer application method at 15 days after 1st top dressing.**

Fertilizer application	Depth of soil	Total-N	$^{15}\text{N}$	NDFP
	cm	%	atom %	%
Solid fertilizer	0	0.037	0.7648	24.4
	25	0.021	0.4640	6.0
	50	0.010	0.5089	8.7
	75	0.011	0.4962	8.0
Fertigaton	0	0.041	0.5662	12.2
	25	0.014	0.4662	6.1
	50	0.011	0.3893	1.4
	75	0.013	0.6366	16.5

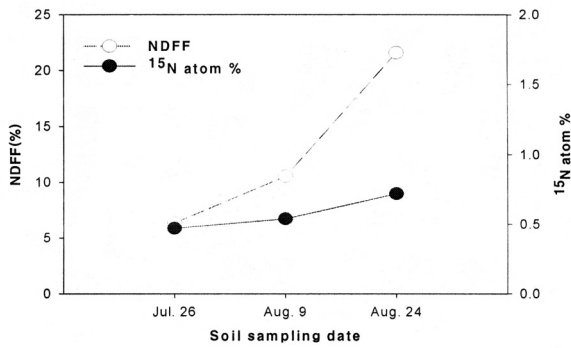


Fig. 2. Changes in <sup>15</sup>N atom % and NDFF of surface soil with fertilization treatment in 5% sloped lysimeter.

배추 수확 후 30% 경사도의 라이시미터 토양 깊이 별 유효인산 및 치환성 양이온 함량은 Table 4와 같다. 이동성이 적은 인산은 표층에 많이 분포하고 있으며, 작물을 경작하였던 토양으로 라이시미터를 충전하였기 때문에 하부층에도 많은 양이 있었다. 치환성 양이온 중 Ca의 함량은 하부층으로 갈수록 대체로 다소 낮아지는 경향을 보였으며, K와 Mg는 하부층으로 갈수록 약간 높아지는 경향을 보여 강우 시 침투수에 의한 성분의 이동이 있었음을 짐작할 수 있었다.

경사도별 시비방법에 따른 배추에 의한 시용 질소의 회수율은 Table 5와 같다. 전체적으로 경사도가 낮을수록 회수율이 높았다. 이것은 경사가 심할수록 강

우시 유거량이 많다는 의미 (Park, 2002)로 생각된다. 한편 시험구 당 배추의 건물중은 시비방법이나 경사에 따라 큰 차이를 나타내지는 않아 용탈에 의한 시용 질소의 손실이 수량의 차이를 나타낼 만큼 크지 않았음을 알 수 있었다. 그러나 큰 차이는 없었으나 관비구가 고행비료시비구보다 식물체 내 질소함량이 더 많았고, 중질소 함량도 다소 높아, NDFF가 높게 나타났다. 따라서 총질소량과 NDFF의 곱으로 계산한 질소회수율은 관비구에서 높았다. 질소 시용량이 증가할수록 식물에 의한 질소 이용률은 감소하고 (Lee and Yoo, 1994), 질소 흡수 이용률은 시기에 따라서도 달라지며 (Song et al., 1996), 고행비료시비구보다는 관비구에서 이용효율이 높다고 알려져 있다 (Mohammad, 2004). 시비 방법별로 질소 시용량의 차이가 없었고, 추비시 관비구는 요소를 물에 녹여 시용하였으므로 흡수·이용되는 배추 근권부로의 이동량이 고행비료시비구보다 많았기 때문으로 풀이된다. 즉 경사에 따른 차이는 강우에 의한 유실량의 차이 (NIHA, 2004)에서 비롯되었다고 볼 수 있으며, 시비 방법 간의 차이는 휘산에 의한 탈질의 차이 (Jung, 2001)나 이동성의 차이 (Lee and Yoo, 1994)로부터 비롯되었을 것으로 판단된다. 한편 관비의 효과는 심층 시비 효과일 것으로 보고 (Lee and Yoo, 1994) 하였는데, Kang and Cho (2001)도 질소 시비시 10 cm

Table 4. Changes in chemical properties of soil in 30% sloped lysimeter as affected by fertilizer application method.

Fertilizer application	Depth of soil (cm)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex. cations (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )		
			K	Ca	Mg
Solid fertilizer	0	157	0.32	8.5	1.6
	25	54	0.38	5.7	2.1
	50	48	0.39	7.7	2.4
	75	34	0.41	6.0	2.3
Fertigaton	0	149	0.31	9.2	1.6
	25	44	0.32	6.1	2.1
	50	38	0.37	5.9	2.8
	75	48	0.44	5.8	2.5

Table 5. Recovery of fertilizer-N by Chinese cabbage grown in <sup>15</sup>N labeled urea fertigated soil in sapolite piled lysimeter.

Slope	Fertilizer application	Dry wt. (g plot <sup>-1</sup> )	Total-N (%)	N <sub>total</sub> <sup>†</sup> (g)	<sup>15</sup> N (atom %)	NDFF (%)	Recovery <sup>‡</sup> (%)
5	Solid fertilizer	1818	4.89	88.9	1.1517	48.1	69.5
	Fertigation	1822	4.92	89.6	1.2255	52.6	76.5
15	Solid fertilizer	1820	4.57	83.2	1.1528	48.1	65.0
	Fertigation	1829	4.63	84.7	1.2000	51.0	70.2
30	Solid fertilizer	1816	4.59	83.4	1.0439	41.5	56.1
	Fertigation	1824	4.83	88.1	1.0784	43.6	62.3

<sup>†</sup> Amount of total nitrogen in plant : dry weight × T-N(%) of plant.

<sup>‡</sup> Recovery = (Amount of total nitrogen in plant derived from <sup>15</sup>N labeled fertilizer / Amount of total nitrogen applied) × 100.

내외의 깊이에서 시비했을 때 질산화가 늦어진다고 추정하였고, 토양 시비시 표층 시비보다도 심층 시비하는 것이  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 용탈 방지에 유리하다고 하였다. 또한 요소비료 시용시 심층 시비하면 표층 시비에 비해 비료의 회수율이 높아지는데, 요소 가수분해물인  $\text{NH}_4^+$ 가 점토나 유기물 등에 흡착되어 표면으로의 확산이 방지되므로써 암모니아의 휘산이나 탈질작용에 의한 질소 손실이 줄어들기 때문으로 알려져 있다 (Smith et al., 1990). Table 5에 나타난 바와 같이 고행비료시비구보다 관비에서 질소 회수율이 높아 15% 경사구에서의 관비는 5% 경사구에서의 고행비료시비구와 거의 동등한 질소 회수율을 보였다. 이 결과와 농업지역에서 오염원을 줄이기 위해 작물이 필요한 시기에 필요한 만큼의 비료를 주는 등의 시비방법이 개선되어야 한다는 보고 (Choi and Shin, 1998)에 비추어, 관비는 비료의 효율을 높이면서, 비료과다 시용에 따른 환경오염 등을 회피할 수 있는 좋은 수단으로 이용될 뿐 아니라, 이를 이용한 정밀농업을 실천하여 앞으로 고행지배추 재배에 있어서도 비료의 절감 및 고품질의 배추를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

석비레 성토지에서 고행지배추 재배 시 시비 효율을 증대에 필요한 자료를 얻기 위하여, 중질소 추적자법을 이용한 라이시메터에서 경사도와 시비방법이 시용질소의 행동에 미치는 영향을 조사하였다. 석비레 성토지 토양으로 경사도가 5, 15 및 30%가 되도록 라이시메터 (폭 1.2 m × 길이 1.6 m)를 충전한 후 중질소로 표지된 요소를 입자형태로 살포 (고형비료시비구) 하거나 관개수에 녹여 고랑관수 (관비구) 하였다. 토양 질소 중 시용한 요소로부터 유래한 질소가 차지하는 비율 (NDFP, nitrogen derived from fertilizer)은 경사도가 낮을수록, 또한 토양깊이가 얇을수록 증가하였다. 배추에 의한 시비 질소의 회수율은 경사도 5%에서 고행비료시비구 69.5%, 관비구 76.5%, 경사도 15%에서 고행비료시비구 65.0%, 관비구 70.2% 및 경사도 30%에서 고행비료시비구 56.1%, 관비구 62.3%로서 경사도가 낮을수록 높았으며, 관비구가 고행비료시비구보다 높았다.

따라서 고행지배추 재배시 관비형태의 시비방법을 사용하면 시용비료에 의한 환경오염을 감소시키고, 작물에 의한 시용비료의 이용률을 증가시키는데 크게 기여할 것으로 판단된다.

## 인 용 문 헌

Cho, B.O. 1999. Characterization of soil fertility and management

- practices of alpine soil under vegetable cultivations. Ph.D. Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea.
- Choi, J.Y., and E.S. Shin. 1998. Management practices for nonpoint source control in agricultural area. Korea Environment Institute, Seoul, Korea.
- Gormly, J.R., and R.F. Spadling. 1979. Sources and concentrations of nitrate- nitrogen in ground water of the Central Platte Region, Nebraska. *Ground Water*. 17:291-301.
- Hauck R.D. 1982. Nitrogen isotope ratio analysis. pp. 735-779. In Page A.L., et al., ed. *Methods of soil analysis*. Part 2, (2nd ed.) ASA and SSSA, Madison, WI.
- Huh, I.R., J.C. Shin, G.C. Oh, G.H. Lee, H.S. Shin, Y.G. Sin, J.Y. Choi, Y.J. Kim, and U.H. Jeong. 2001. Water environment characteristics and efficiency basin management of Song stream. *Rep. Inst. Health & Environ.* 12:73-85.
- Joo, J.H., C.S. Park, Y.S. Jung, J.E. Yang, J.D. Choi, W.J. Lee, and S.I. Kim. 2004. Evaluation of the dressed soil applied in mountainous agricultural land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:245-250.
- Jung, K.H. 2001. Behavior of  $^{15}\text{N}$  labeled urea-N by fertigation and surface application in drip irrigation system. Ph.D. Thesis. Seoul National University, Suwon, Korea.
- Kang, B.K., and N.K. Cho. 2001. Move of applied fertilizers through volcanic ash soils in a lysimeter experiment. *Journal of KoSSGE* 6:3-12.
- Komor, S.C., and H.W. Anderson Jr. Nitrogen isotopes as indicators of nitrate sources in Minnesota sand-plain aquifers. *Ground Water*. 31:260-270.
- Lee, C.S., G.J. Lee, J.T. Lee, K.Y. Shin, J.H. Ahn, and H.J. Cho. 2002. Status of fertilizer applications in farmers' field for summer Chinese cabbage in highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:66-73.
- Lee, S.M., and S.H. Yoo. 1994. A study on the behavior of surface applied urea with  $^{15}\text{N}$  isotope dilution technique in paddy soil. *Agri. Chem. and Biotech.* 37:277-286.
- Mohammad, M.J. 2004. Utilization of applied fertilizer nitrogen and irrigation water by drip-fertigated squash as determined by nuclear and traditional techniques. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 68:1-11.
- Neilsen, D., P. Parchomchuk, G.H. Neilsen, and E.J. Hogue. 1998. Using soil solution monitoring to determine the effects of irrigation management and fertigation on nitrogen availability in high-density apple orchards. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123:706-713.
- NIAS. 1992. Introduction to the soils of Korea. National Institute of Agricultural science and Technology, Suwon, Korea.
- NIAS. 1999. Fertilizer application recommendations for crops. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- NIAS. 2000. Methods of soil and crop plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- NIAS. 2000. Soil management practices in upland for environment conservation. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- NIHA. 2002. Cultivation technology of vegetable crops in highland. National Institute of Highland Agriculture, Pyeongchang, Korea.

- NIHA. 2004. The research report. pp. 578-582. National Institute of Highland Agriculture, Pyeongchang, Korea.
- Park, C.S. 2002. Soil management practices to reduce water erosion from the sloped farmland in highland. Ph.D. Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea.
- Park, C.S., Y.S. Jung, J.H. Joo, and J.E. Yang. 2004. Soil characteristics of the saprolite piled upland fields at highland in Gangwon province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:66-73.
- Park, C.S., Y.S. Jung, J.H. Joo, and J.T. Lee. 2005. Best management practices reducing soil loss in the saprolite piled upland in Hongcheon highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38:119-126.
- Selles, F., R.E. Karamanos, and R.G. Kachanoski. 1986. The spatial variability of nitrogen-15 and its relation to the availability of other soil properties. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50:105-110.
- Smith, S.J., J.S. Schepers, and L.K. Porter. 1990. Assessing and managing agricultural nitrogen losses to the environment. *Advances in Soil Sci.* 14:1-43.
- Song, Y.S., H.K. Kwak, B.L. Huh, and S.E. Lee. 1996. Use efficiency of nitrate nitrogen accumulated in plastic film house soils under continuous vegetable cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29:347-352.
- Wschmeier, W.H., and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. *Agriculture Handbook No. 537*. USDA.
- Yun, S.G., and S.H. Yoo. 1994. Behavior of NO<sub>3</sub>-N and accompanying cations derived from urea under upland condition. I. Leaching of NO<sub>3</sub>-N and accompanying cations. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 27:15-20.