

자갈함량과 질소시비량이 고랭지 배추재배시 침투수에 의한 질소용탈 및 생육에 미치는 영향

박철수* · 이계준 · 정영상¹⁾ · 주진호¹⁾ · 황선웅

농촌진흥청 고령지농업연구소, ¹⁾강원대학교 생물환경학부
(2005년 1월 5일접수, 2005년 3월 18일수리)

Influence of Gravel Content and Nitrogen Application on Nitrogen Leaching by the Leachate and Chinese Cabbage Growth in Highland

Chol-Soo Park*, Gye-Jun Lee, Yeong-Sang Jung¹⁾, Jin-Ho Joo¹⁾, and Seon-Woong Hwang (National Institute of Highland Agriculture, RDA, Pyeongchang 232-955, Korea, ¹⁾Division of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

ABSTRACT : Continuous monocropping of Chinese cabbage in Gangwon highland increased gravel and sand contents due to surface soil erosion. Nutrient leaching and Chinese cabbage growth were investigated with different treatments of gravel contents and nitrogen application levels by using 0.5 m² Wagner pots. Gravel contents were 0, 10, 30, 50, 70, and 90%(w/w), nitrogen application levels were 60, 120, and 240 kg/ha, and manure compost application rate was 15 ton per hectare, respectively. Wagner pots were filled with loamy sand soil mixed with 5 cm-sized gravels. Fresh weight of Chinese cabbage was decreased as gravel contents in soil increased, and particularly severely decreased at 240 kg-N/ha. Yields of Chinese cabbage were remarkably decreased at the rate of 60 kg-N/ha with 30% gravel content and 120 kg-N/ha with 50% gravel content. Most of Chinese cabbages were severely wilted by heavy N application at the rate of 240 kg-N/ha in the middle of growth stages regardless of gravel contents, while about 50% of Chinese cabbage showed wilting symptom in the treatment of more than 50% of gravel contents and 120 kg-N/ha. N content in leachate increased as gravel content and N application increased. The relationship between gravel content and N contents showed linear regression: N in leachate = 0.014(gravel content) - 0.039 (r = 0.961). Particularly, NH₄-N contents in leachates with more than 30% gravel content and 240 kg-N/ha ranged from 139~339 mg/L. Chinese cabbage growth in loamy sand soil containing 30%, and 50% gravel contents could be adversely affected by N application at the rate of 240, and 120 kg-N/ha, respectively.

Key words: gravel content, nitrogen application, nitrogen leaching, Chinese cabbage growth, highland

서론

고랭지 배추재배 지대는 경사가 급하여 토양유실이 심하다. 경사지에서 집중호우가 발생하면 표토의 점토와 미사는 쉽게 유실되지만 자갈은 그대로 남아있어 토양비옥도가 떨어지고 근권토양이 감소하게 된다^{1,3)}. 그리고 고랭지 경사지밭에서는 마사토(석비레)로 성토를 하여 작물을 재배하고 있지만 석비레는 대부분 모래와 자갈로 되어 있어 많은 비료와 퇴비를 사용하고 있는 실정이다⁴⁾.

우리나라에서는 토지의 이용성을 고려하여 적성 등급을 5 등급으로 구분하는데, 이에 따르면 강원도 고랭지 밭은 대부분 3급지 이하의 토양으로서 경사가 심하고 자갈 함량이 많은 것이 가장 큰 제한 요인이다. 토양에 자갈이 많으면 경운하기가 어렵고, 배수가 지나치게 빨라서 단위 면적당 물과 양분을 보유할 수 있는 능력이 낮아진다. 한편 토양유실이 심하여 심토의 자갈이 노출되어 표면에 남게 되면 자갈로 인하여 더 이상의 침식을 억제하는 기능도 있지만, 전체적으로 볼 때 자갈은 토지 이용성과 생산성을 떨어뜨려 적성등급이 낮아지는 원인이 된다⁵⁾.

강원도 고랭지 배추재배지 토양의 작토심은 10~60 cm로 대체로 얇은 경향이고, 정선과 홍천지역은 10~30 cm로 매우 얇고, 삼척과 영월지역은 20~60 cm이었다. 또한 토양의 석력

*연락처:
Tel: +82-33-330-7972 Fax: +82-33-330-7952
E-mail: cholsoo@rda.go.kr

함량은 작토심이 얇은 정선과 홍천지역에서 많았는데, 이는 심한 경사로 표토가 유실되어 상대적으로 작토 중의 석력 함량이 높아졌다고 하였다⁶⁾. 자갈함량이 많아서 낮아진 보비력과 보수력이 낮아진 토양에 강우가 발생하게 되면, 유기수와 함께 다량의 양분이 하천이나 지하수로 이동하게 된다. 지금까지 토양의 양분용탈에 관한 연구는 주로 논에서 퇴비사용에 따른 양분이동⁷⁻¹⁰⁾ 및 비료의 적정 분시방법을 구명하기 위한 양분용탈에 대한 연구¹¹⁾ 등이 많이 이루어져 있다. 그러나 경사지이기 때문에 토양유실로 인하여 자갈함량이 증가하고 토양조성이 매우 열악한 고랭지 배추재배지에서 양분용탈에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 자갈과 모래의 함량이 많아지는 고랭지 배추밭에서의 침투수에 의한 양분의 용탈양상을 구명하고자 고랭지 현지인 태백에서 자갈함량과 질소시비수준을 달리하여 침투수의 양분용탈과 배추의 생육 장애현상을 포트시험을 통해 조사하였다.

재료 및 방법

시험장소는 강원도 태백시에 위치한 강원도농업기술원 고원농업시험장내 포장이었으며, 시험기간 동안 강우량은 399.5 mm 이었고, 포트에 가해진 강우의 양은 19.7 L이었다. Table 1은 시험에 사용된 토양의 특성을 보여주고 있다. 시험 전 토양의 특성은 유기물 및 치환성 칼리의 함량이 매우 낮고 모래의 함량이 68%인 척박한 토양이었다.

고랭지 배추를 1a/2000 wagner pot에 2000년 7월 6일에 정식하여 9월 5일에 수확할 때까지 노지에서 재배하였다. 자갈 함량은 시험토양에 자갈을 무게비로 0, 10, 30, 50, 70, 90%로 처리하였으며, 질소시비량은 ha당 60, 120, 240 kg 상당량을 기비로 40% 시용하고 추비는 15일 간격으로 3회 시용하였다. 인산과 칼리비료는 ha당 각각 78, 198 kg 상당량을 인산은 전량 기비, 칼리도 질소비료와 같이 40%는 기비로 주고 15일 간격으로 3회 분시하였으며, 모든 pot에 가축분퇴비를 ha당 15톤 상당량을 처리하였다. 침투수는 pot의 하단부에 1.5 L 용량의 채수병을 설치하여 강우 후에 침출수량을 측정하고 무기성분 분석용 시료로 사용하였다. 모든 시험은 4반복 처리하였으며, 분석은 처리별로 시료를 모두 합하여 3회 측정하여 평균치를 사용하였다. 모든 pot는 난수표에 의해 배치하였다.

침출수는 pH, 암모늄태 질소 및 질산태 질소 함량을 분석하였고, 토양은 배추 수확 후에 pH, EC, 암모늄태 질소 및 질

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

Soil texture	Particle size (%)			pH (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. cations (cmol ⁺ /kg)		
	Sand	Silt	Clay				K	Ca	Mg
SL	68	22	10	6.5	2.2	170	0.08	4.7	1.9

산태 질소를 분석하였다. pH는 초자전극법 (Orion model 370)으로 측정하였고, 전기전도도는 전도도계 (Horiba DS-12)로 분석하였다. 암모늄태 질소와 질산태 질소는 Kjeldahl 증류장치로 증류하여 2% 붕산을 넣은 수기에 수집한 후 적정법으로 분석하였다.

결과 및 고찰

자갈함량과 시비수준별 배추의 수량

자갈 함량과 질소 시비수준별 배추의 수량을 나타낸 성적은 Fig. 1과 같다. 배추의 생체수량은 자갈이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 질소시비별로는 120 > 60 > 240 kg/ha 순이었으며, 질소시비량 240 kg/ha 구에서는 현저한 수량감소를 보였다. 특히 질소시비량이 적을수록 자갈함량에 따른 수량감소의 폭이 컸다. 질소시비량 60 kg/ha 구에서는 자갈함량 30%, 질소시비량 120 kg/ha 구에서는 자갈함량 50%를 변환점으로 하여 배추수량이 급격히 감소하였지만 질소시비량 240 kg/ha 구에서는 자갈함량이 증가할수록 배추수량도 일정하게 감소하는 경향이 있었다.

이는 강원도 고랭지 배추재배지에서 표토의 유실로 인하여 자갈의 함량이 많아졌을 때 표준시비량인 320 kg/ha를 일괄적으로 시비하게 되면 토양이 질소양분을 흡착할 능력이 부족하여 배추의 수량감소는 물론 고사피해도 발생할 수 있음을 의미한다. 따라서 고랭지 경사밭에서 토양유실로 인하여 자갈함량이 높아진 배추재배지 토양의 질소시비량은 표준시비량보다 감비하거나 분시하여야 비료 과잉장해와 과다 비료사용에 의한 경제적 손실 및 환경오염 부담도 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

배추의 생육장애

자갈함량 및 질소시비량에 따른 배추의 생육장애는 질소시비량이 240 kg/ha인 구에서는 대부분 위조현상이 발생하였다 (Fig. 2). 이러한 위조현상은 생육중기 때부터 발생하기 시작하였으며, 결국 초기인 8월 초순에는 자갈함량이 50% 이상이 되면 질소시비량을 ha당 120 kg만 시용해도 50% 이상이 위조현상을 보였고 일부는 고사하였다. 자갈함량이 많아서 양분 흡착능력이 떨어진

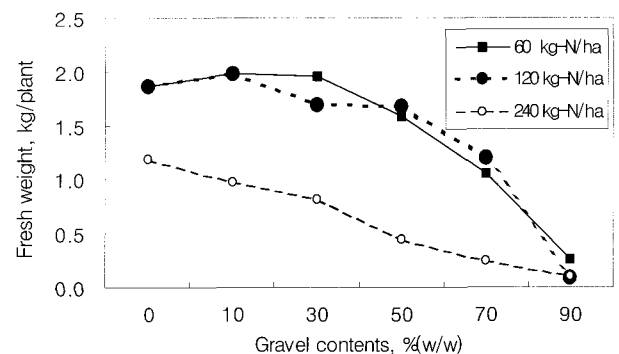


Fig. 1. Influence of the gravel contents and nitrogen fertilizer treatments on the fresh weight of Chinese cabbage.

토양에 질소비료를 과다하게 시용하게 되면 근권토양에서 역삼투 현상이 일어나 작물이 수분을 흡수하지 못하고 지상부에서는 온도가 높아져 증산이 많아지기 때문에 이러한 현상이 발생하는 것으로 판단되며, 여기에 토양수분이 충분하고 pH가 높아지게 되면 일시적인 암모니아 가스 피해도 발생할 수 있다. 실제로 고랭지 배추재배지에서 많은 양의 추비를 하고 2-3일 후에 비가 오게 되면 암모니아 가스 피해가 발생한 사례가 있어 현지농민들은 추비시 기상예보에 매우 민감한 실정이다²⁾. Lee 등¹²⁾은 다수확을 위한 화학비료의 과다시용은 염류의 집적을 가져오고 작물이 생육하는 동안 스트레스로 작용할 뿐만 아니라 심할 경우 고사할 수 있으므로 토양검정에 의한 시비를 하여야 안정 다수확을 할 수 있다고 하였는데, 본 시험에서도 토양유실이 심한 고랭지 배추재배에 있어 비료 손실율과 이용율을 고려하여 평탄지와 차별된 토양검정 시비기준 및 시비방법이 설정되어야 할 것으로 판단된다.

침출수의 무기성분함량

강우 후에 침출량을 측정하고 침출수의 pH, NH₄-N 및 NO₃-N을 분석하였다 (Table 2). 암모늄태 질소는 자갈의 함량과 질소시비량이 많을수록 침출수의 농도가 높아지는 경향을 보였다. 특히 배추의 고사가 많이 나타난 자갈함량 30% 이상에 질소시비량이 240 kg/ha인 처리구의 암모늄태 질소 농도는 139-339 mg/L이었다. 또한 암모늄태 질소의 농도는 자갈함량 30%까지는 서서히 증가하였지만 자갈함량 50%부터는 질소시비량에 관계없이 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

침출수량은 자갈함량 30%부터 많아졌으며, 특히 자갈함량 90% 구에서는 매우 급격한 증가현상을 보였다. 일반적으로 토양의 투수성은 토성이 양토이거나 식양토일 때는 자갈함량이 많아질수록 투수성이 불량해지지만¹³⁻¹⁴⁾, Jung 등¹⁾은 점착성이 낮은 사질토양에서는 반대로 자갈이 많을수록 투수성이 높아진다고 하였다. 본 시험에서 사용한 토양도 모래함량이 68%나 되는 사양토이기 때문에 자갈함량이 많아질수록 투수량이 증가하였고 아울러 침투수 중의 NH₄-N 농도도 자갈함량에 따라 증가하였다. 그러나 침출수의 pH와 NO₃-N 함량은

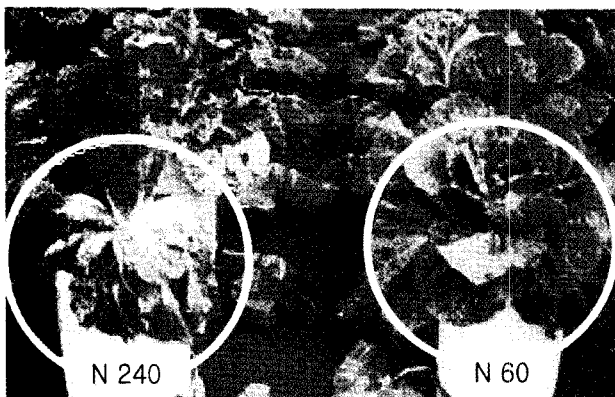


Fig. 2. Chinese cabbage showing wilting symptom at the rate of 240 kg N kg/ha

자갈함량과 질소시비량에 따른 일정한 경향이 없이 비슷한 양을 보였다.

자갈함량과 침출수의 질소용탈량

자갈함량에 따른 무기태 질소의 용탈량은 정의 상관관계를 보였다 (Fig. 3). 자갈함량이 10% 증가될 때마다 질소용탈량은 pot당 0.14 g씩 증가하였으며, 자갈함량이 30%가 되면

Table 2. Water quality and loaded nitrogen in leaching water after rainfall in Chinese cabbage cultivation soil

N application (kg/ha)	Gravel contents (w/w %)						Mean	
	0	10	30	50	70	90		
pH (1.5)	60	7.5	7.6	7.8	7.6	7.7	7.3	7.6
	120	7.7	7.8	7.6	7.6	7.8	7.3	7.6
	240	7.6	7.8	7.6	7.6	7.4	7.4	7.6
Mean		7.6	7.7	7.7	7.6	7.6	7.3	7.6
NH ₄ -N (mg/L)	60	15	11	15	46	92	109	48
	120	18	28	88	139	277	200	125
	240	74	144	139	183	339	304	197
Mean		36	61	81	123	236	204	123
NO ₃ -N (mg/L)	60	32	38	21	35	29	42	33
	120	32	24	35	24	52	39	34
	240	38	39	42	18	28	32	33
Mean		34	34	33	26	36	38	33
Leachate (L/pot)	60	1.09	1.67	2.08	3.02	3.37	5.45	2.78
	120	1.35	1.24	1.83	3.03	3.28	5.50	2.71
	240	1.50	1.43	2.45	2.92	4.17	5.36	2.97
Mean		1.31	1.45	2.12	2.99	3.61	5.44	2.82
Nitrogen loading (g/pot)	60	0.05	0.08	0.08	0.25	0.41	0.82	0.28
	120	0.07	0.06	0.23	0.49	1.08	1.32	0.54
	240	0.17	0.26	0.44	0.59	1.53	1.80	0.80
Mean		0.10	0.13	0.25	0.44	1.01	1.31	0.54

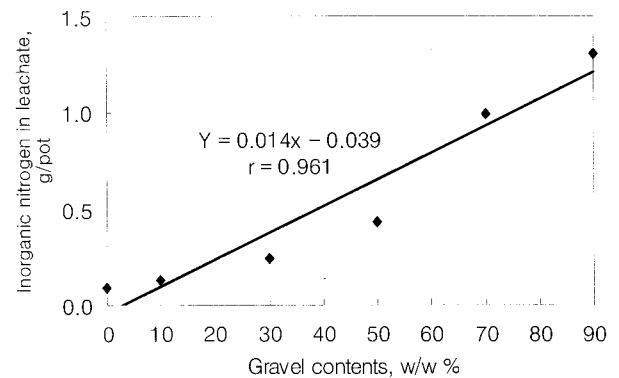


Fig. 3. Relationship between the gravel contents and the leached N mass by leachate in the Chinese cabbage cultivation soil.

자갈함량이 10%일 때에 비하여 질소용탈량이 약 3.8배 증가함을 알 수 있다. 따라서 토양유실로 자갈함량 비율이 매우 높아진 고랭지 배추재배지에서 질소비료의 용탈량을 줄이기 위한 시비량 절감, 적정 분시비율 구명 등의 조치가 이루어져야 여름배추의 안정생산은 물론 침투수에 의한 지하수의 오염도 방지할 수 있다고 판단된다.

시험 후 토양의 화학성

배추재배 시험 후 토양의 화학성은 Table 3과 같다. 토양 pH는 질소시비량 240 kg/ha 구에서 다소 낮았지만 전체적으로 볼 때 자갈 및 질소시비량에 따른 큰 차이는 없었다. 토양의 EC와 NO₃-N 농도는 질소시비량이 많아질수록 증가하였고, 자갈함량에 따라서는 두 성분 모두 자갈함량 30%까지는 증가하였지만 자갈함량 50%부터는 다소 감소하는 경향을 보였다. NH₄-N 농도는 자갈함량과 질소시비량에 따른 일정한 경향은 없었지만 질소시비량 60 kg/ha 구에서 다소 높은 농도를 보였다. 이는 Table 2에서 보는 바와 같이 질소시비량이 많았던 구에서 자갈함량이 증가됨에 따라 더 많은 양의 암모늄태 질소 성분이 용탈되었기 때문으로 판단된다.

자갈함량 30%까지는 침투수량이 적은 편이어서 상대적으로 토양에 남아있는 양이 많았고, 자갈함량이 50% 이상되면 양분과 수분보유력이 떨어져 강우와 함께 손실되는 양이 자갈의 함량과 비례하여 증가하였기 때문에 50% 이상의 자갈함량구에서 시험 후 질산태 질소의 농도가 낮아진 것으로 판단된다.

Table 3. Chemical properties of the experimental soil after harvest of Chinese cabbage

N application (kg/ha)	Gravel content (w/w, %)						Mean	
	0	10	30	50	70	90		
pH (1.5)	60	7.5	7.5	7.7	7.6	7.7	7.6	7.6
	120	7.2	7.2	7.4	7.5	7.5	7.6	7.4
	240	6.8	7.1	7.4	7.3	7.4	7.3	7.2
	Mean	7.2	7.2	7.5	7.5	7.5	7.5	7.4
EC (dS/m)	60	0.06	0.05	0.10	0.12	0.09	0.11	0.09
	120	0.14	0.15	0.18	0.16	0.23	0.14	0.17
	240	0.34	0.35	0.37	0.36	0.24	0.32	0.33
	Mean	0.18	0.18	0.22	0.21	0.19	0.19	0.20
NH ₄ -N (mg/kg)	60	140	97	105	88	113	105	108
	120	78	88	88	70	97	105	88
	240	78	88	97	88	97	123	95
	Mean	99	91	97	83	102	111	97
NO ₃ -N (mg/kg)	60	62	43	97	132	62	53	74
	120	105	183	218	167	140	113	154
	240	263	420	498	463	403	368	403
	Mean	143	216	271	254	202	178	210

적 요

고랭지 배추재배지의 성토재로 사용되고 있는 석비레는 모래와 자갈함량이 높아 토양침식과 양분용탈의 주 요인이 되고 있어 본 연구는 자갈함량에 따른 배추수량과 질소의 용탈양상을 구명하고자 pot 시험을 수행하였다. 시험 결과, 배추의 생체수량은 자갈의 함량이 증가할수록 감소하는 경향이었고, 특히 질소시비량 240 kg/ha 구에서는 현저한 수량감소를 보였다. 질소시비량 60 kg/ha 구에서는 자갈함량 30%, 질소시비량 120 kg/ha 구에서는 자갈함량 50%를 변환점으로 하여 배추수량이 급격히 감소하였다. 배추의 생육장애는 질소시비량이 240 kg/ha인 구에서는 대부분 위조현상이 나타났으며 결국 초기인 8월 초순에는 자갈함량이 50% 이상이 되면 질소시비량을 ha당 120 kg만 사용해도 50% 이상이 위조현상을 보였다. 침투수의 암모늄태 질소는 자갈함량과 질소시비량이 많을수록 침출수의 농도가 높아지는 경향을 보였는데, 특히 배추의 고사가 발생한 30% 이상의 자갈함량과 질소시비량 240 kg/ha인 처리구의 농도는 139-339 mg/L이었다. 침출수의 질소용탈량은 자갈함량에 따라 정의 상관관계를 보였고, 자갈함량이 10% 증가될 때마다 pot당 0.14g씩 증가하여 자갈함량이 10%일 때에 비하여 자갈함량이 30%가 되면 약 3.8배 증가하였다. 배추재배 시험 후 토양의 화학성은 NH₄-N 농도와 pH는 처리간에 일정한 경향을 보이지 않았고, NO₃-N 농도는 자갈함량 30%까지는 증가하다가 50%부터는 감소하는 경향을 보였다.

사양토에서 자갈의 함량이 30%일 때 질소비료 240 kg/ha, 자갈함량이 50%일 때 질소비료 120 kg/ha를 사용하면 배추의 생육장애를 가져올 수 있다. 따라서 이러한 토양에 시비를 하게 되면 염류장애와 위조현상을 초래하므로 토양유실이 심한 고랭지는 특수환경을 고려한 시비기준이 설정되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Jung, Y. S., Kwon, Y. G., Lim, H. S., Ha, S. K. and Yang, J. E. (1999) R and K Factors for an Application of RUSLE on the Slope Soils in Kangwon-Do, Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 32(1), 31-38.
- Hwang, S. W., Lee, J. Y., Hong, S. C., Park, Y. H., Yun, S. G. and Park, M. H. (2003) High temperature stress of summer Chinese cabbage in alpine region. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(6), 417-422.
- Park, C. S., Jung, Y. S., Joo, J. H. and Yang, J. E. (2004) Soil characteristics of the saprolite piled upland fields at highland in Gangwon province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(2), 66-73.
- Lee, C. S., Shin, K. Y., Lee, J. T., Lee, G. J. and Ahn, J. H. (2003) Determination of nitrogen application level for

- Chinese cabbage with application of poultry manure compost in highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(5), 208-289.
5. Cho, B. O. (2000) Characterization of soil fertility and management practices of alpine soils under vegetable cultivations. Ph. D. Thesis, Kangwon National University, Korea.
 6. Yang, J. E., Cho, B. O., Shin, Y. O. and J. J. Kim. (2001) Fertility status in Northeastern alpine soils of South Korea with cultivation of vegetable crops. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34, 1-7.
 7. Hwang, K. S., Ho, Q. S. and Yoo, B. S. (2004). Aspects of nutrient transportation after animal manure application in Jeju field soil. *Korean J. Environmental Agriculture.* 23(3), 133-137.
 8. Kim, J. G., Lee, K. B., Kim, J. D., Han, S. S. and Kim, S. J. (2000) Change of nutrition loss of long-term application with different organic material sources in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33(6), 432-445.
 9. Yook, W. B., Kim, B. J., Choi, K. C. and Kwak, B. K. (2002) Effect of application of swine waste and chemical fertilizer on productivity of silage corn and nitrogen and phosphorus leaching in lysimeter. *Korean J. Grassl. Sci.* 22(2), 85-92.
 10. Yook, W. B., Ahn, S. H. and Choi, K. C. (2000) Study on productivity of corn and nutrient runoff of the soil by application of swine manure in the slopes. *Korean J. Grassl. Sci.* 20(1), 31-40.
 11. Kim, M. K., Chang, K. W., Woo, I. S., Ham, S. K. and Nam, Y. K. (1989) Adjustment of nitrogen by the absorbing patterns of nutrients of some crops and N-leaching in the soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 22(4), 307-314.
 12. Lee, C. S., Lee, G. J., Lee, J. T., Shin, K. Y., Ahn, J. H. and Cho, H. J. (2002) Status of fertilizer applications in farmers' field for summer Chinese cabbage in highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35(5), 306-313.
 13. Dunn, A. J. and Mehuys, G. R. (1984) Relationship between gravel content of soil and saturated hydraulic conductivity in laboratory tests. In erosion and productivity of soils containing rock fragments, p.55-63. Special Publication No 13, *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wisconsin.
 14. Brakensiek, D. L., Rawls, W. J. and Stephenson, G. R. (1986) Determining the saturated hydraulic conductivity of soil containing rock fragments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 834-835.