

# 경사도와 축분 부산물비료 시용에 따른 고랭지 밭의 양분 유실량

주진호\* · 이승빈

강원대학교 바이오자원환경학과

## Assessment of Nutrient Losses in Different Slope Highland Soils Amended with Livestock Manure Compost

Jin Ho Joo\* and Seung Been Lee

Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Soil fertility of alpine soils in Gangwon-Do has been deteriorating because of heavy input of chemical fertilizers for intensive crop production. To reduce application of chemical fertilizers, use of livestock manure compost in alpine soils increases consistently. Soil loss and runoff due to heavy rainfall in alpine area cause nutrient loss from soil, and subsequently pollute stream water. Therefore, the objective of this study was to assess nutrient efficiency and loss in Chinese cabbage cultivated soil with different livestock manure composts in several slopes. As control, chemical fertilizer was applied at the rate of 250-78-168 kg ha<sup>-1</sup> for N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O. Each pig- and chicken manure compost was applied at the rate of 10 MT ha<sup>-1</sup>. Chemical fertilizer + chicken manure compost was applied as same rate. Four treatments was practiced in 5, 20, and 35% filed slopes, respectively. We monitored the amounts of soil loss and runoff water after rainfalls, and we also analyzed the contents of nutrients in soil and runoff water through lysimeter installed in alpine agricultural institute in Gangwon-Do. T-N loss due to soil loss was much greater with increasing filed slops rather than different fertilizer treatments. T-N loss has positive relationship with field slopes, which showing soil loss (MT/ha) = 1.66 slopes (%) - 3.5 (r<sup>2</sup> = 0.99). Available phosphate and exchangeable cations showed similar tendency with increasing slopes. T-N and T-P losses caused by runoff water were highest in chemical fertilizer (NPK) + chicken manure compost treated plot, while lowest in chemical fertilizer treatment. T-N contents (2.13, 1.95%) in chinese cabbage treated either pig and chicken manure composts compared to that (2.65%) of chemical fertilizer were significantly less. This could be resulted from much greater T-N loss in soil treated with pig and chicken manure composts.

**Key words:** Chicken manure compost, Pig manure compost, Soil loss, Runoff water, Highland

## 서 언

급격한 경제성장과 산업화에 따른 식생활의 변화로 육류의 소비량이 꾸준히 증가하였으며 (Chang et al., 2008), 그에 따라 축산농가 및 가축사육 수의 증가를 초래하였다. 축산업의 발전은 가축분뇨 발생량을 증가시켰으며, 2008년 우리나라 전체 가축분뇨 발생량을 축종별로 구분하여 보면, 우분이 46.3%, 돈분 42.6%, 계분 11.1% 순으로 나타났다 (Yun et al., 2009).

가축분뇨는 유기물과 영양염류의 농도가 높아 자원화에 유리한 점을 지니고 있으며 (Chang et al., 2008), 토양에

유기물 보충 및 작물의 양분 공급원으로 가치를 가지고 있으나 적절하게 관리되지 않으면 자연환경에 악영향을 미치는 오염원으로 작용한다 (Novak et al., 2000). 일반 농경지에서 축분 부산물비료의 사용량은 지속적으로 증가하고 있는 추세이며 특히 해발고도가 높은 고랭지 농업지대에서 사용량은 추천시비량보다 많은 평균 12.3 MT ha<sup>-1</sup>을 시비하고 있다 (Jung et al., 2005). 배추, 무 등의 모든 고랭지 밭에서 토양검정시비량 대비 질소, 인산, 칼륨이 과다 사용되고 있으며 (Shin, 2006), 축분 부산물비료 사용량은 계분 부산물비료 > 돈분 부산물비료 > 우분 부산물비료 > 생계분 순으로 (Lee et al., 2002), 그 사용량은 기준량보다 20 (표고 800 m 이상)~40% (표고 400-600 m) 과다 투입되는 등 가축분 부산물비료 사용량을 표준 시비보다 많이 사용되고 있는 실정이다 (Jung and Joo, 2005). 또한 고랭지 전역에서는 모래의 함량이 매우 높은 마사의 복토가

접수 : 2011. 0. 0 수리 : 2011. 0. 0

\*연락처 : Phone: +82332506448

E-mail: jhjoo@kangwon.ac.kr

널리 행해지는데 수분 및 양분이 떨어지는 마사의 단점을 보완하기 위해 복토와 함께 다량의 퇴비 (39 MT ha<sup>-1</sup>)와 화학비료를 사용하고 있다 (Shin, 2004).

현재 고령지 농업지대의 농업은 감자·배추 등 채소류 위주 연작재배로 강우기 고령지 밭은 7~10개월 정도 나지 상태로 노출되어 있어 강우에 의한 토양유실이 매우 심하다. 우리나라 고령지 밭에서는 OECD 허용치 (11 MT ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) 보다 5~8배나 많은 50~80 MT ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>의 토양이 유실되고 있다 (Jung et al., 2004). 강우에 의한 토양 유실과 지표수 유출은 경작지 토양과 함께 양분유실을 초래하고 그에 따라 과다 양분이 투입되어 악순환이 되고 있다. 축분 부산물비료 양분 중 질소 손실은 바람이 세고 고온건조에서 NH<sub>3</sub> 휘산과 N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> gas 탈질로 인한 손실이 많으나 (Bent et al., 1986), 토양에 사용하였을 시의 토양유실로 인한 환경 부하는 휘산과 탈질로 인한 손실보다 수배에 달하는 것으로 보고되었다 (Jung et al., 2005). 퇴비 중의 인산의 경우 비교적 안전성이 높으나 축산분뇨 과다 사용 시에는 많은 양이 유실되어 하천 및 지하수를 오염시킨다고 보고되었다 (James et al., 1996).

2008년 국립환경연구원에 의하여 한우 및 돼지 분뇨에 의한 BOD, T-N, T-P의 발생농도와 발생부하원단위가 산정되어 발표되는 (Han et al., 2008) 등 축분 부산물비료에 대한 오염부하량이 산정되어 있으나, 축분 부산물비료를 사용한 농경지에서 축분 부산물비료 종류별 양분유출 특성과 유출량 산정에 관한 보고는 많지 않은 실정이다. 사용된 축분 부산물비료의 양분유실은 강우에 의한 유실토양과 유거수, 지하침투수에 의한 용탈, 산화환원에 의한 가스 상태의 휘산에 의하여 이루어진다 (Kim et al., 2000). 특히 다른 일반 농경지와 달리 고령지 밭은 경사도에 의한 유실토양과 유거수 유출로 축분퇴비에 함유된 양분 유실이 높다.

따라서 본 연구는 경사도에 따른 축분 부산물비료 종류별 양분유실량을 구명하고 농업환경부하 평가에 기초자료로 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

**시험장소 및 공시재료** 본 연구는 2009년 평창군 도암면 황계리에 위치한 고령지 농업연구소 시험포장에서 실험을 수행하였으며, 시험포장의 표고는 800 m인 고령지이며 연평균기온은 6.3°C이고 연강우량이 1,581 mm로서 평년지인 수원과 비교할 때 연평균기온은 4.8°C 낮고, 강우량은 205 mm 더 많은 전형적인 고령지 지역이다. 시험에 사용된 계분 부산물비료는 순수 계분 65% + 버섯배지 20% + 부숙 양겨 15%, 돈분 부산물비료는 순수돈분 50% + 톱밥 50%로 제조된 것을 이용하였다. 계분 부산물비료 조성은 T-N 2.25%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.43%, K<sub>2</sub>O 2.03%이며, 돈분 부산물비료는 T-N 2.4%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.37%, K<sub>2</sub>O 2.49%로 조사되었다 (Table 2). 실험 작물은 고령지 대표작물인 고령지 배추를 선정하였다.

**포장시험 처리내용** 실험포장의 경사도 (수평거리에 대한 수직거리의 백분율)는 5%, 20%, 35%의 3구역으로 나누어 수행하였으며 면적은 가로 1.2 m × 세로 8 m로 9.6 m<sup>2</sup>이다. 외부로부터 유입수를 막기 위하여 폭 30 cm의 함석으로 15 cm는 토양에 묻고 15 cm는 노출시켜 구획을 작성하였다. 또한 구획내의 유거수를 모으기 위하여 각 plot의 끝에 함석으로 유거수 모음 장치를 설치하였으며 한 곳으로 집중된 유거수와 유출토사는 2,000 L의 물탱크에 저장되도록 한 후 채취하여 분석하였다. 경사도 별 처리방법은 각각의 경사도에 4개의 처리구역으로 나누어 실험하였으며 경사도 5%, 20%, 35% 각각 화학비료 (NPK), 돈분 부산물비

Table 1. Monthly rainfall amount during field experiment (22, June - 28, October, 2009).

	June	July	August	September	October
rainfall (mm)	20	467	169	33	40

Table 2. Chemical properties of compost used in the experiment.

Compost	Water content	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	O.M
----- % on dried weight base -----						
chicken manure	35.54	2.65	2.43	2.03	8.38	43.3
pig manure	55.10	2.40	1.37	2.49	14.15	38.5

Table 3. Chemical properties of soil used in the experiment.

pH	EC	O.M	T-N	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CEC	Exch. Cation			
						Ca	K	Mg	Na
1:5(H <sub>2</sub> O)	dS m <sup>-1</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----		mg kg <sup>-1</sup>	-----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			
6.25	0.54	43.7	2.7	332	8.54	4.51	1.92	1.21	0.117

료, 계분 부산물비료, NPK + 계분 부산물비료를 처리하여 실험하였다. 화학비료 처리는 고랭지 배추 재배 시 표준시비량으로 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (250-78-168 kg ha<sup>-1</sup>)를 시비하고 축분 부산물비료는 토양 유기물 기준으로 10 ton ha<sup>-1</sup>시용하여 정식 15일 전에 처리구역별로 처리하였다. 2009년 6월 22일 고랭지 배추 정식 후 약 4개월간 재배를 하였으며 재배방법은 상하경 방식으로 재식거리는 30 cm × 60 cm로 하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준경종법에 준하여 재배하였으며, 시험포장 토양의 화학특성은 Table 3에 나타내었다.

**분석방법** 시험포장 토양의 이화학성 변화양상을 조사하기 위해 강우 후 다음날 채취를 원칙으로 2009년 7월 중순, 8월 중순, 9월 말, 10월 중순 총 4회 시료를 채취하여 pH, EC, O.M, T-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CEC, 치환성 양이온 등을 분석하였다. 유기수 및 유출토사의 양과 함유된 양분을 조사하기 위하여 2009년 7월 중순, 8월 중순, 9월 말 등 총 3회 유기수와 유출토사 시료를 채취하였으며 유기수의 경우 T-N, T-P, K, Mg, Ca, Na를 분석하였고, 유출토사는 pH, EC, T-N, Av, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 치환성 양이온 등을 분석하였다. 또한 작물 수확 후 배추의 T-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O 등 무기성분을 분석하였다.

토양의 화학성 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (1988)에 따라 분석하였다 (RDA, 1988). 토양의 pH는 토양과 물의 비율을 1:5로 하여 초자전극으로 측정하였고, 유기물 함량은 Walkely-Black법으로, 유효 인산 함량은 Lancaster법으로 측정하였다. 치환성 양이온은 풍건토 5 g을 1N-CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (pH 7.0) 용액 50 ml 가한 후 30분간 진탕하여 각 이온을

Inductively Coupled Plasma (GBC SDS-270)로 측정하였다. 식물체의 무기성분을 분석하기 위하여 건조시료 0.5 g을 칭량 한 후 전열판 위에서 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로 습식 분해한 후 여액을 이용, 총질소 (T-N)는 Kjeldahl법으로 (Kjeltec Auto Sampler System 1035 Analyzer), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 Vanadate법으로, K<sub>2</sub>O는 Inductively Coupled Plasma로 각각 분석하였다.

작물의 무기성분 분석을 위해 처리구별 5포기씩 배추를 채취하여 각 포기를 4등분하여 1/4 포기씩 60°C에서 72시간 건조하여 무기성분 함량 분석에 이용하였다.

고랭지 배추 생육 및 수량은 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준에 의하였다.

## 결과 및 고찰

**처리구 별 토양유실에 의한 양분 유출량** 2009년 6월 22일부터 10월 28일까지 약 120일 동안 시험포장에 내린 강우 (725 mm)로 인해 (Table 1) 유출되는 토양과 유기수에 의한 양분유실량을 조사하였다. 경사도가 같은 처리구별 토양유실량의 차이는 나타나지 않았으며, 경사도 5%에서의 유출 토양과 유기수는 적었으나 경사도 20% 이상부터 높은 것으로 조사되었다 (Table 4). 경사도 (%)에 따른 토양유실량 간의 관계식은 Fig. 1에 나타나 있으며 매우 높은 정의 상관관계를 보이고 있다. Renard et al. (1997)은 경사도 (%)가 증가할수록 지형인자 (LS) 값이 증가하고 경사장이 길어질수록 LS 값은 더욱 증가하여 토양유실이 더욱 심하다고 예측하였다. Table 4에는 경사도와 축분 부산물비료 처리에 따른 토양유실량과 토양 중 양분함량과 토

Table 4. Nutrients losses treated with various fertilizers in 5%, 20% and 30% graded lysimeters by soil loss.

Slope	Treatments	T-N	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ex. K	Ex. Ca	Ex. Mg	Ex. Na	Soil loss
5%	NPK	7.09	1.58	0.14	0.47	0.05	0.01	3.37
	pig manure	8.16	1.60	0.15	0.50	0.05	0.01	3.34
	chicken manure	8.58	1.56	0.18	0.40	0.06	0.01	3.33
	NPK+chicken manure	9.63	1.52	0.18	0.45	0.06	0.01	3.69
	Mean	8.37a	1.57a	0.16a	0.46a	0.06a	0.01a	3.43a
20%	NPK	41.34	8.17	1.38	4.16	0.26	0.04	32.98
	pig manure	55.28	12.20	1.22	3.74	0.49	0.05	31.45
	chicken manure	61.98	12.40	1.45	4.39	0.46	0.05	32.87
	NPK+chicken manure	71.04	13.42	1.50	3.25	0.40	0.05	32.51
	Mean	57.41b	11.55b	1.39b	3.89b	0.40b	0.05b	32.45b
35%	NPK	59.26	14.12	2.50	5.81	0.76	0.08	53.76
	pig manure	70.36	20.93	2.47	5.99	0.84	0.07	52.03
	chicken	73.06	23.10	2.71	6.99	0.86	0.08	53.36
	NPK+chicken manure	83.32	25.56	2.82	6.89	0.81	0.08	54.17
	Mean	71.50b	20.93c	2.63c	6.42c	0.82c	0.08c	53.33c

\*Nutrient Losses (kg ha<sup>-1</sup>) : Nutrient concentration (mg kg<sup>-1</sup>) × soil loss (MT ha<sup>-1</sup>)

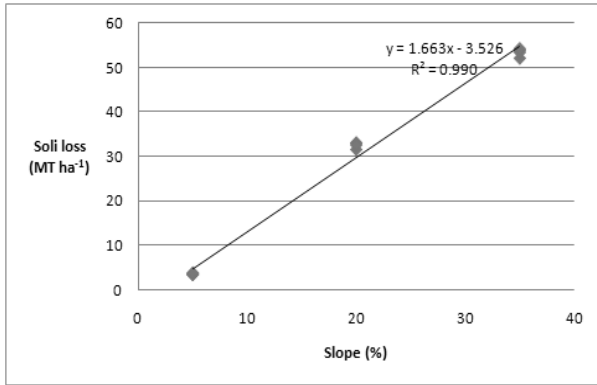


Fig. 1. Soil losses depending on field slopes (%) with various fertilizer treatments.

양유실량을 곱한 양분 유출량이 나타나 있다.

경사도 5%에서 T-N 유출은 NPK + 계분부산물비료 처리구에서 가장 높은 것으로 나타났으며 경사도 20%와 35%의 경우에도 같은 경향을 나타냈다. 축분 부산물비료에 의한 유출의 차이보다 경사도 (%)에 따른 T-N 유출의 차이가 더욱 큰 것으로 조사되었다 (Table 4). 경사도 5%에서 평균 T-N 유출은 8.37, 경사도 20%와 35%에서는 각각 57.41과 71.50 kg ha<sup>-1</sup>의 T-N 유출을 나타냈으며 경사도 5%와 20, 35% 간에는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 경사도 20%와 35% 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았으나 경사도 (%)에 따른 NPK + 계분부산물비료의 T-N 유출량이 Fig. 2에 나타난 바와 같이 경사도 (%)에 따라 정의 상관관계를 나타내고 있다. 다른 축분 부산물비료의 경우에도 T-N 유출량은 경사도에 따라 정의 상관관계를 나타낸다 (data not shown). 유효인산 및 치환성 양이온 (Ca, Mg, K, Na)도 경사도에 따라 유사한 결과를 나타내는데 이는 경사도가 증가함에 따라 토양유실량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 토양유실에 의한 T-N과 Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 유출량은 모든 축분 부산물비료 처리구가 화학비료 (NPK) 처리구보다 높은 것으로 나타났다. 토양유실에 의한 양분유출량은 T-N > Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> > Ex. Ca > Ex. K > Ex. Mg > Ex. Na 순으로 나타났다. 유기수와 달리 인산성분의 유출이 많았는데 이는 토양유실시 인산이 함께 유출되었기 때문인 것으로 판단된다. 인산은 대부분의 작물이 10-20%만 흡수하고 나머지는 토양입자 또는 유기물에 강하게 고정되어 있기 때문이다. 인은 질소와 더불어 담수생태계에서 가장 중요한 제한 물질로서 하천에 유입된 인은 저질과 수중에 그대로 남게 되어 급격한 부영양화의 직접적인 원인 (Wetzel, 1983)이 되므로 비료성분의 유출을 막는 방법으로써 토양유실방지가 우선되어야 할 것이다. 이와 같이 경사도가 증가함에 따라 토양유실이 비례적으로 증가하므로 Jung et al. (2005a)은 고랭지 밭에 대한 제도적 규제방안을 제안하였다. 즉, 경사도가 15% 이상인 지역 중 수질에 미치는 영향이 큰 지역은

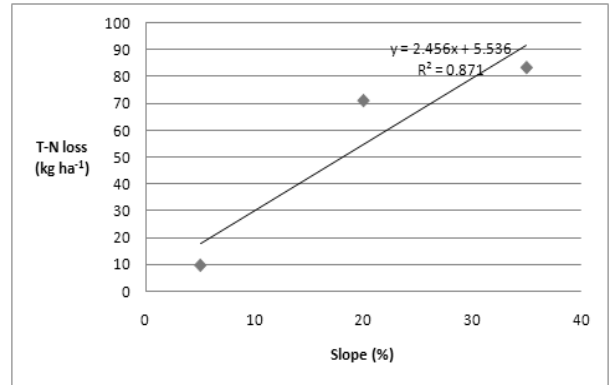


Fig. 2. T-N loss treated with NPK + chicken manure compost depending on field slopes (%).

고랭지 밭으로의 신규개간을 금지하며, 수질에 미치는 영향이 적은 지역은 정부가 정기적으로 토사유출을 모니터링 하여야한다고 하였다. 또한 경사도가 15-20%인 지역은 경사장의 길이를 25-40 m로 이하로 제한하고 이와 함께 초생대와 승수로를 권장한다고 하였다. 경사도가 20% 이상인 지역은 경사장의 길이를 25 m 이하로 제한하고 이와 함께 승수와 테라스 설치를 권장하여야 한다고 하였다. 본 연구 결과에서도 경사도가 증가할수록 토양유실에 의한 양분 유출이 증가하므로 경사도에 따른 적절한 토양유실 대책이 따라야 할 것으로 사료된다.

**처리구 별 유기수에 의한 양분 유출량** 총 강수량 (725 mm)에 의해 발생된 유기수량은 경사도 5%에서 평균 680 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, 20%에서 평균 2,069 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, 35%에서 평균 2,879 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>로 나타났으며, 같은 경사도 처리구간 유기수량의 차이는 없는 것으로 조사되었으나 경사도의 차이로 인한 유기수량의 차이는 매우 큰 것으로 나타났다. 경사도 (%)에 따른 토양유실량 증가와 같은 경향으로 경사가 증가할수록 유기수량도 증가하는 것으로 나타났다. 경사도 20%에서 유기수량에 의한 T-N 유출은 NPK + 계분 부산물비료가 가장 높은 35.4 kg ha<sup>-1</sup> 값을 보였으며 화학비료 (NPK) 처리구가 19.6 kg ha<sup>-1</sup>로 가장 적은 값을 나타냈다. 경사도 5%와 30%에서도 이와 같은 경향을 나타냈다. 즉, 화학비료 (NPK) 처리구에 비해 축분 부산물비료 처리에 의한 T-N 유출이 높은 것으로 나타났다 (Table 5). 경사도 5%에서의 평균 T-N 유출은 11.1, 경사도 20%와 35%에서의 T-N 유출은 29.2, 41.7 kg ha<sup>-1</sup>로 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. Lee et al. (2006)은 고랭지 농가에서는 적정량 이상의 부산물비료를 사용하면서도 복합비료를 다량으로 사용하고 보고하였다. 배추의 경우 질소는 1.4-1.6배, 인산의 경우는 4.6-8.3배 더 사용한다고 하였다. 따라서 실제 농가에서 발생하는 T-N 및 인산의 유출은 본 연구의 결과보다 더욱 심할 것이라 판단된다. T-P의 경우도 경사도 20%에서 NPK

**Table 5. Nutrients losses treated with various fertilizers in 5%, 20% and 30% gradiented-lysimeters by runoff water.**

Slope	Treatments	T-N	T-P	Ex. K	Ex. Ca	Ex. Mg	runoff water	runoff rate
		Kg ha <sup>-1</sup>			m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>			%
5%	NPK	6.2	0.33	2.02	3.54	1.23	675	9.3
	pig manure	12.0	0.85	3.35	5.72	2.27	690	9.5
	chicken manure	12.9	0.66	3.48	5.69	2.61	684	9.4
	NPK+chicken manure	13.4	0.91	3.21	7.12	2.91	670	9.2
	Mean	11.13a	0.69a	3.02a	5.52a	2.26a	678a	9.3a
20%	NPK	19.6	0.52	4.02	7.21	2.78	2,028	28.0
	pig manure	30.3	1.07	5.55	7.59	2.53	2,093	28.9
	chicken manure	31.4	1.18	5.58	7.43	2.50	2,052	28.3
	NPK+chicken manure	35.4	1.35	5.60	8.12	2.84	2,103	29.0
	Mean	29.2b	1.03ab	5.19b	7.59b	2.66ab	2,069b	28.5b
35%	NPK	28.3	0.67	7.70	11.21	2.93	2,862	39.5
	pig manure	43.5	1.44	8.12	12.59	3.18	2,840	39.2
	chicken	43.3	1.55	8.43	13.26	3.01	2,920	40.3
	NPK+chicken manure	51.7	1.79	8.67	13.01	3.33	2,893	39.9
	Mean	41.7c	1.36b	8.03c	12.52c	3.11b	2,879c	39.7c

**Table 6. Inorganic nutrient components for chinese cabbage with various fertilizer treatments in several slopes.**

Slope	Treatments	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		%		
5%	NPK	2.52a	1.26a	3.97a
	pig manure	2.22a	1.03ab	3.13c
	chicken manure	2.36a	0.90b	3.57b
	NPK+chicken manure	3.00b	1.28a	3.98a
	Mean	2.52a	1.12a	3.66a
20%	NPK	2.65a	1.24a	3.04a
	pig manure	2.13b	1.01ab	2.96a
	chicken manure	1.95b	0.88b	2.64b
	NPK+chicken manure	2.47a	1.04ab	3.01a
	Mean	2.30a	1.04a	2.91b
35%	NPK	2.56a	1.06a	2.87a
	pig manure	1.89b	0.97a	2.22b
	chicken manure	2.15b	0.86a	2.15b
	NPK+chicken manure	2.53a	0.93a	3.07a
	Mean	2.28a	0.95a	2.57b

+ 계분 부산물비료가 가장 높은 1.35 kg ha<sup>-1</sup>의 유출을 보였으며 화학비료 (NPK) 처리구에서는 0.52 kg ha<sup>-1</sup>의 유출을 보였다. 즉, NPK + 계분 부산물비료의 T-P 유출이 화학비료 (NPK) 처리구보다 2.6배 많은 유출을 보이는 것으로 조사되었다. 경사도 5%와 30%에서도 이와 같은 경향을 나타냈다. 즉, 화학비료 (NPK) 처리구에 비해 축분 부산물비료 처리에 의한 T-P 유출이 높은 것으로 나타났다. (Table 5). 돈분 부산물비료와 계분부산물비료가 화학비료 (NPK)보다 유거수의 양분유실이 높은 것은, 화학비료는 토양에 시용 후 토

양 용액에 쉽게 용해되어 토양에 흡착되는 성질이 강하여 경사전에서 강우 등 외부 환경 요인으로 인한 유실이 적으나, 부산물비료는 토양미생물에 의해 작물이 이용 가능한 형태로 분해되는 속도가 일반 노지에 비해 느리고 입단이 형성되기 전 집중 강우로 인해 유실가능성이 높다고 하였다 (Joo et al., 2009).

**처리구별 작물 무기성분 흡수량** 배추로 흡수된 무기성분 중 경사도 5%에서의 T-N 함량은 화학비료 (NPK),

돈분 부산물비료, 계분 부산물비료 처리간에는 유의성이 없는 것으로 조사되었으나 이들 처리구와 화학비료 (NPK) + 계분 부산물비료 처리간에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 (Table 6). 이는 경사도 5%에서는 토양유실 및 유거수로 인한 T-N 유출이 그다지 많지 않기 때문인 것으로 판단된다. 반면 경사도 20%에서의 배추의 T-N 함량은 돈분 부산물비료와 계분 부산물비료가 화학비료 (NPK) 처리구와 화학비료 (NPK) + 계분 부산물비료 처리구에 비해 유의성 있게 낮게 나타났다. 이는 Table 4에 나타난 바와 같이 토양유실로 인한 T-N 유출이 돈분 부산물비료와 계분 부산물비료에서는 높게 나타난 것이 하나의 원인이 될 수 있다고 판단된다. 경사도 35%에서의 배추의 T-N 함량도 경사도 20%에서의 결과와 유사한 결과를 보여주고 있다. 처리된 화학비료 (NPK)와 축분 부산물비료간에는 유의한 차이가 나타났으나 경사도에 따른 배추의 T-N 함량은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다 (Table 6). 배추로 흡수된 무기성분 중  $P_2O_5$  함량은 경사도 5%와 20%에서 화학비료 (NPK)와 부산물비료간에 유의한 차이가 나타났으나 경사도 35%에서는 이들간의 차이가 없는 것으로 나타났다. 배추의 무기성분 중  $K_2O$  함량은 모든 경사구에서 화학비료 (NPK)와 부산물비료간에 유의성 있는 차이가 나타났다. 즉, 화학비료 (NPK), 화학비료 (NPK) + 부산물비료 처리구가 부산물비료 처리구보다 높은  $K_2O$  함량을 나타냈다.

## 요 약

축분 부산물비료에 대한 양분 유출과 유출량 산정을 통하여 축분 부산물비료별 양분유실량을 구명하고 농업환경 부하 평가에 기초자료로 제시하고자 경사도에 따른 축분 부산물비료 별 양분유출 시험을 수행하였다.

유실된 토양에서의 T-N 함량은 축분 부산물비료 간에 의한 유출의 차이보다 경사도 (%)에 따른 T-N 유출의 차이가 더욱 큰 것으로 조사되었다. 경사도 5%에서 T-N 유출은 NPK + 계분부산물비료 처리구에서 가장 높은 것으로 나타났으며 경사도 20%와 35%의 경우에도 같은 경향을 나타냈다. 축분 부산물비료에 의한 유출의 차이보다 경사도 (%)에 따른 T-N 유출의 차이가 더욱 큰 것으로 조사되었다. 경사도 5%에서 평균 T-N 유출은 8.37, 경사도 20%와 35%에서는 각각 57.41과 71.50  $kg\ ha^{-1}$ 의 T-N 유출을 나타냈으며 경사도 5%와 20, 35% 간에는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 경사도 20%와 35% 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았으나 경사도 (%)에 따라 정의 상관관계를 나타내고 있다. 유효인산 및 치환성 양이온 (Ca, Mg, K, Na)도 경사도에 따라 통계적으로 매우 유의한 차이를 나타냈다. 경사도 20%에서 유거수량에 의한 T-N과 T-P의 유출은 화학비료 (NPK)

+ 계분 부산물비료가 가장 높았으며 화학비료 (NPK) 처리구가 가장 적은 값을 나타냈다. 경사도 5%에서의 평균 T-N 유출은 11.1, 경사도 20%와 35%에서의 T-N 유출은 29.2, 41.7  $kg\ ha^{-1}$ 로 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 경사도 20%에서의 배추의 T-N 함량은 돈분 부산물비료와 계분 부산물비료가 화학비료 (NPK) 처리구와 화학비료 (NPK) + 계분 부산물비료 처리구에 비해 유의성 있게 낮게 나타났는데 이는 토양유실로 인한 T-N 유출이 돈분 부산물비료와 계분 부산물비료에서는 높게 나타난 것이 하나의 원인이 될 수 있다고 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 강원대학교 농업생명과학연구원의 일부 지원으로 수행되었음.

## 인 용 문 헌

- Bent, T. and B. Christensen 1986. Ammonia Volatilization Loss from Surface Applied Animal Manure. In Efficient Land Use of Sludge and Manure.
- Chang, K.W, J.H. Hong, J.J. Lee, K.P. Han, and N.C. Kim. 2008. Evaluation of Compost Maturity by Physicochemical Properties and Germination Index of Livestock Manure Compost. Korean J. Soil Sci. Fert. 41(2):137-142.
- Han, G.B, Y.S. Lee, and J.M. Lim. 2008. Characteristics of Unit Load Generation and Discharge from Livestock Resources. Korea Organic Resource Recycling Association. 16(4):82-90.
- James, D, A.J. Kotuby, G. Anderson, and D. Huber.. 1996. Phosphorus Mobility in Calcareous Soils Under Heavy Manuring. J. Environ. Qual. 25(4):770-775.
- Joo, J.H, S.C. Choi, M.S. Ahn, S.Y. Ahn, Y.S. Ok, and J.S. Son. 2009. Effect of Nitrogen Application Rate on Growth and Yields of *Aster scaber* Thunb. and *Ligularia fischeri* Turcz. in the First Year after Transplanting. Korean J. Environ. Agr. 28(3):243-248.
- Jung, Y.S, and J.H. Joo. 2005. Investigation of pollutants discharge characteristics by alpine sloped farming. In 2003 project for survey of environment, Committee for Stream Management of Nakdong river.
- Jung, Y.S, J.E. Yang, and J.H. Joo. 2005a. Report for survey of non-point source pollutants in alpine area. MOE.
- Jung, Y.S, J.E. Yang, K.W. Shin, and J.H. Joo, 2004. Investigation of pollutants discharge characteristics by alpine sloped farming. In Project for survey of environment, Committee for Stream Management of Nakdong river. Korean J. Environ. Agr. 28(4):392-396.

- 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. 35(5):306-313.
- Lee, J.T, G.J. Lee, Y.S. Zhang, S.H. Hwang, S.J. Im, C.B. Kim, and Y.H. Mun. 2006. Status of Fertilizer Application and Soil Management for Major Vegetable Crops in Farmers Fields of Alpine Area. Korean J. Soil Sci. Fert. 39(6): 357-365.
- Novak, J.M, D.W. Walts, P.G. Hunt, and K.C. Stone. 2000. Phosphorus Movement through a Coastal Plain Soil after a Decade of Intensive Swine Manure Application. J. Environ. Qual. 29:1310-1315.
- Renard K.G, G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yodder. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In Agricultural Handbook no. 703 (Washington DC. USDA).
- Rural Development Administration (RDA). 1995. Criteria for Agricultural research and survey. p 303-304.
- Rural Development Administration (RDA). 1988. Soil chemical analysis.
- Shin, Y.K. 2004. Ph.D. Thesis, Seoul National Univeristy. Water Characteristics depending on land use and comparison of pollutant loads in Dawgwallyung area.
- Shin, Y.K. 2006. Policy Direction for Environmentally Friendly Reorganization of Highland Agriculture. Korean Journal of Agricultural Management and Policy. 33(2): 519-536.
- Wetzel, R. G. 1983. Limnology (2<sup>nd</sup> ed.). Saunders College Publishing, Philadelphia. p. 255-297.
- Yun, H.B, Y. Lee, S.M. Min, S.C. Kim, S.G. Hong, and Y.B. Lee. 2009. Ammonia Emission and Nitrogen and Phosphorous Loss by Rainfall form Cow Manure Pile. Korean J. Environ. Agr. 28(4):392-396.