

경운방법과 가축분뇨 시용이 옥수수의 생산성 및 질소의 용탈에 미치는 영향

정민웅 · 조남철 · 김종근 · 임영철 · 최기춘 · 윤세형 · 이기원 · 육완방*

Effect of Tillage System and Livestock Manures on the Silage Corn Production and NO₃-N Concentration in Leaching Water

Min-Woong Jung, Nam-Chul Jo, Jong-Geun Kim, Young-Chul Lim, Ki-Choon Choi,
Sei-Hyung Yoon, Ki-Won Lee and Wan-Bang Yook*

ABSTRACT

Approximately 43 million tons of livestock manure (LM) are produced each year on Korean farms. LM can be utilized as a valuable resource and/or it can contaminate water by runoff and leaching through the soil, when LM has been thoughtlessly applied to the land and directly discharged into the water. This experiment was carried out to investigate the effect of no-till system and LM application on dry matter (DM) yield of silage corn and NO₃-N concentration in leaching water of lysimeter installed in the experimental field. The treatments were replicated three times in split plot design. Main plots consisted of tillage systems, such as conventional tillage (CT) and no-tillage (NT). Sub plots consisted of the type of LM, such as chemical fertilizer (CF), composted cattle manure (CCM) and composted swine manure (CSM). The control plots were fertilized as commercial chemical fertilizer. DM yields of corn increased significantly in order to CF > CCM > CSM (p<0.05). DM yield of corn in CT increased as comparing with that of corn in NT. Plant height, ear height and stem diameter also increased in order to CF > CCM > CSM. In addition, the root weight in CT was increased as comparing with that of corn in NT. However, there was no interaction effects of between type of LM and tillage system. NO₃-N concentration in leaching water of LM application was less than 10 ppm, but NO₃-N concentration in CF exceeded 10 ppm which is safety level of drinking water during summer time (rainfall season).

(Key words : No-tillage, Livestock manure, Silage corn, NO₃-N loss)

I. 서 론

연간 947천 톤에 해당하는 조사료를 수입하고 있는 국내축산 현실에서 가축분뇨 시용과 조사료 생산을 연계한 자원순환형 조사료 생산 시스템의 구축은 조사료자원을 확보함과 동시에 친환경 농업을 실현할 수 있어 중요성이 증대되고 있다. 특히 국민의 식생활 변화에 따라 1990년도에 1인당 육류 소비량이 19.9 kg에 불

과하던 것이 2007년도에는 35.4 kg으로 크게 증가하였으며, 이로 인해 발생하는 가축분뇨 양이 연간 약 4천 3백만 톤에 달하고 있다. 현재 그 중 82%가 자원화되고 있으며 나머지는 정화방류, 해양배출, 공공처리 시설을 통해 처리되고 있다. 가축분뇨는 식물 생장에 필요한 질소(N), 인(P), 칼륨(K) 등을 공급하는 좋은 비료원으로 토양의 지력을 증진시키고, 토양의 물리·화학적 성질 및 미생물상이 개선되어 토

농촌진흥청 국립축산과학원 (National Institute of Animal Science, RDA, Cheonan, 330-801, Korea)

* 건국대학교 (College of Animal Husbandry, Kon-Kuk University, Seoul)

Corresponding author : Nam-Chul Jo, Grassland & Forages Division, National Institute of Animal Science, RDA, Cheonan, 330-801, Korea Tel: +82-41-580-6775. Fax: +82-41-580-6779. E-mail: mwjung@korea.kr

양개량을 위한 귀중한 자원이 된다(Sommerfeldt 등, 1988). 또한 가축분뇨 사용은 옥수수 생산량과 질소의 흡수율을 높이며(Jokela, 1992; Schmidt 등, 1996), 이러한 생산량 증가는 가축분뇨에 포함된 영양성분 이용성의 증가, 토양입단화의 증가, 토양 미생물의 활력을 높일 수 있는 토양 통기성의 개선 등 화학비료로는 얻을 수 없는 요인에 기인한다고 한다(Tisdale 등, 1985).

하지만 가축분뇨에 함유된 N·P·K의 작물 이용 효율을 볼 때, 화학비료 대비 N은 20~80%, P와 K는 80~90% 정도이며, 특히 이용되지 못한 양분 N은 결국 NO₃ 등으로 유실되어 수질오염에 많은 영향을 미치게 된다. Marschner (1995)에 의하면, NO₃-N는 수용성 물질이며, 토양입자에 부착되는 성질이 약하기 때문에 토양에서 쉽게 이동이 가능하며, 하루에 약 3 mm를 이동하는 것으로 보고했다(Kimble 등, 1972). 이러한 N의 분해 산물인 NO₃-N의 용탈은 식수를 통하여 인간에게 직접적인 해를 미치게 되므로 세계보건기구에서는 음용수의 최대 NO₃-N 기준치를 10 ppm으로 정하고 있으며(World Health Organization, 1996), 우리나라도 이 기준을 따르고 있다.

경운방법은 NO₃-N 용탈에 영향을 미치는 또 하나의 요인으로 Mbalame(1998)은 화학비료를 175 kg/N/ha를 사용한 경작지에서 경운에 무경운이 NO₃-N 농도에 미치는 영향을 조사한 결과, 경운지에서 무경운지보다 높은 NO₃-N 농도를 나타내었다. 또한 길게 발달된 직근을 가진 알팔파의 경우 토양의 깊은 곳에 있는 질소까지 흡수 이용하여 NO₃-N의 용탈에 의한 수질오염 가능성을 줄일 수 있음을 보고하였다(Peterson와 Russelle, 1991).

우리나라의 경우 하절기에 강수량의 분포도가 집중되고 있기 때문에 비료나 가축분뇨의

NO₃-N가 지하로 용탈되거나 침식과 함께 유실될 가능성이 높으므로 가축분뇨의 사용량에 따른 N 손실량과 용탈(Van der Meer 등, 1987; 육, 2003; 육과 최, 2005) 등에 관해 많은 연구의 필요성이 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 옥수수 재배지에서 경운방법과 가축분뇨의 사용이 옥수수의 생산성 및 NO₃-N의 용탈에 미치는 영향을 알아보기 위하여 lysimeter에서 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험설계 및 시험방법

본 시험은 2008년 4월부터 8월까지 5개월에 걸쳐 국립축산과학원 초지사료과 시험포장에 설치된 lysimeter(지름 0.75 m, 높이 0.80 m)를 이용하여 수행하였다. 시험에 사용된 흙은 경운과 무경운 효과를 보기위해 시험 수행 1년 전에 충전하여 토양의 안정화 기간을 거쳤으며, 그 성분은 Table 1에서 보는 바와 같이 총 질소 함량이 0.02%이고, 유기물 함량이 1.67 kg/kg인 사양토를 이용하였다. 가축분뇨는 6개월 이상 부숙시킨 총 질소 함량이 각각 0.58%, 0.71%인 우분퇴비와 돈분퇴비를 이용하였다.

시험배치는 분할구 배치법으로 처리는 경운방법(경운과 무경운)을 주구로 하였으며, 가축분뇨의 종류(화학비료, 우분퇴비 및 돈분퇴비)를 세구로 하였다. 공시품종은 국내육성 품종인 광평옥을 이용하였으며, lysimeter 당 2점씩 4지점에 점파하였으며, 정착이 이루어진 후 생육상태가 양호한 1개체를 남겨두고 뽑아 주었다. 가축분뇨의 사용은 화학비료구는 표준시용량(N-P₂O₅-K₂O)으로 200, 150 및 150 kg/ha를 사용하였으며, 우분퇴비와 돈분퇴비의 경우 화학비료구의 질소대비 100%를 전량 기비로 시

Table 1. Chemical characteristics of the soil used in this experiment

Year	pH (1:5H ₂ O)	T-N(%)	OM ¹⁾ (g/kg)	CEC ²⁾ (cmol ⁺ /kg)	Exchangeable Cations(cmol ⁺ /kg)			
					K	Na	Ca	Mg
2008	6.25	0.02	1.67	13.08	0.15	0.65	3.38	4.15

¹⁾ OM : organic matter, ²⁾ CEC : cation exchange capacity.

비하였다. 무경운 처리구의 경우 화학비료 및 가축분뇨를 표층에 골고루 시비하였으며, 경운 처리구의 경우 표층 약 15 cm까지의 토양을 큰 통에 옮겨 담은 뒤 화학비료 및 가축분뇨와 잘 섞은 후 다시 흙을 충진하였다. 시험 수행기간 동안 천안지방의 기상조건은 Fig. 1과 같다. 월 평균 강수량은 작물의 생육 초기인 5월에 62.6 mm였으나 5월 18일 강수량이 51 mm로 집중현상을 보여 대체적으로 가뭄으로 인해 옥수수의 초기 생육에 나쁜 영향을 미친 것으로 생각된다. 7월의 월평균 강수량은 287.7 mm로 강우 집중 현상을 보였다. 하지만 월평균 기온은 5월 평균기온이 17.69°C로 발아 및 출현기 생육에는 지장을 주지 않았다.

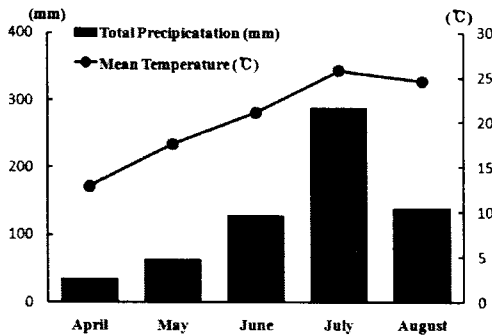


Fig. 1. Meteorological data during the experimental periods.

2. 분석방법

옥수수의 건물수량은 암이삭과 경엽을 분리하여 4주 전체의 생초수량을 측정하였고 시험구내에서 1주를 샘플로 경엽과 암이삭을 분리하여 평량하였으며, 열풍순환 건조기 (dry oven)에서 60°C로 48시간 건조 후 평량하여 건물물을 구하고 건물수량으로 환산하였다. 생육특성 조사를 위해, 착수고는 지면으로부터 암이삭이 달린 마디까지의 높이를 측정하였으며, 당도는 Hand Refractometer로, 경직경은 지면으로부터 15cm 높이의 마디와 마디사이의 지름을 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 용탈수 채취는 lysimeter의 아랫부분에 연결된 호수를 통해 수 집조에 모인 샘플을 수집하였다. 샘플의 채취

는 강우로 인해 용탈수의 채취가 가능할 때 마다 실시하였으며, 샘플은 채취 후 냉장 보관 후 24시간 안에 Water Analyzer (HS-2300 Plus, Humas, Korea)를 이용하여 분석하였다. 본 시험에서 얻은 결과는 Windows용 SPSS/PC (Statistical Package for the Science, ver 12.0. USA) 통계프로그램을 이용하여 분석하였다. 처리구 간의 비교는 two-way ANOVA test를 시행하였으며, 사후분석은 LSD 방법에 의해 유의수준은 $p < 0.05$ 로 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 옥수수의 생산성 및 생육특성

경운방법과 가축분뇨의 사용에 따른 옥수수의 생산성은 Table 2와 같다. 경운방법에 따른 옥수수의 건물생산성은 경운 처리구에서 높게 나타났으나 유의적인 차이는 없었다. 또한 경운과 무경운 처리에 따른 뿌리의 발달을 알아보기 위해 뿌리 무게를 측정된 결과 경운 처리구가 무경운 처리구보다 약간 높았으나 통계적인 유의차는 인정되지 않았다. 하지만 무경운 처리구의 경우 표층 토양의 압밀되어 (Buschiazzo 등, 1999; Ferreras 등 2000), 수분의 이동, 공기의 흐름 등에 영향을 받아 식물의 생육과 생산성이 감소한 것으로 생각된다 (Martin 등, 2002). 또한 낮은 다공성과 높은 강도를 가진 압밀된 토양이 작물의 생육에 필요한 물과 영양소를 공급하는 토양의 부피를 제한한 것으로 생각된다 (Hammel, 1994). 사료용 옥수수의 생육특성을 나타내는 초장, 착수고, 경직경 및 당도는 경운방법에 따른 차이가 없었다.

가축분뇨 사용에 따른 옥수수의 건물생산성은 화학비료 > 우분퇴비 > 돈분퇴비 순으로 유의적으로 높게 나타났으며 ($p < 0.05$), 뿌리 무게는 화학비료구와 우분퇴비구에서 돈분퇴비구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.05$). 화학비료 처리구의 뿌리 무게는 576g으로 우분퇴비구와 돈분퇴비구에 비해 각각 17%, 29% 높았다. 이러한 결과는 가축분뇨의 경우 대부분의

Table 2. Effects of the application of livestock manure on agronomic characteristics and dry matter yield of silage corn

Item	DMY ⁴⁾ (g/4plants)	Plant height (cm)	Ear height (cm)	Stem diameter (mm)	Brix (%)	RW ⁵⁾ (g/4plants)	
No-tillage	CF ¹⁾	1331	207	99	19.9	9.7	579
	CCM ²⁾	1234	200	93	21.1	10.4	535
	CSM ³⁾	967	194	91	17.8	8.6	426
Tillage	CF	1657	208	89	21.4	10.5	573
	CCM	1383	201	101	19.5	9.3	573
	CSM	849	191	93	17.3	8.4	491
No-tillage	1177	200	94	19.6	9.6	513	
Tillage	1296	200	94	19.4	9.4	546	
CF	1494 ^a	208 ^a	94	20.7 ^a	10.1 ^a	576 ^a	
CCM	1309 ^b	200 ^{ab}	97	20.3 ^a	9.8 ^a	537 ^a	
CSM	908 ^c	193 ^b	92	17.5 ^b	8.5 ^b	409 ^b	
Interaction effects			NS				

^{a, b} and ^c; Values with different letters in same column are significantly different at the 5% level.

¹⁾ Chemical fertilizer, ²⁾ Composted cattle manure, ³⁾ Composted swine manure, ⁴⁾ Dry matter yield, ⁵⁾ Root weight.

N가 유기태 형태로 존재하여 N 이용효율이 화학비료와 비교하였을 때 Jokela (1992)는 27~44%, Motavalli 등 (1989)은 5~28%, Xie와 MacKenzie (1986)은 25~100%로 낮아, 영양소 부족으로 인한 뿌리의 생육 발달 및 뿌리의 길이 생장이 제한된 것으로 생각되며 (Martin 등, 2002), 초기 생육기인 5월에 가뭄으로 인해 전체적인 식물체의 생산성이 감소한 것으로 생각된다. 가축분뇨 시용에 따른 경직경, 당도는 화학비료구와 우분퇴비구에서 돈분퇴비구 보다 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 우분퇴비구의 경우 질소함량이 0.58%로 돈분퇴비 질소함량 0.71% 보다 낮아 가축분뇨의 실제 시용량이 돈분퇴비구 보다 많아 가축분뇨의 다른 영양소에 의해 옥수수의 생산성 및 생육특성에 영향을 미친 것으로 판단된다. 옥수수의 생산성과 생육특성에 있어 경운방법과 가축분뇨 시용에 따른 유의적인 교호작용도 나타나지 않았다.

2. NO₃-N 용탈

경운방법과 가축분뇨의 시용에 따른 사료용 옥수수의 재배지에서 용탈수 중의 NO₃-N은 농도는 Table 3과 같다. 샘플의 채취는 지하

70cm의 용탈수를 5차에 걸쳐 수집, 분석하였다. 경운방법에 따른 평균 NO₃-N의 용탈은 경운 처리구에서 무경운 처리구보다 약간 높았으며 통계적인 유의차는 없었다. 하지만 가축분뇨 시용에 따른 NO₃-N의 용탈은 화학비료구가 가축분뇨 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.05$). 이러한 결과는 사료용 옥수수의 높은 질소 요구량 (200 kg/ha)과 시험처리를 위해 질소 요구량 전량을 기비로 사용하여 시간이 지나면서 용탈되는 NO₃-N의 함량이 크게 증가하였으며, 7월에 집중된 강수로 인하여 NO₃-N의 용탈량이 크게 증가한 것으로 생각된다. Marschner (1995)의 연구에 의하면, NO₃-N은 수용성 물질이며, 토양입자에 부착되는 성질이 약하기 때문에 토양에서 쉽게 이동이 가능하며, 하루에 약 3 mm를 이동하는 것으로 보고하였는데 (Kimble 등, 1972), 본 시험에서도 화학비료 처리구의 경우 무기태 형태로 존재하는 질소성분이 강우로 인해 시간이 지남에 따라 수직 이동하여 용탈되는 양이 증가한 것으로 생각된다. 하지만 가축분뇨 처리구의 경우 용탈수의 NO₃-N 농도가 5 ppm을 넘지 않았으며, 이는 가축분뇨 중의 N은 무기태와 유기태가 같이 존재하기 때문에 NO₃-N의 유실량이 적

Table 3. Changes of NO₃-N concentration in leaching water by various livestock manure application

		20 May	20 June	14 July	21 July	5 August	Mean
No-tillage	CF ¹⁾	6.88	3.73	21.90	24.85	9.58	13.39
	CCM ²⁾	3.76	3.67	2.12	0.66	1.18	2.28
	CSM ³⁾	4.73	2.90	1.68	0.85	1.51	2.44
Tillage	CF	9.46	5.11	22.67	23.74	7.21	13.64
	CCM	5.45	4.37	2.90	0.62	1.21	2.91
	CSM	4.93	4.98	1.79	0.62	1.35	2.73
No-tillage		5.12	3.43	8.57	8.79	4.09	6.00
Tillage		6.61	4.82	9.12	8.33	3.26	6.43
CF		8.17	4.42	22.29	24.30	8.40	13.51 ^a
CCM		4.61	4.02	2.51	0.64	1.20	2.59 ^b
CSM		4.83	3.94	1.74	0.74	1.43	2.53 ^b
Interaction effects				NS			

^a and ^b: Values with different letters in same column are significantly different at the 5% level.

¹⁾ Chemical fertilizer, ²⁾ Composted cattle manure, ³⁾ Composted swine manure.

었던 것으로 생각된다. 또한 경운은 NO₃-N의 용탈에 영향을 미치는 또 하나의 요인으로 Mbalame (1998)은 화학비료를 175 kg/N/ha를 사용한 경작지에서 경운과 무경운이 NO₃-N 농도에 미치는 영향을 조사한 결과, 경운지가 무경운지보다 높은 NO₃-N 농도를 나타낸다고 보고하였는데, 본 시험의 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 경운 처리구의 잘 발달된 뿌리가 NO₃-N을 효과적으로 흡수, 이용하여 용탈량을 줄인 것으로 생각되며, Peterson와 Russelle (1991)은 발달된 직근을 가진 알팔파의 경우 토양의 깊은 곳에 있는 질소까지 흡수 이용하여 NO₃-N의 용탈에 의한 수질오염의 가능성도 줄일 수 있음을 보고하여 본 연구 유사한 결과를 보였다.

본 시험의 결과 사료작물을 재배에서 경운과 무경운에 따른 옥수수의 생산성 및 NO₃-N 용탈에 미치는 영향은 크지 않았으며, 화학비료의 질소 대비 100%의 가축분뇨를 시비하였을 경우 용탈되는 NO₃-N의 농도가 높지 않아 수질에 미치는 영향이 미미하였다. 하지만 본 시험은 가축분뇨의 연속 시용에 의한 결과가 아닌 단기간에 이루어진 시험으로 가축분뇨의 무기화에 의한 질소잔여효과(Residual nitrogen effect)와 무경운에 의한 효과를 얻기 위해서는 보다 장기적인 시험수행이 필요한 것으로 생각된다.

IV. 요 약

본 연구는 옥수수 재배지에서 경운방법과 가축분뇨의 시용이 사료용 옥수수의 생산성 및 질소의 용탈에 미치는 영향을 알아보기 위하여 국립축산과학원 초지사료과 시험포장(천안)에서 lysimeter를 이용하여 2008년 4월부터 8월까지 실시하였다. 시험구 배치는 분할구배치법으로 경운방법(경운과 무경운)을 주구로 하였으며, 가축분뇨의 종류(화학비료, 우분퇴비 및 돈분퇴비)를 세구로 하였다. 가축분뇨의 시용은 화학비료구는 표준시용량(N-P₂O₅-K₂O)으로 200, 150 및 150kg/ha를 시용하였으며, 우분퇴비와 돈분퇴비의 경우 화학비료구의 질소대비 100%를 전량 기비로 시비하였다. 경운방법에 따른 옥수수의 건물생산성과 뿌리의 무게를 측정한 결과 경운 처리구에서 무경운 처리구보다 높게 나타났으나 유의적인 차이는 없었다. 가축분뇨 시용에 따른 옥수수의 건물생산성은 화학비료 > 우분퇴비 > 돈분퇴비 순으로 유의적으로 높게 나타났으며 (p<0.05), 뿌리 무게는 화학비료구와 우분퇴비구에서 돈분퇴비구 보다 유의적으로 높게 나타났다 (p<0.05). 가축분뇨 시용에 따른 경직경, 당도는 화학비료구와 우분퇴비구에서 돈분퇴비구 보다 유의적으로 높았다 (p<0.05).

옥수수의 생산성과 생육특성에 있어 경운방법과 가축분뇨 시용에 따른 유의적인 교호작용은 나타나지 않았다. 경운방법에 따른 평균 NO₃-N의 용탈은 경운 처리구에서 무경운 처리구보다 약간 높았으나, 통계적인 유의차는 없었다. 하지만 가축분뇨 시용에 따른 NO₃-N의 용탈은 화학비료구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다 ($p < 0.05$). 본 시험의 결과 사료작물을 재배에서 경운방법이 옥수수의 생산성 및 NO₃-N 용탈에 미치는 영향은 크지 않았으며, 화학비료의 질소 대비 100%의 가축분뇨를 시비하였을 경우 용탈되는 NO₃-N의 농도가 높지 않아 수질에 미치는 영향이 미미하였다.

V. 인 용 문 헌

1. 육완방. 2003 가축분뇨의 처리형태와 시용수준이 영년초지의 생산성, 지력증진 및 환경에 미치는 영향. 한초지. 23(3):193-202.
2. 육완방, 최기춘. 2005. 경사도와 분뇨의 처리 형태가 옥수수의 생산성과 양분의 유실에 미치는 영향. 한초지. 25(2):89-96.
3. Buschiazzo, D.E., Panigatti, J.L. and Unger, P.W., 1999. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49:105-116
4. Ferreras, L.A., Costa, J.L., Garcia, F.O. and Pecorari, C., 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil Till. Res* 54:31-39
5. Hammel, J.E. 1994. Effect of high-axle load traffic on subsoil physical properties and crop yields in the pacific Northwest USA. *Soil Till. Res.* 29:159-203
6. Jokela, W.E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects of corn yield and soil nitrate. *Soil Science Society of America Journal* 56(1):148-154.
7. Kimble, J.M., R.J. Bartlett, J.L. McIntosh, and K.E. Varney. 1972. Fate of nitrate from manure and inorganic nitrogen in a clay soil cropped to continuous corn. *Journal of Environmental Quality* 1: 413-415.
8. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd Ed. Academic Press.
9. Martín D.Z., Gustavo A.D., John H.G., 2002 A review of no-till system and soil management for sustainable crop production in subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65:1-18.
10. Mbalame E.M. 1998. Leaching of nitrate nitrogen and bromide to shallow ground water as affected by cultivation under no tillage conditions. Master's thesis. Iowa State University. Ames, Iowa.
11. Montavalli, P.P., K.A. Kelling, and J.C. Converse. 1989. First-year nutrient availability from injected dairy manure. *Journal of Environmental Quality* 18:180-185.
12. Peterson, T.A., and M.P. Russelle. 1991. Alfalfa and the nitrogen cycle in the corn belt. *Journal of Soil Water Conservation* 46:229-235.
13. Schmitt, M.A., C.C. Sheaffer, and G.W. Randall. 1993. Preplant manure and commercial P and K fertilizer effects on alfalfa production. *Journal of Production Agriculture* 6(3):385-390.
14. Sommerfeldt, T.G., C. Chang and T. Entz. 1988. Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen and decrease carbon to nitrogen ratio. *Soil Sci. Soc. Am J.* 52:1667-1672.
15. Tisdale, S.S., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*, 4th ed. MacMillian Publishing Co., New York, NY.
16. Van Der Meer, H.G., R.B. Thompson, P.J.M. Snijders and J.H. Geurink. 1987. Utilization of nitrogen from injected and surface-spread cattle slurry applied to grassland. *In* : Van der Meer, H.G. J.R. Unwin, T.A. Dijk and G.C. Ennick (eds). *Animal manure on grassland and fodder crops, fertilizer or waste.* pp. 47-71. Dordrecht: Martinus Nijhoff.
17. World Health Organization (WHO). 1996. Guidelines for drinking-water quality. 2nd Edition. Addendum to Volume 1 Recommendations. Geneva.
18. Xie, R. J. and A. F. Mackenzie. 1986. Urea and manure effects on soil nitrogen and corn dry matter yields. *Soil Science Society of America Journal* 50:1504-1509.

(접수일: 2009년 8월 31일, 수정일 1차: 2009년 9월 10일, 수정일 2차: 2009년 9월 15일, 게재확정일: 2009년 9월 21일)