

## 옥수수 - 연맥 조합의 사초수량과 토양특성에 미치는 소 액상분뇨

신동은 · 김동암\* · 박근제 · 김종덕\* · 박형수\* · 김수곤\*

### Forage Yields of Corn-Oats Cropping System and Soil Properties as Affected by Liquid Cattle Manure

D. E. Shin, D. A. Kim\*, G. J. Park, J. D. Kim\*, H. S. Park\* and S. G. Kim\*

#### Abstract

A manure management plan is important for all dairy operations. This experiment was conducted to determine the effect of different nitrogen(N) application rates of liquid cattle manure on the forage quality, N recovery, and total forage yields of corn-oats cropping system and soil properties at the National Livestock Research Institute, RDA, Suwon in 1997. Eight treatments consisting of no fertilizer, chemical fertilizer 320kg N ha<sup>-1</sup> as urea, the continuous applications of 320, 640 and 960kg N ha<sup>-1</sup> as liquid cattle manure(LCM), the residual effects of 200, 400 and 600kg N ha<sup>-1</sup> as liquid cattle manure were arranged in a randomized complete block design with three replications. Mean plant height of fall sown oats was 70 and 61cm at the continuous application and the residual effect plots, respectively. Mean dry matter percent of fall sown oats at the residual effect plots was higher by 0.9% than that of oats at the continuous application plots, but there were no differences among all treatments. Mean crude protein(CP), acid detergent fiber(ADF), and neutral detergent fiber (NDF) contents of fall sown oats at the continuous application plots were higher by 1.0, 1.6, and 3.1%, respectively, than those of the residual effect plots. Also, there were significant differences among treatments ( $P < 0.05$ ). Total forage dry matter yields of corn and oats cropping system were ranged from 11,365 to 25,668 kg ha<sup>-1</sup> among the treatments. The yield was orderly ranked as LCM 960kg N ha<sup>-1</sup> > LCM 600kg N ha<sup>-1</sup> > LCM 640kg N ha<sup>-1</sup> > LCM 400kg N ha<sup>-1</sup> ( $P < 0.05$ ). Compared with the control, manurial value(MV) was 158 and 139% for the plot of the LCM 960kg N ha<sup>-1</sup> and that of the LCM 600kg N ha<sup>-1</sup>, respectively. N recovery percent of fall sown oats was the highest at the plot of the LCM 200kg N ha<sup>-1</sup> by 50%, and then was higher in order of the LCM 400kg N ha<sup>-1</sup>, LCM 600kg N ha<sup>-1</sup>, and LCM 320kg N ha<sup>-1</sup>. Contents of exchangeable cation in the soil of the residual effect plots was higher than that of the continuous application plots.

These results suggest that the LCM 600kg N ha<sup>-1</sup> may be the most effective in total forage dry matter yields, manurial value, N recovery, and utilizing liquid manure N under the corn and oats double cropping system.

(Key words : Liquid cattle manure, Manurial value, N recovery, Residual effect)

축산기술연구소(National Livestock Institute, RDA, Suwon 441-350, Korea)

\* 서울대학교 농업생명과학대학(College of Agric. & Life Sci., SNU, Suwon 441-744, Korea)

## I. 서론

농가에서 나오는 가축분뇨는 토양에 대한 질소공급 효과가 크며(Follett 등, 1987), 옥수수포장에 비료나 분뇨를 과다 사용하였을 때 토양단면에 질산태질소(NO<sub>3</sub>-N)가 과잉축적된 것을 볼 수 있었으며, 이렇게 과잉 축적된 질산태질소는 습윤지역에서 근계(root system)의 범위를 넘어 용탈의 가능성이 높다(Jokela, 1992).

Pesek 및 Dumenil(1956)은 Iowa의 시험에서 질소 사용 후 토양중 남아있는 잔여 질소가 처음 질소사용량의 49% 수준이라고 하였다. 또한 White 등(1958)은 토양중 잔여 질소를 고려하여 작물에 대한 정확한 사용량을 결정할 수 있고, 작물의 생장기간 동안 유용한 질소량을 예측할 수 있다고 보고하였다.

가축분뇨의 사용 후 가축분에 의한 토양중 잔여질소 효과는 분뇨에 의해 공급되는 유기, 무기질소의 조합 그리고 유기질소의 무기화에 의하여 기대된다. 그러나 가축분뇨를 질소기준으로 계속 사용하게 되면 식물체 및 토양의 인산축적량이 높아질 수 있다(Mikkelsen 및 Gilliam, 1995).

본 연구는 양질조사료의 생산을 위한 옥수수-연맥 작부조합에서 소 액상분뇨의 사용수준을 달리한

계속사용구와 계속 사용 안한구를 두어 후작물인 연맥의 생육상태, 사료가치, 총 건물수량(옥수수+연맥)을 파악하여 가축분뇨의 사용수준에 따른 잔여효과를 알아보려고 하였으며, 또한 가축분뇨의 낮은 질소회수율을 개선할 수 있는 방법모색 및 가축분뇨의 연속사용이 토양의 특성에 미치는 영향을 구명하고자 수행하게 되었다.

## II. 재료 및 방법

포장시험은 농촌진흥청 축산기술연구소 초지사료과 시험포장에서 1997년 4월부터 10월까지 실시하였다. 시험포장은 사일리지용 옥수수를 재배하였던 곳으로 1년동안 휴경된 상태였으며, 1997년 4월 8일 소의 액상분뇨를 수준별로 포장에 사용하였다. 4월 18일 옥수수를 파종하고, 8월 18일 수확하였다. 또한 8월 21일 로타리 경운후 8월 27일 소의 액상분뇨를 수준별로 사용하고 9월 1일에 연맥을 파종하였으며, 10월 28일에 수확하였다.

시험구 배치는 대조구로서 금비구(요소기준)를 두어 옥수수 및 연맥포장 조성시 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O를 각각 200-150-150 및 120-150-80kg/ha의 수준으로 사용하였다. 액상분뇨구로는 옥수수와 연맥재배시 계속사용구와 잔여효과구를 두어 ha당 각각 320kg(C1)과

Table 1. Fertilization schedule of the treatment

Treatment	N rate (kg/ha) (corn + oats)	Type of application
NF	0 + 0	No fertilizer
Control	200 + 120	Chemical fertilizer
C1	200 + 120	Liquid cattle manure
C1'	200 + 0	
C2	400 + 240	
C2'	400 + 0	
C3	600 + 360	
C3'	600 + 0	

200kg구(C1')로 나누었고 100% 증량구는 640kg구(C2)와 400kg구(C2')로 200% 증량구는 960kg구(C3)와 600kg구(C3')로 나누었으며, 또한 처리구간 작물의 비효가 및 질소회수율을 알아 보기 위하여 무비구를 두었다.

시험구는 8처리 3반복 난괴법으로 설계하였으며, 구당 면적은 21m<sup>2</sup>(3×7)로 하였다.

옥수수는 휴폭 60cm, 주간거리 24cm (69,450주)로 파종하였고, 연맥은 ha당 150kg을 30cm 간격으로 조파하였다.

옥수수는 8월 18일 수확시 수량조사를 실시하였으며, 연맥은 유식물 출현후 일주일 간격으로 초고조사를 실시하였다. 옥수수의 수확은 중앙 2줄을 지표면 5cm 높이에서 낮으로 베어 칭량하였고, 연맥은 시험구 전체(3×7m)를 수확하여 청초수량을 측정하였다. 청초시료는 75℃의 순환식 열풍건조기에서 72시간 이상 충분히 건조시킨 후 건물수량 계산 및 분석용 시료로 이용하였다. 또한 연맥은 유식물 출현후 1주일 간격으로 초고조사를 실시하였다.

각 시험에서 채취한 건조시료를 Wiley Mill로 분쇄하고 20 mesh 표준체를 통과시켜 사초의 무기물 함량 및 일반성분 분석에 이용하였다.

시료의 조단백질 함량은 AOAC법(1990)에 의하여

Kjeltec Auto 1030 Analyzer를 이용하여 분석하였고, NDF(Neutral detergent fiber) 및 ADF(Acid detergent fiber) 함량은 Goering 및 Van Soest법(1970)에 의하여 분석하였다.

시험전 토양시료 채취는 전작물인 옥수수 파종전 전체포장을 5군데로 나누어 0~20cm 깊이로 하였고, 시험후 토양은 옥수수 및 연맥 수확후 같은 깊이의 토양을 각 처리별로 채취하였다.

토양중 전질소 함량은 Kjeldahl법에 의하여 증류시킨 후 0.05N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로 적정하였고, 유효인산 함량은 Bray No. 1법으로, 치환성양이온 함량은 원자흡광광도계(Shimadzu AA-680)로 정량하였으며, 무기태질소 함량은 동시침출 정량법을 이용하여 증류한 다음 적정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 소 액상분뇨의 사용수준에 의한 추파용 연맥의 생육특성 및 사료가치

옥수수-연맥 작부조합에서 소의 액상분뇨 사용수준에 따른 계속시용구와 잔여효과구에서 추파 연맥의 초고추이는 표 2와 같다.

Table 2. Changes in plant height of fall sown oats in relation to continuous application and residual effect

Treatment	Sept. 20	Sept. 27	Oct. 4	Oct. 11	Oct. 18	Oct. 25
	..... cm .....					
NF	14.8	18.5	28.2	36.8	41.3	52.8
Control	15.0	18.3	28.4	40.9	44.2	55.9
C1	16.7	19.6	32.4	43.4	49.6	62.1
C2	20.3	24.6	35.4	53.0	56.6	71.8
C3	19.8	24.2	40.0	51.6	61.7	76.6
C1'	15.6	20.2	30.0	43.9	50.7	61.4
C2'	16.4	20.0	29.2	41.3	47.9	58.1
C3'	17.3	20.7	33.2	46.7	53.2	64.7

초고조사 초기에서 중기까지는 계속시용구가 시용수준이 증가되면서 초고가 증가된 반면에 잔여효과구는 처리별로 차이가 거의 없이 완만하게 진행되었다. 10월 25일 최종조사시 대조구에서 평균초고가 55.9cm였고, 계속시용구인 C1, C2, C3구에서 각각 62.1, 71.8, 76.6cm 였다. 잔여효과구의 경우 C1'구 및 C2'구간에는 차이가 없었으나, C3'구는 64.7cm로 계속시용구인 C1구보다 더 높게 나타났다. 본 시험에서 계속시용구는 시용수준별로 증가효과가 있었는데 비해 잔여효과구에서는 차이가 크지 않았다. 그러나 전작물인 옥수수재배시 소액상분뇨의 시용

수준을 표준량보다 200% 증량했을 경우 후작물인 연맥의 초고증가에 어느 정도 잔여효과를 준 것이 분명한 것으로 생각된다.

표 3은 액상분뇨 시용수준에 따른 추파용 연맥의 건물률, 조단백질 함량, ADF 및 NDF 함량을 나타내고 있다.

수확 당시 건물률을 보면 무비구는 15.8%, 대조구는 15.0% 이었는데 비해 C2'구에서 16.5%로 전체 시험구에서 제일 높았다. 전반적으로 계속시용구보다 잔여효과구의 건물률이 높았으나, 처리간 유의성은 인정되지 않았다.

Table 3. Dry matter(DM), crude protein(CP), acid detergent fiber(ADF) and neutral detergent fiber(NDF) of fall sown oats in relation to continuous application and residual effect

Treatment	DM	CP	ADF	NDF
..... % .....				
NF	15.8	16.5	17.3	36.9
Control	15.0	23.1	17.1	37.8
C1	14.9	20.6	19.1	39.4
C2	14.1	19.2	21.4	42.8
C3	14.2	23.4	19.0	41.0
C1'	14.0	18.3	18.1	37.3
C2'	16.5	20.2	17.5	37.7
C3'	15.5	18.7	19.1	39.1
LSD(.05)	NS	2.9	0.2	0.2

NS : Not significant

조단백질 함량은 대조구에서 23.1%인데 비해 계속시용구인 C1, C2, C3구에서 각각 20.6, 19.2, 23.4% 였다. 잔여효과구에서는 계속시용구보다 낮게 나타났고, 잔여효과에 의한 식물체의 조단백질 함량 증진효과가 없었다(P<0.05).

시용수준에 따른 추파용 연맥의 ADF 함량을 보면 대조구에서 17.1%이었고 잔여효과구보다 계속시용구에서 높은 경향을 보였다(P<0.05).

추파용 연맥의 NDF 함량도 역시 계속시용구에서

높은 경향을 보였다(P<0.05).

그러나 이와 같은 결과는 Cherney 등(1994)의 보고에서 목초종의 ADF, NDF 함량은 가축분뇨의 시용수준보다는 초종간의 차이 등 외부환경에 의해 다르게 나타났다고 한 것으로 보아 좀 더 많은 고찰이 필요한 것으로 생각된다.

## 2. 옥수수-연맥 작부조합의 총 건물수량 및 비효가

표 4는 액상분뇨의 사용수준에 따른 옥수수-연맥 작부조합의 총 건물수량 및 비효가를 나타내고 있다.

옥수수-연맥 작부조합에서 ha당 총 건물수량을 보면 무비구, 대조구에서 각각 11,365kg, 20,414kg이었고, 계속시용구에서 평균 22,383kg, 잔여효과구에서는 평균 21,504kg으로 계속시용구에 비해 불과 879kg 밖에 차이가 나지 않았다( $P < 0.05$ ). 액상분뇨의 사용량이 증가될 수록 총 건물수량도 증가되는 경향으로 사용량이 가장 많았던 C3구에서 제일 높았고, C3'구는 두 번째로 높은 수량을 보였다. 특히 흥미로운 사실은 액상분뇨의 표준구 및 100% 증량구의 경우 계속시용구나 잔여효과구간에 건물수량의 차이가 크지 않았다는 것이다. 표준량에 비해 100% 이하의 액상분뇨의 사용은 작물의 생산량에 별 다른 영향을 미치지 않은 것으로 생각되는데 이 부분에 대하여 좀 더 연구가 필요한 것으로 생각된다.

작물의 수량은 단지 사용한 비료양분에만 의존하는 것이 아니라, 토양중 양분과도 관계가 있기 때문

에 N성분의 사용에 의하여 어느 정도의 수량을 얻었는가를 알리고 비효가(Manurial value; MV)를 계산하였다.

대조구를 100으로 하였을 때 C1 및 C1'구에서만 MV가 낮고, 나머지 처리구에서는 대조구보다 높게 나타났다. 액상분뇨의 사용수준을 100% 증량했을 때 계속시용구와 잔여효과구간에 차이가 거의 없게 나타났고, 200% 증량했을 때에는 C3구가 58%의 증수율을 보인 반면에 C3'구는 39%였다.

옥수수-연맥 작부조합에서 잔여효과구의 건물수량과 비효가는 전 작물인 옥수수의 소액상분뇨 사용수준에 따라 다르게 나타났는데, 사용수준을 표준량으로 하는 것보다 100% 이상 증량했을 때 잔여효과가 있었던 것으로 판단된다.

### 3. 질소 회수율

van der Meer 등(1987)은 관행적인 액상분뇨의 살포로 질소회수율이 23% 내외를 보인데 반해 액상분뇨 주입기의 사용으로 질소회수율을 배이상 증가시

Table 4. Total dry matter yield and manurial value of double cropping system(corn+oats) in relation to continuous application and residual effect

Treatment	Corn	Oats	Total	Manurial value
	kg/ha			%
NF	9,679	1,686	11,365	
Control	17,648	2,766	20,414	100
C1	16,681	3,242	19,923	95
C2	16,910	4,650	21,560	113
C3	19,909	5,759	25,668	158
Mean	17,833	4,550	22,383	122
C1'	16,249	2,935	19,184	86
C2'	17,998	3,384	21,382	111
C3'	19,511	4,437	23,948	139
Mean	17,919	3,585	21,504	112
LSD(.05)	3,791	NS	5,426	

NS : Not significant

켜 시용방법에 의한 질소회수율의 개선방향을 모색하였다. 이에 비해 본 연구에서는 양질조사료의 작부체계에서 액상분뇨의 시용수준에 의한 질소회수율의 개선방향에 주안점을 두었다.

그림 1은 질소회수율을 보여주고 있는데 전체적으로는 24~50%의 범위로 대조구에서는 43%, 계속시용구 33~24%, 잔여효과구 50~33%였다. 본 시험에서 계속시용구에 비해 잔여효과구의 질소회수율이 높은 이유는 전체 질소투입량이 질소생산량에 비해 낮기 때문이며, 전반적인 질소회수율을 높일 수 있는 방법이 작물의 생산과 환경오염문제, 특히 요즘 관심이 증대되고 있는 악취문제의 효율적 해결방안으로 제시될 수 있을 것으로 생각된다.

#### 4. 토양의 화학성분

표 5는 시험전 작토 0~20cm의 토양과 옥수수-연맥 작부시험 후 토양의 화학성분 변화를 보여주고 있다.

사일리지용 옥수수 시험후 전체시험구의 토양시료를 통합하여 분석한 결과, pH는 시험전후에 차이

가 없었으나, 전질소는 0.14%로 약간 증가되었다. 무기태질소의 경우 질산태질소는 증가 경향을 보였지만 암모니아태질소는 감소되었다. 유효인산 함량 및 치환성양이온 함량은 약간씩 증가된 경향을 보였다.

추과 연맥 시험 후 최종의 토양화학성분 변화를 보면 무비구 및 대조구의 pH는 각각 6.3, 6.1로 약간 상승한 반면에 계속시용구인 C1, C2, C3구의 pH는 각각, 6.0, 6.0, 6.1로 거의 변화가 없었다. 이에 비해 잔여효과구에서는 6.2-6.4의 범위를 나타내고 있다.

전질소 함량은 전 시험구가 비슷한 수준이나 계속시용구에 비해 잔여효과구에서 약간 높은 경향을 보였다.

질산태질소 함량은 계속시용구에 비해 잔여효과구에서 낮았고, 암모니아태질소 함량은 전체시험구가 시험전 토양에 비해 낮은 경향이었으나, C2'구는 23.1 mg kg<sup>-1</sup>으로 높은 수준을 보였다.

유효인산 함량은 C3, C1', C2'구에서 시험후 높은 축적률을 보였다.

치환성양이온 함량을 보면 Ca<sup>2+</sup> 및 Mg<sup>2+</sup>는 시용수준간에 차이는 있었으나, 시험 후 상승하는 경향을

Table 5. Soil chemical analysis before and after the experiment in relation to continuous application and residual effect(depth : 0~20cm)

Soil sampled	Treat- ment	pH (1:5)	T-N (%)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N .....	NO <sub>3</sub> <sup>+</sup> -N mg/kg .....	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ex. Cation(cmol <sup>+</sup> /kg)		
							Ca	Mg	K
Before expt.	All plot	6.0	0.13	7.1	29.1	153	6.11	1.29	0.39
After corn harvested	All plot	6.0	0.14	8.4	21.9	180	5.62	1.34	0.46
	NF	6.3	0.14	8.1	14.4	155	6.16	1.89	0.46
	Control	6.1	0.14	8.8	11.6	172	6.53	1.67	0.41
	C1	6.0	0.10	8.4	12.6	179	5.02	1.39	0.31
	C2	6.0	0.14	11.2	11.2	164	4.87	1.52	0.41
	C3	6.1	0.13	11.2	13.3	195	5.86	1.58	0.50
	C1'	6.4	0.15	6.3	8.4	197	7.43	1.84	0.54
	C2'	6.2	0.16	7.7	23.1	217	5.80	1.63	0.53
	C3'	6.2	0.15	5.6	13.3	178	6.02	1.56	0.56

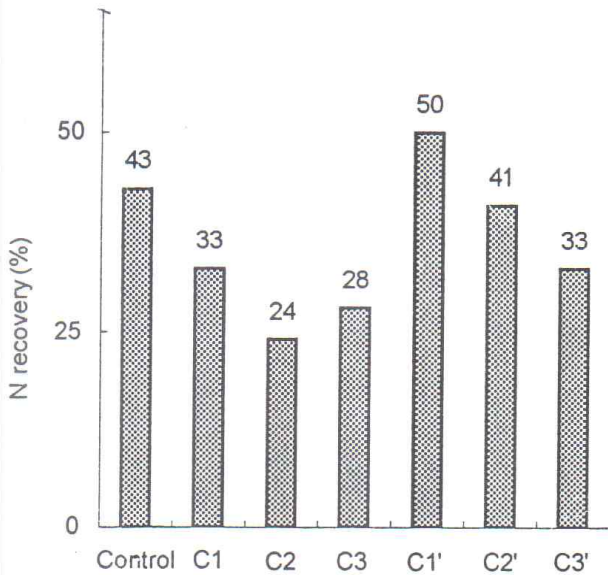


Fig. 1. Nitrogen(N) recovery of fall sown oats in relation to continuous application and residual effect of liquid cattle manure.

보였고, K<sup>+</sup>의 경우에는 전반적으로 상승폭이 낮았으며, 특히 계속시용구는 감소의 경향을 나타냈다. 치환성양이온 함량은 계속시용구에 비해 잔여효과구가 높은 경향을 보였다. 윤(1994)은 양이온(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>)들이 돼지액상분뇨에서 유래된 질산태질소와 동반용탈 되는 경향을 보였다고 보고하였는데, 이러한 결과와 비교해 볼 때 본 시험에서 나타난 잔여효과구에 비해 계속시용구의 낮은 양이온 함량은 액상분뇨의 과다시용에 의한 양이온의 용탈가능성을 제시할 수 있다. 그러나 이에 대한 좀 더 구체적인 연구는 양질조사료의 생산이라고 하는 측면과 토양학적인 면에서 접근하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

#### IV. 적 요

모든 낙농경영에 있어서 우분의 관리계획은 중요하다. 본 연구는 옥수수-연맥 작부조합에서 소액상분뇨의 시용수준을 달리하였을 때 잔여효과로 인한 사료가치, 질소 회수율, 총사초수량 및 토양특성

변화를 구명하고자 1997년 4월부터 1997년 10월까지 축산기술연구소 사료포장에서 수행하였고, 8처리[무비구, 화학비료구(요소) 320kg N ha<sup>-1</sup>, 계속시용구 320, 640, 960kg N ha<sup>-1</sup>, 잔여효과구 200, 400, 600kg N ha<sup>-1</sup>]를 난괴법 3반복으로 설계배치 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 수확 당시 추파 연맥의 평균 초고는 계속시용구가 70.2cm, 잔여효과구가 61.4cm였다. 평균 건물물은 잔여효과구가 계속시용구보다 0.9% 높았으나, 처리간의 유의성은 없었다. 계속시용구가 잔여효과구보다 조단백질 함량은 1.0%, ADF 함량은 1.6%, NDF 함량은 3.1% 높았으며 처리간 유의성도 인정되었다(P<0.05). 사초의 총건물수량은 11,365에서 25,668 kg ha<sup>-1</sup> 범위로, 960kg N ha<sup>-1</sup> > 600kg N ha<sup>-1</sup> > 640kg N ha<sup>-1</sup> > 400kg N ha<sup>-1</sup> 순이었다(P<0.05). 대조구와 비교하여 비효가는 960kg N ha<sup>-1</sup>가 158%였고, 600kg N ha<sup>-1</sup>는 139%였다. 질소회수율은 200kg N ha<sup>-1</sup>가 50%로 제일 높았고, 그리고 400kg N ha<sup>-1</sup>, 600kg N ha<sup>-1</sup>, 320kg N ha<sup>-1</sup> 순으로 높았다. 토양중 치환성양이온 함량은 잔여효과구가 계속시용구에 비해 높았다.

이상의 연구결과를 볼 때 옥수수-연맥 작부조합에서 총사초의 건물수량, 비효가, 질소 회수율 면에서 소액상분뇨 600kg N ha<sup>-1</sup>가 가장 효과적인 것으로 나타났다.

(주요어 : 소액상분뇨, 비효가, 질소회수율, 잔여효과)

#### V. 인 용 문 헌

1. A.O.A.C. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
2. Cherney, D.J.R., J.H. Cherney and A.N. Pell. 1994. Inorganic nitrogen supply effects on alfalfa forage quality. J. Dairy Sci. 77:230-236.
3. Follet, R.F., S.C. Gupta and P.G. Hunt. 1987. Conservation practices : Relation to the

- management of plant nutrients for crop production. p. 19-51. In Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. SSSA Spec. Publ. No. 19. SSSA, Madison, WI.
4. Goering, H.L. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis. Agric. Handb. No. 379. USDA.
  5. Jokela, W.E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:148-154.
  6. Mikkelsen, R.L. and J.W. Gilliam. 1995. Transport and losses of animal wastes in runoff from agricultural fields. p. 185-189. In C. C. Ross (ed.) ISAFPW95. Proc. Int. Symp. Agric. Food Processing Wastes, 7th, Chicago, IL. 18-20 June 1995. ASAE, St. Joseph, MI.
  7. Pesek, J. and L. Dumenil. 1956. An extra dividend from fertilizer use. Plant Food Rev. 2:4-6, 31-32.
  8. 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. p. 47-72. In van der Meer H.G., R.J. Unwin, T.A. van Dijk, and G.C. Ennick(ed.). Animal Manure on Grassland and Fodder Crops, Fertilizer or Waste? Martinus Nijhoff, Dordrecht.
  9. White, W.C., L. Dumenil and J. Pesek. 1958. Evaluation of residual nitrogen in soils. Agron. J. 50 : 255-259.
  10. 윤순강. 1994. 요소와 가축분에서 유래한  $\text{NO}_3\text{-N}$  및 동반양이온의 토양중 행동. 서울대학교 박사 학위논문.