

尿素(Urea)를 施用한 草地의 土壤斷面에서 無機態窒素 含量의 季節的 變化

尹淳康* · 柳順昊**

Seasonal Change in Inorganic Nitrogen Content in the Soil Profile of Urea-Fertilized Grassland

Sun-Gang Yun*, Sun-Ho Yoo**

SUMMARY

Field experiment was conducted to investigate the seasonal change in inorganic nitrogen content in grassland soil profile after urea application. Urea was applied at the levels of 0 (0N), 14 (14N), and 28 (28N) Kg N per 10a. Soil samples were taken at every 20 cm interval upto 100 cm soil depth in spring (May 26), summer (July 27), and autumn (October 18) and analysed for total and inorganic nitrogen (NH₄-N and NO₃-N). The results obtained are as follows :

1. In spring, the NH₄-N content of 0N treatment was higher than NO₃-N content both in surface and subsoil. The urea application increasing both NH₄-N and NO₃-N contents in the surface soils and these contents decreased with soil depth.
2. In summer, increase in urea application rate elevated the NO₃-N content in soil profile of 0 to 100cm and the content reached upto 42 ppm in the 28N treatment.
3. The seasonal difference in NH₄-N content between summer and autumn was insignificant throughout soil profile. Soil NO₃-N content in autumn were 7 and 14 ppm for 14N and 28N respectively, showing very low values compared with that of summer.
4. The ratio of inorganic nitrogen to total nitrogen increased with soil depth and with urea application rates.

緒 言

토양에 施用된 요소(urea)는 쉽게 가수분해 되며¹⁸⁾ 암모니아화작용, 질산화작용으로 형태적 변화를 겪게 된다. 이때에 생성된 NH₄-N은 식물에 의하여 흡

수되는 한편 土壤에 吸着 또는 揮散되고²⁾ 토양 내에서 窒酸化作用에 의하여 NO₃-N으로 변환된다¹¹⁾. NO₃-N 역시 식물에 吸收되는 형태이지만 環境條件에 따라서 脫窒^{7, 16)} 또는 溶脫¹⁷⁾에 의하여 토양으로부터 손실된다.

* 畜産試驗場(Livestock Experiment Station, RDA, Suwon, Korea)

** 서울대학교 농과대학 (College of Agriculture, Seoul National University, Suwon, Korea)

한편 토양 유기물 중에 함유된 질소는 有機物의 C/N ratio¹⁾, 토양 온도⁸⁾, pH⁶⁾, 土壤水分 함량¹⁵⁾의 영향을 받으면서 암모니아화성 또는 질산화성 세균에 의하여 무기태질소로 변형된다. 일반적으로 토양 表層에서 全 窒素에 대한 무기태질소(NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N)의 비율은 밭 토양의 경우 평균 2% 정도이며 주된 무기태 질소는 NO₃-N와 NH₄-N이다. 이들 무기태 질소들은 식물에 쉽게 흡수 이용되지만 NH₄-N의 일부는 土壤格子 내에 固定되기도 하고 반면 NO₃-N은 陰荷電을 갖고있어서 土壤 무기입자나 유기 colloid에 의한 보유력이 약하므로 토양수와 함께 植物의 根圈 밖으로 쉽게 이동된다.

질소사용량이 많으면 초지에서 복초의 지상부 생육량은 증가하지만 목초에 의한 시용질소의 흡수율이 낮아져서²¹⁾ 窒素 이용효율이 떨어지고 동시에 휘산²⁾이나 탈질^{7, 16)}, 용탈¹⁷⁾ 등에 의한 손실량은 증가하게 된다. NO₃-N의 토양 내에서 이동은 convective transport¹²⁾로서 질소 施用量, 降雨量, 그리고 土性에 크게 좌우된다. 특히 질소사용량이 많을 경우에는 微生物에 의한 priming effect^{9, 13)} 때문에 토양 중 유기태질소의 무기화작용을 촉진하게 되므로 토양 중 NO₃-N함량을 더욱 증가시키는 原因이 되기도 한다^{19, 20)}.

우리나라 여름 철(6~8월) 氣象은 高溫, 多雨(최근 30년간 6~8월, 평균온도: 23.3°C 積算 降雨量: 764.6mm)한 편이어서 대부분의 북방형 목초(cool-season grass)들은 생육이 부진하며 高溫에 의한 夏枯 현상이 나타난다. 또한 짧은 시간내에 많은 양의 비가 내리는 경향이어서 토양의 透水性에 따라 차이는 있으나 많은양의 물이 유입될때 토양표층에서 流去되거나 또는 지하로 浸透가 일어난다. 이때에 토양 重力水와 함께 토양 중 NO₃-N의 下層移動이 나타난다.

본 연구는 질소질 비료로서 요소를 施用한 초지에서 토양깊이별 무기태질소(NH₄-N, NO₃-N) 함량의 계절적 변화를 조사하여 초지에서 질소질 비료의 효율을 증진하기 위한 시비방법 개선의 기초자료를 얻고자 수행하였다.

材料 및 方法

시험을 수행하기 위하여 조사 전년도에 시험포장을 준비하였다. 4가지 초종 orchardgrass(*Dactylis glomerata* L.), tall fescue(*Festuca arundinacea* L.), Kentucky bluegrass(*Poa pratensis* L.) 및 alfalfa(*Medicago sativa* L.)을 혼파조성하였고 파종량은 각각 1.5, 1.5, 0.3, 0.3kg/10a였다. 시험포장 토양의 理化學的 특성은 표1과 같으며 土性은 壤土였고 pH는 4.2로서 매우 낮았으며 有機物 함량은 일반 밭토양과 비슷한 2.55%였다. 그리고 포장조성시에 中和量에 해당되는 石灰를 살포하였다.

질소 水準은 성분량으로 해서 0(0 N), 14(14 N), 28(28 N) N kg/10a로 구분하여 요소로서 사용하였다. 질소질 비료의 사용은 생육 개시 전-1차 예취 후-2차 예취 후-3차 예취 후-4차 예취 후에 각각 35-30-15-0-20% 비율로 差等分施하였다. 시험구의 구당 면적은 8m²(4m×2m)로서 난괴법 3반복으로 포장 배치하였으며 인산과 칼리의 연간 사용은 전처리구에 대하여 同一量이 되도록 하였으며 각각 20, 24kg/10a였다.

목초생산의 60~70%가 편중되고 목초생육이 왕성한 봄 철(5.26)과 목초생육은 부진한 반면 년중 강우량이 집중된 여름 철(7.27), 그리고 牧草생육이 거의 중지되고 월동에 들어가기 전인 가을 철(10.18)을 조사일자로 정하고 토양시료를 채취하였다. 토양

Table 1. Physio-chemical properties of soil used in the experiment (soil depth : 0-20cm)

pH	(1 : 5)	4.2
O.M.	%	2.55
T-N	%	0.113
Bray No. 1-P	ppm	61.0
CEC/Exchangeable cations		
CEC	me/100g	11.4
Ca	〃	3.02
Mg	〃	0.37
K	〃	0.25
Na	〃	0.09
Particle size distribution		
Sand	%	49.4
Silt	〃	30.3
Clay	〃	20.3
Soil texture	Loam	

단면에서 질소함량 분포를 조사하기 위한 方法으로³⁾ 각 처리구에서 토양깊이 100cm 까지(20cm 깊이 간격) 토양을 채취하여 ice box 내에 시료를 넣어서 실험실로 운반하였다. 무기태질소 함량을 分析하기 위하여 쪼은 토양시료를 포장에서 채취한 그대로 2 mm 체를 통과시키고 토양과 2M-KCl 비율을 1 : 10⁵⁾로 하여서 침출, 여과한 뒤 여액의 일부를 취하여 먼저 MgO 하에서 증기증류하여 NH₄-N을 정량하고, 곧바로 2% sulfamic acid 1ml를 넣고 Devarda's alloy 하에서 증기증류하여 NO₃-N을 정량하였다^{4,10)}.

結果 및 考察

토양 내 무기태질소들은 窒素 사용량에 따른 토양 깊이별, 계절별 함량분포가 뚜렷한 경향을 가지고 차이를 보였다. 그림1에서 보는 바와 같이 0 N 처리 봄철에 NO₃-N보다 NH₄-N함량이 표층에서 뿐만 아니라 深土에서도 평균 5 ppm 높았으며 그리고 토양깊이가 깊을수록 NH₄-N, NO₃-N 함량이 모두 감소되는 양상을 보여주고 있다.

여름철에는 NH₄-N 함량이 토양깊이 0~20cm 에서 29ppm으로 가장 높았고 토양깊이가 깊을수록 감소되었는데 봄 철에 비하여 온도가 높은 여름 철에 표층에서 NH₄-N이 높은 것은 여름 철 토양 지표면 온도상승이 암모니아화성 세균의 활성을 자극하여 암모니아화 작용을 증가시켰음에 기인한 것으로 생각된다. 반면 NO₃-N 함량은 토양깊이별 차이가 10~16 ppm으로 적었고 輕微하지만 토양깊이가 깊을수록 함량이 증가하는 경향을 보임으로서 NO₃-N의 하향이동이 진행되었음을 알 수 있었다. 가을 철에는 NH₄-N, NO₃-N 모두 12ppm 이하로 봄, 여름 철에 비하여 다소 감소되었고 토양깊이별 차이도 적었다.

14 N 처리(그림 2)에서는 0 N 처리에 비하여 봄철에 토양깊이 0~40cm 에서 NO₃-N 함량이 NH₄-N 보다 增加되었으나 그 이하에서는 역으로 NH₄-N 함량이 높았으며 토양깊이가 깊을수록 NH₄-N, NO₃-N 함량 모두 減少하는 경향으로 0 N 처리에서와 유사하였다.

그러나 여름 철에는 0 N 처리에 비하여 NO₃-N 함량이 현저하게 증가되는 양상을 보였다. 토양깊이 0~20cm에서 NO₃-N 함량이 32 ppm였으며 토양깊

이가 깊을수록 다소 감소되었으나 토양깊이 80~100 cm에서는 38 ppm 으로 가장 높았다. 반면 NH₄-N은 0 N 처리에서와 유사하게 0~20cm에서 높았으나 토양깊이가 깊을수록 급격하게 감소되었으며 토양깊이 20cm 이하에서는 0 N 처리에서 보다 낮은 함량분포를 보였다. 가을 철 NH₄-N 함량은 0~20cm 에서 여름 철 때와 큰 차이를 보이지 않았으나 NO₃-N 함량은 여름 철에 비하여 크게 감소되어서 7 ppm이하로 낮아졌다. 이것은 여름 철에 질산화작용을 통하여 생성된 NO₃-N이 여름 강우시에 土壤水分의 下層移動과 함께 100cm 밑의 深土層으로 이동되었을 것으

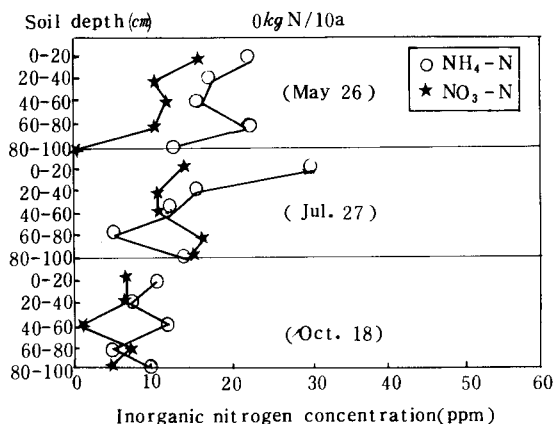


Fig. 1. Seasonal change in vertical distributions of inorganic nitrogen in grassland soil profile at 0 kg N/10a fertilization rate.

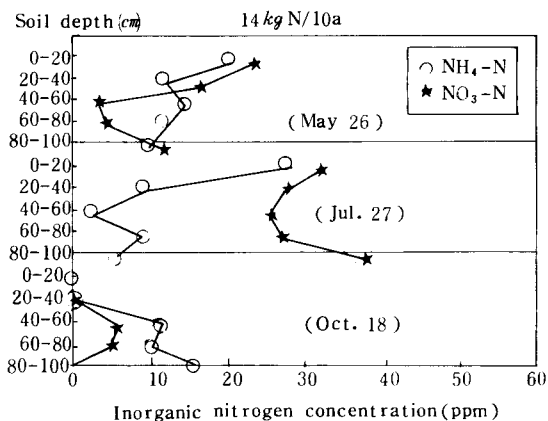


Fig. 2. Seasonal change in vertical distributions of inorganic nitrogen in grassland soil profile at 14 kg N/10a fertilization rate.

로 생각되어진다.

28 N 처리(그림 3)에서는 14 N 처리에서 보다 봄 철에 $\text{NH}_4\text{-N}$ 에 비하여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 더욱 증가되었으며 토양깊이별 분포는 0 N에서와 유사하게 토양깊이가 깊을수록 감소되었다.

여름 철에는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량이 14 N 처리에서 보다 증가되어서 12~21ppm였으며 토양깊이별 차이는 적었다. 그러나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 14 N 처리에서 보다 크게 증가되었는데 토양깊이 0~20cm 그리고 60~100 cm 에서는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 50 ppm 이상였다. 이처럼 여름철에 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량보다 深土에서 높은 이유는 溫度上昇으로 인한 질산화성 세균의 활성 증가로¹⁴⁾ 토양 有機態窒素와 비료로 사용된 질소의 無機化作用 촉진에 의하여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 증가되는 반면 여름 철 목초에 의한 질소흡수는 오히려 부진하여서 대부분 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 토양에 蓄積되고 강우시 深土層으로 이동되어지기 때문이라고 생각된다. 가을 철에는 14 N 처리에서와 類似하게 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 현저히 감소되었는데 이와는 반대로 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량은 여름 철과 비교할 때 토양깊이 80~100cm에서의 결과를 제외하고는 토양깊이별 차이가 없이 거의 비슷한 함량분포를 나타내었다.

28 N 처리에서 여름 철 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 14 N 처리에서 보다 平均 20 ppm 높았던 점과 가을 철 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 감소된 정도차를 감안할 때 질소시용량이 많았던 28 N 처리구에서 토양깊이 100cm 밑으로 이동되었던 $\text{NO}_3\text{-N}$ 량도 많았을 것으로 推定되어지며 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 심토층 이동은 질소효율 감소와 깊은 연관이 되어지므로 이에 대한 면밀한 연구가 수반되어야 할 것으로 생각된다.

전술한 것처럼 토양내 무기태질소 함량은 질소 시용량별, 계절별, 토양깊이별 차이가 컸다. 그러나 0 N과 28 N 처리에서 토양깊이별 全窒素含量(그림 4)은 이와는 다른 양상을 보여주고 있다.

즉 봄 철에 토양깊이 0~20cm에서 0 N 처리에 비하여 28 N 처리에서 전질소함량이 다소 낮아진 것을 제외하고는 질소시용량별, 계절별, 토양깊이별 차이가 매우 적었다. 토양 미생물들은 비료로 사용된 질소나 無機化되어진 질소의 일부를 不用化하지만 다시 토양에 無機態질소로 환원하게 되며 질소는 인

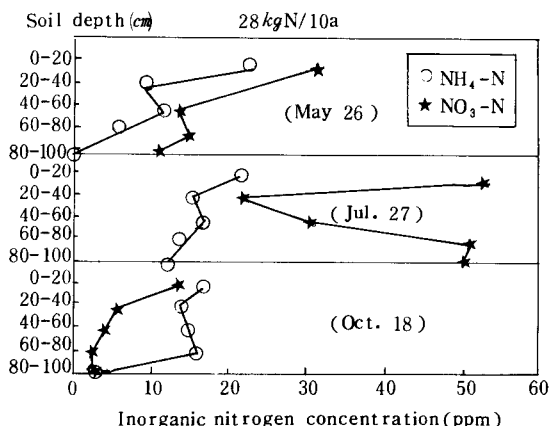


Fig. 3. Seasonal change in vertical distributions of inorganic nitrogen in grassland soil profile at 28 kg N/10a fertilization rate.

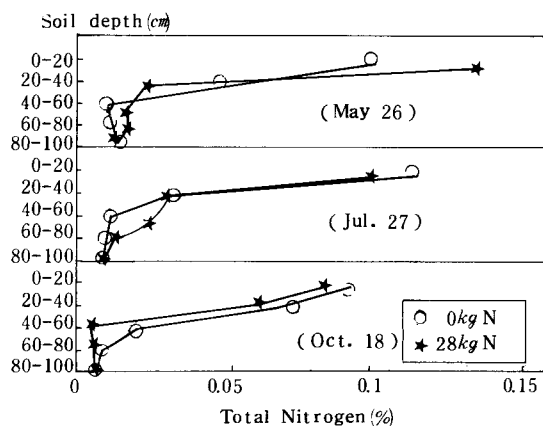


Fig. 4. Change in soil total N at 0 and 28 kg N/10a fertilization rates.

산과는 달리 초지에 사용하였을 때 목초의 생육상태에 따라 차이는 있으나 사용된 질소의 30~60% 정도가 목초에 의하여 흡수 이용되며²²⁾ 특히 요소 사용시 揮散, 토양 固定, 또는 溶脫을 통하여 손실되어지므로 질소시용이 토양 전 질소함량에 미치는 영향은 매우 경미하다고 생각되어진다.

그리고 봄 철에 28 N 처리에서 전 질소 함량이 0 N 처리에서 보다 낮았던 것은 일반적으로 알려진 미생물의 priming effect^{9,13)} 영향으로 봄철에 년간 질소시용량의 65%를 사용하므로서 미생물군에 풍부한 질소공급효과를 유발하여 토양 유기물 중에 유기태질소의 무기화를 가속화하게 하므로 토양 전질소

함량이 0 N 처리에서 보다 낮았던 것으로 생각된다.

질소시용량 간에 토양깊이별 전질소함량은 큰 차이가 없었으나 0 N과 28 N 처리간에 전질소 함량에 대하여 무기태질소가 차지하는 비율(표 2)은 토양깊이별 차이가 컸다.

토양 전질소가 대부분 분포하고 있는 토양깊이 0~20cm 에서는 전질소에 대한 무기태질소 함량비율은 0 N에 비하여 28 N에서 평균 20% 높아서 질소시용에 따른 토양 표층에서의 무기태질소 함량 증가를 알 수 있었다.

봄 철에는 28 N 처리의 토양깊이 60~100cm에서 無機態窒素 함량비율이 다소 증가되었으나 0 N 처리에서와 큰 차이가 없었다. 여름 철에는 28 N 처리의 토양깊이 40~100cm 에서 무기태질소 함량비율이 越等히 증가되었고 특히 80~100cm 토양깊이에서는 0 N 처리에 비하여 무기태질소 함량비율이 2배 이상 증가되는 결과를 보였다. 가을 철에는 토양깊이별 무기태질소 함량비율의 증감이 질소시용량 차이에 따라 큰 변화는 없었으나 28 N 처리의 토양깊이 60~100cm에서 다소 增加되는 樣相을 보였다.

이러한 현상은 특히 강우량이 많은 여름 철에 두드러진 반면 牧草生育이 부진한 가을철에는 목초에

의한 이들 NO₃-N의 흡수가 낮을 것으로 추정된다. 따라서 시용된 질소의 효율을 높이기 위해서는 목초 생육 정도와 생육에 요구되는 질소량을 예측하여 필요한 만큼의 질소를 사용하므로서 최종적으로 토양에 殘留 또는 蓄積되는 질소량을 최소화 하여 손실되는 질소량을 줄이는 방법이 강구되어야 할 것이다. 또한 토양 중에 유기태질소가 식물생육기간 동안 무기화되어 식물에 질소를 공급할 수 있는 잠재력을 고려하여 질소시용량을 결정하는 것이 肥料效率를 증진시키기 위해서 뿐만 아니라 과잉의 NO₃-N에 의한 地下水 汚染을 방지하기 위해서도 매우 중요하다고 생각된다.

摘 要

요소(urea)를 사용한 초지의 토양단면에서 무기태 질소의 계절적 함량변화를 조사하기 위하여 질소 施用水準을 0, 14, 28 kg/10a로 하고 목초를 재배하면서 봄(5.26), 여름(7.27), 가을(10.18)철에 토양시료를 토양깊이 100cm 까지 20cm 간격으로 채취하여 分析, 檢討한 결과는 다음과 같다.

1. 봄 철에 질소 부시용구에서는 NH₄-N 함량이 높았으나 14, 28 kg N/10a 처리에서는 NO₃-N 함량이 增加되었고 NH₄-N, NO₃-N 함량은 토양깊이가 깊을수록 모두 감소되는 경향을 보였다.
2. 여름 철 토양 중 NO₃-N 함유는 0 N < 14 N < 28 N 순으로 증가되었고 28 N 처리에서는 토양중 평균 NO₃-N 함량이 42 ppm였다.
3. 가을 철에는 NH₄-N 함량은 전 처리에서 여름 철과 큰 차이가 없었으나 NO₃-N 함량은 여름 철에 비하여 크게 減少되어서 14 N, 28 N 처리에서 각각 7, 14ppm 이하로 낮아졌다.
4. 토양 중 전질소 함량은 봄 철에 토양깊이 0~20cm에서 0 N에 비하여 28 N 처리에서 0.042% 낮았으며 전체적으로는 0 N과 28 N 처리 사이에 차이가 적었다. 그러나 토양 全窒素 함량에 대한 無機態窒素 함량 비율은 0 N과 28 N 처리 간에 차이가 컸는데 여름 철에 28 N 처리의 토양깊이 40~100cm에서 無機態窒素 함량비율은 0 N 처리에 비하여 크게 增加되었으며 특히 토양깊이 80~100cm에서는 0 N에 비하여 2배 이상 증가되었다.

Table 2. Ratio of inorganic nitrogen to total nitrogen with soil depth

Soil depth (cm)	Soil sampling date		
	May 26	Jul. 27	Oct. 18
0 kg N/10a			
0- 20	2.7	4.4	2.0
20- 40	10.1	9.1	2.5
40- 60	16.7	9.9	20.4
60- 80	19.2	17.8	19.7
80-100	5.7	31.4	8.4
28 kg N/10a			
0- 20	5.4	6.6	3.3
20- 40	6.2	10.5	2.7
40- 60	19.8	43.0	9.3
60- 80	22.2	38.1	23.1
80-100	14.2	69.4	15.9

引用文獻

1. Allison, F. E. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier, Amsterdam.
2. Black, A. S., and R. R. Sherlock. 1985. Ammonia loss from nitrogen fertilizer. N. Z. Fert. J. 68 : 12~17.
3. Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In Methods of soil analysis (C. A. Black, ed), part 2, pp 1179-1273. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
4. Bremner, J. M., and D. R. Keeney. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate, and nitrite. Anal. Chim. Acta. 32 : 485~495.
5. Bremner, J. M., and D. R. Keeney. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils : 3. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30 : 577~582.
6. Edmeades, D. C., M. Judd., and S. U. Sarathchandra. 1981. The effects of lime on nitrogen mineralization as measured by grass growth. Plant & Soil. 60 : 177~186.
7. Firestone, M. K., M. S. Smith., R. B. Firestone., and J. M. Tiedje. 1979. The influence of nitrate, nitrite, and oxygen on the composition of the gaseous products of denitrification in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 43 : 1140~1144.
8. Floate, M. J. S. 1970. Decomposition of organic materials from hill soils and pastures. Soil Biol. Biochem. 2 : 173~185.
9. Heilman, P. 1975. Effect of added salts on nitrogen release and nitrate levels in forests soil of the Washington coastal area. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39 : 778~782.
10. Keeney, D. R., and D. W. Nelson. 1984. Nitrogen-inorganic forms. In Methods of soil analysis part 2. Chemical and microbiological analysis 2nd. ed. pp 643-698. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
11. Kowalenko, C. G., and D. R. Cameron. 1976. Nitrogen transformation in an incubated soil as affected by combination of moisture content and temperature and adsorption-fixation of ammonium. Can. J. Soil Sci. 56 : 63~77.
12. Krupp, H. K., J. W. Biggar., and D. R. Nielsen. 1972. Relative flow rates of salt and water in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36 : 412~417.
13. Laura, P. O. 1977. Salinity and nitrogen mineralization in soil. Soil Biol. Biochem. 9 : 333~336.
14. Myers, R. J. K. 1975. Temperature effect on ammonification in a tropical soil. Soil. Biol. Biochem. 7 : 83~86.
15. Myers, R. J. K., C. A. Campell., and K. L. Weier. 1982. Quantitative relationship between net nitrogen mineralization and moisture content of soils. Can. J. Soil Sci. 62 : 111~124.
16. Rolston, D. E., D. L. Hoffman., and D. W. Toy. 1978. Field measurement of denitrification. 1. Flux of N₂ and N₂O. Soil Sci. Soc. Am. J. 42 : 863~868.
17. Steele, K. W., M. J. Judd., and P. W. Shannon. 1984. Leaching of nitrate and other nutrients from a grazed pasture. N. Z. J. Agric. Res. 27 : 5~11.
18. Volk, G. M. 1959. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare soil. Agron. J. 51 : 746~749.
19. Westerman, R. L., and L. T. Kurtz. 1973. Priming effect of ¹⁵N-labelled fertilizer on soil nitrogen in field experiments. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37 : 725~727.
20. Westerman, R. L., and T. C. Tucker. 1974. Effect of salts and salts plus nitrogen-15-labelled ammonium chloride in mineralization of nitrogen nitrification and immobilization. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38 : 602~605.
21. 尹亨康, A. Dyckmans., and E. Zimmer. 1990. 放牧이용 草地에서 窒素肥料시용이 植生 구성과 乾物생산에 미치는 영향. 한국조지학회지. 10(1) : 36~41.
22. 李赫浩, 金在昌. 1988. 牧草의 窒素이용 效率에 관한 시험. 試驗研究報告書, 축산시험장. pp. 566~572.