

초지에서 액상분뇨 시용이 토양의 질소동태와 NO₃ 용탈에 미치는 영향

류 종 원

The Effects of Cattle Slurry on N-Dynamics and NO₃ Leaching in Pasture Mixtures.

Jong Won Ryoo

Summary

The aim of the study is to describe the fate and transformation of nitrogen in grassland ecosystems. Field experiments were conducted using sandyloam soil under variabiling conditions: zero fertilization, reduced slurry application(120kg N ha⁻¹ yr⁻¹), usual slurry application (240 kg N ha⁻¹ yr⁻¹). Soil water samples were gathered with 120cm ceramic cups with initial pressure of 0.5 bar. Samples were collected twice a month and analysed for NO₃ colormetrically. Percolation was calculated as the difference between precipitation and potential evapotranspiration, and leaching as the product of percolation and nitrate content of the water from the ceramic cups. The NH₄-N content in soil had no significant effect on slurry application, but high slurry application on grassland resulted in high NO₃-N content in soil. The NO₃ concentration in soil water was remarkably variable during the year. The average NO₃ concentration during experiment became the lowest(8.5 mg/l) without slurry application and highest with 240kg/ha cattle slurry(25.3 mg/l). For each of the three different amounts of cattle slurry applied (0, 120, and 240kg/ha), the amount of NO₃-N leached per year were 12, 23 and 29kg/ha respectively. On grassland under the climatic conditions of Allgau showed enormous nitrate leaching, which has a great potential of polluting the ground water. The high pool of mineral N in the soil are the source for NO₃ leaching. The leaching of NO₃ cannot be avoided completely, but minimized by optimizing N fertilization rate.

I. 緒 論

시비는 초지의 생산성, 품질, 식생에 많은 영향을 미친다. 최근 농산물 시장개방에 의한 경쟁력 강화와 국민들의 환경농업에 대한 요구가 높아짐에 따라 현대 농업의 경종방법에 새로운 길을 모색하여야 한다는 생각들이 대두되고 있다. 질소 오염원은 농업 부분에서 가장 크게 원인이 되기 때문에 이 문제에

대한 연구가 최근 많이 이루어지고 있다.

지난 몇 십 년간 가축 수와 화학비료 시용량이 증가되면서 경작지와 초지지역에 잉여질소의 양이 크게 증가하게 되어 지하수에 질산태질소용탈이 문제 시되고 있다. 농업에 의한 환경오염 물질 중에서 질산태질소는 유아의 경우 청색증을 유발하고 성인의 경우 암을 발생시키는 발암물질로 알려진 후 식수와 채소에서 질산태질소 경감대책을 세우고 있다.

초지는 일반경작지에 비하여 NO₃의 유실량이 현저히 낮다고 알려져 왔으나 최근의 연구결과에 의하면 비옥한 집약초지 토양의 잔존 유기태 질소에 의한 질소오염의 잠재력은 크다고 보고되었다.

질산태질소의 용탈은 기상요인, 토양종류, 경종방법, 토양중의 질소함량, 시비량 등의 여러 가지 요인이 관여한다. 본 연구는 자연과 환경보호를 위하여 가축분뇨 시용량을 제한해야 할 경우에 대비한 농업과 환경보호의 정책자료로 활용하고자 장기간 액상분뇨 시용으로 토양에 잔존질소 함량이 높고 강우량이 많아 지하수의 질산태질소 오염의 위험성이 높은 독일 남서부에 위치한 알고이 지방에서 가축분뇨 시용량 제한이 초지생산성, 토양의 질소동태, 지하수의 질산태질소 함량에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행되었다.

II. 材料 및 方法

1. 시험포장 및 처리

본 시험은 독일 남서부에 위치한 알고이 (Allgäu) 지방의 초지지대에서 수행되었다. 처리는 관행액비 시용구(A₂: 연간 240 kg N/ha)와 액비 경감 시용구(A₁: 연간 120 kg N/ha), 무비구(A₀)등 3개 처리구를 두어 난과법 4반복으로 배치하였다.

2. 시험포장의 기상조건과 수분수지

그림 1에서 보는 바와 같이 시험포장의 수분수지는 강우량은 많으나 증발량은 높지 않아서 용탈되는 수분이 많았다.

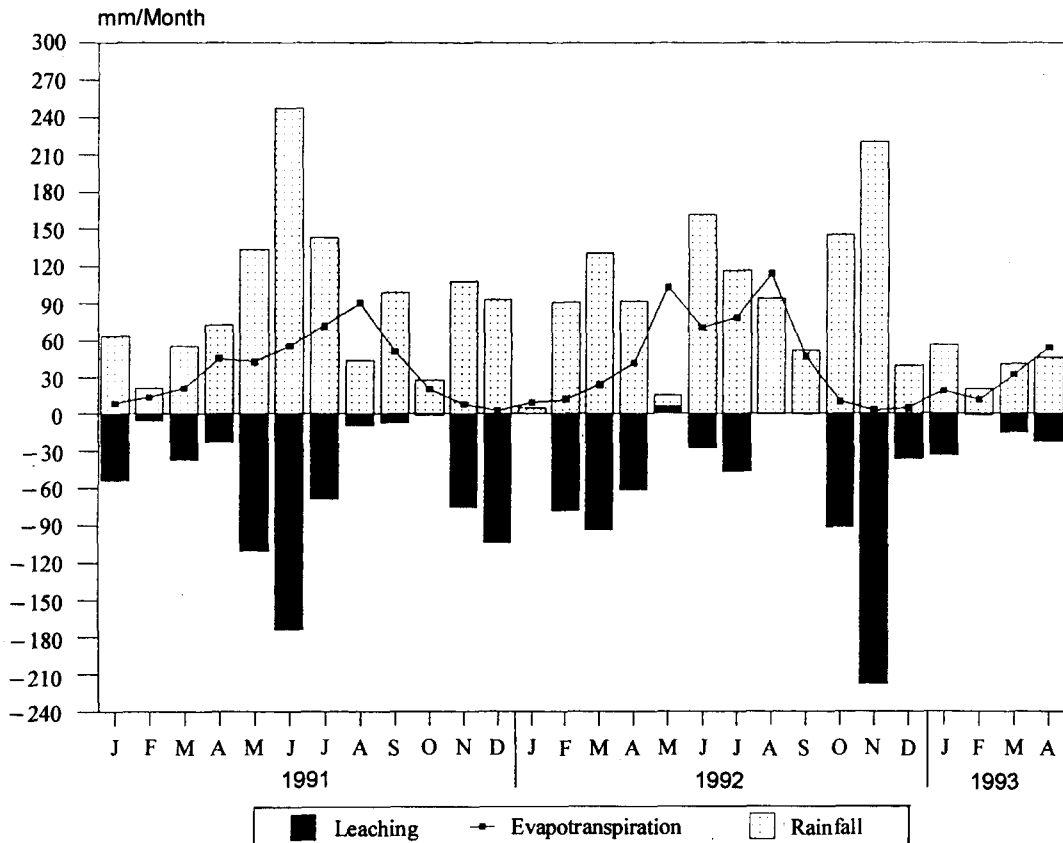


Fig. 1. Water balance by BLAU(1983) during experiment period.

BLAU(1983)의 수분평형 model(water balance)에 의하여 계산한 잉여수분량은 겨울 뿐만 아니라 작물 생육기에도 높았으며 연간 잉여수분량은 1991년도에 669mm, 1992년도에는 648mm이었다.

3. 토양의 무기태 질소 분석

토양의 무기태 질소($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$) 함량은 토양시료 20g을 취하여 0.005 N CaCl_2 용액에 넣고 1 시간 진탕시켜 추출한 후 FIA(Flow-Injection-Analysis) 분석기를 이용하여 분석하였다.

4. 용탈수 채취 및 $\text{NO}_3\text{-N}$ 용탈량

용탈수를 채취하기 위하여 humax drill로 1.2m 깊이까지 수직으로 구멍을 판 후 porous ceramic cup (직경 2cm, 깊이 7.5cm)이 부착된 PVC tube를 토양 1.2m 깊이에 삽입하고 토양과의 접촉을 확실하게 하

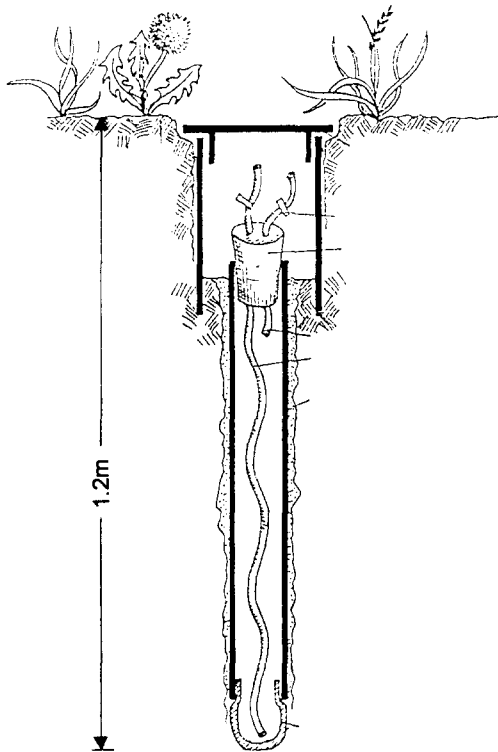


Fig. 2. Porous ceramic cup for soil water sampling

기 위하여 빈 공간에 미사(quartz sand)로 채워 넣었다(그림 2). Porous ceramic cup은 porzellan manufaktur Berlin(KPM) 회사 제품의 p 80을 사용하였다. 용탈수의 질산태질소 함량은 Tecator 회사 제품의 Auto-Analyser로 분석하였다.

$\text{NO}_3\text{-N}$ 용탈량은 아래 식에 의하여 구하였다.

$$NA = b \cdot fCs(\text{NO}_3) \cdot As \cdot dt$$

NA : 질산태질소 용탈량(kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$)

b : factor(1/440)

Cs(NO_3) : 용탈수의 질산태질소 농도 (mg NO_3/ℓ)

As : 용탈수 (ℓ/m^2)

용탈수의 량은 Blau 등(1983)과 Huwe(1988)의 기 후수분평형 모델을 기본으로 하여 변형된 model을 개발적용하였다. 잠재 증산량은 Haude(1955), 실제 증산량은 Renger(1974) 방법에 의하여 계산하였다.

III. 結果 및 考察

1. 토양깊이별 전질소량

시험 포장 근권 토양 0~30cm 토양깊이의 전질소량은 무비구에서 12,000kg, 관행액비 시용구에서 13,000kg/ha이었다. 30~90cm 깊이 토양의 전질소량은 0~30cm 토양 깊이의 전질소량 만큼 많았다. 60~90cm 토양깊이의 전질소량은 4,800~5,300kg N/ha에 달하였다. 표층토양에 전질소량이 높은 것은 영년생 초지에서 일반적인 현상이나 심층토양에 전질소량이 높은 것은 이 지역에 수십년 동안 액상분뇨 시용에 의하여 액상분뇨 질소가 하층으로 이동하여 집적된 것으로 추론된다. 이러한 추론은 Werner 등(1985)의 연구결과에서도 제시되었다.

2. 토양 무기태질소 함량의 변화

그림 3에서 나타난 것과 같이 토양의 무기태질소 함량($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$)은 30~110 kg/ha 범위에서 변동되었다. 무기태 질소 함량은 조사시기에 따라 몇 번의 예외는 있으나 대부분의 조사시기에서 액상분뇨 시용구에서 무비구보다 높고 변화의 폭도 컸다.

Table 1. The amount of total N in three layers of soil(kg/ha)

Profile depth (cm)	A ₀	A ₁	A ₂	GD 5%
0~30	12,191	12,095	12,840	N. S.
30~60	7,140	6,776	7,009	N. S.
60~90	4,228	4,837	5,222	N. S.
Total	23,559	23,708	25,071	N. S.

A₀ : none A₁ : 1/2 usual A₂ : usual

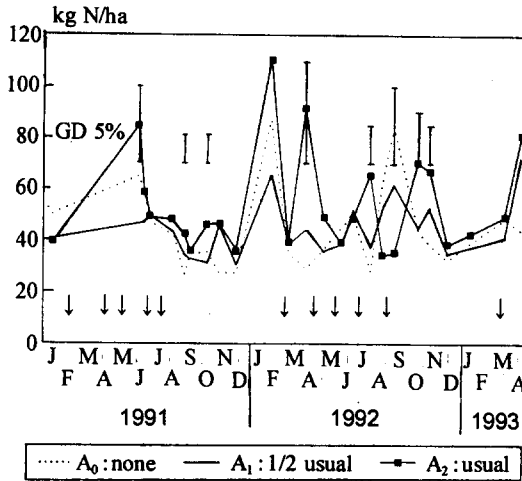


Fig. 3. The amount of NH₄-N and NO₃-N in 0~90cm depth soil

일반적으로 영년생 초지에서 밭 토양과는 달리 NH₄-N 함량이 NO₃-N 함량보다 높다는 보고 (Ulehlova 1983)와는 달리 본 연구에서는 NO₃-N의 함량이 NH₄ 함량보다 높았다. 토양의 NO₃-N 함량은 20~70 kg/ha 범위에서 계절간에 변동되었으나 NH₄-N은 처리간에 차이가 없이 20 kg 내외이었다 (그림4, 5). 이러한 결과는 Herbst 등(1980)과 Reinfelder(1992)의 보고와 일치하였다.

토양의 암모니움태 질소 함량은 질산태질소와 달리 액상분뇨 시용 수준간에 차이를 나타내지 않았다. 암모니움태 질소 함량은 심층토양에서 매우 낮았는데 흡착성이 있어 쉽게 용탈되지 않는 암모니움태 질소의 특성 때문인 것으로 사료된다. Reinfelder (1992)의 연구 결과에서도 암모니움태 질소함량은 시비량 보다는 환경에 영향을 받아 가을이나 겨울에

여름보다 높고 지하수 층이 높은 지대에서 높았다고 보고하였다.

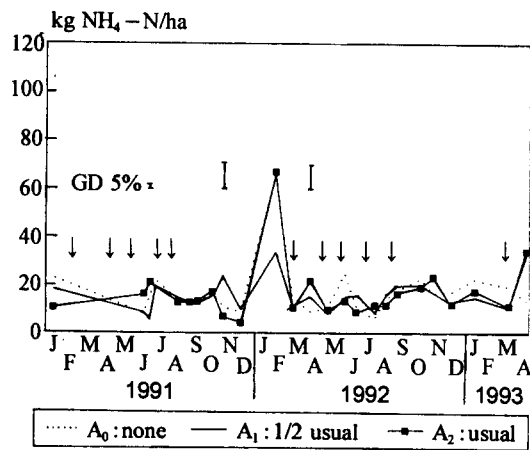


Fig. 4. The amount of NH₄-N in 0~90cm depth soil

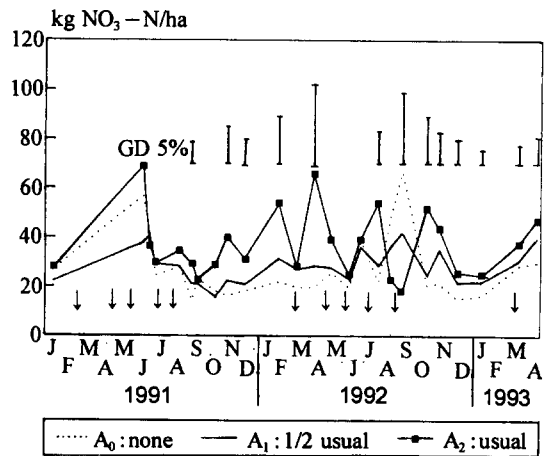


Fig. 5. The amount of NO₃-N in 0~90cm depth soil

3. 토양층별 NO₃-N 분포

토양층별 질산태질소 함량은 그림 6에 나타내었다. 0~30cm 토양깊이의 NO₃-N 함량은 5~50kg/ha 범위에서 계절간에 변화를 나타내었다. 관행액비 시용구에서는 30kg/ha, 액비 감량 시용구와 무비구에서는 20kg/ha 내외에서 변동되었다. 토양깊이 30~60, 60~90cm의 NO₃-N 함량은 20kg/ha 이하였다.

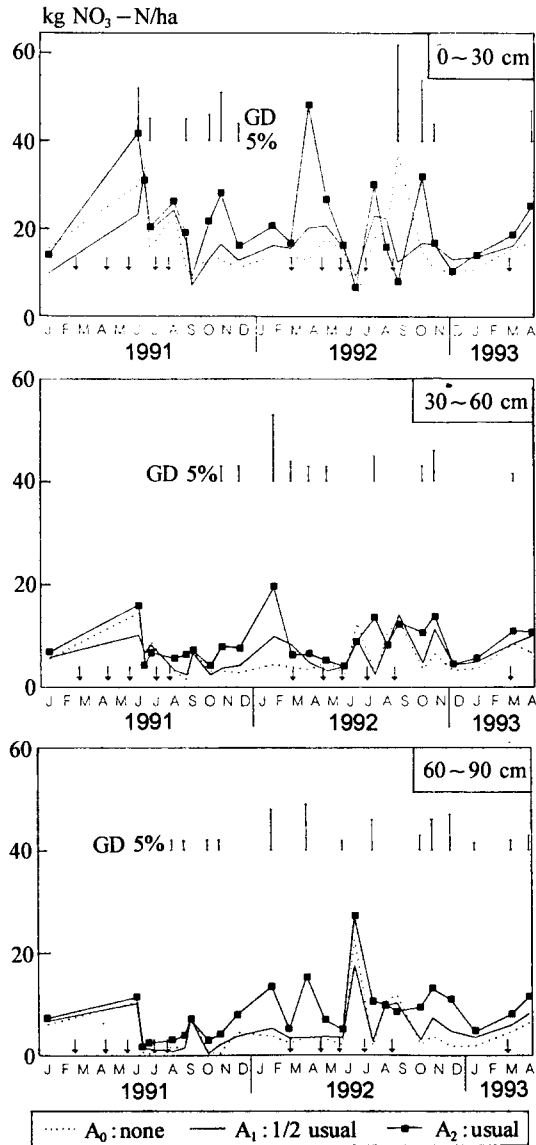


Fig. 6. The amount of NO₃-N in three layer of soil

관행 액상분뇨 시용구는 무비구에 비하여 60~90cm 토양깊이에 질산태 질소가 많이 집적되었다. 심층토의 질산태질소 집적은 액상분뇨 질소의 하층 이동으로 의한 집적의 결과라고 생각된다.

4. 용탈수의 질산태질소 농도

그림 7에서 나타난 것과 같이 용탈수의 질산태 질소 농도는 완만한 증감곡선을 나타내었다. 용탈수의 질산태질소 농도는 액상분뇨 시용시기에는 영향을 받지 않았다. 시험초기 1991년 초부터 NO₃ 농도는 증가하다가 1992년 겨울동안 계속 낮아졌다. 1992년 여름부터 NO₃ 농도는 높아지기 시작하여 1993년 2월에 유럽공동체 국가들의 음용수의 NO₃ 규제 농도인 50mg/l 에 도달하였다.

NO₃ 농도는 액상분뇨 시용량이 증가 할수록 높았고 액비감량 시용구와 관행액비 시용구 사이에는 유의한 차이가 없었으나 무비구와 관행액비 시용구 사이에는 유의한 차이를 나타내었다. Amberger와 Schweiger(1978)는 목초 생육기에는 식물체가 NO₃를 많이 흡수하기 때문에 질산태질소 농도가 낮아진다고 보고하였으나 본 시험에서는 목초생육기에도 NO₃ 농도가 높았다. Garwood와 Tyson(1973)은 여름 건조기간 후 이용되지 않는 질소의 무기화에 의하여 질소용탈량이 높아졌다고 보고하였는데 본 연구에서도 1992년 여름의 건조기간 후 10월과 11월에 질산태질소 농도가 높아 유사한 결과를 나타내었다. 질산태질소 농도가 언제, 얼마나 높으냐는 Macduff 등(1990)이 지적하였듯이 기상요인에 큰 영향을 받아 연중 매우 큰 변화를 나타내었다. 표 2에서 겨울과 작물생육기로 구분하여 NO₃ 용탈량을 표시하였다.

Basten과 Lamp (1989.)에 의하면 질산태질소 용탈량은 작물생장기에는 적고 작물이 질소를 흡수할 수 없는 겨울기간에 높다고 보고하였으나 본 연구에서는 1991년도에는 작물생육기에 용탈량이 많고, 1992년도에는 겨울에 용탈량이 많은 상이한 결과를 나타내었다.

토양상부에서 지하수로의 질소의 용탈은 강우량과 강우량의 분포에 따라 결정된다(Harmsen 1961).

본 시험이 수행된 알고이 지방에서는 토양에 질소가 많이 축적되어 있기 때문에 토양에 흡착되지 않고 수용성인 질산태질소는 잉여수분이 있으면 수분과 함께 이동되어 지는 것으로 생각된다. 월간 평균 $\text{NO}_3\text{-N}$ 용탈량은 무비구의 0.9kg/ha에 비하여 액비

감량구에서 2.3kg, 관행액비 시용구에서는 3.0kg/ha로 높아졌다. 연간 ha당 평균 질산태질소 용탈량은 무비구, 액비경감구, 관행액비 시용구에서 각각 12, 23, 29 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ 이었다.

Table 2. NO_3 leaching at different slurry application(kg $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha)

Application Level	Winter ('91/'92)	Growing period('91)	Winter ('91/'92)	Growing period('92)	Winter ('92/'93)	Amount of $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching	
						kg N ha ⁻¹ Month ⁻¹	kg N ha ⁻¹ yr ⁻¹
A ₀	3.6	11.7	2.3	2.4	4.2	0.9	11.5
A ₁	5.4	27.0	6.8	7.4	14.5	2.3	22.5
A ₂	5.4	28.2	13.7	11.5	22.7	3.0	28.7
GD 5%	N.S.	11.1	5.3	4.8	11.9	1.2	13.1
Rainfall(mm)	140	766	427	673	376		

A₀ : none A₁ : 1/2 usual A₂ : usual

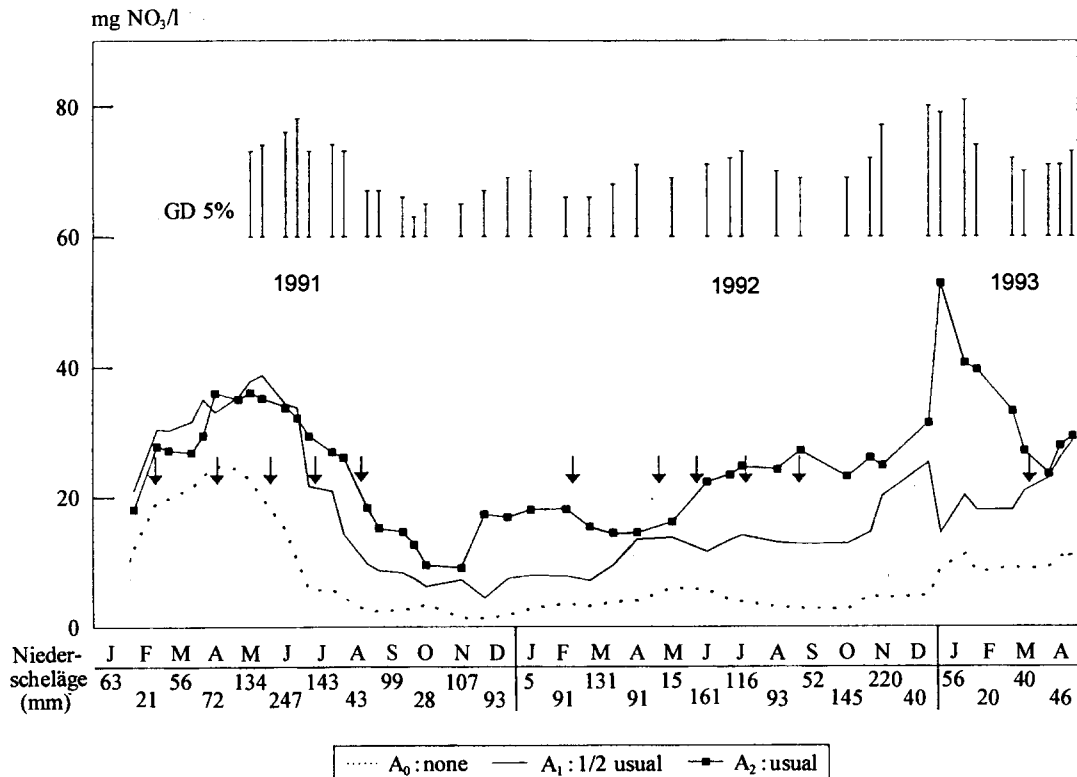


Fig. 7. Changes of NO_3 concentration in the soil solution

이러한 결과는 시험포장이 장기간의 액비시용으로 토양의 유기물 함량이 높아서 식물체가 흡수할 수 있는 범위를 초과하게 N을 사용하면 식물체가 질소를 이용하는데 한계가 있기 때문에 용탈을 초래한 것으로 생각된다(Scheffer 등 1989). Strebel 등은 ha당 300~400kg, Macduff (1990) 등은 500kg N 시용에서부터 질소용탈이 높아졌다고 하였는데 본 연구에서는 이들의 연구와는 상이하게 120kg 질소 시용에서도 $\text{NO}_3\text{-N}$ 용탈량이 증가되었다.

무비구에서도 연간 11.5kg/ha 질소가 용탈되어 비옥한 농경지에서 질산태질소 용탈을 완전히 방지하기는 불가능하다는 것을 나타내었다. 질산태질소 용탈의 잠재력은 토양이 비옥하게 되어 유기물 함량이 증가되면 증가하게 된다고 하였으며(Czeratzki 1973), Kolenbrander(1981)는 모래토양에서 ha당 연간 51kg의 질소가 용탈되는데 그 중 45kg/ha는 토양의 유기태질소에서 발생하는 것이고 6kg은 시용 질소 비료에서 유래 되었다고 보고하였다.

Kuntze와 Voss는 (1980) 질산태질소의 용탈에 미치는 기상, 재배장소, 경종방법 요인 중 영향이 큰 요인을 겨울>나지>강우량>식생의 조밀도>가을시비>가축분뇨>질산성 화학비료>유기물함량>사질토양 순서라고 하였고, Czeratzki (1972)는 재배작물의 종류와 기간>토양의 종류>토양의 유기물함량>시비량과 시비시기 순서라고 보고하였으나 질산태질소의 용탈량은 결국 Dressel과 Jung(1984)이 지적하였듯이 강우량, 작물의 재배장소와 종류, 시비와 이용방법이 종합적으로 작용한다고 생각된다.

IV. 摘 要

장기간 액상분뇨 시용으로 인하여 질소가 과다하게 축적된 초지생태계에서 자연과 환경보호를 위하여 가축분뇨 환원량을 더 엄격하게 제한해야할 경우에 대비한 축산경영과 환경보호 정책의 자료로 활용하고자 가축분뇨 감량 시용이 토양의 질소동태와 지하수의 질산태질소 용탈에 미치는 영향을 검토하기 위하여 독일 남서부에 위치한 알고이 지방에서 1991년부터 1993년까지 포장시험을 수행하였다. 처리는

관행액비 시용구(연간 240kg N/ha), 50% 액비 경감 시용구(연간 120kg N/ha), 무비구를 두었다. 토양질소의 동태를 분석하기 위하여 토층별로 토양시료를 채취하여 NO_3 , NH_4 함량을 분석하였다. 또한 용탈수를 채취하기 위하여 토양 120cm 깊이에 ceramic cup을 설치하여 2주 간격으로 용탈수를 채취하여 질산태질소 농도를 분석하였다.

토양의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 무기태질소 함량은 액비 시용량 간에 차이를 나타내지 않았으나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 액비 시용량이 높을수록 함량도 높아졌으며 하층으로 이동하여 집적되었다. 용탈수의 질산태질소 농도는 연중 심한 변이를 나타내었다. 연간 ha당 질산태질소 용탈량은 관행액비 시용구, 액비 감량 시용구, 무비구에서 각각 ha당 29, 23, 12kg이었다. 결론적으로 관행액비 시용구는 질산태질소 용탈량이 높아 환경에 과다한 부하를 주었으며 액비감량 시용구는 지하수의 질산태질소 용탈을 경감시킬 수 있어 환경보호 측면에서 액비시용량 경감정책은 실효를 거둘 수 있을 것으로 결론 내려진다.

V. 参 考 文 献

1. Amberger, A. und P. Schweiger. 1978. Substanzproduktion und Sickerwassermengen verschiedener Boden in einem langjährigen Lysimeterversuch. Bayer. Landw. Jb. 55, 714-726.
2. Basten, M. und J. Lamp 1989. Zur Erfassung lokaler stickstoffbilanzen am Beispiel eines ostholsteinischen Ackerbaubetriebes. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. 59/II, 665-670.
3. Blau, R.V., P. Hoehn, A. Werner and P. Hufschmid. 1983. Ermittlung der Grundwasserneubildung aus Niederschlägen. Gas-Wasser-Abwasser 63(1), 45-54.
4. Czeratzki, W. 1973. Stickstoffauswaschung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Landbau-forschung Völknerode 23, 1-18.
5. Dressel, J. und J. Jung. 1984. Nährstoffverlagerung in einem Sandboden in Abhängigkeit von der

- Bepflanzung und Stickstoffdüngung (Lysimeterversuche). Landw. Forschung 36, SH. 40, 363-372.
6. Garwood, E.A. and K.C. Tyson. 1977. High loss of nitrogen in drainage from soil under grass following a prolonged period of low rainfall. J. Agric. Sci. Camb. 89, 767-768.
 7. Harmsen, G.W. 1961 Einfluss von Witterung, Düngung und Vegetation auf den Stickstoffgehalt des Bodens. Landw. Forschung, Sh. 15, 61-74.
 8. Haude, W. 1955. Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitt. Dt. Wetterdienst 11, 1-24.
 9. Huwe, B. und R.R. VAN DER Ploeg. 1988. Modelle zur Simulation des Stickstoffhaushaltes von Standorten mit unterschiedlicher landwirtschaftlicher Nutzung. Mitt. Institut für Wasserbau Universität Stuttgart, Heft 69, 200-206.
 10. Kolenbrander, G.J. 1981. Leaching of nitrogen in agriculture. In : Brogan, J.C. (ed.), Nitrogen losses and surface runoff, Nijhoff/Junk, The Hague, 199-216.
 11. Kuntze, H. und W. Voss. 1980. Statusbericht Düngung. Landwirtschaft - Angewandte Wissenschaft, Reihe A 25. Landwirtschaftsverlag GmbH, Munster-Hiltrup 1980.
 12. Macduff, J.H., S.C. Jarvis and D.H. Roberts. 1990. Nitrate leaching from grazed grassland systems. Symposium proceedings of symposium "nitrates, agriculture, water". Paris, Nov. 1990.
 13. Reinfelder, H. 1992. Vergleichende Untersuchungen zur Prognose des Stickstoffdüngungsbedarfs verschiedener Böden Baden-Württembergs. Dissertation Hohenheim.
 14. Renger, M., O. Strebel und W. Giesel. 1974. Beurteilung bodendundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten. Z. Kulturtech. Flurbereinigung 15, 148-160, 206-221, 353-366.
 15. Scheffer, F. und P. Schachtschabel. 1979. Lehrbuch der Bodenkunde. 10. Auflage, F. Enke Verlag, Stuttgart.
 16. Ulehlova, B. 1983. Einfluss der Mineraldüngung auf den N-Kreislauf in Wiesenökosystemen. Zbl. Mikrobiol. 138, 259-268.
 17. Werner, W., H.W. Scherer and D. Drescher. 1985. Untersuchungen über den Einfluss langjähriger Gülledüngung auf N-Fractionen und N-Nachlieferung des Bodens. Z. Acker- und Pflanzenbau 155, 137-144.