

최 종
연구보고서

자급조사료 생산을 위한 환경친화적
가축분뇨의 시용방법에 관한 연구

Development of the Technique for Environmentally
Friendly Utilization of Animal Manure
for the Production of Self-sufficient Forage

건 국 대 학 교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “자급조사료 생산을 위한 환경친화적 가축분뇨의 시용방법에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005 년 11 월 일

주관연구기관명 : 건국대학교

총괄연구책임자 : 육 완 방

연 구 원 : 윤 세 형, 임 영 철

연 구 원 : 김 맹 중, 최 기 춘

연 구 원 : 정 민 응, 나 훈 찬

연 구 원 : 최 연 식

협동연구기관명 : 익산대학교

협동연구책임자 : 윤 창

호남농업연구소

연 구 원 : 이 경 보

진라북도 축산진흥 연구소

연 구 원 : 정 구 남, 문 용 락

연 구 원 : 황 태 건

요 약 문

I. 제 목

자급조사료 생산을 위한 환경친화적 가축분뇨의 사용방법에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구개발의 목표는 연간 3,500만톤에 달하는 가축분뇨를 환경친화적으로 자원화하기 위한 것으로 크게 3가지로 나누어 수행하고자 한다.

첫째는 우리나라의 논을 제외한 거의 대부분의 경지가 경사지고 강수량의 분포도 하절기에 집중되어, 식물 영양소인 비료나 퇴비의 양분이 지하수로 용탈과 함께 여름철 지표로의 유실이 많아 환경오염도가 클 것으로 예상된다. 따라서 조사료의 생산형태, 가축분뇨의 종류, 살포시기 및 그 사용량을 달리했을 때 조사료의 생산은 물론 분뇨양분의 용탈과 유실에 의한 환경오염도를 정확히 규명하여, 가축-토양-사료로 이어지는 생태 시스템 구축을 위한 기초자료 제공하고,

둘째 가축분뇨를 자원화하는데 있어 분뇨의 처리형태는 물론 시비수준 및 경작형태에 따라서 조사료의 생산성이 매우 상이하게 나타나기 때문에 분뇨를 효율적으로 이용함으로써 분뇨에 의한 환경오염 방지를 위해 분뇨의 종류에 따른 어떠한 조사료의 작부체계가 조사료의 생산성과 함께 환경에는 어떠한 영향을 미치는가를 정확히 파악하고자 하며,

셋째로 우리나라와 같이 경사도가 많은 산간지형에서 어떠한 조사료의 생산형태와 분뇨처리형태가 분뇨의 유실에 의한 환경오염을 감소시킬 수 있는가에 대한 방안을 마련, 조사료 공급과 함께 환경보전대책을 마련하는데 그 목표를 두고 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

<가축분뇨의 시용형태가 양분의 이동시스템에 대한 연구>

- 가축분뇨의 처리형태별, 시용형태별 사료작물의 생산성 조사
- 가축분뇨의 처리 형태와 시용형태에 따른 토양 의 변화
- 가축분뇨의 처리형태와 시용형태에 따른 양분 유실량
- 사료작물의 생산, 토양의 변화, 양분의 유실을 고려한 경사지별 작부형태와 가축분뇨의 적정 시용 기준 설정

<가축분뇨의 처리형태별 친환경적 작부체계에 관한 연구>

- 가축분뇨의 처리형태와 작부체계별
- 가축분뇨의 처리형태와 작부체계별 지력증진 효과
- 가축분뇨의 처리형태와 작부체계별 양분의 용탈량 조사
- 가축분뇨의 환경보전적 이용효율 제고를 위한 적정 시용수준 및 작부체계 선정

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구 개발 결과

본 연구는 친환경적 자급조사료 생산과 함께 가축분뇨의 효율적 이용을 위하여 lysimeter 에서의 조사료생산과 양분의 용탈에 대한 연구와 분뇨의 처리형태 및 조사료의0 생산형태에 따라 경사지를 달리했을때 erosion에 의한 환경오염 문제를 파악하기 위한 연구와 함께 이를 기초로 환경보전적 작부체계를 선정하고자 3개년간에 걸쳐 포장에서 수행한 연구 결과는 다음과 같다.

- 시비 종류별 건물생산과 N생산량에 미치는 영향은 화학비료>액비>퇴비의 순이었다.
- 분뇨 시용시 조사료 생산성은 분뇨N 200kg에 요소 100kg/ha 수준에서 가장 높았다.

- P의 용탈은 시비의 종류나 수준 및 계절이나 강수량에 관계없이 매우 적었다.
- 조사료의 생산성은 경사도의 증가와 비례하여 감소하였다.
- 조사료의 생산성은 초지나 옥수수 단작보다는 옥수수+호밀 이모작시 가장 높았다.
- $N(NO_3-N+NH_4-N)$ 과 $P(PO_4-P)$ 의 유실량은 초지에서 가장 적었고 경사도의 증가와 비례하여 유실량도 증가하였다.
- NO_3-N 과 NH_4-N 의 유실량은 퇴비보다 액비 시용시 더 많았으나 PO_4-P 의 유실량은 퇴비 시용시 더 높은 유실량을 나타내었다.

2. 활용에 대한 건의

가축분뇨의 비료적 가치는 그 종류나 처리방법에 따라 많은 차이를 나타내고 있을 뿐만 아니라, 이용방법이나 기후풍토에 따라서도 다르기 때문에 이에 대한 많은 자료와 연구가 반드시 병행되어야 한다. 특히 우리나라는 기후풍토나 경작형태등이 외국과는 현저히 다르기 때문에 외국의 결과가 아닌 우리나라의 여러 가지 조건에 따른 연구가 수행되어야 한다. 또 가축분뇨는 그 비료효과나 환경에 미치는 영향도 화학비료와는 달리 장기간에 걸쳐 나타나기 때문에 이에 대한 검토나 연구도 장기간에 걸쳐 수행되어야 한다.

이러한 연구결과 얻어진 자료, 특히 유기질 비료의 이용방법이나 그 효과에 대해서는 분뇨의 종류, 작물의 종류, 경작조건, 사용자(농민)의 작업, 능력, 경제적 조건 외에 기후풍토등에 의해서도 많은 차이가 있기 때문에 이에 대한 교육과 홍보가 철저히 이루어져야 함에도 이에 대한 프로그램이 전무한 실정이므로, 가축분뇨를 처리자원이 아닌 자원으로서 이용할 수 있도록 유기농업을 위한 체계적인 홍보 및 보급이 필요하다.

SUMMARY

I. Title

Development of the technique for environmentally friendly utilization of animal manure for the production of self-sufficient forage

II. Aim and scope of research development

Domestic animals of our country is worthy of notice to produce approximately 350 million tons of animal manure (AM) each year which is known to pollute our living environment. This study, as a part of environmental preservation recycling system for the production of self-sufficient forage, was consisted of two subjects;

First, animal manure is very stability in aspect to environmental preservation recycling system (animal→soil→plant), because animal manure acts like a natural fertilizer by returning into the soil for crops and feed production. Especially, most of crop lands of our country are very sloping except paddy field and a lot of precipitation during summer season lead to leaching and runoff of nutriments from the soil. Lots of nutriments in leaching and runoff water is subject to environmental pollution. Therefore, this study was conducted to indicate a basic data to increase the utilization of AM for environmental preservation under application of AM.

Second, forage productivity is very difference between utilization form and application rate of AM and forage cultivation system. To prevent the environmental pollution by AM, this study conducted to examine the effect on the kinds of AM and forage cropping system on the productivity of forage and the environmental preservation

Third, aims of this study were to formulate a plan decreasing nutriment runoff by forage cropping system and utilization form of AM and preserving the environment related with forage production, because most of mountain land of our country slopes.

III. Contents and scope of research development

<Effect of utilization form of AM on moving system of nutriments>

- Analysis of productivity of forage crops by utilization form and application rate of AM
- Change of soil properties by utilization form and application rate of AM
- Investigation of nutriment runoff by utilization form and application rate of AM
- Development of optimum application levels of AM and cropping system in various slopes to improve utilization of AM for ecosystem preservation on the basis of the production of forage crops, change of the soil properties and nutriment runoff

<Study on cropping system related with utilization form of AM to improve utilization of AM for ecosystem preservation>

- Analysis of productivity of forage crops by utilization form and application rate of AM
- Effect of improvement of soil fertility by utilization form of AM and cropping system
- Investigation of leaching of nutriments by utilization form of AM and cropping system

- Development of optimum application rates of AM and cropping system to improve utilization of AM for ecosystem preservation

IV. Results of research development and expected outcome and utilization

1. Results of research development

To increase the utilization of AM for ecosystem preservation by self-sufficient forage production, this study was carried out to investigate forage production and nutrient leaching by application of AM, and to select usage of AM for environmental preservation under cropping system related with utilization form of AM in various slopes. This studies were conformed in lysimeter for 3 years.

The results obtained were summarized as follows :

- DM and N yield reveal that there is an increase in order; chemical fertilizer > slurry > compost
- Forage productivity was the highest in 200N kg⁻¹ ha⁻¹ of AM with urea 100 kg⁻¹ ha⁻¹, when AM was applied to the land for forage production.
- PO₄-P content in the leaching water was hardly influenced by the kinds, the application rates and the seasons of fertilizers and the rainfall.
- Forage productivity decreased significantly as the slope increased.

- Forage productivity was the highest in a corn-rye rotation than that in a single corn cropping system.
- $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ contents in the runoff water of grassland were the lowest. Those, also, increased significantly as the degree of the slope increased.
- $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N}$ contents in the runoff water of slurry were higher than that in compost, whereas $\text{PO}_4\text{-P}$ content was higher in compost than that in slurry.

2. Expected outcome and utilization

The natural recycling process can be completed by application of manure to the crop land on which forage plants are produced, because it allows an optimum productivity of forage plants while conserving natural resources and decreasing mineral fertilizer. However, the utilization efficiency of AM is largely affected by the kinds of animals, ages, sex, feeds, feeding methods and utilization form, many countries support the idea of considering environmental effects for the use of AM with the research program and strict regulation. Furthermore, AM is stocked into the soils for long period when AM is applied in the land. Utilization of AM increased by the plants gradually, year by year compared with chemical fertilizer.

Therefore, we can suggest that longer term experiments covering several kinds of applied AM and weather conditions, and investigating runoff or leaching water is necessary and would give more quantitative information on environmentally friendly utilization of AM.

Section 3. Total Summary	86
Chapter 4. Accomplishment degree of the project and contribution degree of field of a related study	87
Section 1. Accomplishment degree of the project	87
Section 2. Contribution degree of field of a related study	89
Chapter 5. Plan for practical use of project results	90
Chapter 6. Scientific and technical information collected from foreign country during the the period of the project	90
Chapter 7. Reference	91

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	14
제 1 절 연구 개발의 목적 및 필요성	14
제 2 절 연구 개발의 범위	17
제 2 장 국내외 기술개발 현황	18
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	24
제1절 가축분뇨의 시용형태가 양분의 이동시스템에 대한 연구	24
1. 서론	24
2. 연구수행 내용 및 방법	25
3. 연구결과	29
4. 요약	65
제2절 가축분뇨의 처리형태별 환경친화적 작부체계에 관한 연구	66
1. 서론	66
2. 연구수행 내용 및 방법	67
3. 연구결과	69
4. 요약	85
제3절 종합요약	86

제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	87
제 1 절	연구개발 목표의 달성도	87
제 2 절	관련분야의 기여도	89
제 5 장	연구개발결과의 활용계획	90
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	90
제 7 장	참고문헌	91

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

▶ 근래 축산업의 전업화와 집약화로 인해 연간 3,500만톤 이상 생산되는 가축분뇨는 정부의 자원화 정책에도 불구하고 그 이용율이 매우 낮아 가축분뇨의 자원화 및 이용성에 많은 문제점이 제기되고 있다. 또한 분뇨의 자원화에 따른 환경오염문제가 사회적인 이슈가 되기 때문에 정확한 환경영향 평가와 그에 의한 가축분뇨의 생태적 순환시스템의 구축이 반드시 필요하다.

특히, 연간 수백만톤에 해당되는 조사료를 수입하고 있는 국내축산 상황에서는 조사료생산과 가축분뇨를 연계시켜 조사료자원을 확보함과 동시에 친환경농업을 유도할 수 있는 가축분뇨의 친환경적 이용시스템의 개발이 대단히 중요하다. 따라서 축산업의 유지 및 존재를 위해 반드시 해결해야 할 중요한 과제이다.

1. 기술적 측면

○ 가축분뇨의 처리 형태 중 80%가 자원화 시설임에도 불구하고 살포 경지가 부족한 탓에 그 활용도가 매우 낮음.

○ 가축분뇨 처리에는 정화, 퇴비화, 액비화 등 다양한 방법이 있으며, 외국에서는 액비화가 가장 많이 이용되고 있으나 우리나라에서 가장 효율적이고 친환경적인 방법이 무엇인지에 대한 정확한 검증은 아직 이루어지지 않고 있음.

○ 조사료의 공급비율이 40%이하임에도 불구하고, 볏짚을 제외한 조사료의 자급율은 50% 이하임.

○ 분뇨처리와 조사료 생산을 위한 경지 부족으로 인한 양축농가의 어려움.

○ 가축분뇨에 의한 환경오염문제를 해결하고 부족한 조사료 생산을 충족시키기 위해서는 가축→분뇨의 토양환원→사료생산→다시 가축에 대한 사료공급으로 이어지는 생태적 순환 시스템을 도입, 환경농업을 유도시켜야 한다.

○ 우리나라 토양성분 중 유기물의 함량은 0.9%로 미국이나 일본의 4~5%에 비해 매우 낮음.

토양산도	유기물(%)	유효인산 (ppm)	치환성 양이온 (me/100g)		
			K	Ca	Mg
5.0	0.9	30-40	0.2	2-3	1.2
(6.5)	(3.0)	(200)	(0.5)	(6.0)	(2.0)

() : 개량 목표치

○ 이러한 문제 해결을 위해 가장 효율적인 유기질 비료자원인 가축분뇨의 지속적인 도입이 요망됨.

○ 가축분뇨는 정확한 이용에 의해서만이 환경친화적인 자원화가 가능함.

○ 그러나 가축분뇨에 함유된 N·P·K의 작물이용효율을 볼 때 화학비료대비 N은 20-80%, P와 K는 80-90% 정도이며, 특히 이용되지 못한 양분 N은 결국 NO₃등으로 유실되어 수질오염에 많은 영향을 미치게 된다.

○ 가축분뇨에 의한 환경오염문제를 해결하기 위해서 유럽에서는 이미 1990년을 전후로 분뇨의 살포량, 살포시기 등을 법적으로 엄격히 제한, 규제하고 있다.

○ 양분의 용탈이나 유실에 대한 분뇨의 환경오염은 기후풍토에 따라 현저한 차이를 보이지만 그에 대한 연구가 전무하므로, 이러한 문제점들의 해결을 위해서는 본 연구의 수행이 필수적이다.

2. 경제·산업적 측면

- 가축분뇨의 적절하지 못한 시용에 의한 작물의 피해와 토양 및 수질 오염 완화
- 가축분뇨의 과부하에 의해 오염된 환경을 개선하기 위해 투입되는 막대한예산의 절감
- 최적의 친환경적 조사료 생산체계를 도입 가축분뇨를 조사료의 확보에 이용
- 환경 조화형 재순환 시스템 구축
- 조사료확보에 의한 배합사료 질감효과
 - 조사료 : 농후사료 급여 비율
국내(3 : 7), 이상형(7 : 3)
 - 각종 대사 및 번식장애로 인한 수명 단축
국내(3~4산), 선진국(7~8산)
- 경종농가와 축산농가를 결합, 농업구조 조정을 위한 기초자료 제공
- 다량의 화학비료 사용에 의해 약화된 토양의 이화학적 성질 개선

3. 사회·문화적 측면

- 우리나라는 가축분뇨를 전부 자원화하지 못하는 대표적인 국가
- 가축분뇨는 적절한 처리와 이용방법을 통해서만 환경보전이 가능함
- 가축분뇨에 의한 대기 및 수질 오염으로 청정한 물을 공급할 수 없어 축산에 대한 불신감 조성

○ 체계적인 연구계획이 없는 지속적인 분뇨시용은 질소($\text{NO}_3\text{-N}$ 의 용탈을 촉진하여, 하천이나 지하수를 오염시키거나 식수로서 체내에 함께 흡수되어 유아에게는 질식사의 위험이 있는 methemoglobin혈증을 유발하며 (Bewig,1976), 성인에 있어서는 체내에서 질소화합물과 결합해 nitroamine등을 생성함으로써 위암을 유발(Selenka,1982)하게 되므로 이를 위해서도 N의 효율적인 이용기술 즉 적정 시용기준의 설정은 필수적이다.

제 2 절 연구개발의 범위

1. 가축분뇨의 시용형태가 양분의 이동시스템에 대한 연구

- 가축분뇨의 처리형태별, 시용형태별 사료작물의 생산성 조사
 - 요인별 목초의 건물수량, 사료가치, 질소의 이용효율 등
- 가축분뇨의 처리 형태와 시용형태에 따른 토양의 변화
- 가축분뇨의 처리형태와 시용형태에 따른 양분 유실량
 - 각종 요인별 질소, 인의 연간 유실량 조사
- 조사료의 생산, 토양의 변화, 양분의 유실을 고려한 경사지별 작부형태와 가축분뇨의 적정 시용 기준 설정

2. 가축분뇨의 처리형태별 친환경적 작부체계에 관한 연구

- 가축분뇨의 처리형태와 작부체계별 조사료의 생산성 조사
 - 조사료의 생산성, 사료가치, N 및 P의 이용율
- 가축분뇨의 처리형태와 작부체계별 지력증진 효과
- 가축분뇨의 처리형태와 작부체계별 N, P의 용탈량 조사
- 가축분뇨의 환경보전적 이용효율 제고를 위한 적정 시용수준 및 작부체계 선정

제 2 장 국내외 기술개발 현황

○ 가축의 분뇨 배설량은 가축의 종류와 연령, 환경 및 사료조건에 따라서 많은 차이가 있다(Ruppert 등, 1985). Galler(1989)는 분뇨의 생산량을 500kg 소에서 1일 40kg (건물함량 10%), Ruppert 등(1985)은 53kg, Vetter 등(1986)은 550kg 소에서 50kg이라고 하였고, 돼지의 경우 Galler(1989)는 1일 평균 4.2kg, Vetter(1986)는 40~90kg의 돼지에서 평균 4.1kg, Rupper 등(1985)도 평균 60kg의 돼지에서 4.5kg이라 하였으나, Koriath 등(1980)이 보고한 35~120kg의 돼지의 평균 분뇨 생산량 5.5kg과는 큰 차이를 나타내고 있다. Ruppert 등(1985)은 분뇨의 배설량뿐만 아니라 성분량도 가축의 연령, 사료의 종류, 섭취량, 소화율, 사양형태, 비유능력, 계절 등에 의하여 많은 차이를 나타낸다고 하였다.

○ 가축분뇨의 사용은 지력증진이나 농업생산능력 향상에 기여하나, 무계획적이고 장기적인 분뇨사용은 환경문제를 유발한다. 따라서 선진국에서는 이에 대한 규제를 강화했으며, EC 국가들은 이미 1980년에 식수나 하천등의 NO_3 함량을 $90\text{mg}/1\text{NO}_3$ 에서 $50\text{mg}/1\text{NO}_3$ ($11.3\text{mg}/1\text{NO}_3\text{-N}$)으로 제한하고 있다. 그러나 가축 분뇨를 유기질 비료로 자원화하면 부족한 조사료 자원의 확보가 가능한데 본 주관연구기관 이외에는 분뇨이용기술이 낙후되어 환경오염에 관련된 연구가 수행되지 못하고 있다.

가축분뇨의 처리와는 달리 우리나라에서의 분뇨의 자원화에 관한 연구는 그 동안 주관연구기관인 건국대학교에서 주로 많이 수행되었으며 그 결과들을 중심으로 국내외의 연구 결과들을 종합하여 분류해 보면 다음과 같다.

1. 국내의 연구동향

가축분뇨의 자원화에 관한 연구는 대부분 사용시기나 사용량 등에 따른 지력증진 효과나 생산성 등에 초점을 맞추어 수행되어졌고, 양분의 이동에 의한 환경에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 수행되지 않았다. 지금까지 우리나라에서 연구된 결과들을 중심으로

분류하면 다음과 같다.

김 등(1991)은 분뇨의 살포시기에 따른 건물수량과 월동성에 대하여, 김 등(1987), 정과 전(1989), 김 등(1991)은 분뇨 시용에 따른 식생의 변화 특히 잡초의 발생에 대하여 발표하였으며, 김 등(1987, 1990), 이와 박(1990)은 혼파초지에서, 박과 양(1988), 한과 박(1991), 김 등(1989)은 옥수수 - 호밀 윤작에서 송과 양(1986)은 호밀에서, 김 등(1991)은 Alfalfa에서의 생산성 및 그 사료적 가치를 연구하였으며, 그 외에 분뇨의 시용으로 토양보수력의 향상과(한과 박 ; 1991, 김 등; 1989, 신;1999) 토양유기물의 증가(박과 양; 1988, 정과 전; 1989, 이등;1990, 한과 박;1991, 김 등; 1987, 윤;1994)등에 대한 연구가 있는데, 이의 지속적인 효과나 생산성에 미치는 영향, 그리고 환경오염에 미치는 영향에 대해서는 근래에 극소수의 연구자들에 의해서만 연구되어져 왔다.

2. 외국의 연구 동향

○ 가축의 분뇨는 다음 표에서와 같이 일반적으로 무기 형태로 된 Mineral 질소 비료와는 달리 분뇨 N은 유기와 무기의 결합으로 되어 있으며 유기와 무기N의 비율은 가축이나 사료의 종류에 따라 차이가 난다. 또한 P와 K는 N과는 달리 80-90%가 무기태로 되어 있어 그 이용효율이 현저히 높다(Vetter, 1986).

분뇨 N의 형태(Ruppert, 1985)

분뇨의 종류	전 N중의 비율(%)	
	무기 N(NH ₄ -N)	유기결합 N
소	50-60	40-50
돼지	60-70	30-40
닭	70-80	30-40

○ Mineral 비료와의 비교에서 유기결합 N의 Mineral화는 분뇨 시용년도에 N 용탈이 많으면 많을수록 높아야 한다. 유기결합 N은 단기간의 효과와 지력 증진을 위한 토양 N의 저장을 위해서도 중요한 의미를 갖는다(Ruppert등, 1985).

○ 가축분뇨가 비료원으로 토양에 환원될 때 주로 문제가 되는 것이 질소와 인인데, 질소를 과잉 사용하면 토양 중 암모늄태 질소 농도가 높아져서 작물 뿌리의 농도장해를 일으키며, 작물체 내의 질산태 질소 함유율 또한 높아져 가축이 섭취한 경우에는 질산중독을 일으킬 수 있으며(Goh Vityakon, 1986; Noller와 Rhykerd, 1974; Gillingham 등, 1969; Murphy와 Smith, 1967), 흡수되지 못한 질소는 휘산(Frost 등, 1990; Pain 등, 1990), 탈질(Stevens 등, 1989), 용탈(Davies 등, 1996), 유실(Gilley 등, 1999; Hall, 1986; Dam Kofoed, 1981; Kilmer, 1974)되다. 휘산 되거나 탈질되는 질소는 그 양이 매우 적으나, 강우에 의해 유실되거나 용탈될 경우에는 그 양은 많기 때문에 지하수에 유입되어 지하수 오염의 원인이 된다(Jarvis 등, 1987; Pye, 1983; Legg와 Meisinger, 1982; McCalla, 1974).

한편 가축분뇨만 사용하면 전체적으로 N이 부족해 식물체와 토양 미생물사이에 N 흡수를 위한 경쟁이 크게 되어 N의 기아 현상을 나타낼 수 있기 때문에 추가적인 N의 사용이 요구된다. 하지만 추가적인 Mineral N의 사용은 분뇨중에 결합된 유기물의 분해를 촉진, N의 유실을 더욱 많게 할 수 있다.

○ Thalmann(1985)은 무기질 질소시비 시 작물의 높은 N탈취에도 불구하고 분뇨의 사용량 보다 토양용액 중에 훨씬 많은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 나타남을 밝혀 냈으며, 그 차이는 시비량이 많아질수록 더욱 심화된다고 하였다(생육시기 중).

○ 이러한 N의 분해 산물인 NO_3 의 용탈은 식수를 통하여 인간에게 직접적인 해를 미치게 된다. 예를 들어, 생후 4개월 미만의 유아에게는 질식사의 위험이 있는 Methmoglobin혈증을 유발하며(Bewing : 1976, Sunkel : 1983),

○ 성인이 음식을 통해 다량의 NO_3 를 흡수할 경우에는, 위암 발생의 위험이 있는 Nitrosamin이나 다른 질소화합물의 결합을 초래한다(Selenka; 1982, Oertli; 1985).

○ 이러한 NO_3 용탈을 막기 위한 방법의 한 가지로, slurry에 물을 첨가하여 slurry-N을 식물체가 흡수하기 쉬운 형태로 바꾸거나 혹은 토양질소를 "startmobilisierung" 으

로 유도함으로서 유실에 의한 NO₃용출을 방지 할 수도 있다(Stevens 등 1986).

○ Sherwood(1981)는 늦가을과 겨울에 총 70-270m³/ha의 Slurry를 살포하였을 경우 매년 총 5-13%의 질소가 용탈되었고, 이러한 현상은 slurry 질소 중 무기태 부분 (NH₄)이 NO₃형태로 질산화 작용을 하는 과정에서 더욱 두드러졌다고 밝혔다.

○ Amberger(1979)는 질산화작용 저해물질인 Dicyandianid을 첨가하면 NO₃-N 용탈에 의한 손실을 줄일 수가 있으며, 동시에 Perennial ryegrass와 옥수수의 N 생산성과 양분탈취 효과를 높일 수 있다고 말한다.

○ Merz(1988)는 lysimeter에 의한 연구결과, 초지에 대한 가축 분뇨 시용으로 N의 용탈을 감소시킬 수 있다고 하였다.

3. 본인의 연구동향

- 초지에 대한 가축 분뇨의 시용(1992)
- 수도권 상수도 보호지역 내에서의 경작형태가 환경오염에 미치는 영향(1992)
- 액상구비 및 요소의 시용수준이 Orchardgrass 초지의 생산성과 토양중 NO₃-N 함량에 미치는 영향(1993)
- 경사 척박지에서 목초 정착에 미치는 액비시용 효과(1994)
- 액상구비의 시용에 따른 사료작물의 생산성과 질소의 토양용탈 시험(1995)
- 액상구비의 시용시기와 시용수준이 호밀(*Secale cereale* L.)의 생산성에 미치는 영향(1997)
- 액상구비 및 요소의 시용수준이 silage용 옥수수의 생산성에 미치는 영향(1997)
- 가축분뇨의 처리형태와 시용시기가 영년 혼파초지의 생산성에 미치는 영향(1997)
- 영년혼파초지에 있어서 분뇨의 종류와 요소시비 수준이 목초의 생산성과 환경오염에 미치는 영향(1997)
- 돈분의 처리형태와 시용수준이 silage용 옥수수의 생산성과 지력증진에 미치는

영향(1998)

○ 가축액비에 함유된 질소함량 추정에 관한 연구(1998)

○ 짓소액비 시용량에 따른 담근먹이 옥수수의 생산성과 토양화학적 특성의 변화(1999)

○ 액상발효우분의 시용시기와 시용량이 호밀경작지 토양의 NO₃함량에 미치는 영향(1999)

○ 경사지에 대한 가축분뇨 시용시 옥수수의 생산성과 양분유실에 관한 연구(2000)

○ 발효돈분 및 화학비료 시용이 사일리지용 옥수수의 생산성과 사료가치에 미치는 영향(2000)

○ 가축분뇨와 화학비료의 시용수준이 옥수수의 생산성과 N의 용탈에 관한 연구(2000)

○ 혼파초지에서 가축분뇨의 종류와 시용수준이 목초의 생산성 및 지력증진에 미치는 영향(2001)

○ 액상발효우분(Cattle Slurry) 및 요소의 N 시용수준이 옥수수의 생산성과 N의 용탈에 관한 연구(2002)

○ Lysimeter에서 돈분 및 화학비료의 시용수준이 옥수수의 생산성 및 N과 P의 용탈에 미치는 영향(2002)

○ 한국에 있어서 담리작을 이용한 양질 조사료 생산기술(2002)

○ 돈분액비 시용수준이 옥수수의 생육 및 수량에 미치는 영향(2003)

○ 돈분액비 시용수준이 수수×수단그라스의 생육 및 수량에 미치는 영향(2003)

○ 담리작 사료작물의 돈분액비 시용 수준(2003)

○ 돈분액비에 의한 담리작 사료작물 생산과 환경보전적 이용기술 개발(2003)

○ 돈분액비에 의한 담리작 사료작물 생산시 벼 생산성과 환경영향 평가(2003)

○ 가축분뇨의 처리형태와 시용수준이 영년초지의 생산성, 지력증진 및 환경에 미치는 영향(2003)

○ 돈분액비 시용수준이 호밀의 수량 및 사료가치에 미치는 영향 (2003)

○ 가축분뇨의 처리형태별 시용시기가 영년초지에 있어서 분뇨의 이용효율 및 목초의 생산성에 미치는 영향(2004)

- 고랭지에서 파종시기 및 수확시기가 사일리지용 옥수수의 생육특성 건물수량 및 사료가치에 미치는 영향(2004)
- 가축분뇨의 처리형태와 시비수준이 Silage용 옥수수의 생산성과 양분의 용탈에 관한 연구(2004)
- 경상도와 분뇨의 처리형태가 옥수수 생산성과 양분의 유실에 미치는 영향(2005)

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절. 가축분뇨의 시용형태가 양분의 이동시스템에 대한 연구

1. 서 론

우리나라의 가축분뇨 발생량은 연간 3,500만톤에 달하고 있어 이로 인한 환경오염 문제를 감소시키기 위한 정부의 지속적인 노력이 진행되고 있지만, 가축분뇨는 유·무기질의 영양소로 이루어진 비료가치가 높은 물질로서 식물의 영양소로 매우 중요하기 때문에 이를 작물의 생산과 연계시켜 양분의 순환에 의한 친환경적인 농업으로 유도한다면 우리의 환경부담을 줄여주는 효과 외에도 일반 경종농업을 위해서도 매우 경제적이고 중요한 의미를 갖을 수 있게 될 것이다. 그러나 가축분뇨는 화학비료와 달리 가축분뇨의 종류, 그 처리형태 및 방법, 작물의 종류, 분뇨의 이용방법, 시용시기, 시용수준 및 기후풍토 등에 따라 비료성분의 수준이나 이용효율은 물론 지력에 미치는 영향이 다르고 환경에 미치는 영향도 매우 상이하게 나타나고 있다.

특히 우리나라는 가축분뇨의 자원화를 위한 대책으로 정책적으로나 기술적인 면에서 많은 사업이 추진되어 왔지만 이에 대한 개발 과정에서 자원화 과정보다는 처리방법에만 우선순위를 두었고 이에 대한 연구도 거의 없어 단지 기후풍토가 다른 외국의 자료에만 의존, 많은 시행착오를 겪어왔으며 양축농가나 이를 사용하는 경종농가에서도 이에 대한 정확한 자료가 부족, 더욱 심각한 상황에 놓여 있다. 더욱이 우리나라에서는 분뇨의 종류나 처리형태등에 따른 친환경적 자원화를 위한 정확한 시용기준도 설정되어 있지 않기 때문에 우리나라와 기후풍토가 다른 외국의 자료를 아무 여과 없이 도입할 경우 환경에 더 많은 문제점을 야기 시킬 수 있을 것이다. 이러한 이유로써 우리나라의 조건에 알맞은 처리형태는 물론 자원화를 위한 정확한 이용방법에 관한 연구를 수행함으로써 가축분뇨를 환경친화적으로 자원화하여 환경오염, 특히 수질 오염방지 대책마련을 할 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 이에 대한 대책을 크게

3가지로 나누어 마련하고자 하였다.

첫째는 우리나라의 논을 제외한 거의 대부분의 경지가 경사지고 강수량의 분포도 하절기에 집중되어, 식물 영양소인 비료나 퇴비의 양분이 지하수로 용탈과 함께 여름철 지표로의 유실이 많아 환경오염도가 클 것으로 예상된다. 따라서 조사료의 생산형태, 가축분뇨의 종류, 살포시기 및 그 사용량을 달리했을 때 조사료의 생산은 물론 분뇨양분의 용탈과 유실에 의한 환경오염도를 정확히 규명하여, 가축-토양-사료로 이어지는 생태 시스템 구축을 위한 기초자료 제공하고,

둘째 가축분뇨를 자원화 하는데 있어 분뇨의 처리형태는 물론 시비수준 및 경작형태에 따라서 조사료의 생산성이 매우 상이하게 나타나기 때문에 분뇨를 효율적으로 이용함으로써 분뇨에 의한 환경오염 방지를 위해 분뇨의 종류에 따른 어떠한 조사료의 작부체계가 조사료의 생산성과 함께 환경에는 어떠한 영향을 미치는가를 정확히 파악하고자 하며,

셋째로 우리나라와 같이 경사도가 많은 산간지형에서 어떠한 조사료의 생산형태와 분뇨처리형태가 분뇨의 유실에 의한 환경오염을 감소시킬 수 있는가에 대한 방안을 마련, 조사료 공급과 함께 환경보전대책을 마련하는데 그 목표를 두고 있다.

2. 연구수행 내용 및 방법

본 연구는 가축분뇨의 처리형태와 조사료의 생산형태별로 화학비료대비 조사료 생산을 위한 이용효율과 환경에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하였다. 특히 분뇨 중 양분의 이용에 의한 생산성은 이미 많은 연구가 수행되어져 왔다. 이러한 이유로 본 연구에서는 기후조건이 다른 우리나라에서의 분뇨성분이 어떠한 형태로 얼마나 유실되는가를 파악하여 가축분뇨가 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 방법을 모색하고자 수행하였다. 연구수행방법은 양분의 유실량을 파악하기 위하여 크게 두가지 형태로 조사하였다.

첫째는, 지하수와 함께 지하로 용탈되는 양분을 조사하기 위하여 lisimeter를 설치 조사하였고, 둘째는 빗물과 함께 지표로 유실되는 양을 측정하기 위하여 경사도별로 erosion장치를 설치하여 연구를 수행하였다.

본 연구에서 이용하는 가축분뇨는 우리나라 가축분뇨 처리 형태 중 절대 다수를 차지하며, 유럽에서도 약 90% 이상을 차지하는 액상분뇨와 퇴비를 도입하였고, 조사료의 생산형태 역시 우리나라 조사료의 생산 형태 중 가장 많이 이용되고 있는 형태인

- ① 영년채초지
- ② 중부이북지방에서 주로 이용되는 silage용 옥수수 단작
- ③ 남부지방에서 가장 많이 이용되고 연간 조사료 생산량이 가장 많은 작부형태인 호밀+silage용 옥수수를 본 실험에 도입하였다.

시험포의 설치는 가축분뇨의 시비형태와 조사료의 경작형태가 그 생산성과 양분의 용탈 및 유실에 의한 이동(환경)에 미치는 영향들을 조사하기 위하여 년차별로 다음과 같이 수행하였다.

가. 실험구의 설치 및 방법

< 1차년도 >

가축분뇨의 처리형태 및 시비수준이 silage용 옥수수의 생산성과 양분의 용탈에 관한 연구

① 시험포의 설치

사료작물 재배 및 양분용탈량 측정을 위한 lysimeter(지름 30cm, 깊이 1m)의 설치

② 시비형태

우분액비, 톱밥발효돈분, 화학비료표준량

③ 시비수준 (kg/ha)

시비수준은 N 기준이며, P_2O_5 , K_2O 는 모두 표준량으로 하였음

화학비료(N 기준) 100, 200, 400kgN/ha

톱밥발효돈분 200, 200+화학비료100, 400kgN/ha

우분액비 200, 200+화학비료100, 400kgN/ha

④ 초종 : Silage용 옥수수

⑤ 파종 및 수확시기 : 파종 (5월 초순), 수확 (8월 중순)

< 2차년도 >

액비 시용시 조사료의 작부체계와 경사도가 조사료생산과 양분의 유실에 관한 연구

① 시험포의 설치

경사도별 조사료의 생산성과 양분 유실량을 측정하기 위한 Erosion 장치를 설치 측정하였다. (길이 3m × 폭 30cm × 깊이 40cm)

② 작부형태

영년초지, 옥수수 단작, 옥수수 + 호밀 이모작

③ 경사도 : 0°(0%), 5°(8.75%), 10°(17.50%)

④ 시비수준

N 기준 kg/ha (액비사용수준은 요소 N대비 이용율을 50%로 예상 산출하였다.)

초지 : 액비 N 200kg + 요소 N 100 kg

호밀 : 액비 N 200kg + 요소 N 50 kg

옥수수 : 액비 N 200kg + 요소 N 100 kg

< 3차년도 >

경사지에서의 가축분뇨의 처리형태와 조사료의 생산형태가 양분의 이용 및 유실에 의한 환경에 미치는 영향

① 시험포의 설치

가축분뇨의 양분이동시스템을 조사하기 위하여 Erosion (길이 3m × 폭 30cm × 깊이 40cm)장치를 이용하여 연구를 수행한다.

② 경사도 : 0°(0%), 5°(8.75%), 10°(17.50%)

③ 가축분뇨의 종류

본 연구에 이용하는 가축분뇨는 6개월 이상 부숙된 우분액비와 퇴비를 사용하였으

며, 그 시용수준은 부속된 분뇨의 성분은 그 이용효율에 따라 시용수준을 결정하였다.

③ 작부체계 : siliage용 옥수수과 영년 초지

④ 시비수준

N 기준 kg/ha (액비사용수준은 요소 N대비 이용율을 50%로 예상 산출하였다.)

초지 : 액비 N 200kg + 요소 N 100 kg

옥수수 : 액비 N 200kg + 요소 N 100 kg

나 조사항목 및 방법

1) 생산성 조사

사료작물의 생산성 조사는 가축분뇨의 시용효과를 직접적으로 파악할 수 있는 가장 큰 요소이므로 사료작물을 재배, 관행에 의하여 적기에 파종, 수확, 생초량을 측정하고 그 중 일부를 채취하여, 80℃ 건조기에서 48시간 열풍건조 후 건물 생산량을 산출하였다.

2) 사료가치의 평가

사료가치는 사료작물의 생산성뿐만 아니라 양분의 이용효율을 동시에 파악할 수 있는 것으로, 채취된 시료에 대하여 CP, NDF, ADF 등을 분석하였다.

3) 용탈수의 측정 및 분석

가축분뇨 중에 함유된 비료성분이 사료작물생산에 이용되지 못하고 지하로 용탈될 시, 지하수를 오염시킬 수 있기 때문에 환경오염 방지대책을 세우기 위하여 지하 1m의 용탈수를 정기적으로 수거, 분석하였다.

4) 비료 성분의 양분 유실량 조사

우리나라에서는 지하로의 비료성분의 용탈뿐만 아니라 하절기에 강우가 집중되어 erosion에 의한 비료성분의 유실로 환경오염에 많은 부담을 주고 있기 때문에 강우시마다 유실수를 수거하여 측정하였다. 동시에 유실수 중 환경에 가장 영향을 미칠 수 있는 N 및 P의 유실량을 조사하기 위하여 강우시마다 그 유실수량을 조사, 분석하였다.

5) 토양 조사

경사도별 시비의 영향을 파악하기 위해 시험 전 및 시험 후의 토양성분을 분석하였다.

6) 용탈수 및 유실수중의 N과 P함량은 정확도를 유지하기 위하여 스웨덴 Foss Tecator사의 FIAstar 5000 Analyzer를 이용 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{PO}_4\text{-N}$ 를 분석하였다.

3.. 연구결과

가. 1차년도(2002-2003년도)

가축분뇨의 처리형태 및 시비수준이 silage용 옥수수의 생산과 양분의 용탈에 미치는 영향

1) 건물생산

가축분뇨의 종류와 화학비료의 시용수준별 lysimeter에서의 옥수수의 건물생산량은 표 1-1에서 보는 바와 같다. 모든 시비 수준에서 화학비료>액비>퇴비의 순으로 현저한 차이를 보였고, 시비수준 간에는 가축분뇨의 시용수준의 증가보다는 화학비료의 시용시 효과가 더 높았음을 나타내고 있다. 즉, 가축분뇨의 이용효율을 화학비료 대비 50%로 감안 시용했음에도 불구하고, 이 경우 화학비료의 이용효율이 가축분뇨보다 더 효과적이었음을 보여주고 있다. 이러한 현상은 액비보다도 퇴비시용 시 더 이용효율이 낮아, 화학비료구에서 N 시용수준이 100, 200, 400kg/ha로 증가함에 따라 건물수량도 거의 비례하여 90, 175 및 247kg으로 증가하였으나, 퇴비나 액비 시용구에서는 분뇨 N 400kg 시용구보다 오히려 분뇨 200kg+요소N 100kg 시용구가 현저하게 높은 건물수량을 나타내고 있다. 비료의 종류간에 있어서도 액비나 퇴비만의 400kg 시용은 요소 N 100kg 보다 낮아, 요소 N의 효과에 비하여 액비는 약 22%, 퇴비는 약 11%의 건물증수의 효과를 가져 왔을 뿐이었다. 그러나 액비 시용시 추가적인 요소 N의 시용은 그 효과를 현저히 증가시켜 주고 있다.

표 1-1. 가축분뇨의 종류와 사용수준에 따른 옥수수의 건물수량 (g/m²)

	N 사용수준 (1kg/ha)			평균
	100(200)	200(300)	400(400)	
화학비료	90	175	247	170
퇴 비	25	108	41	58
액 비	55	133	79	89
평 균	57	139	122	

()는 분뇨사용시 N수준

2) N 함량 및 생산량

옥수수의 N 함량은 표 1-2에서와 같이 건물수량에서와는 달리 액비>화학비료>퇴비의 순으로 화학비료보다 액비에서 약간 높게 나타났다. 이와 같이 액비 사용구에서 화학비료구보다 높은 N함량은 액비에 의한 총 시비량이 절대적으로 높았기 때문이었지만, 화학비료보다 높은 사용수준임에도 퇴비구에서의 낮은 N함량은 퇴비중의 큰 C/N비에 기인된 것으로 사료된다.

N사용수준별 N함량은 서로간에 많은 차이를 나타내었는데, 액비사용구에서는 사용수준의 증가와 비례하여 증가되었으나, 화학비료와 퇴비의 경우 200kgN/ha 이상에서는 오히려 그 함량이 감소되었다. 특히 퇴구비 사용구 분뇨N 200kg+요소N 100kg 구에서의 높은 N함량은 추가적인 요소N의 효과에 기인된 것으로 사료된다. 또한 건물수량과 N함량으로부터 산출된 옥수수에 의한 N 생산량은 예상된 바와 같이 화학비료>액비>퇴비의 순으로 퇴비의 N 이용효율이 매우 낮았음을 보여주고 있다. 또한 시비종류별 사용수준에 따른 N 생산량은 화학비료 사용구에서는 시비수준과 비례하여 N 생산량도 증가하였다. 그러나 퇴비나 액비 사용구에서는 분뇨N의 사용수준보다 추가적인 요소N의 사용이 많은 영향을 주어 분뇨N 400kg 보다는 분뇨N 200kg+요소N 100kg에서 오히려 더 높은 경향을 보여주고 있으며, 특히 액비 사용구보다 퇴비구에서 더 현저하게 감소되는 경향을 나타내었는데, 이러한 이유는 N함량에서와 마찬가지로 C/N비가 큰 퇴비에 대한 요소N의 C/N비 개선효과에 의한 것으로 생각된다.

표 1-2. 가축분뇨의 종류와 사용수준에 따른 N함량 (%/DM)

	사용 수준 (kg/ha)			평균
	100kg/ha(200)	200kg/ha(300)	400kg/ha(400)	
화학 비료	0.57	0.67	0.65	0.63
퇴 비	0.53	0.66	0.51	0.57
액 비	0.62	0.66	0.69	0.66
평 균	0.57	0.66	0.62	

()는 분뇨사용시 N수준

표 1-3. 가축분뇨의 종류와 사용수준에 따른 N생산량(g/m²)

	사용 수준 (kg/ha)			평균
	100kg/ha(200)	200kg/ha(300)	400kg/ha(400)	
화학 비료	0.51	1.17	1.62	1.10
퇴 비	0.13	0.75	0.20	0.36
액 비	0.36	0.89	0.59	0.61
평 균	0.33	0.94	0.80	0.69

()는 분뇨사용시 N수준

3) 양분의 용탈

옥수수 경작시 옥수수에 의해 이용되지 못하고 지하로 용탈되는 N과 P의 양을 측정하기 위하여 1m 깊이의 lysimeter를 설치하였다. 분뇨의 처리형태와 그 시비수준에 따른 용탈수 중의 NO₃-N, NH₄-N 및 PO₄-P의 농도는 강우시마다 측정하였으며, 실험 기간중의 평균 농도 결과는 표1-4와 그림 1-1~4와 같다. 먼저 NO₃-N 함량은 요소N, 퇴비, 액비의 순으로 높은 경향을 나타내었으나 그 수준이 겨우 1.19-1.15ppm으로 차이가 적고 그 함량도 매우 낮았으며, NH₄-N 역시 0.19-0.23ppm으로 낮아 시비종류나 수준간에 어떠한 의미나 경향을 보여주지 못하였다. 특히 NO₃-N 1.19ppm은 식수중의 NO₃-N 권질량 10ppm 보다도 현저히 낮은 수준이었다. 또한 PO₄-P 함량도 시비종류와 시비수준에 관계없이 0.02-0.05ppm 수준으로 매우 낮은 경향을 나타내고 있다.

또한 이용되지 못하고 지하로 용탈된 NO₃-N, PO₄-P의 함량을 lysimeter에서 주기

적으로 채취하여 측정한 결과는 그림 1-에서 보는 바와 같이 강수량이 낮은, 특히 9월 이후 동절기에는 용탈수가 적기 때문에 양분의 용탈이 거의 없다고 볼 수 있다. 용탈수 중의 NO₃-N 함량은 시비의 종류나 시비수준에 관계없이 서로 간에 거의 차이를 보여주지 못하였다. 단지 시기적으로 약간의 차이는 있으나 유의적인 차이를 보여주지는 못하였다.

표 1-4. 시비형태와 시용수준별 용탈수중의 N과 P의 함량

시비종류		시 비 수 준(kgN/ha)			평균
		100kg/ha(200)	200kg/ha(300)	400kg/ha(400)	
화학비료	NO ₃ -N	1.19	1.10	1.28	1.19
	NH ₄ -N	0.15	0.17	0.25	0.19
	PO ₄ -P	0.02	0.03	0.04	0.03
퇴 비	NO ₃ -N	1.13	1.20	1.19	1.17
	NH ₄ -N	0.20	0.23	0.25	0.23
	PO ₄ -P	0.02	0.03	0.05	0.03
액 비	NO ₃ -N	1.08	1.11	1.25	1.15
	NH ₄ -N	0.11	0.24	0.28	0.21
	PO ₄ -P	0.02	0.02	0.03	0.02

()는 분뇨시용시 N수준

인의 용탈량은 가장 높을 때는 105ppb에 불과하였고, 시비의 형태 간에는 역시 큰 차이를 보여주지 못하였으며, 화학비료 200kg/N 수준이나 퇴비 200kg/N + 화학비료 100kg/N 수준에서 시시적으로 약간 높은 경향을 보였지만 특별한 의의를 나타내지 못하였다.

요소와 퇴비 및 액비를 N 수준별로 수질오염에 미치는 영향을 파악하기 위하여 강우 시마다 용탈수를 채취 용탈수중의 NO₃-N함량을 측정한 결과는 그림 1-1과 같다. NO₃-N 함량은 전 기간을 통하여 어떠한 조건에서도 결코 4ppm을 넘지 않아 매우 낮아 환경에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

시비의 종류나 N시비 수준에 따른 영향은 서로 간에 유의적인 차이를 나타내지 않고 거의 비슷하였으며 단지 시기적으로 강우량이 많이 시기에 용탈수와 함께 NO₃-N도 용탈되는 경향을 보여주고 있어 강수량이 낮은 계절에는 NO₃-N의 용탈도 매우 낮은 것으로 나

타났다.

용탈수 중의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량은 전체적으로 요소나 퇴비 또는 액비 모두에서 N 시용수준과 비례하여 높은 N 시용수준에서 용탈량이 많았고, 낮은 N 시용수준에서 역시 낮은 함량을 나타내었다. 비료의 종류간에는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 용탈량에서 거의 차이를 나타내지 않았고 그 용탈량도 결코 1ppm을 초과하지 않아 용탈농도의 높고 낮은 것에서 어떠한 의의를 찾을 수는 없었다. 그러나 용탈수중의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도는 강우량과 밀접한 관계를 나타낸 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과는 달리 년중 일정한 용탈농도를 나타내었다.

또한 P의 용탈량을 측정하기 위하여 용탈수중의 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 농도를 측정한 결과는 시비의 종류나 시비수준은 물론 계절이나 강수량에 관계없이 서로간에 유의적인 차이를 보이지 않았고 그 용탈량도 현저히 적었다. 이러한 이유는 P은 일반적으로 토양에 강하게 흡착되어 식물에 서서히 지속적으로 이용되기 때문에 그 용탈량이 현저히 낮은 것으로 사료된다.

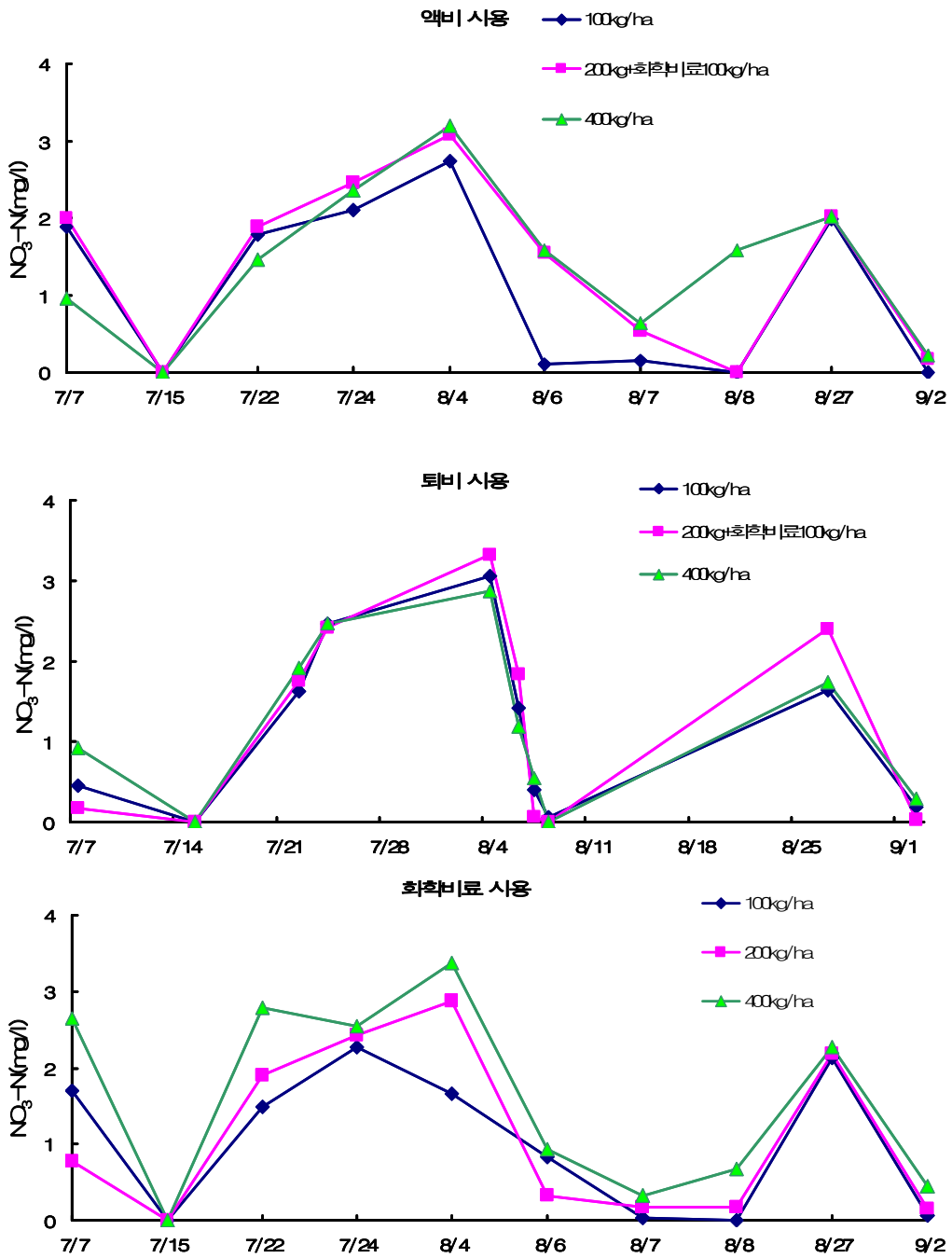


그림 1-1. 시비종류별 용탈수 중 년중 NO₃-N함량의 변화

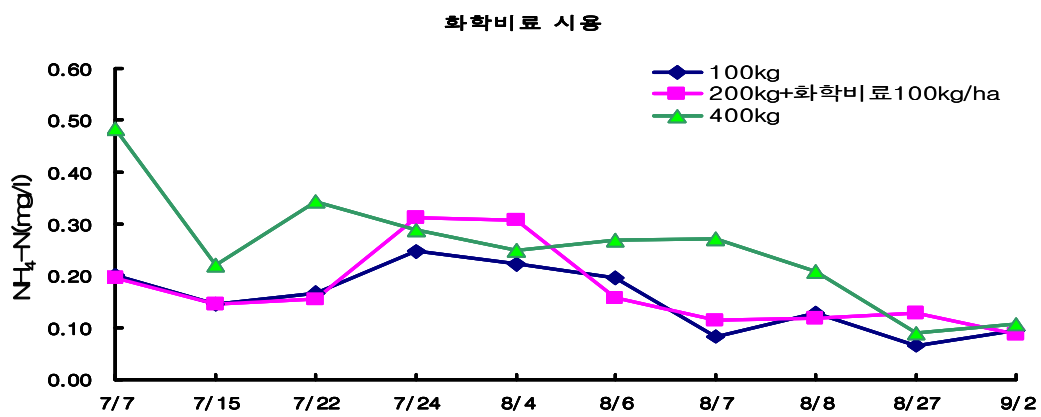
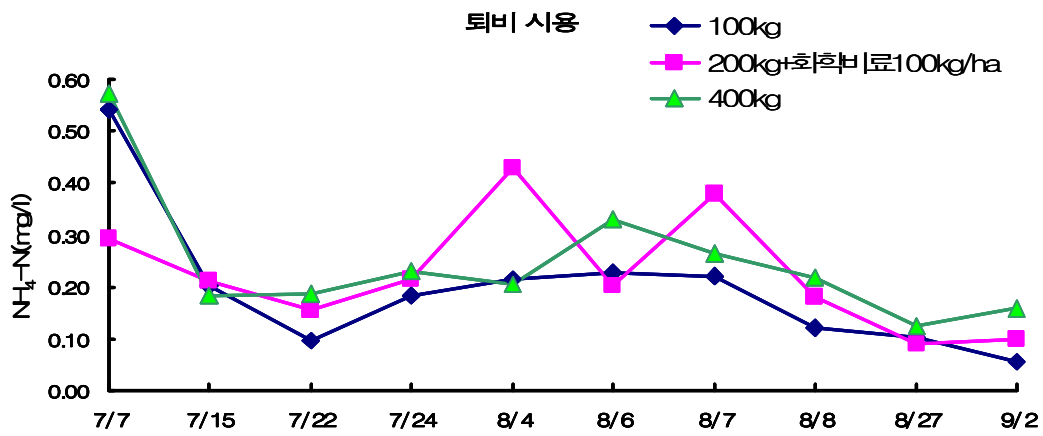
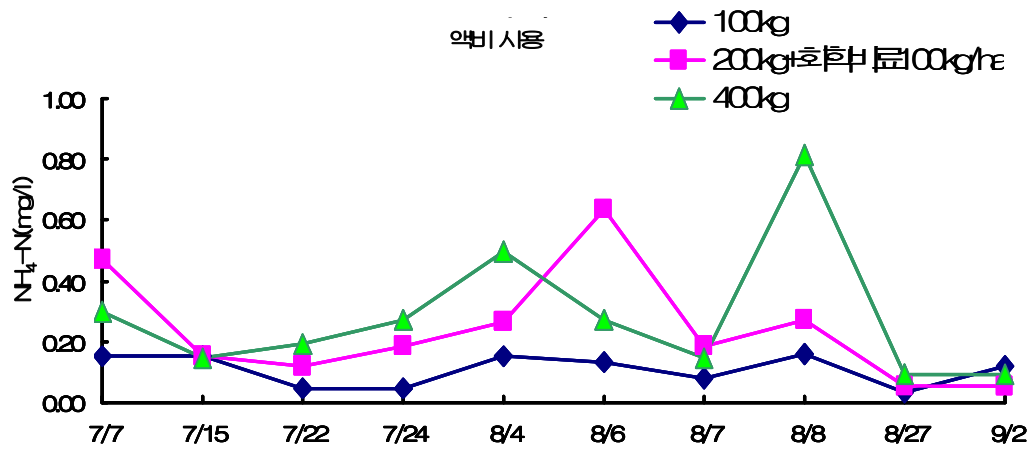


그림 1-2. 시비종류별 용탈수 중 년중 PO₄-N함량의 변화

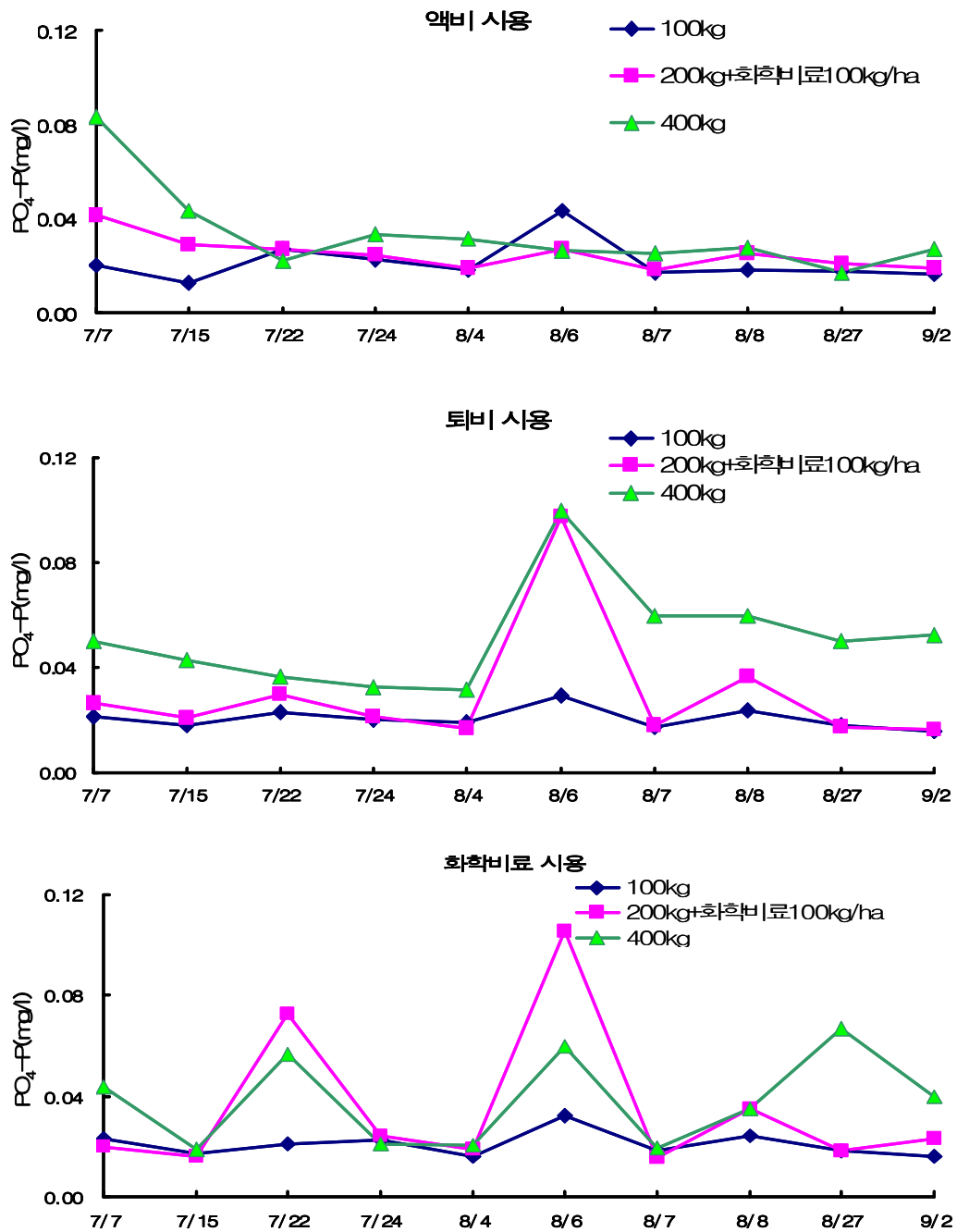


그림 1-3. 시비종류별 용탈수 중 년중 NH₄-N함량의 변화

4) 차년도 결과 요약>

가축분뇨의 처리형태별 이용 효과와 환경에 미치는 영향을 조사하기 위하여 화학비료와 퇴비 및 액비의 사용수준을 달리하여 silage용 옥수수의 생산성과 N 과 P의 용탈량을 조사하였는데 결과는 다음과 같다.

- 분뇨의 처리형태와 화학비료의 건물생산과 N생산량에 미치는 영향은 화학비료 > 액비 > 퇴비 순이었다.

- N의 사용수준별 사용효과는 화학비료 400kg/ha 수준까지 건물수량과 N생산량을 지속적으로 증가시켰으나 분뇨사용시에는 분뇨N 400kg/ha 보다는 분뇨N 200kg에 요소N 100kg 사용시 훨씬 더 높았다.

- Lysimeter에서의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 용탈량은 시비의 종류나 N수준간에 거의 차이를 보이지 않았고 그 함량도 결코 4ppm을 초과하지 않았다.

- $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 용탈량도 시비의 종류나 수준은 물론 계절이나 강수량에 관계없이 서로간에 유의적인 차이도 없었고 그 용탈량도 현저히 적었다.

나. 2차년도(2003-2004년도)

액비사용시 조사료의 작부체제와 경사도가 사료 생산과 양분의 유실에 관한 연구

1) 건물 수량

사용된 액비가 강우시 빗물과 함께 유실 환경에 어느 정도 영향을 미칠 수 있는가를 조사하기 위하여 조사료의 생산형태별로 경사도를 달리했을 때, 먼저 액비의 조사료 생산에 미치는 영향은 표 1-5에 나타난 바와 같다.

조사료의 생산형태별 건물 생산량은 나타내어 결국 옥수수+호밀 이모작, 옥수수 단작 및 초지의 순으로, 옥수수가 초지에 비하여 현저하게 높은 수량을 나타냈다. 또한 경사도별 건물수량은 경사도의 증가와 비례하여 감소하는 경향을 보여주었지만 작물별 경향은 초지에서는 경사와 비례하여 감소하였다. 즉 옥수수의 경우 0°에서는 경사도 10°보다는 높은 수량을 나타내었으나 5°보다는 오히려 낮았고, 옥수수+호밀 이모작의 경우에서도 0°에서 5°보다 약간 높거나 거의 비슷한 수준을 보여주었다. 이와 같은 경향은 옥수수가 배수에 매우 예민하여 평지에서는 침수시 그 성장에 많은 영향을 미쳤기 때문으로 사료된다.

표 1-5. 액비 사용시 조사료의 생산형태와 경사도별 건물생산량(g/m²)

	초지	옥수수+호밀	옥수수	평균
0°	695	2119	1623	1479
5°	582	2063	1695	1447
10°	513	1845	1497	1285
평균	597	2009	1605	1404

2) N함량 및 N생산량

조사료의 생산형태와 경사도별, 조사료별 평균적인 N 함량은 예상대로 목초에서 1.82%로 가장 높았고, 그 다음으로 호밀, 옥수수 순이었다. 결과적으로 옥수수 단작에서의 0.69%보다 옥수수-호밀의 평균값이 0.80%로 약간 높았다.

또한 경사도별 조사료 중의 N함량은 일정한 경향을 나타내지 않았다. 목초의 경우 평지보다는 경사지에서 높은 경향을 보여주었지만 옥수수 단작의 경우 침수로 인한 수량의 감소에도 불구하고, 오히려 높은 N함량 경향을 보여주었으며, 옥수수-호밀 이모작 시에는 일정한 경향을 나타내지 않았다.

표 1-6. 액비사용시 조사료의 생산형태와 경사도별 조사료 중의 N 함량(%)

	초지	옥수수+호밀	옥수수
0°	1.72	0.79	0.76
5°	1.88	0.77	0.65
10°	1.87	0.84	0.66
평균	1.82	0.80	0.69

건물수량과 N함량으로부터 산출된 조사료에 의한 N생산량은 옥수수-호밀 이모작의 경우 가장 높았고 다음으로 옥수수 단작, 초지의 순이었다. 초지에 의한 N생산량이 옥수수보다 적은 원인은 조성 1년차 초지에 의한 건물수량이 낮았기 때문이다.

경사도별 N생산량은 전체적으로 경사도의 증가와 비례하여 확실히 감소하는 경향을 보였다. 그러나 옥수수-호밀 이모작의 경우 그 경향이 일정하지 않은 것은 하절기에 장우에 의한 양분의 유실에 영향을 받는 옥수수는 경사도가 양분의 공급에 영향을 미칠 수 있지만, 강수량이 적은 동절기와 봄에 자라는 호밀은 경사도의 영향을 받지 않기 때문에 그 합계 생산량의 결과가 일정하지 않기 때문이다.

표 1-7. 액비사용시 조사료의 생산형태와 경사도별 N생산량(g/m²)

	초지	옥수수+호밀	옥수수	평균
0°	11.84	16.52	12.38	13.58
5°	10.67	15.66	10.97	12.43
10°	9.33	15.83	9.73	11.63
평균	10.61	16.00	11.03	12.55

3) 양분의 유실

경사지가 많은 우리나라의 기후조건하에서 조사료의 생산형태별로 경사도별로 우분 액비 사용시 강우와 함께 유실되는 N과P의 연중 유실량의 분포는 그림1-4~12에 나타난 바와 같다. 먼저 액비사용시 조사료의 경작형태별 연중 NO₃-N 유실량은 초지에서 가장 낮았고 호밀+옥수수 이모작은 옥수수 단작에 비하여 연간 총 시비량 면에서 2배정도로 높은 시비량에도 불구하고 더 낮은 NO₃-N 유실을 나타내고 있다. 이와 같이 초지나 이모작에서의 더 높은 시비량에도 불구하고 더 낮은 유실량을 나타냄으로 지속

적인 재배에 의한 피복효과에 기인 된 것으로 생각된다.

경사도별 평균 $\text{NO}_3\text{-N}$ 유실량은 년중 거의 모든 시기에 걸쳐 경사도와 비례하여 0° 에서 가장 낮은 유실량을, 10° 에서 가장 높은 유실량을 나타내었다. 또한 경작형태별로 경사도별 $\text{NO}_3\text{-N}$ 유실량의 년중변화를 보면 초지는 물론이고 옥수수-호밀 이모작 및 옥수수단작의 경우 모두 경사도와 비례하여 유실량을 나타내고 있다.

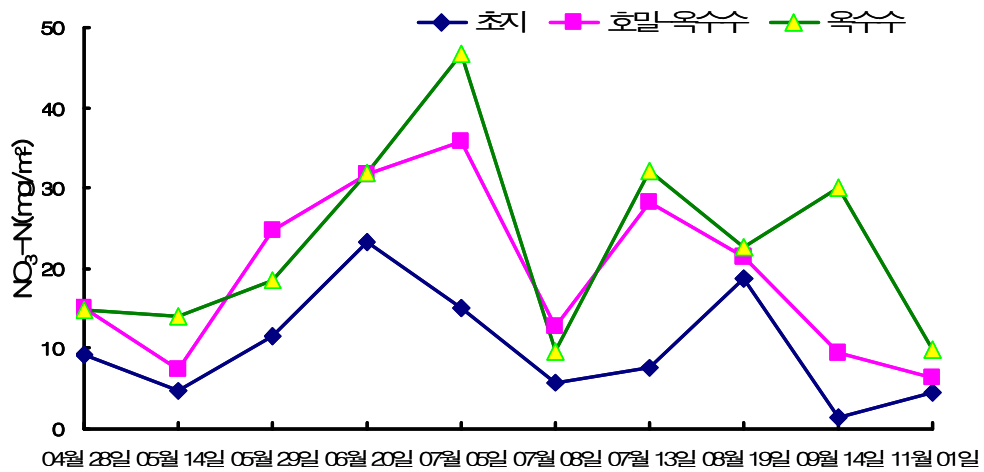


그림 1-4. 경작형태별 $\text{NO}_3\text{-N}$ 유실량의 변화

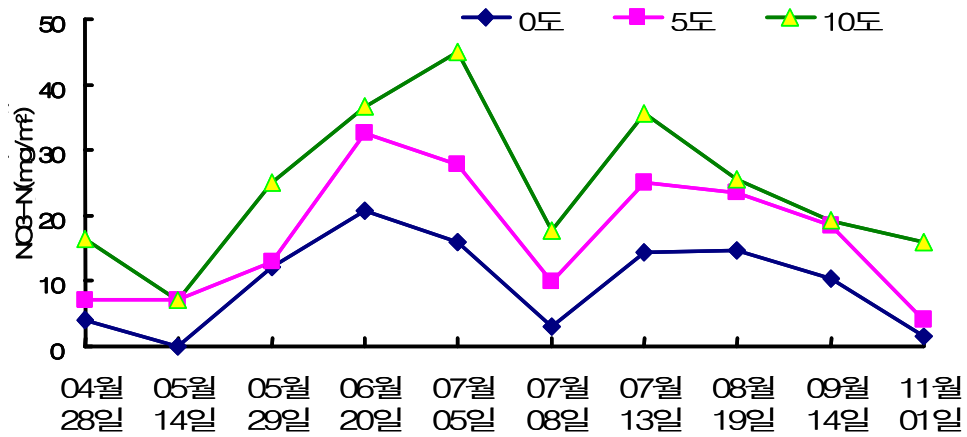


그림 1-5 경사도별 $\text{NO}_3\text{-N}$ 유실량의 변화

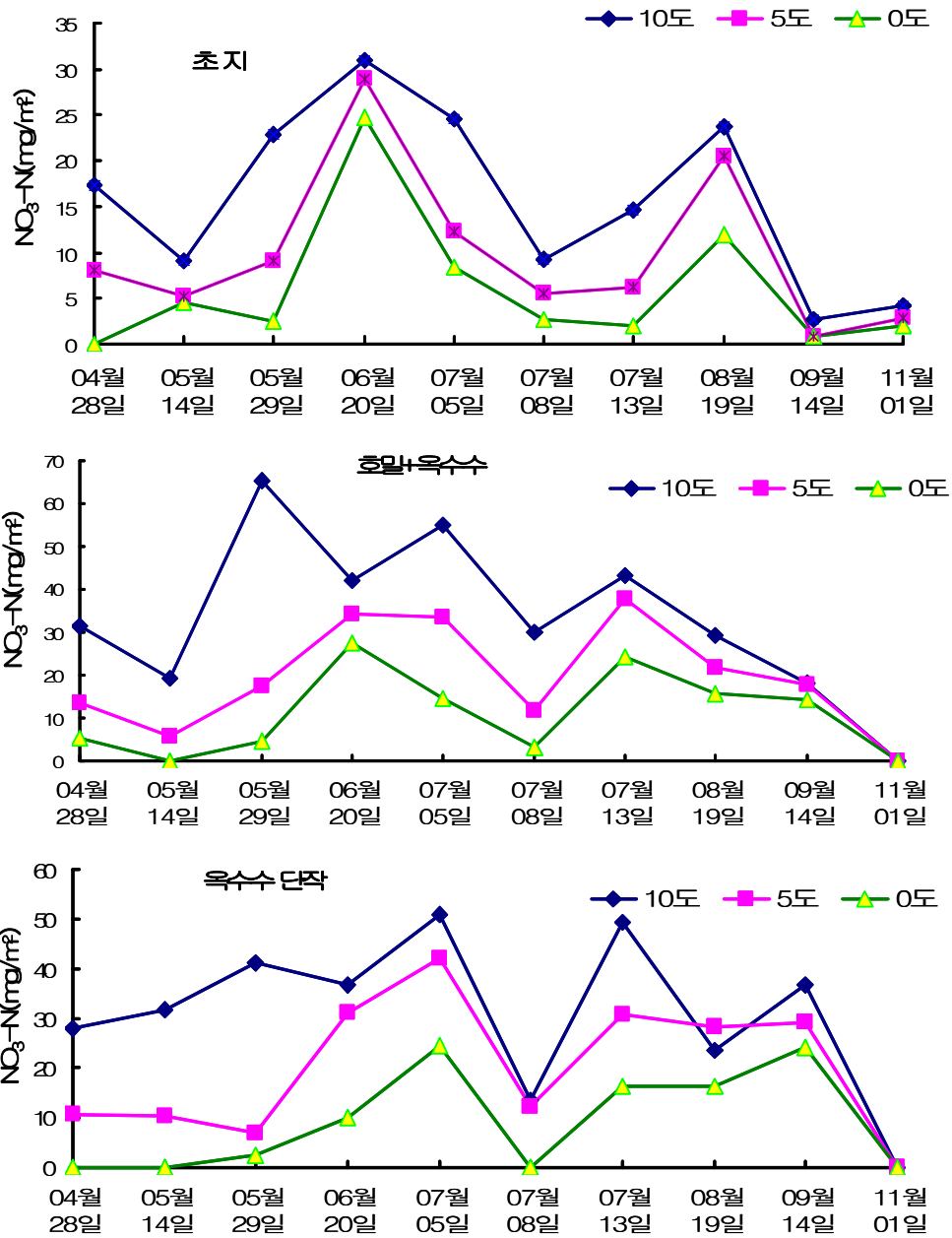


그림 1-6. 경작형태별 경사도별 NO₃-N 유실량의 변화

$\text{NH}_4\text{-N}$ 의 유실량의 년중변화는 봄 이후 지속적으로 증가한 후 7월8일 일시적으로
 은 경우를 제외하고는 작물의 생육시기에는 거의 일정 수준을 유지하고 있다. 그리고
 경작형태별 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 유실량은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 마찬가지로 초지에서 가장 낮았고 호밀 옥
 수수 이모작과 옥수수 단작의 경우에는 서로간에 거의 차이를 보이지 않았다. 또한
 경사도별 유실량은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 마찬가지로 경사도와 비례하여 10°에서 가장 많았고 0°
 에서 가장 낮았다. 경작형태별 경사도별 유실량의 변화는 일시적으로 변화를 보였지
 만 전체적인 경향은 초지, 이모작 및 옥수수단작 모든 경우에서 경사도와 비례하여
 그 유실량을 나타내고 있다.

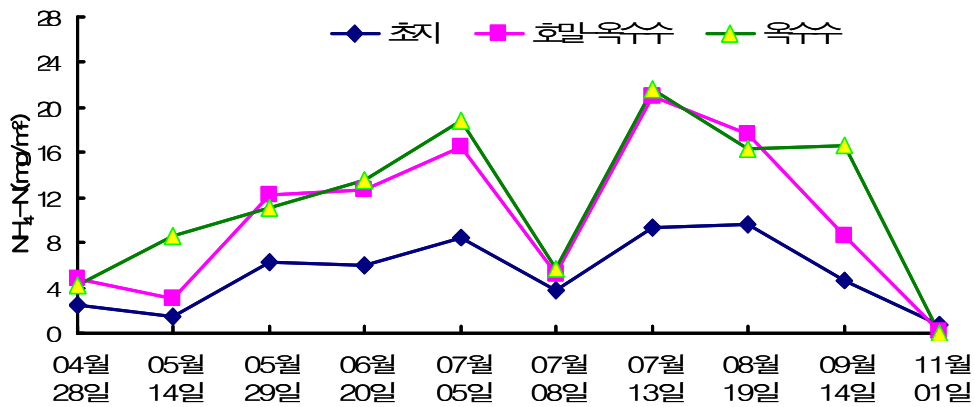


그림1-7 경작형태별 $\text{NH}_4\text{-N}$ 유실량의 변화

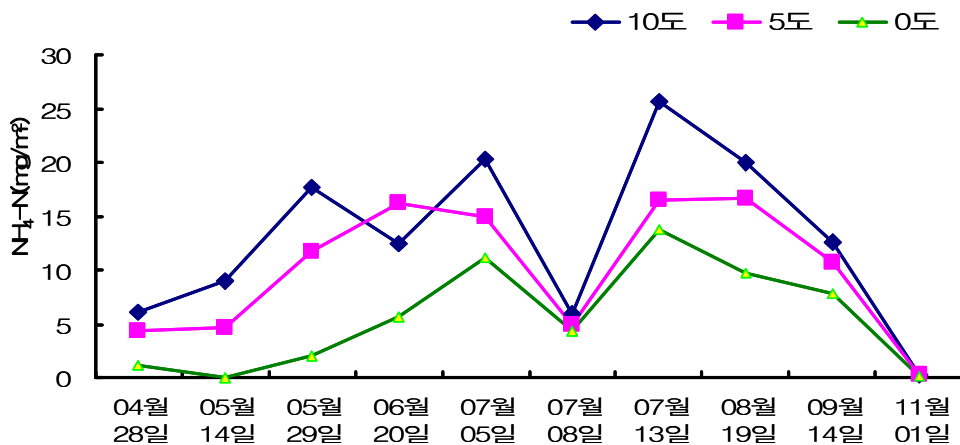


그림 1-8. 경사도별 $\text{NH}_4\text{-N}$ 유실량의 변화

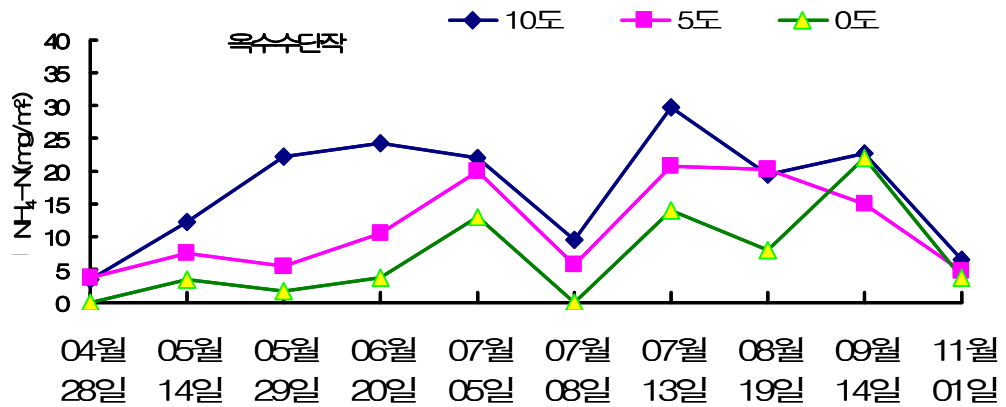
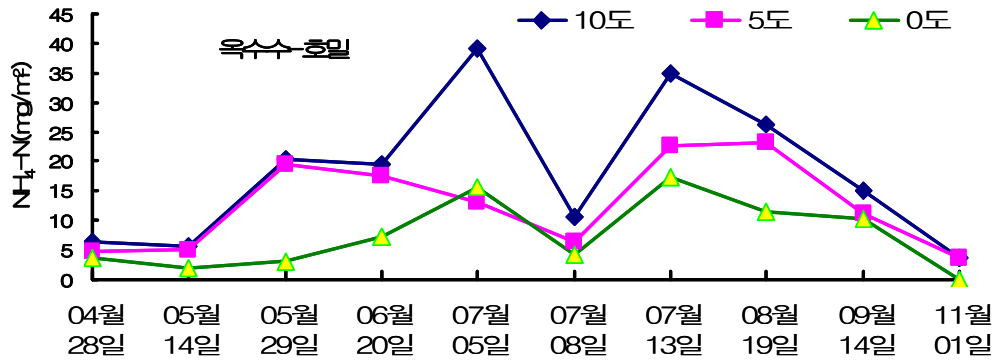
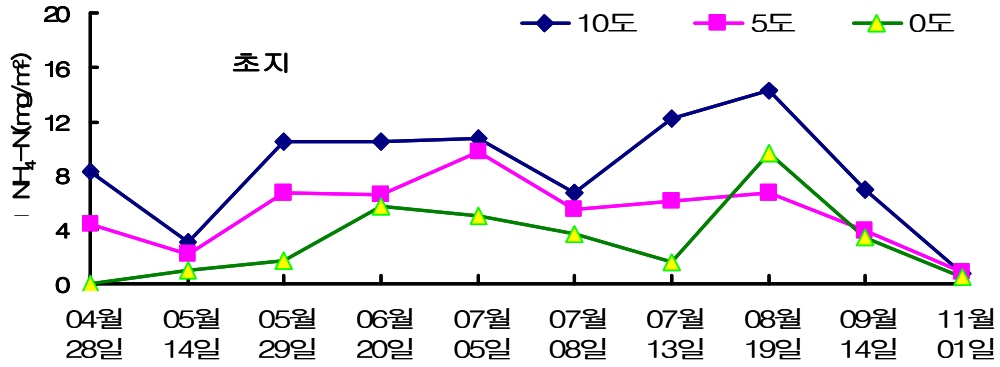


그림 1-9. 경작형태별 NH₄-N 유살량 변화

P의 유실량을 파악하기 위한 PO_4 -P의 년중 유실량의 변화를 보면 작물의 생육기 보다는 강수량이 많은 장마기나 태풍등으로 인한 강수량이 많은 시기에 PO_4 -P의 유실량도 많았던 것으로 나타나고 있다. 먼저 경작형태별 그 유실량은 PO_4 -P역시 초지에서 현저하게 낮은 유실량을 나타내었고 옥수수 단작간에서 옥수수 단작시 약간 높은 경향이었지만 시기적으로는 이모작의 경우가 더 높은 경우도 있어 결론적으로 서로간에 큰 차이를 보여주지는 못하였다. 경사도별 유실량의 변화는 경사도와 비례하여 그 유실량도 확실한 차이를 보여주었으며 특히 0°에서는 아주 낮은 유실량을 나타내었는데 이와 같이 초지나 경사도가 낮은 경우 N보다는 P의 유실량이 매우 낮은 이유는 P는 용탈보다는 강우시 토양과 함께 유실에 의한 영향을 많이 받기 때문으로 사료된다.

또한 경작형태별로 경사도에 따른 P의 유실량을 보면 시기적으로 변화는 있지만 모든 경작조건에서 경사도와 비례하여 0°에서 가장 유실량이 적었고 10°에서 가장 높은 유실량을 나타내었다.

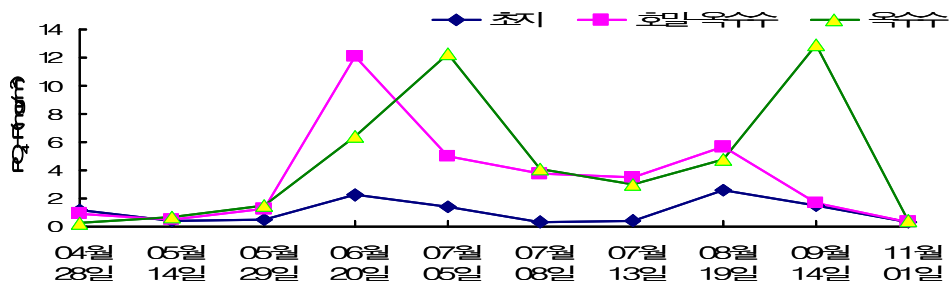


그림 1-10. 경작형태별 PO_4 -P 유실량의 변화

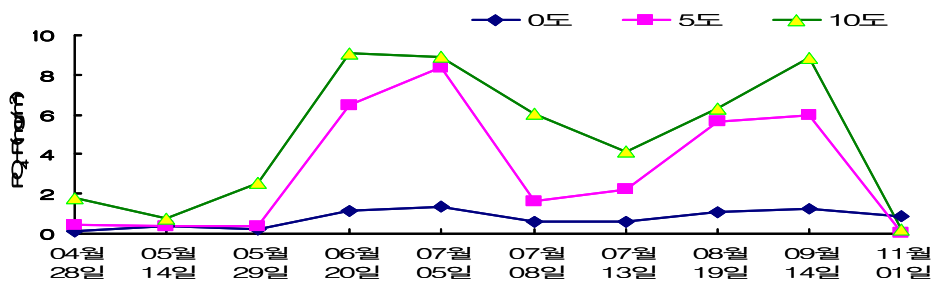


그림 1-11. 경사도별 PO_4 -P 유실량의 변화

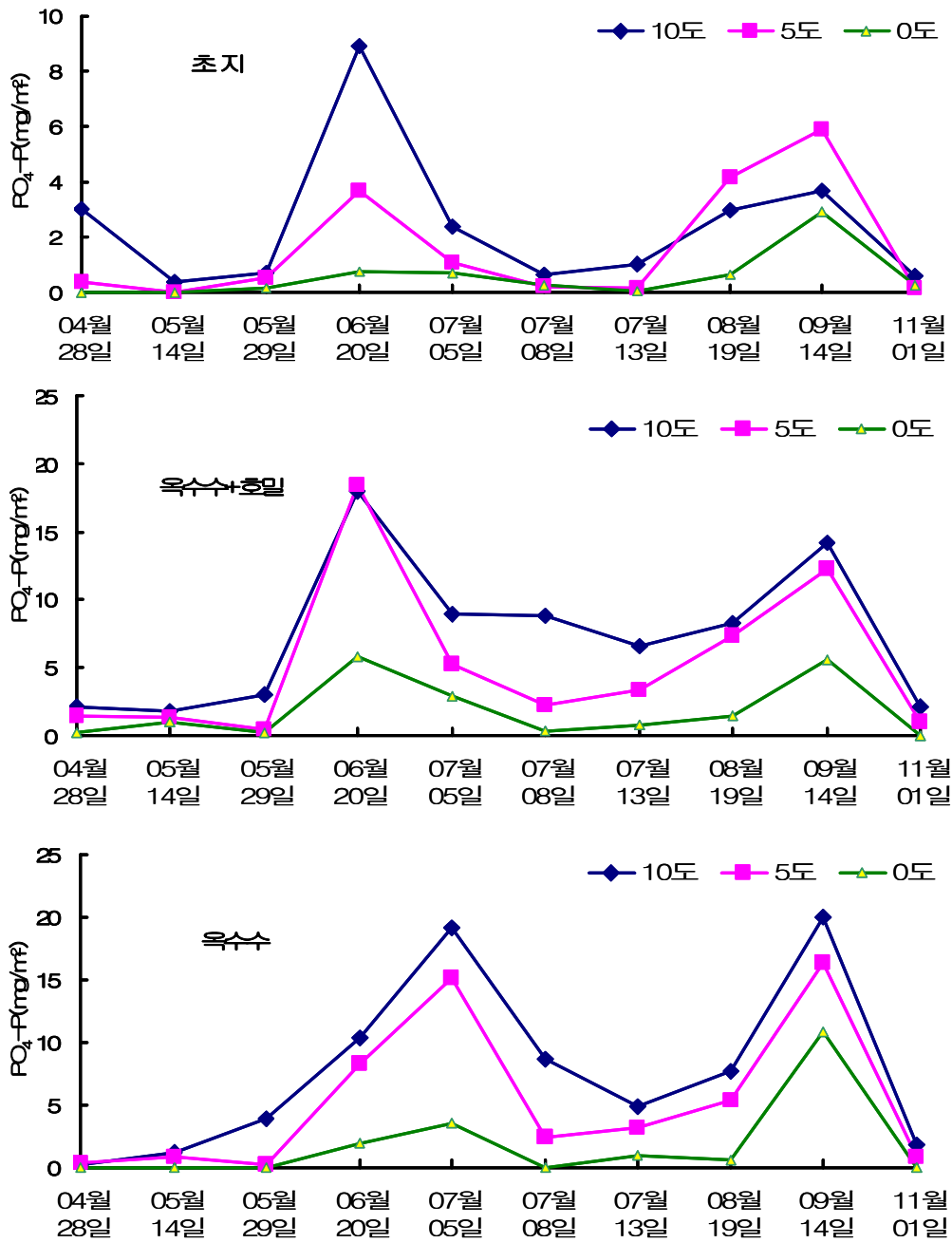


그림 1-12. 경작형태별 PO₄-P 유실량의 변화

4) 요약

가축분뇨 시용시 양분의 erosion에 의해 환경에 얼마나 영향을 미치는가를 파악하기 위하여 조사료의 생산형태와 경사도를 달리 했을때 조사료의 생산성과 양분의 이용 및 유실량을 측정 조사한 결과 다음과 같다.

- 조사료의 건물생산은 경사도의 증가와 비례하여 감소하였다.
- 조사료의 생산형태별 년중 총 건물생산은 옥수수+호밀 이모작 > 옥수수단작 > 초지의 순이었다.
- 조사료중 N함량은 경사도와는 유의적인 관련이 없고 목초, 호밀, 옥수수의 순으로 높았다.
- 조사료에 의한 N생산량은 옥수수+호밀 이모작시 가장 높았고 경사도의 증가와 비례하여 감소되었다.
- N과 P의 유실량은 초지에서 가장 적었고 옥수수+호밀 이모작이 2회 경작임에도 불구하고 옥수수 단작 보다는 약간 적었으며 경사도의 증가와 비례하여 유실량도 증가 하였다.

다. 3차년도(2004-2005년도)

경사지에서의 가축분뇨의 처리형태와 조사료의 생산형태가 양분의 이용 및 유실에 의한 환경에 미치는 영향

1) 건물 수량

호밀-옥수수의 이모작인 사료작물 경작지와 초지에 대하여 우분액비와 돈분퇴비를

사용했을 때 경사도별 건물수량은 표 1-8과 같다. 먼저 작물별 건물생산량은 옥수수, 초지 및 호밀의 순이었고 연간 총생산량은 호밀+옥수수 이모작이 액비의 경우 1942g/m², 퇴비의 경우 1520g/m²로 각각 1043 및 773g/m²인 초지에 비하여 약 2배정도 많았다. 그러나 초지가 조성 1년차인 것을 감안한다면 별로 낮은 수량은 아니었다고 생각된다.

액비와 퇴비간의 건물수량은 액비사용 시 사료작물의 경우 연간 평균 422g/m², 초지의 경우 270g/m²로 액비의 비료효과가 퇴비에 비하여 약25%정도 더 높은 것으로 나타났다. 또한 경사도별 건물수량은 전체적으로 경사도의 증가와 비례하여 감소하는 경향을 보여 초지의 경우 액비사용시 0°에서 10°로 경사도가 증가 했을때 1119g에서 973g으로 퇴비사용 시에는 862g에서 689g 으로 감소하였다. 그러나 사료작물의 경우 옥수수 경작시 작물과 경사도에 따라서는 부분적으로 차이는 있었으나 호밀에서 모든 경우를 포함 전반적으로 경사도의 증가와 비례하여 건물수량이 소하는 경향을 나타내었다.

표 1-8. 가축분뇨의 종류별 경사지에서의 조사료의 건물수량(g/m²)

시비 종류	경사도	호밀	옥수수	호밀-옥수수	초지
액 비	0°	737	1658	2395	1119
	5°	666	1026	1692	1037
	10°	617	1122	1739	937
	평균	673	1268	1942	1043
퇴 비	0°	541	1250	1790	862
	5°	448	1055	1503	767
	10°	354	914	1268	689
	평균	447	1073	1520	773

2) N함량 및 N생산량

우분액비와 돈분퇴비간 이용효과를 파악하기 위해 행한 경사지에서의 사료작물과 목초 의 N함량은 표 1-9에서 보는 바와 같이 호밀과 옥수수는 물론 목초에서 평균적으로 우분액비를 사용했을 때가 돈분퇴비를 사용했을 때보다 더 높았으며, 특히 목초에서는 사료작물에 비해 훨씬 더 높은 함량을 나타내었다. 작물별 이용효과는 예취시기에 따라 차이는 있을 수 있지만, 호밀에서 평균 1.42-1.45%로 가장 좋았고 옥수수

에서 1.00-1.03%로 가장 낮았다.

분뇨의 종류별 경사도별 N 함량은 일반적으로 호밀과 목초에서는 우분액비나 돈분 퇴비 모든 경우에서 경사도의 증가와 비례하여 약간 증가하는 경향을 보여주었지만, 옥수수 경우 오히려 감소하거나(우분액비) 영향을 미치지 않았는데 이것은 작물의 피복도와 밀접한 관련이 있을 것으로 사료된다. 또한, 건물수량과 N함량으로부터 산출된 N생산량은 표 1-10에서 보는 바와 같다. 먼저 우분액비와 돈분퇴비간 평균적인 N생산량은 우분액비 사용시 호밀의 경우 6.28g에서 9.30g으로 약 48%, 옥수수는 약 20%, 그리고 목초의 경우 10.04g에서 15.55g으로 약 55%의 N생산의 증가를 나타내고 있는데, 이와 같이 같은 N사용수준에도 불구하고 돈분퇴비에 비해 우분액비에서 N이용효율이 높은 이유는 C/N비가 작기 때문인 것으로 보이며, 또한 옥수수의 상대적으로 낮은 피복도와도 관련이 있을 것으로 보이며, 또한 옥수수에서 상대적으로 낮은 효과 피복도와 관련이 있을 것으로 사료된다.

가축분뇨별, 작물의 종류별 경사도에 따른 N생산량은 거의 모든 경우 경사도의 증가시 N생산량의 감소를 나타내었으며, 부분적으로 낮은 경사도에서의 낮은 생산량은 침수에 의한 생산량의 감소 때문인 것으로 여겨진다.

표 1-9. 가축분뇨의 종류별 경사지에서의 조사료의 N함량(%/DM)

시비 종류	경사도	호밀	옥수수	목초
액 비	0°	1.29	1.05	1.33
	5°	1.52	1.02	1.39
	10°	1.54	1.00	1.39
	평균	1.45	1.03	1.37
퇴 비	0°	1.24	0.99	1.12
	5°	1.48	0.95	1.20
	10°	1.54	1.08	1.28
	평균	1.42	1.00	1.20

표 1-10. 가축분뇨의 종류별 경사지에서의 조사료 생산형태별 N생산량(g/m²)

시비 종류	경사도	호밀	옥수수	호밀-옥수수	초지
액 비	0°	9.54	17.38	26.92	16.10
	5°	10.14	10.58	20.73	15.57
	10°	8.21	11.45	19.66	14.98
	평균	9.30	13.14	22.44	15.55
퇴 비	0°	6.75	12.60	19.35	10.24
	5°	6.70	10.02	16.72	10.16
	10°	5.37	10.03	15.40	9.71
	평균	6.28	10.88	17.16	10.04

3) 양분 유실

본 실험에서 주어진 조건 즉 사료작물과 초지, 경사도 및 분뇨의 처리형태에 따른 NO₃-N, NH₄-N 및 PO₄-P의 년중 유실량의 변화를 각 조건별로 분류하여 그림 1-13 ~24까지에 나타내었다. 먼저 수질 환경에 가장 큰 영향을 미치는 NO₃-N의 유실량을 보면, 봄부터 7월까지는 지속적으로 증가되었고 8월에 감소된 후 다시 8월 중순부터 증가하는 경향을 보여 주고 있다.

경사도별 조사료 생산형태별 NO₃-N유실량의 연중변화는 그림 5-1에서 보는 바와 같이 경사도와 관계없이 초지에서의 유실량이 사료작물 재배시 보다 확실히 낮은 경향을 나타내었고, 경사도별 유실량은 재배작물과 관계없이 경사도가 높을수록 더 많은 NO₃-N의 유실량을 가져왔다.

또한 가축분뇨의 처리 형태에 따른 경사도별 NO₃-N유실량의 년중 변화는 그림5-3에서와 같이 액비시용시 경사도의 증가에 비례하여 NO₃-N유실량이 많아졌으나, 퇴비의 경우에는 그 영향을 거의 받지 않았는데, 이러한 이유는 분뇨의 종류에 따라 무기태 N의 함량이나 C/N비에 따른 영향을 받았기 때문으로 사료된다. 경작조건별 가축분뇨 처리형태 간의 NO₃-N유실량은 초지나 사료작물의 경우 모두 액비시용시 더 많이 나타났다.

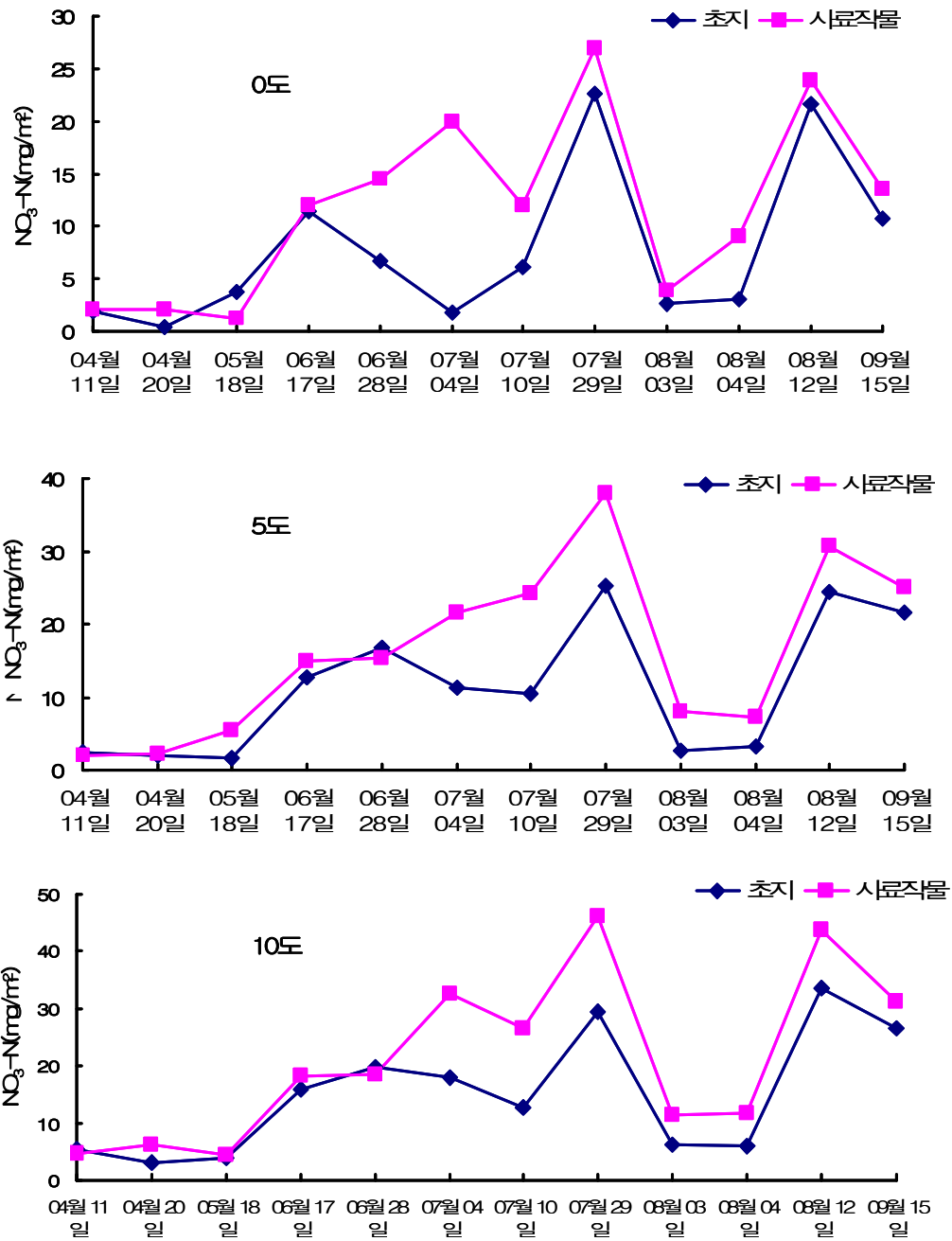


그림 1-13. 경사도별 경작조건별 NO₃-N유실량의 년중변화

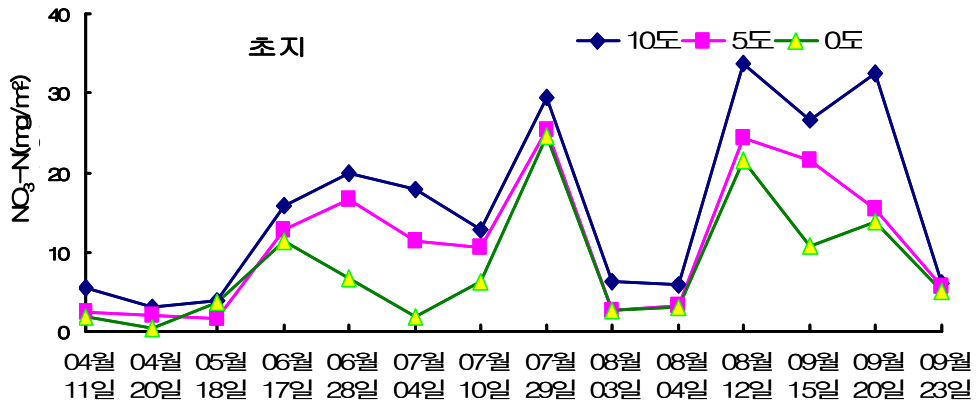
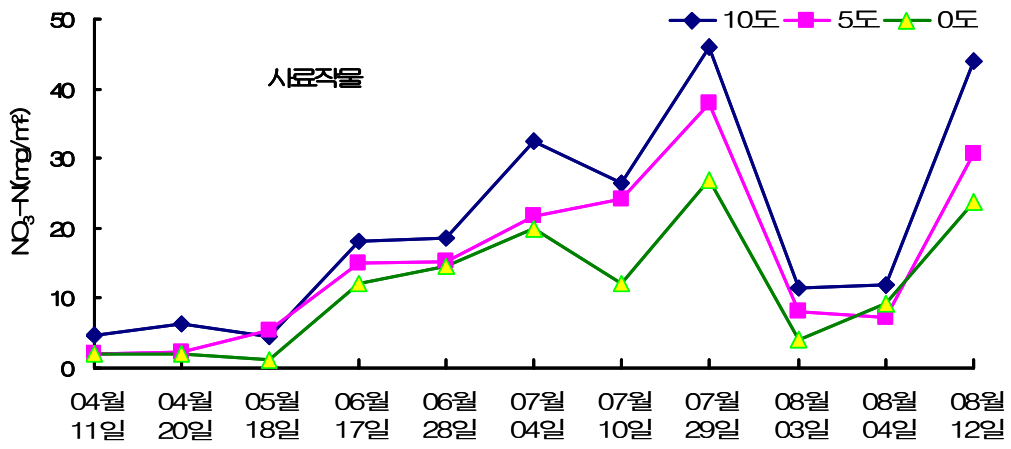


그림 1-14. 경작조건별, 경사도별 NO₃-N 유실량의 년중변화

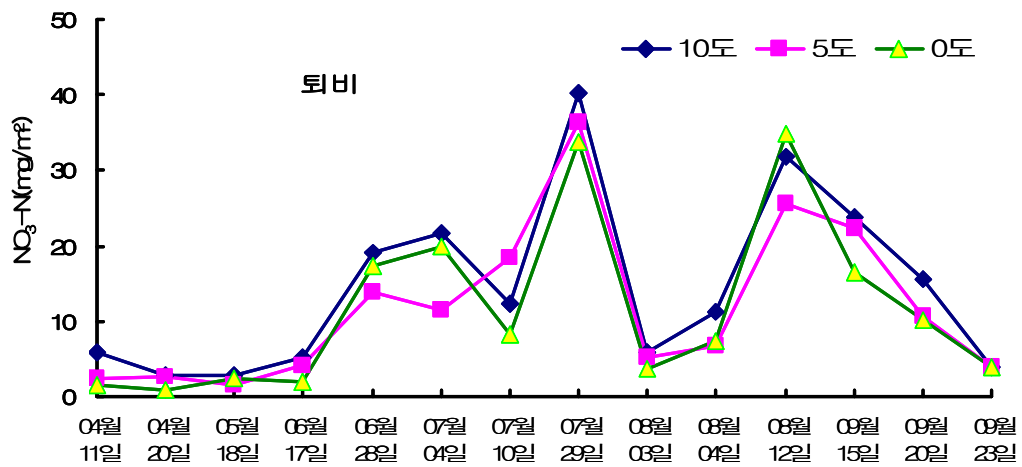
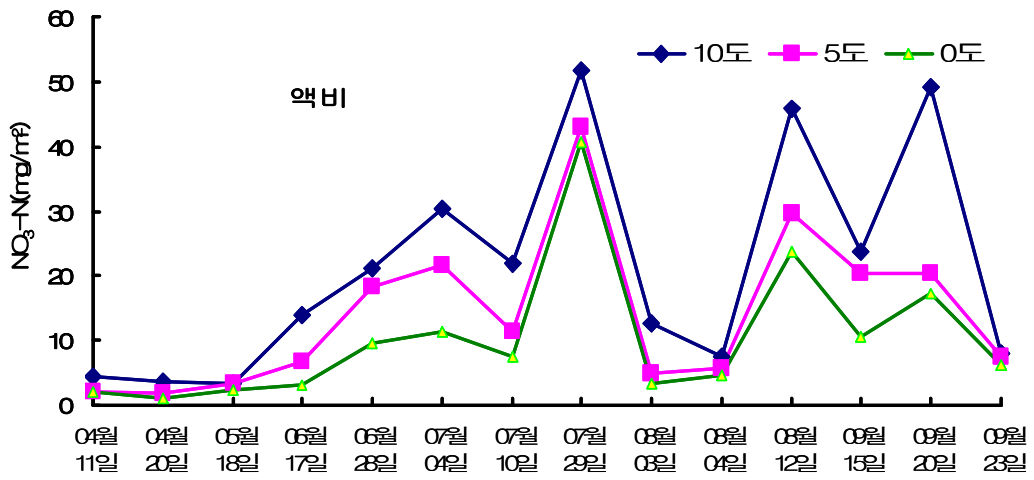


그림 1-15. 분뇨의 종류별 경사지에서의 NO₃-N 유실량의 변화

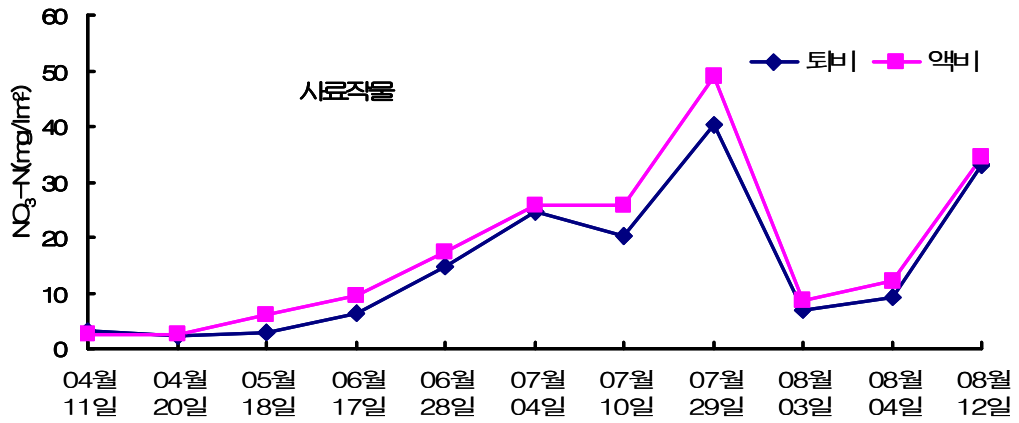
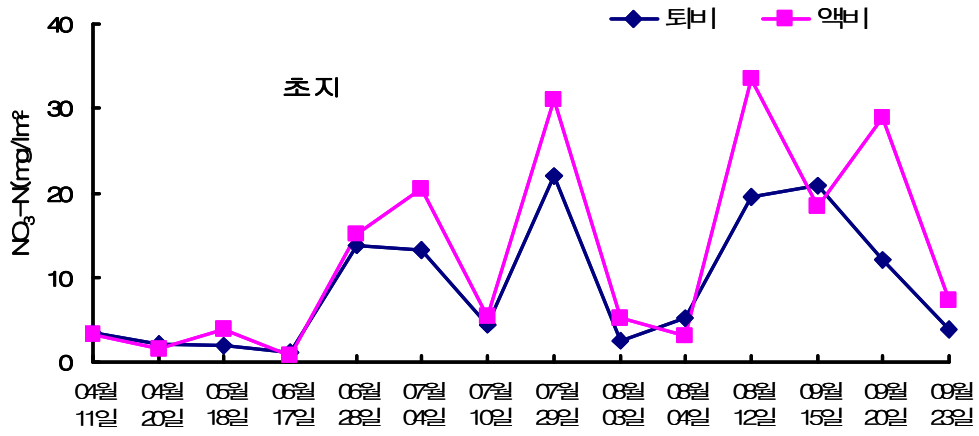


그림 1-16. 경작조건별 가축분뇨 종류별 NO₃-N 유실량의 변화

$\text{NH}_4\text{-N}$ 의 유실량의 변화는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 와는 달리 기온이 상승하는 6월 28일부터 일정하게 높은 유실량을 나타내고 있다. 초지와 사료작물 재배지에서의 경사도별 $\text{NH}_4\text{-N}$ 유실량의 변화는 그림 1-17에서 보는 바와 같이 5°의 경사지를 제외하고는 전체적으로 초지에서의 유실량이 사료작물 재배지에서보다 현저히 적은 양을 나타내고 있다.

반대로 경작조건별에 따른 경사도별 $\text{NH}_4\text{-N}$ 유실량의 연중변화는 그림 5-6에서와 같이 경사도가 높아질수록 그 유실량도 증가하였고, 경사도 간에는 년중 일정한 간격을 유지하는 경향을 보여주었다. 또한 가축분뇨의 처리 형태별로 경사도별 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 유실량은 그림 1-15와 그림 1-19에서 보는 바와 같이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 유실량과는 반대로 퇴비에서는 경사도가 비례하고 있는데 반해, 액비시용 시에는 그 차이도 적고 일정한 경향을 보이지도 않았다. 경작조건별로 가축분뇨의 처리 형태간의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 년중 유실량 변화를 보면 초지에서는 액비시용 시 항상 더 많은 유실량을 나타내고 있으나, 사료작물 경작조건하에서는 시기적으로 퇴비에서 더 많은 양이 유실되는 등 일정한 경향을 나타내지는 않았다.

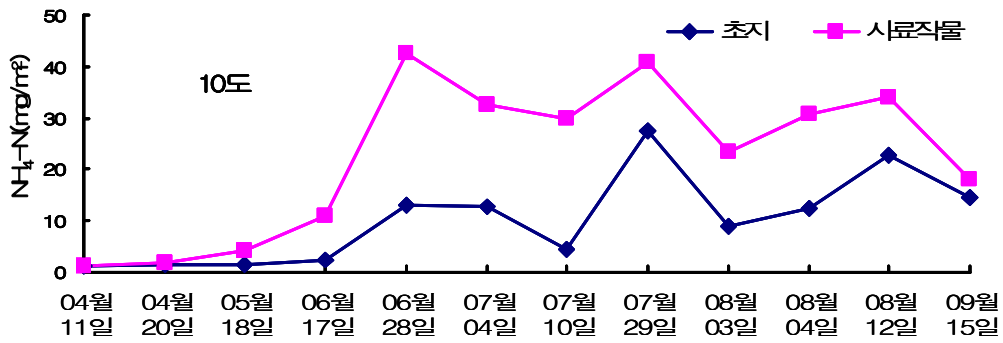
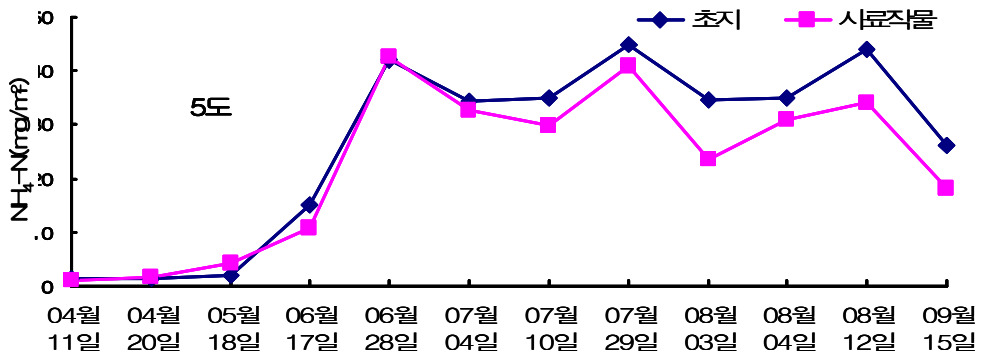
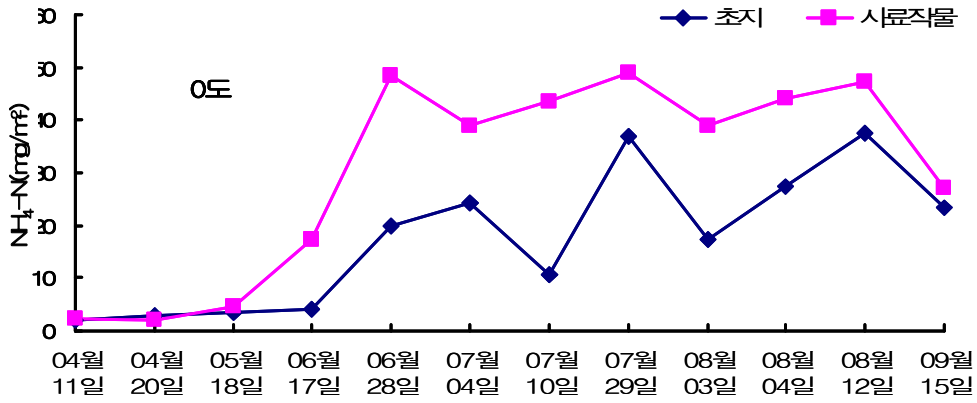


그림 1-17. 경사도별 작부체계별 NH₄-N 유실량의 변화

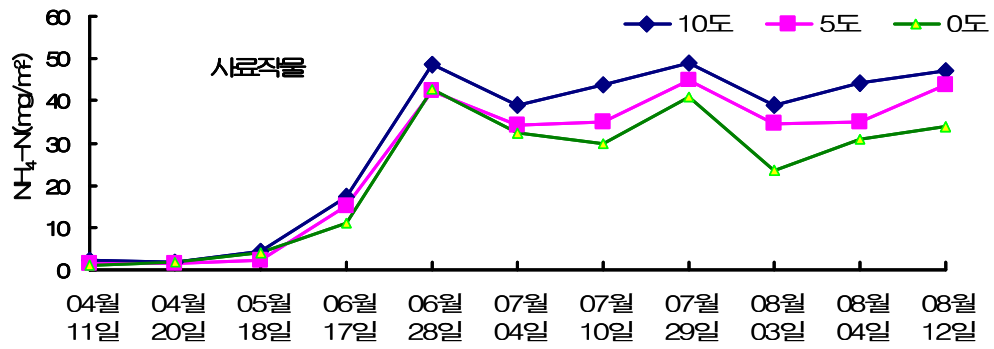
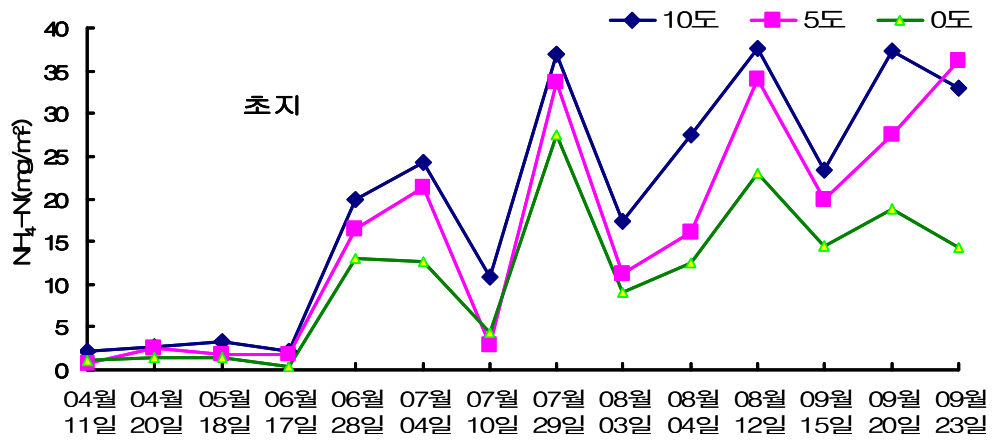


그림 1-18. 경작조건별 경사도별 NH₄-N 유실량의 변화

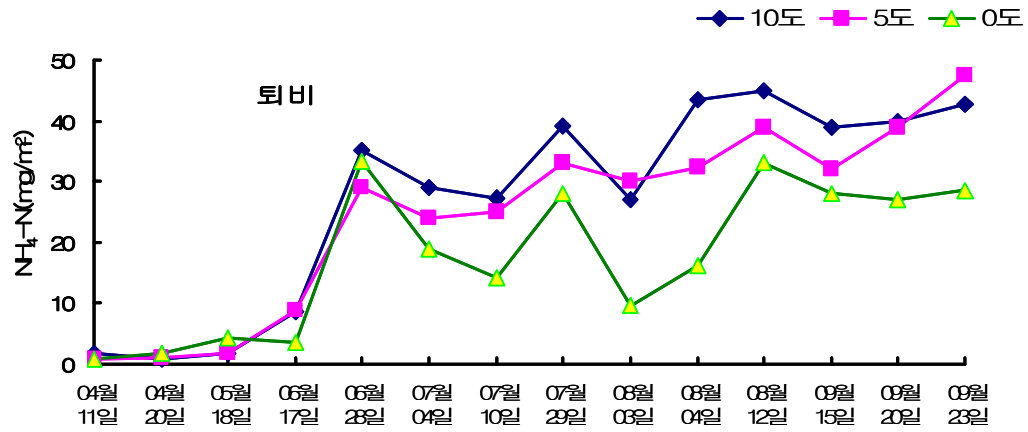
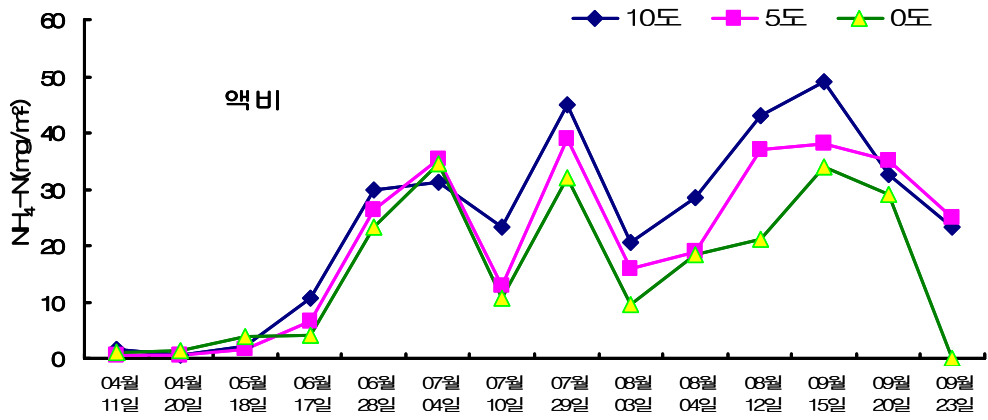


그림 1-19. 분뇨의 처리형태별 경사도별 $\text{NH}_4\text{-N}$ 유실량의 변화

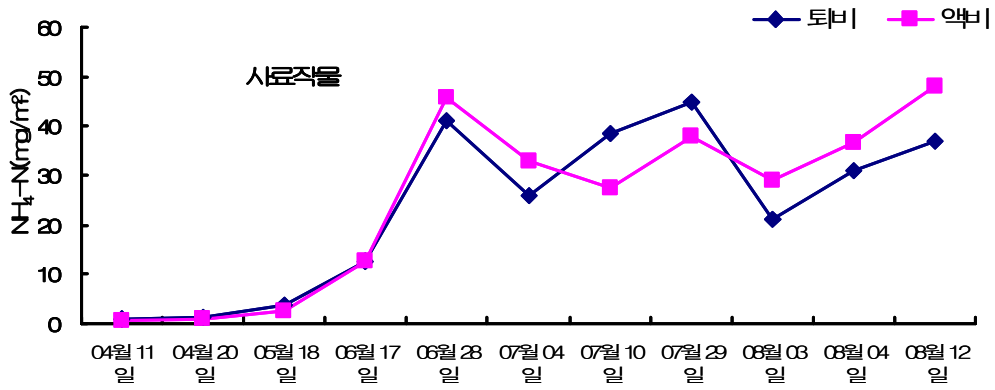
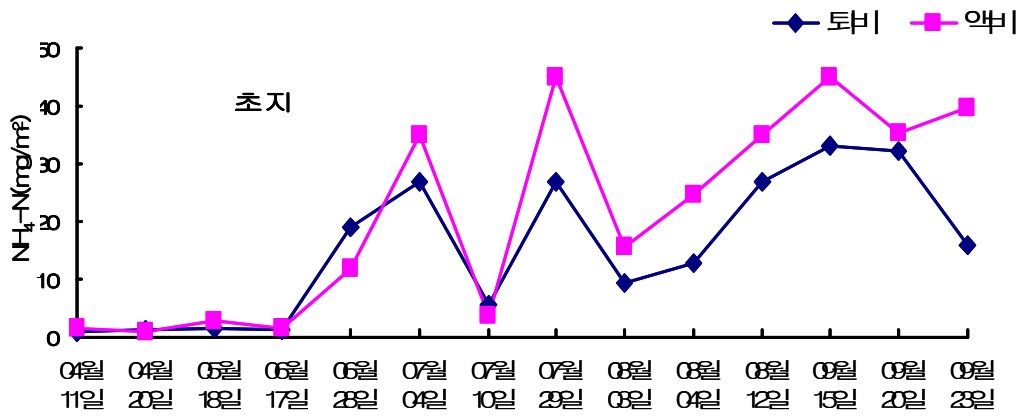


그림 1-20. 경작조건별 가축분뇨의 처리형태별 NH₄-N 유실량의 변화

가축분뇨사용에 의한 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 유실정도가 수질환경오염에 미치는 영향을 파악하기 위하여 경사도별, 경작조건별 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 유실량을 조사한 결과는 그림1-21~24에 나타난 바와 같다. 먼저 경사도별 초지와 사료작물 경작조건하에서의 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 유실량의 년중 변화는 그림 1-21에 나타난 바와 같이 사료작물의 경우 초지에 비하여 약간 많은 유실량을 나타내었고, 경사도가 높아질수록 약간씩 증가하였으며, 0° 나 5° 에 비하여 경사도가 높은 10° 에서 더 확실한 차이를 보여주고 있다. 년중 P유실량의 변화는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이나 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과는 달리 시기적으로 일정한 경향을 보여주지는 않았다.

그림 1-21 와는 반대로 그림1-22에서와 같이 경작조건별 경사도별 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 유실량은 시기적으로 볼 때 초지에서는 9월에, 사료작물 재배시에는 6, 7월에 특히 높았으며, 경사도가 높을수록 그 유실량도 많았다.

또한 가축분뇨의 처리형태별 경사도에 따른 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 유실량은 그림1-23에서 보는 바와 같이 퇴비사용시 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 유실량과 같이 서로 간에 확실한 차이를 보여 주었다. 또한 경사도별로 뚜렷한 차이를 보이며 비례관계를 보여주는데 반해, 액비 사용시 0° 에서는 매우 낮은 유실량을 나타내었지만 그 이상의 경사도에서는 거의 차이를 보여주지 않았다. 경작조건별 퇴비와 액비에 의한 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 유실량은 초지와 사료작물 모두 액비에 비해 퇴비 사용시 현저히 높은 수치를 나타내고 있다.

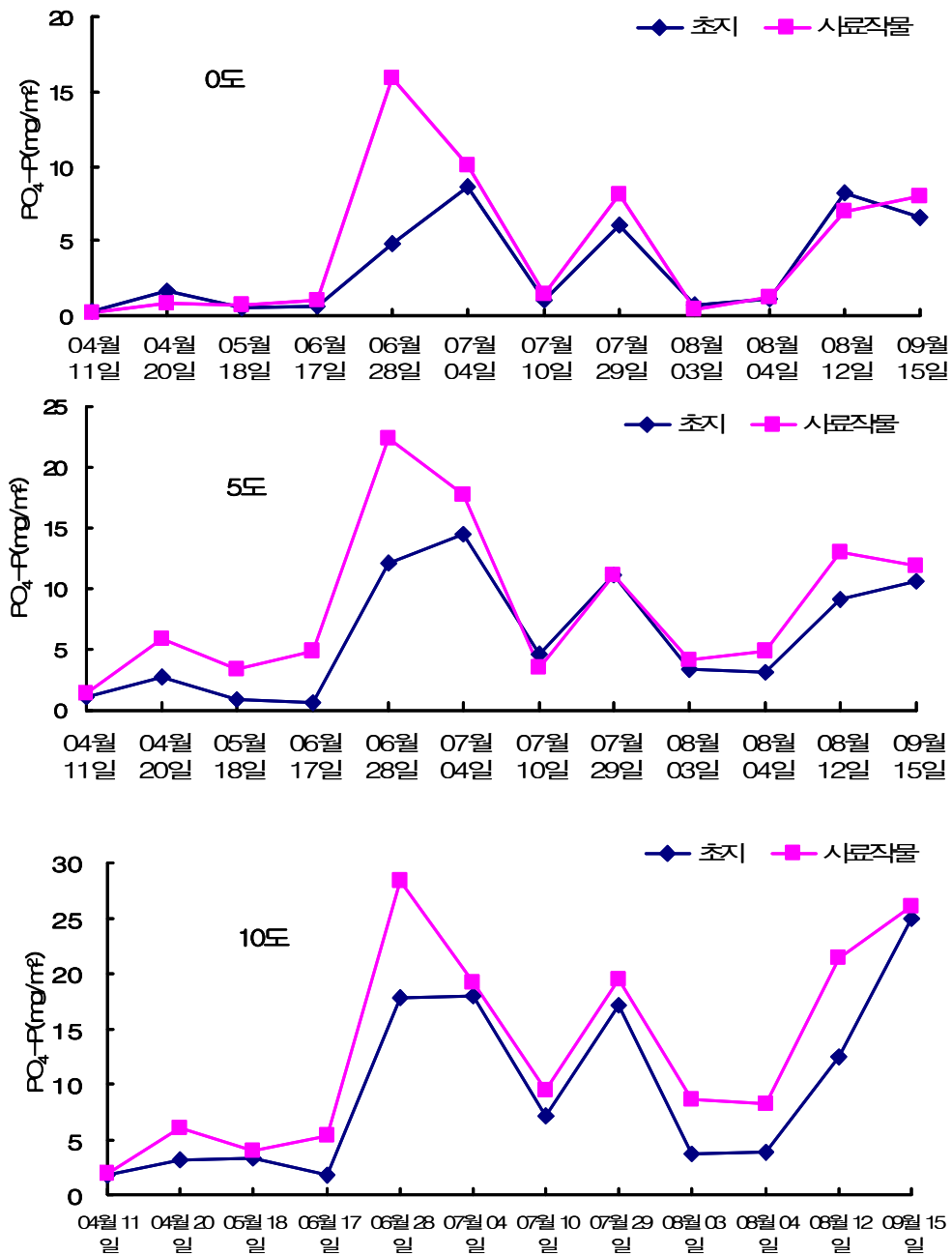


그림 1-21. 경사도별 작부체계별 PO₄-P 유실량의 변화

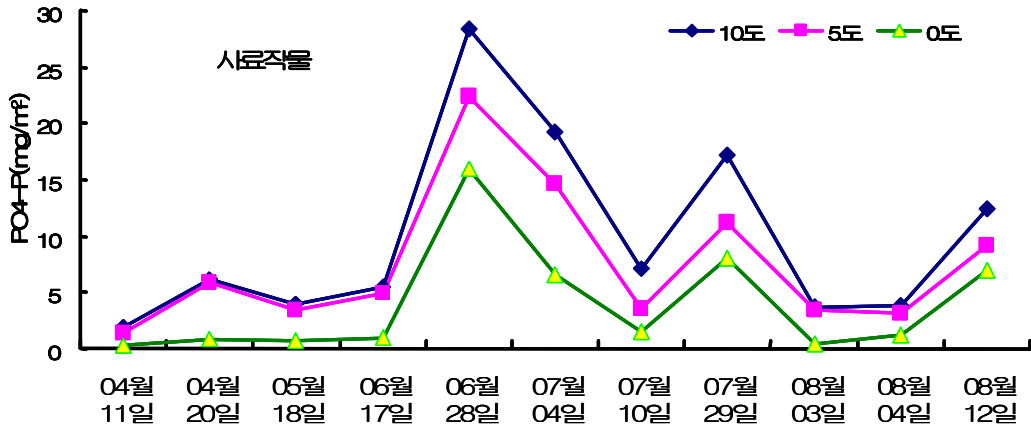
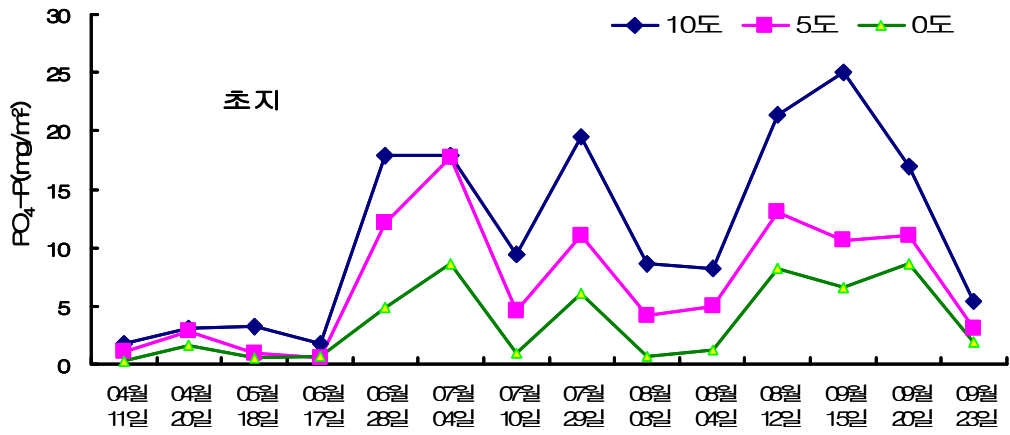


그림 1-22 경작조건별 경사도별 PO₄-P 유실량의 변화

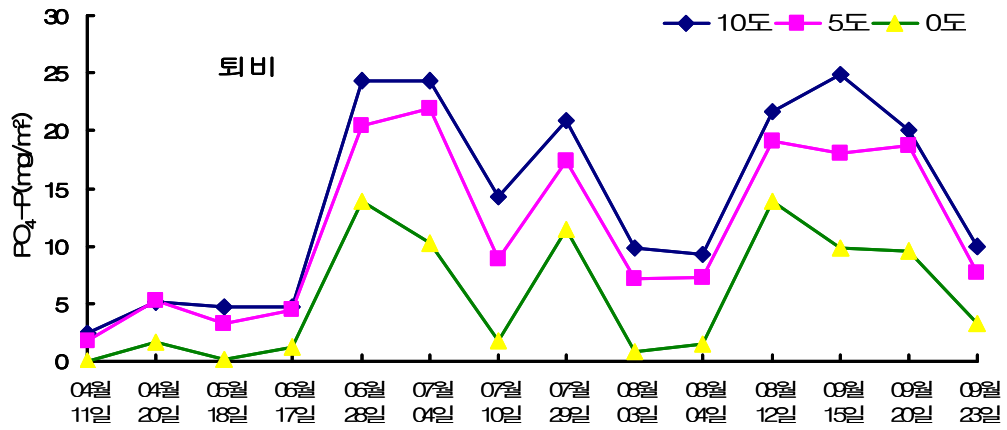
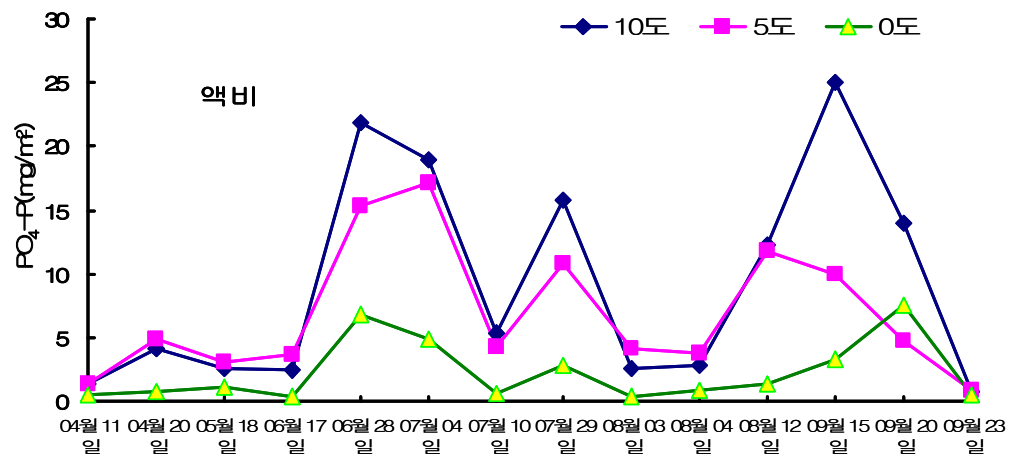


그림 1-23. 분뇨의 처리형태별 경사도별 PO₄-P 유실량의 변화

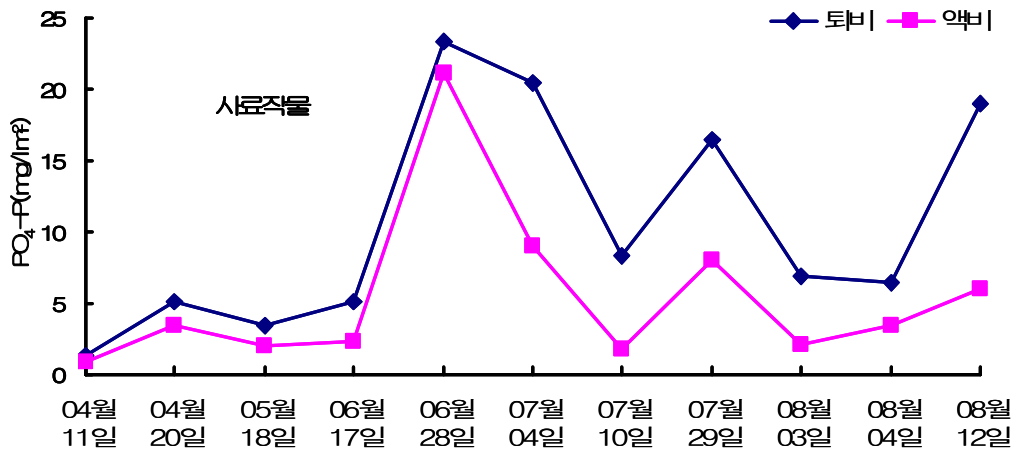
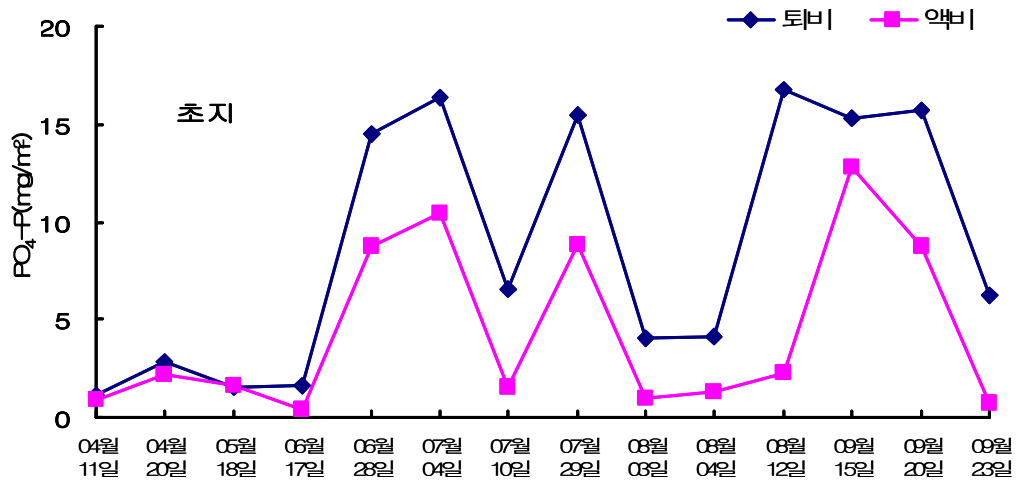


그림 1-24. 경작조건별 가축분뇨의 처리형태별 PO₄-P 유실량의 변화

4) 3차년도 결과 요약

경사지에서의 가축분뇨 사용시 조사료의 생산형태에 따라 조사료의 생산성과 함께 환경에 어떠한 영향을 미치는가를 파악하기 위하여 우분액비와 돈분퇴비를 사료작물(호밀+옥수수)과 초지에 사용시 경사도별 조사료의 생산성과 양분의 유실에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 건물수량은 옥수수+호밀 이모작이 목초수량보다 거의 2배 가까이 많았으며 퇴비보다 액비에서 더 높은 수량을 나타내었고 경사도의 증가와 비례하여 수량은 감소하였다.
- N함량은 액비 사용시 퇴비보다 높았고, 경사도의 증가와 비례하여 약간 증가하는 경향이였다.
- N생산량은 액비 사용시 퇴비보다 높았고 목초, 옥수수, 호밀의 순으로 높았으며 경사도의 증가와 비례하여 감소하였다.
- $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 유실은 초지에서 사료작물 재배시보다 낮았고 액비 사용시 퇴비 사용시보다 약간 높았으며 경사도의 증가와 비례하여 유실량도 증가하였다.
- $\text{NH}_4\text{-N}$ 유실량은 초지에서 사료작물 재배시보다 현저히 적었고 경사도의 증가와 증가하였으며 초지에서는 액비 사용시 더 높았으나 사료작물 재배시에는 일정한 경향이 없었다.
- $\text{PO}_4\text{-N}$ 의 유실량은 초지에 비하여 사료작물 재배시에 약간 높았고 경사도의 증가와 비례하여 증가되었으며 N과는 달리 퇴비 사용시 액비보다 높은 유실량을 나타내었다.

4. 요약

본 연구는 친환경적 자급조사료 생산과 함께 가축분뇨의 효율적 이용을 위하여 가축분뇨사용시 lysimeter 에서의 조사료생산과 양분의 용탈에 대한 연구와 분뇨의 처리형태와 조사료이 생산형태에 따라 경사지를 달리했을 때 erosion에 의한 환경오염 문제를 파악하기 위하여 3개년 간에 걸쳐 수행한 연구 결과는 다음과 같다.

- 시비 종류별 건물생산과 N생산량에 미치는 영향은 화학비료 > 액비 > 퇴비의 순이었다.
- 분뇨 사용시 조사료 생산성은 분뇨N 200kg에 요소 100kg/ha 수준에서 가장 높았다.
- PO₄-P의 용탈은 시비의 종류나 수준 및 계절이나 강수량에 관계없이 매우 적었다.
- 조사료의 생산성은 경사도의 증가와 비례하여 감소하였다.
- 조사료의 생산성은 초지나 옥수수 단작보다는 옥수수+호밀 이모작시 가장 높았다.
- N(NO₃-N+NH₄-N) 과 PO₄-P의 유실량은 초지에서 가장 적었고 경사도의 증가와 비례하여 유실량도 증가하였다.
- NO₃-N 과 NH₄-N의 유실량은 퇴비보다 액비 사용시 더 많았으나 PO₄-P의 유실량은 퇴비 사용시 더 높은 유실량을 나타내었다.

제 2 절. 가축분뇨의 처리형태별 환경친화적 작부체계에 대한 연구

1. 서론

근래 축산업의 전업화와 집약화로 인해 연간 3,500만톤 이상 생산되는 가축분뇨는 정부의 자원화 정책에도 불구하고 그 이용율이 매우 낮아 가축분뇨의 자원화 및 이용성에 많은 문제점이 제기되고 있다. 특히 분뇨의 자원화에 따른 환경오염문제가 사회적 이슈가 되기 때문에 정확한 환경영향 평가와 함께 그 결과에 의한 가축분뇨의 생태적 순환시스템의 구축은 반드시 필요하다. 특히, 축산분야에서는 연간 수백만톤에 해당되는 조사료를 수입하고 있는 상황에서 조사료생산과 가축분뇨를 연계시켜 조사료자원을 확보함과 동시에 친환경농업을 유도할 수 있는 가축분뇨의 친환경 이용시스템의 개발은 대단히 중요하다. 그런데 축산업은 가축분뇨의 해결방법을 모색하지 않은 한 그 유지 및 존재에 어려움이 많으므로 반드시 해결해야 할 중요한 과제이다.

가축분뇨의 이용방안에는 정화, 퇴비화, 액비화 등 다양한 방법이 있는데, 외국에서는 액비화가 가장 많이 이용되고 있다. 가축분뇨는 정확한 이용에 의해서만이 환경친화적인 자원화가 가능함에도 불구하고 우리나라에서는 가장 효율적이고 친환경적인 방법이 무엇인지에 대한 정확한 검증이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 그리고 가축분뇨에 함유된 N·P·K의 작물이용효율은 화학비료대비 N은 20-80%, P와 K는 80-90% 정도이며, 특히 이용되지 못한 양분 N는 결국 NO_3^- 등으로 수질오염에 많은 영향을 미치게 된다. 가축분뇨에 의한 환경오염문제를 해결하기 위해서 유럽에서는 이미 1990년을 전후로 분뇨의 살포량, 살포시기 등을 법적으로 엄격히 제한, 규제하고 있다. 양분의 용탈이나 유실에 대한 분뇨의 환경오염은 기후풍토에 따라 현저한 차이를 보이지만 이와 같은 문제점에 대해서는 국내의 연구가 거의 없다. 따라서 이러한 문제점들의 해결을 위해서 돈분뇨의 처리형태가 초지 및 사료작물의 생산성에 복합적으로 어떠한 영향을 미치는가를 정확히 파악하여 조사료공급과 함께 환경보전대책을 마련하고자 본 연구를 수행하였다.

2. 연구수행 내용 및 방법

가. 시험장소 및 기간

본시험은 양분의 이용에 대한 것은 물론 기후적으로도 다양한 작부체계의 도입이 용이한 전라북도 축산 진흥연구소내의 실험포장에서 2002년 10월부터 2005년 10월까지 3개년에 걸쳐 수행하였다.

나. 시험구의 설치 및 시험설계

작부체계별 돈분뇨의 처리형태에 따른 분뇨양분의 이동과 함께 최적의 환경친화적 조사료생산을 위해 가축분뇨의 사용시험을 주관연구기관과 보조를 맞추어 액비와 퇴비로 하고 그에 따른 작부체계는 옥수수단작, 옥수수+호밀의 2모작 및 영년초지 등에서 수행하였으며 각각의 시험구의 면적은 용탈수 채취를 위해 20m²로 하였다. 시험구의 배치는 작부체계별로 옥수수단작, 옥수수+호밀의 2모작 및 영년초지를 주구로, 시비 종류별로 무비구, 화학비료 표준구, 돈분액비 100%+N 50%(요소)구 및 돈분퇴비 100%+N 50%(요소)구를 세구로 하는 분할구 배치법 3반복으로 하였다.

다. 시험포의 조성 및 수확

영년초지는 2002년 9월 하순에 오차드그라스, 톨페스큐 및 켄터키블루그라스를 1.7, 1.5 및 0.3kg/1,000m² 비율로 파종하여 연 중 3회 수확하였으며, 호밀(쿨 그레이저)은 130kg/ha, 옥수수(수원 19호)는 휴폭 70cm 및 주간간격 18cm로 매년 적기에 파종하고 수확하였다.

라. 가축분뇨의 준비

본 연구수행에 있어 사용된 가축분뇨의 종류는 액상발효돈분(액비)과 톱밥발효돈분(퇴비)으로 액상발효돈분은 6개월이상 완전 부숙된 것, 톱밥발효돈분은 완전 부숙 포장된 것을 수집하여 그 성분을 정확히 분석한 후 사용하였다. 사용된 액상발효돈분과 톱밥발효돈분의 화학성분은 표 1과 같다.

표 2-1. 액비 및 퇴비의 사용시 성분함량

구분	T-N(%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O(%)	CaO(%)	MgO(%)	Na ₂ O(%)	NH ₄ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)
액비	0.51	0.126	0.413	0.173	0.062	0.105	3,972	486
퇴비	1.458	1.901	0.315	2.597	0.972	0.248	-	-

마. 가축분뇨의 사용시기 및 사용수준

가축분뇨의 사용시기는 사료작물은 시험포 조성시 및 추비, 그리고 초지에서는 조성시 및 매 예취시마다 분할 사용하였으며 그 사용수준은 부속된 분뇨의 성분을 그 이용효율에 따라 사용수준을 결정하여 사용하였다.

바. 조사항목 및 방법

1) 사료작물 생산성

사료작물의 생산성 조사는 사료작물을 수확시 생초수량을 측정한 후 80℃ 건조기에 서 48시간 건조 후 건물율을 구하였고 이에 따라 건물생산량을 산출하였다.

2) 사료가치의 평가

사료작물의 생산성과 함께 가축분뇨의 이용효율을 측정하기 위하여 채취된 시료에 대하여 조단백질, NDF, ADF 및 TDN가를 분석하였다.

3) 작부체계별 지력증진 효과

돈분 액비와 퇴비 사용에 따른 담리작 토양의 지력증진에 미치는 영향을 조사하기 위하여 시험 전 및 시험 후 토양을 채취하여 토양성분을 조사하였는데, 시험 전 토양의 화학성분은 표 2와 같다.

표 2-2. 시험 전 토양의 화학적 특성

pH	OM (g/kg)	T-N (%)	P2O5 (ppm)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	K (cmol/kg)
6.03	21.75	0.93	225	3.57	1.04	0.08	0.24

4) 용탈수의 측정

가축분뇨의 종류와 작부체계에 따른 양분의 이동에 의한 N와 P의 지하로의 용탈량을 측정하기 위하여 지하 1m깊이에 suction cup을 설치하고 2주 간격으로 용탈수를 채취하여 NO₃, NH₄ 및 PO₄의 함량을 측정하였다.

3. 연구결과

가. 건물수량

작부체계 중 초지에 있어서 돈분뇨의 처리형태별 건물수량은 표 2-3과 같다. 가축분뇨의 처리형태에 따른 년차별 건물수량은, 1차년(2003)에 액비, 퇴비 및 화학비료는 ha당 4.35~5.42톤으로 거의 비슷하였으나, 액비구에서 가장 높아 무비구와는 유의적인 차이를 보이고 있었다. 2차년(2004)에서는 1차년에 비해 건물수량이 전체적으로 증가하였으나, 3차년(2005)에는 2차년과 비슷한 수준이었다. 년차별 처리간 수량의 차이는 서로 비슷한 경향이었는데, 2차년에서는 무비구와 화학비료구간에, 3차년에는 무비구와 그 외 모든 처리구간에 뚜렷한 차이가 있었다. 3개년 평균수량을 보면, 3차년 수량과 비슷한 양상으로 액비, 퇴비 및 화학비료구는 6.92~7.62톤으로 큰 차이가 없었으나, 무비구와는 차이가 인정되었다.

표 2-3. 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 영년초지의 건물수량(ton/ha)

처리	2003				2004				2005				평균
	1번초	2번초	3번초	총량	1번초	2번초	3번초	총량	1번초	2번초	3번초	총량	
무비	0.85	1.57	0.81	3.34	2.16	1.93	1.12	5.22	2.10	1.41	1.30	4.82	4.46
액비	1.72	2.49	1.20	5.42	4.68	2.54	1.50	8.72	3.75	2.70	2.26	8.72	7.62
퇴비	1.06	2.54	1.06	4.67	3.98	2.54	1.45	7.98	3.38	2.33	2.40	8.12	6.92
화학비료	1.50	1.50	1.35	4.35	4.21	2.78	1.57	8.87	3.71	2.75	2.45	8.91	7.37

호밀과 옥수수의 2모작에 있어서 돈분뇨의 처리형태별 년차별 건물수량은 표 4와 같다. 전작물인 호밀의 가축분뇨의 처리형태 및 년도별 건물수량은 1차년에는 무비구와 액비구, 그리고 퇴비구와 화학비료구가 서로 비슷한 수준으로 모든 처리구가 거의 비슷하였으나, 2·3차년과 3개년 평균치에서는 무비구와 처리구간에 유의적인 차이를 보이고 있었다. 연차별 수량의 변화 추이는 2차년까지 증가하였으나, 3차년에는 2차년과 비슷한 수준이었다. 한편 호밀+옥수수 이모작의 총수량은 옥수수 단작의 건물수량(표 2-5 참조)과 비교해서 약 35%정도 증수되었다.

표 2-4. 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 호밀 및 옥수수 이모작의 건물수량(ton/ha)

	처리	2003	2004	2005	평균
호밀	무비	5.72	4.87	5.25	5.28
	액비	5.41	8.15	7.71	7.09
	퇴비	6.33	7.94	7.49	7.25
	화학비료	6.48	8.48	8.51	7.82
옥수수	무비	11.95	17.22	14.61	14.59
	액비	20.31	19.71	21.31	20.44
	퇴비	19.12	18.86	21.34	19.77
	화학	20.09	19.19	22.69	20.66
호밀+옥수수	무비	17.67	22.09	19.87	19.88
	액비	25.73	27.86	29.02	27.54
	퇴비	25.45	26.81	28.83	27.03
	화학	26.57	27.61	31.21	28.46

옥수수 단작에 있어서 돈분뇨의 처리형태별 년차별 건물수량은 표 5와 같다. 돈분뇨의 처리형태 및 년도별 건물수량은 1차년에는 액비, 퇴비 및 화학비료에서 ha당 16.42~17.45톤으로 서로 비슷하였으나, 무비구와는 차이를 보이고 있었다. 그러나 2차년에는 처리간에 비슷하였다. 3차년에는 액비구가 가장 높고, 퇴비구와 화학비료구는 서로 비슷하였으며 무비구는 다른 처리구에 비해 약 1/2정도의 수량을 나타내었다, 3개년 평균치에서도 비슷한 양상으로 무비구와 다른 처리구간에 유의적인 차이를 보이고 있었다. 연차별 수량의 추이는 무비구를 제외하고 모든 처리에서 증가하는 경향이 있었다.

표 2-5. 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 옥수수 단작의 건물수량(ton/ha)

처리	2003	2004	2005	평균
무비	11.95	17.86	11.53	13.78
액비	17.45	20.91	26.46	21.61
퇴비	17.24	20.42	20.64	19.43
화학비료	16.42	19.92	22.33	19.56

이상의 결과는 가축분뇨의 비료효과 특히 N사용효과는 무기태 N의 함량에 의해 영향을 받아 일반적으로 평균 50~60%의 효과를 나타낸다는 Ruppert 등(1985)과 육 등(2002)의 보고를 뒷받침하는 것으로 본 시험에서는 액비 및 퇴비에 N를 보충 사용한 결과 화학비료 사용구와 그 수량의 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 N 함량을 기준하여 액비 및 퇴비를 사용할 때는 질소를 보충하여 시비하는 것이 생산성 제고 및 환경보전적 측면에서 바람직하다고 본다.

나. 사료가치

작부체계 중 초지에 있어서 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 사료성분량은 표 6과 같다. 조단백질 함량은 1, 2, 및 3차년의 처리간에 각각 11.8~13.2, 12.5~14.0, 12.5~14.6%로 무비구에서 가장 낮고 화학비료구가 가장 높은 경향이었다. 3개년 평균수량은 12.2~13.96%로 무비구가 가장 낮고 퇴비, 액비, 화학비료구 순으로 이 중 화학비료구가 가장 높았지만, 서로 비슷한 수준이었다. NDF, ADF 및 TDN 함량의 3개년 평균수량도 조단백질 함량의 추이와 비슷하게 각각 56.0~57.5, 27.5~29.3% 및 65.6~67.0으로 무비구의 사료가치가 더 낮은 경향이었으나 유의적인 차이는 아니었다.

표 2-6. 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 영년초지의 사료성분(%/건물)

	처리	2003				2004				2005				평균
		1번초	2번초	3번초	평균	1번초	2번초	3번초	평균	1번초	2번초	3번초	평균	
조단백질	무비	13.2	10.5	12.2	11.8	12.5	13.3	12.5	12.5	11.2	13.8	13.6	12.5	12.2
	액비	16.0	10.4	11.9	13.2	13.4	14.5	11.5	13.7	14.2	13.7	12.6	13.8	13.5
	퇴비	13.7	11.3	11.8	12.5	13.3	13.4	11.6	13.0	13.6	13.1	11.8	13.2	12.9
	화학비료	15.0	11.3	12.4	13.1	13.7	15.2	13.8	14.0	14.7	15.2	12.9	14.6	13.9
NDF	무비	50.3	57.5	55.4	54.4	58.9	58.6	60.1	59.2	59.5	59.7	57.9	59.0	57.5
	액비	49.2	55.4	53.6	52.7	58.4	59.0	60.5	59.3	58.8	57.3	59.2	58.4	56.8
	퇴비	48.2	56.4	55.1	53.2	59.0	57.3	59.7	58.6	58.1	56.4	59.7	58.0	56.6
	화학비료	48.8	54.5	54.6	52.6	56.9	57.7	59.1	57.9	55.1	58.6	58.9	57.5	56.0
ADF	무비	27.0	31.5	28.8	29.1	30.3	29.0	32.0	30.4	28.3	29.6	28.1	28.6	29.3
	액비	26.4	31.6	26.5	28.1	27.4	27.3	29.4	28.0	29.8	28.6	29.3	29.2	28.4
	퇴비	26.5	31.1	28.5	28.7	28.1	28.0	29.2	28.4	28.6	27.7	25.5	27.2	28.1
	화학비료	24.1	30.0	27.7	27.2	27.3	29.5	29.0	28.6	27.0	26.0	27.8	26.9	27.5
TDN	무비	67.5	64.0	66.1	65.8	64.9	65.9	63.6	64.8	66.5	65.5	66.7	66.2	65.6
	액비	68.0	63.9	67.9	66.6	67.2	67.3	65.6	66.7	65.3	66.3	65.7	65.7	66.3
	퇴비	67.9	64.3	66.3	66.1	66.7	66.7	65.8	66.4	66.3	67.0	68.7	67.3	66.6
	화학비료	69.8	65.2	67.0	67.3	67.3	65.5	65.9	66.2	67.5	68.3	66.9	67.5	67.0

호밀과 옥수수의 2모작에 있어서 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 사료성분은 표 2-7과 같다. 먼저 호밀의 조단백질 함량은 1, 2 및 3차년 모두 무비구가 가장 낮고 액비와 퇴비구는 서로 비슷하였으며 이 중 화학비료구가 가장 높은 경향이였다. 3개년 평균수량도 비슷한 양상으로 무비구와 화학비료구간에는 뚜렷한 차이가 있었다. 년차별 처리간 NDF 및 ADF 함량은 무비구가 가장 높고 액비와 퇴비구는 서로 비슷하였으며 화학비료구가 가장 낮은 경향이였다. 3개년 평균수량도 비슷한 양상이었으나 큰 차이는 없었다. TDN 함량은 년차별 및 3개년 평균치에 있어서 서로 비슷한 수준이였다. 한편 옥수수의 조단백질 함량은 1, 2 및 3차년 모두 무비구가 가장 낮고 액비, 퇴비 및 화학비료구가 서로 비슷한 수준이었으며 3개년 평균치도 비슷한 경향이였다. NDF 및 ADF 함량은 무비구가 가장 높고 그 외 처리구는 서로 비슷하였으며 3개년 평균치도 비슷한 경향이였다. TDN 함량은 년차별 및 3개년 평균치에 있어서 무비구가 가장 낮고 그 외 처리구는 서로 비슷한 수준이였다.

표 2-7. 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 호밀 및 옥수수 이모작의 사료성분(%/건)

사료성분	처리	2003	2004	2005	평균	
호밀	조단백질	무비	8.6	7.0	9.1	8.2
		액비	10.6	11.5	9.0	10.3
		퇴비	11.4	10.5	10.1	10.6
		화학비료	14.1	11.1	14.1	13.1
	NDF	무비	56.8	61.4	59.7	59.3
		액비	54.3	59.5	58.7	57.5
		퇴비	55.7	57.9	58.0	57.2
		화학비료	53.6	56.2	56.4	55.4
	ADF	무비	33.7	32.4	34.9	33.6
		액비	32.0	33.0	35.0	33.3
		퇴비	33.3	29.8	34.7	32.6
		화학비료	31.2	31.9	30.4	31.1
	TDN	무비	62.2	63.3	61.3	62.3
		액비	63.6	62.8	61.2	62.5
		퇴비	62.5	65.3	61.4	63.1
		화학비료	64.2	63.6	64.8	64.2
옥수수	조단백질	무비	4.6	5.0	5.8	5.13
		액비	7.1	6.5	6.7	6.77
		퇴비	6.1	5.8	8.0	6.63
		화학비료	8.6	7.0	7.8	7.80
	NDF	무비	66.7	69.6	70.2	68.8
		액비	61.9	68.4	68.6	66.3
		퇴비	64.5	68.7	66.5	66.5
		화학비료	63.0	68.5	65.4	65.6
	ADF	무비	46.4	44.5	45.6	45.5
		액비	43.4	40.2	44.5	42.7
		퇴비	44.7	42.0	40.3	42.3
		화학비료	41.1	40.6	41.8	41.1
	TDN	무비	52.2	53.7	52.8	52.9
		액비	54.6	57.1	53.7	55.1
		퇴비	53.5	55.7	57.0	55.4
		화학비료	56.4	56.8	55.8	56.3

옥수수 단작에 있어서 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 사료성분은 표 8과 같다. 옥수수의 조단백질 함량은 1, 2 및 3차년 모두 무비구가 가장 낮고 화학비료구가 보다 높은 경향이었으며 3개년 평균수량도 비슷한 양상으로 무비구와 화학비료구간에 차이가 인정되었다. 년차별 처리간 NDF 및 ADF 함량은 무비구가 가장 높고 다른 처리구는 비슷한 수준으로 무비구보다 낮은 경향이였다. 3개년 평균수량도 비슷한 양상이었는데 무비구와 화학비료구간에 차이가 인정되었다. TDN 함량은 무비구가 가장 낮아 1차년 및 3개년 평균에 있어서 화학비료구와 차이가 인정되었다.

표 2-8. 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 옥수수 단작의 사료성분(%/건물)

사료성분	처리	2003	2004	2005	평균
조단백질	무비	5.6	5.1	5.5	5.40
	액비	8.0	6.9	6.7	7.20
	퇴비	7.0	5.6	7.2	6.60
	화학비료	9.3	6.5	7.5	7.77
NDF	무비	69.7	70.8	71.8	70.77
	액비	63.9	66.1	70.1	66.70
	퇴비	60.6	69.2	67.2	65.67
	화학비료	57.2	65.6	68.3	63.70
ADF	무비	46.6	43.4	44.5	44.83
	액비	39.3	40.0	43.9	41.07
	퇴비	38.0	40.9	40.4	39.77
	화학비료	35.0	37.5	42.5	38.33
TDN	무비	52.0	54.6	53.7	53.43
	액비	57.8	57.3	54.2	56.43
	퇴비	58.8	56.5	56.9	57.40
	화학비료	61.2	59.2	55.3	58.57

이상의 결과에서 NDF, ADF 및 TDN 함량은 무비구를 제외한 액비, 퇴비 및 화학비료구간에 차이가 크지 않았는데, 분뇨의 처리형태별로 NDF, ADF 및 TDN 함량에 큰 영향을 미치지 않았다는 Chestnut(1966), Huguet와 Gillet(1973), Meister와 Lehmann(1982) 및 육 등(2002)의 연구결과와 유사한 경향이다.

다. 토양성분

돈분뇨의 처리형태와 사료작물의 생산성은 물론 화학비료 대비 토양성분과 지력증진에 미치는 영향을 검토하기 위하여 조사한 토양성분은 표 2-9, 10 및 11과 같다. 먼저 영년초지에 있어서 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 토양성분(표 2-9)중 pH는 모든 처리에 있어서 재배 년차가 누적될수록 낮아지는 경향이었으나, 3개년 평균치는 6.30~6.63으로 비슷한 수준이었으며 시험 전 토양의 pH(6.03)에 비해서는 약간 높아진 경향이였다. 유기물 함량은 모든 처리에 있어서 재배 년차가 누적될수록 높아지는 경향이였다. 3개년 평균치는 무비구가 가장 낮고 그 외 처리구는 서로 비슷한 수준이었다. 질소 함량은 년차별로 낮아지는 경향으로 3차년에는 0.1~0.4%수준이었으며 3개년 평균치는 0.2~0.4%수준으로 시험 전 토양의 질소 함량(0.93%)에 비해 상당히 낮아졌다. 인 함량도 질소 함량의 변화추이와 비슷하게 년차별로 낮아지는 경향이였으나, 3개년 평균치는 시험 전 토양과 큰 차이는 없었다. 양이온(Ca, Mg, Na, K)의 함량은 처리 및 년차별로 큰 차이가 없었으며 시험 전 토양과 비교해서도 비슷한 수준이었다.

표 2-9. 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 영년초지의 토양성분

항목	처리	년도			평균
		2003	2004	2005	
pH	무비	6.9	6.6	6.4	6.63
	액비	6.8	6.4	6.5	6.57
	퇴비	6.8	6.4	6.4	6.53
	화학비료	6.5	6.3	6.1	6.30
OM (g/kg)	무비	13.2	17.8	30.2	20.40
	액비	16.4	22.2	33.9	24.17
	퇴비	16.6	23.2	33.6	24.47
	화학비료	14.8	22.8	33.1	23.57
T-N (%)	무비	0.5	0.2	0.1	0.27
	액비	0.5	0.4	0.1	0.33
	퇴비	0.6	0.4	0.4	0.47
	화학비료	0.5	0.4	0.3	0.40
P2O5 (ppm)	무비	185.3	95.6	81.6	120.83
	액비	221.3	225.6	142.0	196.30
	퇴비	306.3	145.3	100.6	184.07
	화학비료	184.0	169.6	79.0	144.20
Ca (cmol/kg)	무비	4.8	4.0	4.0	4.27
	액비	6.1	5.2	5.4	5.57
	퇴비	5.2	5.1	4.7	5.00
	화학비료	5.0	4.6	3.7	4.43
Mg (cmol/kg)	무비	2.4	2.4	2.5	2.43
	액비	2.1	2.1	2.0	2.07
	퇴비	2.1	2.2	2.2	2.17
	화학비료	1.7	2.1	2.0	1.93
Na (cmol/kg)	무비	0.2	0.1	0.1	0.13
	액비	0.1	0.1	0.1	0.10
	퇴비	0.2	0.2	0.1	0.17
	화학비료	0.1	0.1	0.1	0.10
K (cmol/kg)	무비	0.4	0.4	0.3	0.37
	액비	0.5	0.5	0.2	0.40
	퇴비	0.5	0.4	0.3	0.40
	화학비료	0.5	0.5	0.6	0.53

호밀과 옥수수의 2모작에 있어서 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 토양성분(표 2-10)중 pH는 모든 처리에 있어서 재배 년차가 누적될수록 낮아지는 경향이었으나, 3개년 평균치는 6.00~6.30으로 거의 비슷한 수준이었으며 시험 전 토양의 pH(6.03)와도 거의 비슷하였다. 유기물 함량은 일반적으로 재배 년차가 누적될수록 높아지는 경향이었는데, 3개년 평균치는 무비구가 가장 낮고 퇴비구가 가장 높았다. 질소 함량은 년차별로 낮아지는 경향이었는데, 3차년의 0.1~0.2%수준은 3개년 평균치인 0.4~0.5% 수준 및 시험 전 토양(0.93%)에 비교할 때 상당히 낮은 수준이었다. 인 함량은 년차별로 액비구에서는 증가하는 경향이지만, 그 외에는 거의 변화가 없었다. 3개년 평균치는 액비, 퇴비, 화학비료구 순이었으며 시험 전 토양과 비교해서 액비 및 퇴비구에서 증가한 경향이였다. 양이온의 함량은 처리 및 년차별로 큰 차이가 없었으며 시험 전 토양과 비교해서도 비슷한 수준이었다.

표 2-10. 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 호밀 및 옥수수 이모작 토양의 화학성분

항목	처리	년도			평균
		2003	2004	2005	
pH	무비	6.4	6.4	6.1	6.30
	액비	6.3	6.1	5.8	6.07
	퇴비	5.9	6.0	6.1	6.00
	화학비료	6.1	6.1	6.1	6.10
OM (g/kg)	무비	14.5	20.9	32.4	22.60
	액비	18.8	23.0	30.7	24.17
	퇴비	30.2	27.7	28.7	28.87
	화학비료	16.2	21.57	31.4	23.06
T-N (%)	무비	0.7	0.5	0.1	0.43
	액비	0.9	0.6	0.2	0.57
	퇴비	1.0	0.8	0.1	0.63
	화학비료	0.7	0.6	0.2	0.50
P2O5 (ppm)	무비	77.0	98.6	107.6	94.40
	액비	381.3	418.6	463.6	421.17
	퇴비	320.6	316.3	287.3	308.07
	화학비료	257.0	231.0	221.3	236.43
Ca (cmol/kg)	무비	3.9	3.8	3.8	3.83
	액비	3.7	4.3	3.5	3.83
	퇴비	4.5	4.7	5.2	4.80
	화학비료	4.0	4.2	3.8	4.00
Mg (cmol/kg)	무비	2.0	1.7	1.7	1.80
	액비	1.5	2.1	2.0	1.87
	퇴비	1.7	1.8	2.0	1.83
	화학비료	1.6	1.9	2.1	1.87
Na (cmol/kg)	무비	0.1	0.1	0.1	0.10
	액비	0.1	0.1	0.1	0.10
	퇴비	0.1	0.1	0.1	0.10
	화학비료	0.1	0.1	0.1	0.10
K (cmol/kg)	무비	0.4	0.4	0.3	0.37
	액비	0.4	0.4	0.2	0.33
	퇴비	0.5	0.5	0.3	0.43
	화학비료	0.6	0.8	0.8	0.73

옥수수 단작에 있어서 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 토양성분(표 2-11)중 pH는 모든 처리에 있어서 재배 년차가 누적될수록 낮아지는 경향이었으며, 3개년 평균치는 5.40~5.60으로 거의 비슷한 수준이었다. 시험 전 토양의 pH(6.03) 및 호밀과 옥수수의 2모작과 비교해서도 낮은 수준이었다. 유기물 함량은 일반적으로 재배 년차가 누적될수록 높아지는 경향이었는데, 3개년 평균치는 영년초지나 호밀+옥수수 2모작과 달리 무비구가 화학비료구와 비슷한 수준으로 높았다. 질소 함량도 년차별로 낮아지는 경향이었는데, 3차년의 0.1~0.3%수준은 3개년 평균치 및 시험 전 토양에 비교할 때 상당히 낮은 수준이다. 유효인의 함량은 년차별로 액비 및 퇴비구에서는 증가하는 경향이지만, 그 외에는 거의 변화가 없었다. 인의 3개년 평균치는 액비, 퇴비, 화학비료 순이었으며 이는 호밀과 옥수수의 2모작 토양과 비슷한 경향으로 시험 전 토양과 비교해서 액비 및 퇴비구에서 약간 증가한 경향이였다. 양이온의 함량은 처리 및 년차별로 큰 차이가 없었으며 시험 전 토양과 비교해서도 비슷한 수준이었다.

이상의 결과를 볼 때 토양의 시험전후 및 처리간의 pH는 차이가 없었는데 이는 신 등(1999)^a 및 신 등(1999)의 결과와 비슷한 결과로 가축분뇨사용에 의한 토양산도의 개선효과는 단기간에 나타나지 않는 것으로 사료된다. 유기물함량은 증가하는 경향이었는데, 이는 신 등(1999)의 결과와 유사하다. 유효인산의 함량은 퇴비 및 액비시용구가 화학비료구에 비해 높은 경향이였으며 시험 전 토양에 비해서도 증가된 경향이었는데, 이는 신 등(1999)의 결과와는 다른 양상으로 이와 같은 근본적인 원인에 대해서는 더 많은 고찰이 필요하다고 사료된다.

표 11. 돈분뇨의 처리형태에 따른 년차별 옥수수단작 토양의 화학성분

항목	처리	년도			평균
		2003	2004	2005	
pH	무비	6.0	6.0	5.6	5.87
	액비	5.9	5.9	5.6	5.80
	퇴비	6.0	5.9	5.5	5.80
	화학비료	5.9	5.8	5.4	5.70
OM (g/kg)	무비	19.9	24.4	32.1	25.47
	액비	21.9	24.9	30.5	25.77
	퇴비	24.1	20.1	29.7	24.63
	화학비료	24.0	20.1	32.5	25.53
T-N (%)	무비	0.8	0.6	0.1	0.50
	액비	0.8	0.8	0.1	0.57
	퇴비	0.8	0.8	0.3	0.63
	화학비료	0.9	0.7	0.1	0.57
P2O5 (ppm)	무비	179.0	130.3	182.0	163.77
	액비	250.0	324.0	390.3	321.43
	퇴비	204.6	237.0	315.6	252.40
	화학비료	237.6	245.6	215.0	232.73
Ca (cmol/kg)	무비	3.9	3.0	3.2	3.37
	액비	3.5	3.4	2.3	3.07
	퇴비	4.0	5.0	4.1	4.37
	화학비료	3.6	2.9	2.1	2.87
Mg (cmol/kg)	무비	1.0	1.1	1.1	1.07
	액비	0.8	1.1	1.1	1.00
	퇴비	0.8	1.2	1.2	1.07
	화학비료	0.7	0.7	0.7	0.70
Na (cmol/kg)	무비	0.1	0.1	0.1	0.10
	액비	0.1	0.1	0.1	0.10
	퇴비	0.1	0.1	0.1	0.10
	화학비료	0.1	0.1	0.1	0.10
K (cmol/kg)	무비	0.1	0.1	0.1	0.10
	액비	0.2	0.2	0.1	0.17
	퇴비	0.2	0.2	0.1	0.17
	화학비료	0.2	0.3	0.2	0.23

라. 용탈수 성분

돈분뇨의 환경오염에 미치는 영향을 파악하기 위하여 처리형태별 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 용탈을 2주 간격으로 조사한 결과는 그림 2-1, 2 및 3과 같다. 그런데 호밀과 옥수수 2모작 및 옥수수 단작 포장에서는 용탈수가 전혀 채취되지 않았는데, 이는 호밀 및 옥수수는 생육이 빠르고 지상부량이 많아 수분흡수력이 왕성하여 용탈수가 거의 발생하지 않은 결과로 보이며 호밀 및 옥수수 재배시 용탈에 의한 지하수 오염은 별로 문제가 되지 않는다고 사료된다. 본 결과는 영년초지에서 1번초 생육기간 중 채취한 용탈수 중의 성분변화를 나타낸 것이다. 이는 봄철 추비(3월 5일)후 1개월 후부터 2주 간격으로 예취(5월 19일) 1일 전까지의 결과인데, 봄철 추비 후부터 최초 채취일(4월 6일)까지는 용탈수가 발생되지 않았다. 돈분뇨의 처리형태에 따른 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 용탈량(그림 2-1)은 화학비료구가 가장 많고 액비 및 퇴비구는 보다 낮았으나 서로 비슷한 수준이었으며 마지막 채취시(5월 18일)에는 전혀 검출되지 않았다.

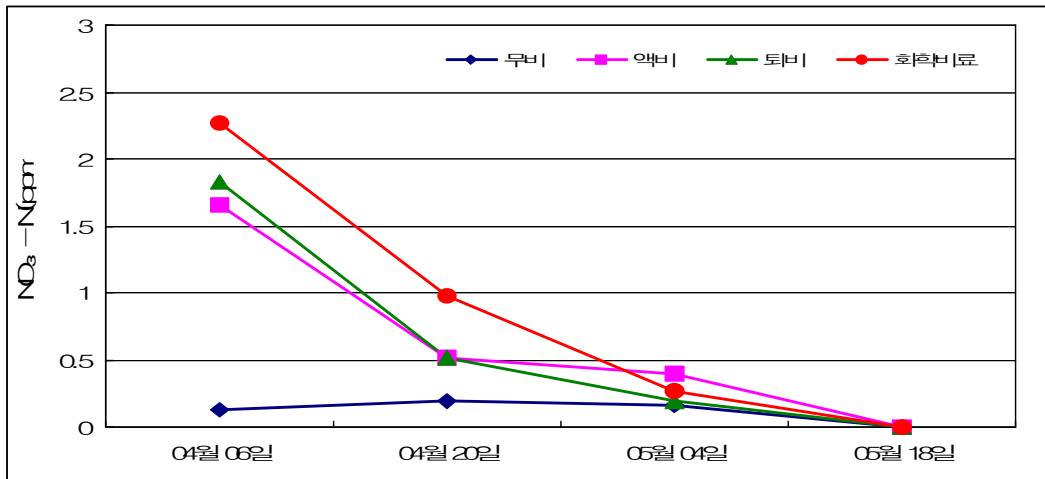


그림 2-1. 토양침투수 중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도 변화

돈분뇨의 처리형태에 따른 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 용탈량(그림 2-2)의 전반적인 용탈량의 변화 추이도 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 용탈과 비슷하였다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 용탈량은 화학비료, 퇴비 및 액비구가 서로 비슷한 수준이었으며 마지막 채취시(5월 18일)에는 전혀 검출되지 않았다.

이러한 결과는 영년초지에서 많은 N의 사용에도 불구하고 N의 용탈량이 결코 많지 않다는 지금까지의 Amberger(1983), Kolenbrande(1969), 육 등(1996), 육(2003), Dressel과 Jung(1983), Merz(1988) 등의 연구결과와도 비슷하다.

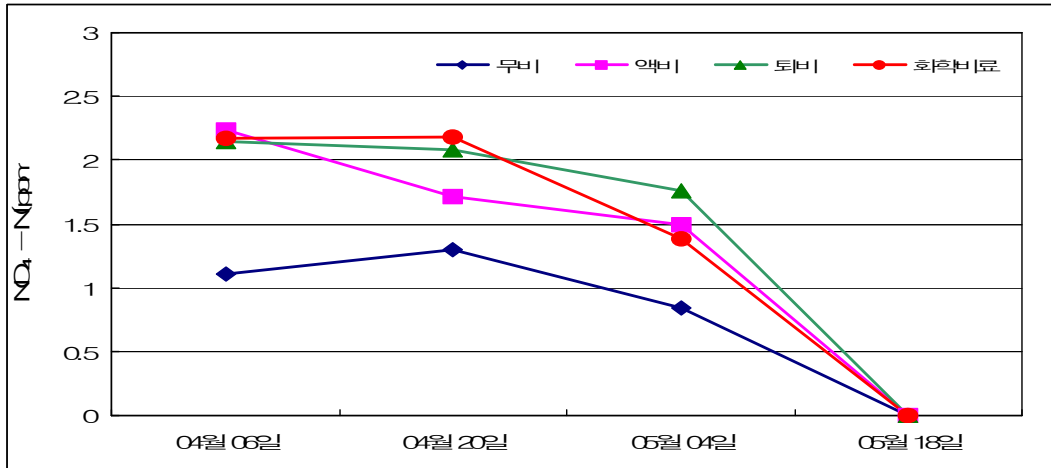


그림 2-2. 토양침투수 중 NH₄-N의 농도 변화

돈분뇨의 처리형태에 따른 PO₄-P 용탈량(그림 2-3)의 전반적인 용탈량의 변화추이는 앞의 질소의 변화와는 약간 다르게 처리에 관계없이 영양생장기 동안 40~80ppb의 범위에서 유지 되었으나, 목초예취 적기에는 모든 처리에서 낮아지는 경향이였다.

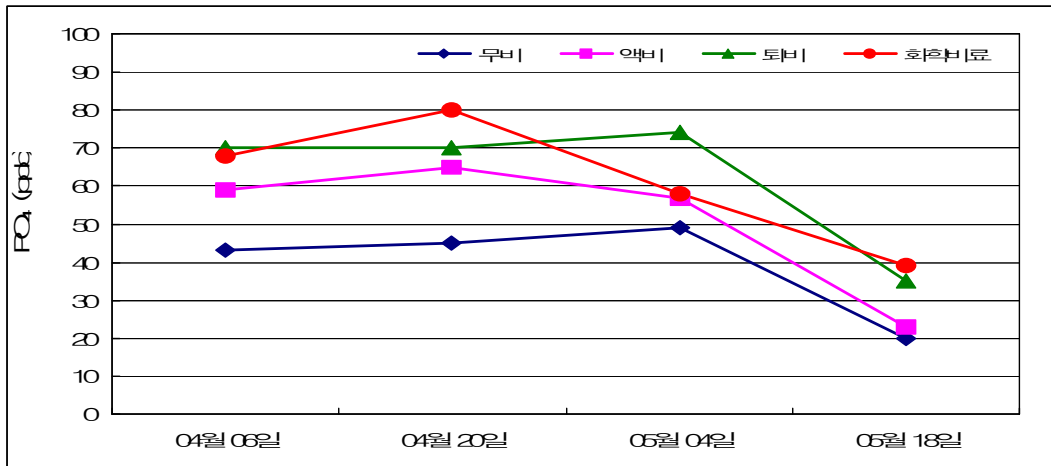


그림 2-3. 토양침투수 중 PO₄-P의 농도 변화

4. 요약

작부체계별 돈분뇨의 처리형태에 따른 조사료의 생산성, 토양의 지력증진 효과 및 양분의 용탈량을 분석하여 조사료공급과 함께 환경보전적 작부체계를 선정하고자 옥수수 단작, 호밀+옥수수 이모작 및 영년초지에서 무비, 화학비료, 돈분액비 및 돈분퇴비구로 나누어 3개년에 걸쳐 수행한 연구결과는 다음과 같다.

- 돈분 액비 및 퇴비의 시용에 따른 건물수량은 화학비료 시용구와 차이가 거의 없었으나, 호밀+옥수수 이모작의 총 건물수량은 옥수수 단작에 비해 약 35% 증수되었다.
- 조단백질, NDF, ADF 및 TDN 함량은 무비구를 제외한 액비, 퇴비 및 화학비료구 간에 거의 차이를 나타내지 않았다.
- 토양의 pH는 시험전후 및 처리간에 차이가 없었는데 가축분뇨시용에 의한 토양산도의 개선효과는 나타나지 않았다.
- 토양의 유기물함량은 년차별로 증가하는 경향이였다.
- 토양 중 유효인산의 함량은 돈분뇨 시용구가 화학비료구에 비해 높은 경향이였다.
- 영년초지에서 N의 시용에 의한 N의 용탈량은 5ppm 미만으로 변이가 크지 않았다.

제 3 절 종합 요약

본 연구는 친환경적 자급조사료 생산과 함께 가축분뇨의 효율적 이용을 위하여 가축 분뇨시 lysimeter 에서의 조사료생산과 양분의 용탈에 대한 연구와 분뇨의 처리형태와 조사료이 생산형태에 따라 경사지를 달리했을때 erosion에 의한 환경오염 문제를 파악하기 위한 연구와 함께 이를 기초로 환경보전적 작부체계를 선정하고자 3개년간에 걸쳐 포장에서 수행한 연구 결과는 다음과 같다.

- 시비 종류별 건물생산과 N생산량에 미치는 영향은 화학비료 > 액비 > 퇴비의 순이었다.
- 분뇨 시용시 조사료 생산성은 분뇨N 200kg에 요소 100kg/ha 수준에서 가장 높았다.
- P의 용탈은 시비의 종류나 수준 및 계절이나 강수량에 관계없이 매우 적었다.
- 조사료의 생산성은 경사도의 증가와 비례하여 감소하였다.
- 조사료의 생산성은 초지나 옥수수 단작보다는 옥수수+호밀 이모작시 가장 높았다.
- N($\text{NO}_3\text{-N}+\text{NH}_4\text{-N}$) 과 P($\text{PO}_4\text{-P}$)의 유실량은 초지에서 가장 적었고 경사도의 증가와 비례하여 유실량도 증가하였다.
- $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 유실량은 액비 시용시 퇴비 시용시보다 더 많았으나 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 유실량은 퇴비 시용시 더 높은 유실량을 나타내었다.
- 가축분뇨시용에 의한 토양산도의 개선효과는 나타나지 않았다.
- 토양의 유기물함량은 년차별로 증가하는 경향이였다.
- 토양 중 유효인산의 함량은 돈분뇨 시용구가 화학비료구에 비해 높은 경향이였다.
- 영년초지에서 N의 시용에 의한 N의 용탈량은 5ppm 미만으로 변이가 크지 않았다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1절 연구개발 목표의 달성도

본 연구는 그 특성상 기후의 영향을 많이 받기 때문에 다년간의 연구가 절대적으로 필요한 연구였지만, 세부과제에서는 단년간의 연구에 머무른 것도 있어 기후의 영향을 받은 결과가 도출 될 수 있었지만 연구사업의 착안점과 연구개발 목표에 따라 계획대로 수행되었으며, 년도별 달성도는 다음과 같다.

1. 1차년도(2002~2003)

본 연구의 목표는 1항의 연구개발 목표에서 설명된 바와 같이 가축분뇨의 시용형태와 조사료의 작부체계에 따라 환경에 미치는 영향과 함께 친환경적 작부체계를 선정하기 위한 것으로서 1차년도까지의 종합적인 연구수행은 정상적으로 진행하였다.

이를 주관연구과제와 협동연구과제를 구분 구체적으로 설명하면 주관연구과제에서의 1차년도 연구수행은 lysimeter에서의 사료작물의 생산성과 함께 양분의 용탈량을 조사하기 위한 것으로서 시험개시와 함께 lysimeter를 제작 설치하고 토양을 분석 충전 하였고 살포할 가축분뇨 역시 수집 분석 후 살포하였다. 옥수수의 파종은 5월초에 파종 8월에 수확하였으며, 생산성에 대한 분석도 계획대로 실행하였다.

또한 용탈수의 채취와 분석역시 포장설치 후 강우시 마다 용탈수를 채취하여 분석하였다. 협동연구과제인 가축분뇨의 환경보전적 이용을 위한 조사료의 적정 작부체계별 생산성 조사 역시 이미 연구계약 시점인 9-10월에 초지와 호밀은 포장을 조성 하였다. 초지는 년 4회 예취하였고 호밀은 5월초에 수확한 후 바로 옥수수를 파종하여 8월 하순경에 수확하고 분석하였다.

2. 2차년도(2003~2004)

본 연구의 목표는 1항의 연구개발 목표에서 설명된 바와 같이 가축분뇨의 시용형태와 조사료의 작부체계에 따라 환경에 미치는 영향과 함께 친환경적 작부체계를 선정

하기 위한 것으로서 종합적인 연구수행은 정상적으로 진행하였다.

이를 주관연구과제와 협동연구과제를 구분 구체적으로 설명하면 주관연구과제에서의 erosion에 의한 가축분뇨의 유실량을 측정하기 위하여 erosion장치를 설치 조사료의 작부형태별로 그 생산성을 조사 그 이용효율을 파악하고, 건조 저장후 분석하였으며 경사지에서의 분뇨 양분 유실에 의한 환경오염 여부를 조사하기 위하여 강우시 마다 유실은 용탈수를 채취 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{PO}_4\text{-P}$ 분석하였다.

협동연구과제인 가축분뇨의 환경보전적 이용을 위한 조사료의 적정 작부체계별 생산성 조사 역시 초지와 호밀은 포장을 조성하고, 초지는 년 3-4회 예취하였으며, 호밀은 5월초 수확한 후, 바로 옥수수를 파종하여 8월 하순경 수확하고 분석하였다. 또한 토양 조사도 정상적으로 이루어졌다.

3. 3차년도(2004-2005)

3차년도의 연구목표는 1-2차년도의 연구에 계속하여 우리나라와 같이 경사도가 많은 산간지형에서 어떠한 조사료의 생산형태와 분뇨처리형태가 조사료의 생산성과 함께 양분의 유실량을 줄여 환경오염을 감소 시킬수 있는 방안을 마련하기 위한 것으로서 종합적인 연구수행은 계획대로 정상적으로 수행되었다.

먼저 주관 연구기관의 연구는 경사지별 조사료의 생산형태와 분뇨의 처리형태에 따른 조건에서의 연구수행을 위하여 erosion 장치를 보강, 토양을 충전하고 분뇨는 가울부터 수집 부숙시킨후 초지와 호밀은 8월과10월에 조성 완료하였으며 생산성조사와 분석 erosion에 의한 물 수집 및 분석은 정상적으로 수행하였다. 협동연구과제는 1-2차년도의 연구를 지속적으로 반복 수행하면서 시험구마다 지하 1m 깊이에 suction cup 을 설치 진공을 한후 정기적으로 지하수를 채취 계획대로 분석 연구를 완료하였다.

제 2절 관련분야에의 기여도

- 한-중-일 합동 심포지엄에서 의 종합적인 연구결과 발표 (2004. 03. 24)
- 가축분뇨의 자원화로 유기농업의 활성화에 응용
- 가축분뇨의 종류나 작부체계 시용수준에 따른 양분의 유출에 의한 환경오염정도를 측정 수질보전대책에 반영 (국무총리실 수질기획단과의 세미나 : 2004. 06)
- 조사료 자원 확보를 위한 정책에 반영
(전북축산 위생연구소의 사업참여도 전라북도 조사료 정책에 반영)

제 5 장. 연구개발결과의 활용계획

본 연구는 앞에서 지적했듯이 작물재배기간으로 인하여 장기적인 기간이 소요되어 장기적이고 여러 가지 조건(경작조건, 분뇨의 종류, 시용수준, 토양조건 등)에 따른 다양하고 유사한 연구가 수행되어질 수 있도록 체계적이고 종합적인 연구지원사업이 이루어져야 만이 환경보전과 함께 유기농업 발전에도 쉽게 다가설 수 있게 될 것이다.

<활용 방안>

- 가축분뇨의 자원화로 유기농업의 활성화에 응용
- 가축분뇨의 종류나 작부체계 시용수준에 따른 양분의 유출에 의한 환경오염정도를 측정 수질보전대책에 반영(국무총리실 수질관리기획단)
- 조사료 자원 확보를 위한 정책에 반영(전북축산 위생연구소의 사업참여도 전라북도 조사료 정책에 반영)
- 농가의 사료작물 작부체계를 효율적으로 운용, 조사료의 안정적인 생산에 응용
- 정확한 시용기준을 설정 및 환경농업정책에 반영
- 경사지에 대한 시비방법을 개선, 지력증진사업에 반영
- 산지의 환경보전적 이용방안 마련

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 2장 국내외 기술개발 현황에서 인용된 문헌에 포함되어 있어 별도로 분류하여 기술하지 않았음

제 7 장 참고문헌

Amverger, A. 1979 : Pflanzenernahrung. -UTB Taschenbuch846, Verlag Eugen Ulmer, stuttgart.

Bewig, F. 1976. Hygienische Bedeutung der Nitrate unter Berücksichtigung der Belastung des Grundwasser im Bereich des Wasserwerks Mussum. Forschung u. Beratung, Reihe C, 30 : 91 - 94

Dam Kofoed A. 1981. Water pollution caused by run-off of manure and fertilizer. In: Brogan J.C.(ed) Nitrogen losses and surface run-off from landspreading of manures. pp 70~75. The Hague : Martinus Nijhoff.

Davies, D.B., T.W.D. Garwood and A.D.H. Rochford. 1996. Factors affecting nitrate leaching from a calcareous loam in East Anglia. Journal of Agricultural Science, Cambrige 126:75-86.

Frost, J.P., R.J. Stevens, and R.J. Laughlin. 1990. Effects of separation and acidification of cattle slurry on ammonia volatilisation and on the efficiency of slurry nitrogen for herbage production. Journal of Agricultural Science, Cambrige 115:49-56.

Galler, J., 1989. Gülle. Leopold Stocker Verlag.

Gilley, J.E., B. Eghball, J.M. Blumenthal, and D.D. Baltensperger. 1999. Runoff and erosion from interrill areas as affected by the application of manure. Transactions of the ASAE 42(4):975~980

Gillingham, J.T., M.M. Shirer, J.J. Starnes, N.R. Page, and E.F. McClain. 1969. Relative occurrence of toxic concentrations of cyanide and nitrate in varieties

of sudangrass and sorghum-sudangrass hybrids. *Agron.J.* 61:727~730.

Goh V.M., and P. Vityakon. 1986. Effects of fertilizers on vegetable production 2. Effects of nitrogen fertilizers nitrogen content and nitrate accumulation of spinach and beetroot. *N.Z.J. Agr. Rs.* 29:485~494.

Hall, J.E. 1986. Soil injection research in the UK. In: Dam Kofoed A., J.H. Williams and P. L'Hermite. (eds) *Efficient Land Use of Sludge and Manures.* pp 108~115. London: Elsevier Applied Science.

Jarvis, S.C., M. Sherwood, and J.H.A.M. Steenvoorden. 1987. Nitrogen losses from animal manures from grazed pastures and from applied slurry. In: Van Der Meer, H.G., R.J. Unwin, T.A. Van Dijk and G.C. Ennik. (eds) *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste* pp 195~212. Dordrecht, the Netherlands : Martinus Nijhoff.

Kilmer, V.J. 1974. Nutrient losses from grasslands through leaching and run-off. In: *Forage fertilization.* ASA, CSSA, SSSA. pp 341~362.

Koriath, h. und kollektiv, "Aufbereitung und Verwertung der Gülle"-agrabuch. 1980

Legg, J.O., and J.J. Meisinger. 1982. Soil nutrition budgets in nitrogen in agricultural soils. In: F.J. Stevenson (ed.) *Nitrogen in agricultural soils.* Agron. Monogr. 22. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI.

Long, F.N.J., and H.I. Gracey. 1990. Effect of fertilizer nitrogen source and cattle slurry on herbage production and nitrogen utilization. *Grass and Forage Science* 45:431-442.

McCalla, T.M. 1974. Use of animal manure wastes as a soil amendment. *J. Soil Water Conserv.* 29:213~216.

- Merz, H. U. : 1988. Untersuchungen zur Wirkung von unbehandelter und methanvergorener Rindergülle auf den N-Umsatz unter *Dactylis glomerata* L. sowie auf das Keimverhalten verschiedener Pflanzenarten. Diss. Uni. Hohenheim
- Murphy, L.S., and G.E. Smith. 1967. Nitrate accumulations in forage crops. *Agron. J.* 59:171~174.
- Noller, C.H., and C.L. Rhykerd. 1974. Relationship of nitrogen fertilization and chemical composition of forage to animal health and performance. in *Forage Fertilization*. ASA. CSSA. pp. 363~394.
- Oertli, J. J. 1985. Magenkrebs, Nitrate, Gemüsekonsum und Vitamine. *Schweiz. Landw. Forsch.* 25(1): 1-11.
- Pain, B.F., T.H. Misselbrook, and Y.J. Rees. 1994. Effects of nitrification inhibitor and acid addition to cattle slurry on nitrogen losses and herbage yields. *Grass and Forage Sci.* 49:209-215.
- Pye, V.I. 1983. Groundwater contamination in the United States. Workshop on Groundwater Resources and Contamination in the United States (Summary and Papers). Natl. Sci. Foundation. Washington. D.C.
- Ruppert, W. M. Stichlmair, J. Bauchben, H. M. Blendl, A. Haisch, K. Hammer, U. hege, R. Juli, L. Melian, W. Nurnber, J. Rieder, P. Rintelen, K. Rutzmoser, W.
- Selenka, F. 1982. Gesundheitliche Aspekte Von Nitrit, Nitrit und Nitrosaminen. Vortrag auf der wasserfachlichen Aussprachetagung in Hamburg am 2. 3.
- Stevens, R.J., H.I. Gracey, D.J. Kilpatrick, M.S. Camlin, D.G. O'Neill, and McLaughlin. 1989. Effective data of application and form of nitrogen on herbage production in spring. *J. Agri. Sci., Cambridge* 112:329~337.

Sunkel, R. 1983. Nitratbelastung des Trinkwassers durch die Landnutzung. Z. Kulturtechn. u. Flurbereinig. 24, 180-185.

Vetter, H., G. Steffens, 1986. Wirtschafts eigene Düngung. DLG-Verlag.

육완방. 1990. 영년혼파초지에 있어서 예취빈도와 질소시비수준이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 유실에 미치는 영향. 한초지. 10(2):84-88.

육완방. 1992. 가축분뇨의 이용형태가 목초의 생산성, 지력증진 및 환경오염에 미치는 영향. 동물자원연구센터 증장기 연구과제 중간보고서.

육완방. 1994. 가축분뇨(액비)의 사료작물 시용시 질소용탈량 기초조사 시험. 한국농촌경제연구원 연구보고서. C-94-5.

육완방. 1997. 액상구비 및 요소의 시용수준이 silage용 옥수수의 생산성에 미치는 영향. 축산시설환경. 3(1):43-48.

육완방. 2003. 가축분뇨의 처리형태와 시용수준이 영년초지의 생산성, 지력증진 및 환경에 미치는 영향. 한초지 23(3):193-202.

육완방, 김범준, 최기춘, 광병관. 2002. Lysimeter에서 돈분 및 화학비료의 시용수준이 옥수수의 생산성 및 N과 P의 용탈에 미치는 영향. 한초지 22(2):85-92.

육완방, 안승현, 최기춘. 2000. 경사지에 대한 가축분뇨 시용시 옥수수의 생산성과 양분유실에 관한 연구. 한초지 20(1):31-40.

육완방, 차용복, 금종성, 이종민, 한영근. 1997. 액상구비의 시용시기와 시용수준이 호밀의 생산성에 미치는 영향. 한초지. 17(1):75-81.

최기춘, 육완방. 2000. 발효돈분 및 화학비료 시용이 사일리지용 옥수수의 생산성과 사료가치에 미치는 영향. 한초지 20(1):41-48.

육완방, 최기춘. 2001. 혼파초지에서 가축분뇨의 종류와 사용수준이 목초의 생산성 및 지력증진에 미치는 영향. 한초지 21(4):203-210.

육완방, 최기춘. 2002. 액상발효우분(Cattle Slurry) 및 요소의 N 사용수준이 옥수수의 생산성과 N의 용탈에 관한 연구. 한초지 22(1):37-44.

육완방, 최기춘, 안승현, 이종갑. 1999. 액상발효우분 사용시기와 사용량이 호밀경작지 토양의 NO_3^- 함량에 미치는 영향. 한초지 19(2):141-146.

육완방, 최기춘, 유근창. 2004. 가축분뇨의 처리형태별 사용시기가 영년초지에 있어서 분뇨의 이용효율 및 목초의 생산성에 미치는 영향. 한초지. 24(1):71-80.

윤순강. 1994. 요소와 가축분에서 유래한 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 동반양이온의 토양 중 행동. 서울대학교 박사학위논문

자급조사료 생산을 위한 환경친화적
가축분뇨의 시용방법에 관한 연구

Development of the Technique for Environmentally
Friendly Utilization of Animal Manure
for the Production of Self-sufficient Forage

건국대학교

농림부