

박사학위논문

제주 화산회토양에서 돈분액비 시용이
수수×수단그라스 교잡종의 생산성과
유거수 및 용탈수의 특성에 미치는 영향



제주대학교 대학원

동물자원과학과

박 남 건

2005년 7월


제주 화산회토양에서 돈분액비 시용이
수수×수단그라스 교잡종의 생산성과
유거수 및 용탈수의 특성에 미치는 영향

지도교수 김 문 철

박 남 건

이 논문을 농학박사 학위논문으로 제출함

2005년 7월

 제주대학교 중앙도서관
박남건의 농학박사 학위논문을 인준함

심사위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

제주대학교 대학원

2005년 7월

Effects of Pig Slurry Application on the Forage Productivity of Sorghum×Sudangrass Hybrid and the Characteristics of Runoff and Leaching Water in Volcanic Ash Soil in Jeju

Nam-Geon Park

(Supervised by Professor Moon-Chul Kim)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF
AGRICULTURE

2005. 7.

DEPARTMENT OF ANIMAL SCIENCE AND
BIOTECHNOLOGY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목차	i
Summary	v
I. 서 론	1
II. 연구사	4
1. 가축분뇨를 이용한 조사료 생산성	4
2. 가축분뇨 시용에 따른 토양의 특성변화	6
3. 가축분뇨 시용에 따른 유거수의 수질특성	8
4. 가축분뇨 시용에 따른 용탈수의 수질특성	10
III. 재료 및 방법	13
<시험 1> 제주 화산회토양에서 돈분액비 발효형태가 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량, 사료가치 및 토양특성에 미치는 영향	13
1. 시험장소 및 시험기간 중 기상개황	13
2. 공시토양 및 돈분액비 성분의 특성	14
3. 실험설계 및 시험구 배치	15

4. 시비량 및 파종방법	15
5. 분석방법	15
6. 통계분석	17

<시험 2> 제주 화산회토양에서 돈분액비 시용이 수수×수단그라스 교잡종의

생산량 및 토양의 특성에 미치는 영향 18

1. 시험장소 및 시험기간 중 기상개황	18
2. 공시토양 및 돈분액비 성분의 특성	19
3. 실험설계 및 시험구 배치	20
4. 시비량 및 파종방법	20
5. 분석방법	21
6. 통계분석	22

<시험 3> Lysimeter에서 수수×수단그라스 교잡종 재배시 돈분액비 시용이

유거수 및 용탈수의 특성에 미치는 영향 23

1. 시험장소 및 시험기간 중 기상개황	23
2. 공시토양 및 돈분액비 성분의 특성	24
3. Lysimeter 설계 및 설치	25
4. 실험설계 및 시험구 배치	26
5. 시비량 및 파종방법	26

6. 관수량 및 시료채취	26
7. 분석방법	27
8. 통계분석	29

IV. 결과 및 고찰 **30**

<시험 1> 제주 화산회토양에서 돈분액비 발효형태가 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량, 사료가치 및 토양특성에 미치는 영향 **30**

1. 생육시기별 초장	30
2. 건물수량	31
3. 사료가치	33
4. 시험 후 토양특성	34



<시험 2> 제주 화산회토양에서 돈분액비 시용수준이 수수×수단그라스 교잡종의 생산량 및 토양의 특성에 미치는 영향 **37**

1. 생육시기별 초장	37
2. 건물수량	39
3. 조단백질 함량 및 질소회수량	43
4. 사료가치	45
5. 시험 후 토양특성	46

〈시험 3〉 Lysimeter에서 수수×수단그라스 교잡종 재배시 돈분액비 시용이 유거수 및 용탈수의 특성에 미치는 영향	49
1. 건물수량	49
2. 유거수의 수질특성	51
1) BOD 및 COD	51
2) T-N 및 T-P	54
3) NO ₃ -N 및 NH ₄ -N	58
4) 무기물	62
5) 유거수 성분간의 상관관계	64
3. 용탈수의 수질특성	65
1) NO ₃ -N	65
2) 무기물	70
3) 용탈수 성분간의 상관관계	74
V. 종합 결론	77
VI. 적 요	81
VII. 인용문헌	84
감사의 말씀	97

Summary

These studies were conducted to determine the effects of pig slurry for cultivating sorghum×sudangrass hybrid(*Sorghum bicolor* (L.) Moench) mainly cultivated in summer in double crop systems for forage production on the productivity of sorghum×sudangrass hybrid, the characteristics of runoff and leaching water in Jeju area.

Experiment 1 was carried out to investigate the effects of chemical fertilizer and ferment properties of pig slurry on the dry matter yield of sorghum×sudangrass hybrid and chemical properties of soil. The treatments were arranged in a randomized complete block design with three replications, divided into three treatments including chemical fertilizer 200kg N/ha, aerobic fermented pig slurry 200kg N/ha, and aerobic fermented pig slurry treated with probiotics 200kg N/ha. There was no difference in the height of sorghum×sudangrass hybrid in chemical fertilizer and fermented pig slurry application treatments, when the same amount (200kg N/ha) was applied. Also the dry matter yields of sorghum×sudangrass hybrid were no significantly difference in chemical fertilizer and fermented pig slurry application treatments. The pH of soil showed 5.35~5.63 after testing, which was no significantly difference, but the content of available P₂O₅ of soil of chemical fertilizer treatment was significantly higher ($p<0.05$) than that of fermented pig slurry applications. The content of K of soil was contained significantly high($p<0.05$) when the aerobic fermented pig slurry treated with probiotics was applied.

Experiment 2 was carried out to investigate the effects of chemical

fertilizer, pig slurry application levels and methods on the productivity of sorghum×sudangrass hybrid and chemical properties of soil. The treatments were arranged in a randomized complete block design with three replications, divided into seven treatments including chemical fertilizer(200kg N/ha), pig slurry applications (200, 300, 400kg N/ha) and pig slurry applications (100, 150 and 200kg N/ha) plus chemical fertilizer (100 N/ha). There was no significantly difference in growing phase of sorghum×sudangrass hybrid in accordance with the using chemical fertilizer and pig slurry application level. The dry matter yields tended to be high with increasing rates of pig slurry application level, and the dry matter yield was higher($p<0.1$) in pig slurry 400kg N/ha compared with those of mixed pig slurry applications (100 and 200kg N/ha) plus chemical fertilizer (100 N/ha). But the chemical fertilizer and pig slurry application resulted in similar dry matter yield when both was applied by 200kg/ha nitrogen. The dry matter yields per nitrogen kg were higher($p<0.01$) in chemical fertilizer, pig slurry single application and pig slurry plus chemical fertilizer application applied 200kg/ha of nitrogen than the other treatments.

Experiment 3 was conducted to determine the effects of applying level of pig slurry on the characteristics of runoff and leaching water in lysimeter. Treatments were broken down into five treatments such as non-chemical fertilizer, chemical fertilizer (200kg N/ha) and pig slurry (200, 400, 600kg N/ha), and 3-time-repeated randomized complete block design was fulfilled. The dry matter yield of sorghum×sudangrass hybrid was increased($p<0.01$) significantly proportionate to the applying level of pig slurry in lysimeter. But the dry matter yields were not significantly

different when 200kg/ha of nitrogen was applied to chemical fertilizer and pig slurry. The contents of BOD and COD of pig slurry 600kg N/ha were significantly higher ($p<0.05$) than the other treatments at initial application of pig slurry. And increasing application of pig slurry resulted in increasing T-N in runoff water. T-P concentration of runoff seemed to be influenced not so much by the applying level of pig slurry, and there was no difference among treatments. The concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N}$ were raised($p<0.05$) in proportion to the applying level of pig slurry. $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration of leaching water collected from soil depth 20cm and 40cm was intensified as the applying level of pig slurry and was higher ($p<0.05$) in pig slurry 600kg N/ha application. Ca and Mg concentrations of soil depth 40cm tended to be more intensive than those of soil depth 20cm. K and Na concentrations were not inconsistent during the experimental period. In leaching water because $\text{NO}_3\text{-N}$ and Ca, Mg, K appeared positive correlation coefficient, simultaneous increase of the cations concentration including Ca, Mg and K implied that these cations could be leached by accompanied with $\text{NO}_3\text{-N}$.

In conclusion, pig slurry at the volcanic ash soil in Jeju area can replace the chemical fertilizer as it is tested that applying 200kg N/ha of pig slurry and chemical fertilizer show the same productivity of sorghum×sudangrass hybrid. But more than 200kg N/ha of pig slurry may not be appropriate because it may contaminate the runoff and leaching water even though it may increase for the forage productivity.

I. 서론

제주지역은 1990년대 후반부터 돼지고기의 대일 수출이 늘어나면서 2001년도 제주도의 돼지 사육두수는 360천두로 증가하였으며 연간 수출물량은 13.2천톤에 이르렀다. 그러나 돼지 사육두수의 증가는 분뇨 발생량도 증가시켜 2003년도에는 전체 가축분뇨 발생량 1,641천톤 중 양돈산업에서 발생하는 분뇨발생량은 70%로 많은 비중을 차지하고 있다. 이러한 가축분뇨 발생량 증가는 분뇨 처리에 막대한 비용이 들어 양돈농가의 축산경영에 많은 어려움을 초래하고 있다.

이러한 가축분뇨를 비료자원으로 활용한다면 양돈농가의 경영에 많은 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 조사료 생산비를 크게 절감할 수 있을 것이다. 돈분액비는 고농도의 유기성 물질로서 비료성분을 다량 함유하고 있어 토지에 환원될 경우 토양개량 효과는 물론이고 화학비료를 절감시키면서 작물의 생산성을 높일 수 있다. 초식가축을 사육하는 농가에서 조사료 생산을 저렴한 가격으로 작물이 필요로 하는 영양소를 충족시키는 것은 매우 중요한 사항 중의 하나이며, 이러한 목적을 위해 돈분액비를 활용한 조사료 생산은 매우 유용하다고 할 수 있다. 또한 가축분뇨의 활용은 조사료를 생산하는 측면 외에도 자원의 활용 측면에서 보더라도 그 의미가 크다. 최근 들어 정책적으로 돈분액비를 자원화하기 위하여 장비개선과 시설에 대한 지원이 강화되면서 조사료 생산에 돈분액비를 이용하는 농가가 점점 증가하고 있다.

제주지역의 초지면적은 전국의 40%를 차지하고 있어 돼지분뇨를 적절하게 이용할 경우 양돈농가나 초식가축을 사육하는 농가에 많은 도움을 줄 수 있다. 제주지역의 조사료 생산을 위한 작부체계는 하작물로는 수수×수단그라스 교잡종이 주로 재배되고 있으며 동작물은 이탈리아안 라이그라스가 재배되고 있다.

여름철 사료작물인 수수×수단그라스 교잡종은 질소사용량에 따라 건물수량이 많은 영향을 받는 다비성 작물로서 농가에서는 건물수량을 높이기 위하여 많은 양의 돈분액비를 사용하고 있다.

우리나라에서 주로 재배되고 있는 수수×수단그라스 교잡종 또는 옥수수외 경우 동일한 질소시비 조건하에서 생초 및 건물수량은 액상구비를 사용하였을 경우 화학비료를 사용하였을 때보다 조금 낮거나 차이가 없었다고 하였다(전 등, 1995; 신 등, 1999a). 그러나 가축분뇨의 사용증가에 따라 건물수량은 증가하였으며 경사도 및 토성 등 토양조건에 따라 건물수량이 차이가 난다고 하였다(육 등, 2000; 육과 최, 2002). 그러나 가축분의 종류 및 수수×수단그라스 품종간에 따른 차이는 없었으며, 가축분에 따른 사료가치는 질소질 비료의 과다 사용시 식물체내에 질산태질소의 함량을 높여 가축의 기호성에 영향을 준다는 보고가 있어(Gangstad, 1964; Harms와 Tucker, 1973; 서 등, 2002a; 서 등, 2002b) 가축분뇨를 적절히 사용하여야 한다.

한편 가축분뇨 사용은 토양(양분축적), 물(부영양화), 그리고 대기(지구온난화, 악취) 환경에 많은 영향을 주는데(Jongbloed와 Lenis, 1998), 그 동안 우리나라에서는 사료작물의 생산성을 높이기 위한 가축분뇨의 이용 연구가 주로 수행되어졌으며 수질환경에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 가축분뇨의 사용은 강우시 유거수에 의하여 사용된 영양분들이 하천으로 유입되어 부영양화를 초래할 수 있고 또한 용탈수와 함께 지하로 유입되어 지하수를 오염시킬 수 있다(Exner 등, 1991; Hollen 등, 1992). 따라서 유럽 선진국에서는 이미 1980년대 이후 많은 양의 질소비료나 가축분뇨의 사용은 하천이나 지하수 오염을 유발하여 인간의 건강에 커다란 문제를 야기시킬 수 있는 잠재적인 문제점을 안고 있기 때문에 농가에서 가축분뇨의 사용에 대하여 많은 규제를 하고 있다.

제주지역의 사료작물 재배지나 목초지는 경사가 심하여 강우시 유거수 발

생이 잘 일어나며 토양은 대부분 화산회토양으로 투수성이 높다. 이러한 지리적 특성을 고려하지 않고 농가에서는 화학비료를 대체하여 돈분액비를 다량으로 사용하고 있는데 이는 환경오염을 유발시킬 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 그러므로 기후, 토양조건 등이 내륙지방과 다른 특성을 갖고 있는 제주지역 화산회토양 조건에 알맞는 친환경적인 가축분뇨의 이용체계를 확립하는 것이 필수적이라 할 수 있다.

따라서 본 연구는 제주지역 화산회토양에서 주로 재배하고 있는 사료작물 생산체계에 있어 돈분액비의 발효특성이 수수×수단그라스 교잡종의 생육특성 및 토양에 미치는 영향을 구명하고, 돈분액비의 사용수준과 사용방법에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 생산성과 유거수 및 용탈수 등 수질 환경에 미치는 영향을 구명하기 위하여 실시하였다.



II. 연구사

1. 가축분뇨를 이용한 조사료 생산성

가축분뇨의 이용은 토양의 비옥도를 개선하고 작물의 생산성을 향상시킬 수 있기 때문에 오래전부터 농업적으로 이용되어져 왔으며, 특히 유기물이 적은 토양에서 많이 이용되어져 왔다(Garcia 등, 1994; Garcia-Gil 등, 2000). 비록 돈분액비가 퇴비에 비하여 유기물이 많지는 않지만(Ndayegamiye와 Cote, 1989), 화학비료와 비교한다면 토양의 비옥도나 지력증진에 매우 유효하다고 할 수 있다(Bernal 등, 1992).

전 등(1995)에 따르면 동일한 질소시비 조건하에서 수수×수단그라스 교잡종의 생초 및 건물수량은 화학비료구가 액상구비구보다 높게 나타났다. 이와 같이 액상구비에 비하여 화학비료가 효과가 높은 것은 화학비료가 속효성인 점과 화학비료구는 인산과 칼리를 각각 기비로 사용하는데 기인한다고 하였다. 그러나 신 등(1999a)은 사일리지용 옥수수 및 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량 및 TDN 수량은 화학비료구와 액상구비구 처리간에 유의적인 차이가 없었다고 하였다. 또한 우분액비의 시용시기는 옥수수의 건물수량과 질소회수율에 유의적인 효과가 있었지만 화학비료 및 퇴비 처리간(퇴비 600kg/ha, 화학비료 200kg/ha, 퇴비 300+화학비료 100kg/ha)에 건물수량이나 질소회수율에 대하여 유의적인 차이가 없었다(Zebarth 등, 1996).

육과 최(2002)에 따르면 옥수수의 건물생산량은 액상발효 우분의 시용증가에 따라 증가하였으며, 화학비료의 경우도 유사한 경향을 보였으나 액비시용

수준 증가에 따른 효과보다 낮은 효과를 나타내었다고 하였다. 또한 제주 농암 갈색 화산회토양에서 돈분액비 시용수준에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 생산성은 돈분액비 300kg N/kg과 400kg N/ha을 시용하였을 때 질소 200kg/ha를 시용한 화학비료구에 비해 높은 생산성을 보였다(박 등, 2003). 한편 혼합 발효돈분을 시용하였을 때 재배지의 경사도 증가에 따라 옥수수의 건물수량은 감소되는 경향을 보였고 발효돈분 시용수준의 증가에 따라 유의적으로 건물수량은 증가하였다(육 등, 2000). 사일리지용 옥수수의 건물수량 및 TDN 함량은 액상 발효돈분 시용구가 톱밥 발효돈분보다 높았다고 하였다(최와 육, 2000). 그러나 서 등(1999)에 따르면 우리나라에서 주요 추천품종으로 보급되고 있는 수수×수단그라스 교잡종에 대하여 발효우분, 돈분 및 계분을 시용하였을 때 수수×수단그라스 교잡종의 생육특성 및 건물수량은 차이는 없었다고 하였다.

가축분 시용에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 사료가치 평가에 대한 연구에서 질소질 비료의 과다시용은 식물체내에 질산태질소의 함량을 높인다고 하였다(Harms와 Tucker, 1973; May 등, 1990). 국내에서도 가축분 시용에 따른 사료가치에 대한 연구가 수행되어졌는데, 서 등(2002a)과 서 등(2002b)에 따르면 수수×수단그라스 교잡종의 질산태질소 함량은 가축분 퇴비 시용구가 무비구에 비하여 유의적으로 증가하였으며 가축분 퇴비 시용수준이 높아짐에 따라 유의적으로 증가하였다고 하였다. 특히 돈분시용구에서는 시용수준 증가폭이 증가에 따라 질산태질소 함량이 높아지는 것으로 나타났다. 또한 가축분 시용수준의 증가에 따라 수수×수단그라스 교잡종의 가축 채식률은 감소하였는데 이는 수수×수단그라스 교잡종의 당 함량이 가축의 기호성에 영향을 준 것으로 보고하였다(Ganstad, 1964; 서 등, 2002a; 서 등, 2002b)

이와 같이 사료작물 재배시 가축분뇨의 적절한 이용은 화학비료를 충분히

대체할 수 있으며 가축분뇨가 조사료 생산에 유용한 유기질 비료자원으로 활용할 수 있음을 나타내고 있다.

2. 가축분뇨 시용에 따른 토양의 특성변화

가축분뇨가 토양에 환원될 경우에는 식물에 대한 영양공급은 물론 토양 입자의 구조를 개선하여 보수력과 통기성을 높여주고 토양의 비옥도 증진에 크게 기여한다고 하였다(Long와 Gracey, 1990; Wilkinson, 1979).

토양 pH와 T-N는 동일한 질소 시비수준에서 화학비료구에 비해 액상구비에서 높게 나타났고 토양양분보전 및 개선에 효과가 높았다. 토양내 Ca, Mg, 및 K 함량은 액비시용구가 화학비료구보다 높아 액비시용이 토양의 이화학적 성분을 유지하거나 개선하는데 효과가 있었다고 하였다(전 등, 1995). 또한 Plaza 등(2002)은 돈분액비의 시용은 토양 pH 및 EC를 높게 하였으며 C/N 비율은 반대의 경향을 나타내었다고 하였다. 퇴비시용이 물의 투수율을 감소시키고 EC 및 안정화된 토양 pH를 유지함으로써 토양완충능력을 증가시켰다. 이렇게 증가된 토양완충능력은 퇴비시용을 통하여 토양에 유기물의 축적능력을 향상시킨다고 하였다(Stamatiadis 등, 1999). 반면 제주 화산회토양의 초지에 돈분액비를 시용한 결과 토양 pH 및 T-N 등은 화학비료구나 액비시용구간에 뚜렷한 차이는 없었으나, 토양의 K, Ca, Mg 함량은 액비시용구에서 높게 나타났다(고 등, 2003). 또한 젖소액비의 시용시 토양산도는 시험 전 토양보다 시험 후 토양에서 낮았으며, 유기물과 인산 함량은 시험 전보다 액비처리 후 토양에서 높게 나타났지만 시용량 증가에 따라 비례적인 증가는 보이지는 않았다(신 등, 1998; 신 등, 1999a). 초지토양의 유기물 함량은 화학비료구보다 가축분시용구

에서 높았으며 가축분을 사용한 토양의 양분보존능력은 화학비료구보다 높았지만 반대로 Na 함량은 화학비료구보다 낮았다(정과 전, 1989).

가축분뇨의 사용에 따른 토양 유기물 함량은 톱밥발효돈분 사용하였을 때가 3.81%로 가장 높았고 화학비료와 액상발효돈분이 3.59% 및 3.57%로 가장 낮았는데 이는 돈분 또는 톱밥내의 유기물 함량이 화학비료나 액비에 비해 높았기 때문이다(육, 2003). 그러나 김 등(2001)은 이탈리아 라이그라스 재배지의 토양유기물 함량은 돈분액비의 사용수준 증가에 따라 통계적으로 유의적인 감소를 보였다. 반면에 신 등(1999b)은 혼파초지에 고액돈분액비를 사용하였을 때 토양의 유기물 함량이 높아져 토양의 비옥도를 증진시켰다고 하였다.

돈분액비의 사용은 토양 pH 변화의 원인이 되며, 토양의 Ca과 Mg 함량은 시험이 끝날 무렵 증가를 보였다. 그리고 토양 K 함량은 돈분액비의 투입에 따라 비례적인 증가를 보였다(Dolan과 Bolger, 1997). 초지토양에 우분액비의 사용량을 달리 하였을 때 토양(0 ~ 10 cm) 중 K 및 P 함량은 유의적인 증가가 있었으나 T-N 함량은 유의차가 없었다(Kandeler 등, 1994). 1~4년 동안 젖소 슬러지를 목초지에 사용한 결과 대부분의 토양에서 P의 함량은 적절하였으나 K는 부족하여 젖소 슬러지를 사용하였을 때는 K 보충물을 추가로 시비하는 것이 필요하다(Lopez-Mosquera 등, 2000)는 보고도 있어 토지의 이용형태에 따라 양이온들의 변화가 다양하게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

강 등(2001)에 따르면 제주 화산회토양에서 용성인비 및 염화가리에 의하여 공급된 Ca, Mg, K 함량은 다비구일수록 높아져 토양 중에 잔존량이 많았으나 무비구의 Na 함량은 일정한 경향을 보이지 않았다고 하였다. 또한 토심별로는 치환성 Ca, Mg, K 모두 10~20cm의 표층보다 20~40cm의 심토층에서 함량이 높게 나타나 식물체에 의해 흡수되고 남은 잔존량은 작토층 하부로 이동되어

축적되고 심토층으로 용탈되고 있음을 보여 주었다고 하였다. 반면에 Pleysier와 Juo(1981)에 의하면 양이온들의 용탈은 서로 다르고 토양의 양이온교환 선택성에 의존하며, 양이온들의 용탈은 $K < Al = Ca = Mg < Na$ 순이며, 이와는 반대로 토양의 양이온 흡착력은 $K > Al = Ca = Mg > Na$ 순으로 K가 가장 크다고 보고하였다.

3. 가축분뇨 시용에 따른 유기수의 수질특성

작물재배지에서 유기수의 수질변화는 토양, 강우, 지질구조, 영농방법, 재배작물 등 많은 요인들에 의하여 영향을 받기 때문에 단순히 토지의 이용과 오염부하 배출량을 정량적으로 쉽게 기술할 수는 없다. 가축분뇨 시용이 지구환경에 미치는 영향은 크게 3가지로 나누어 볼 수 있는데 토양(양분축적), 물(부영양화), 그리고 공기(지구온난화, 악취)로 나눌 수 있다(Jongbloed와 Lenis, 1998). 그 동안 우리나라에서는 토지이용과 수질에 대한 연구는 드물었고, 토양유실과 생산성에 대한 연구가 주로 이루어져 왔다. 가축분뇨에는 질소, 인산, 칼리 등의 다량원소 뿐만 아니라 철, 구리, 아연, 망간 등의 미량원소도 골고루 포함되어 있어 작물에 대한 종합적인 양분 공급이 가능하므로 적정량을 시용한다면 양질의 조사료를 생산할 수 있다.

토양에 시용된 비료와 가축분뇨 중의 질소는 작물에 따라 차이가 있으나 일부는 식물의 대사를 통하여 식물체구성 물질 합성에 이용되지만 일부는 식물이 흡수하지 못하고 토양에 축적되거나 지하수로 용탈된다(Roth와 Fox, 1990). 또한 토양표층에 있는 질소는 강우시 유기수에 의하여 하천으로 유입되어 부영양화를 초래할 수 있고 심토층에 있는 질소는 토양수와 함께 용탈되어 지하수

로 유입될 가능성이 높다고 하였다(Exner 등, 1991; Hollen 등, 1992).

유거수 수질의 주요한 측정 항목은 $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, T-P, BOD, COD로서 지표면에 물 흐름이 발생시 유출량 및 T-N와 T-P의 농도는 급격히 증가하였다(최 등, 1995). 또한 경사지에 톱밥발효돈분 시용에 따른 유거수 중의 유기물과 질소량을 조사한 결과 경사도의 증가에 따라 유기물과 질소의 유실량은 증가하였다(육 등, 2000). Bruno와 Ritchie(2005)는 액상구비시용이 토양유기물 증가에는 유의할지 모르나 유기태 질소가 질산태질소의 용탈을 일으킬 가능성에 대하여 주의할 필요가 있다고 하였다.

유럽에서는 1980년대 이후 많은 양의 질소비료나 가축분뇨의 시용은 하천이나 지하수 오염을 유발하여 인간의 건강에 커다란 문제를 야기시킬 수 있는 잠재적인 문제점을 안고 있기 때문에 질산태질소의 용탈을 감소시키기 위하여 작물생육이 거의 되지 않은 시기인 가을이나 겨울철 동안에는 작물재배지에 분뇨시용을 보다 제한하고 있으며, 또한 토양의 종류, 재배 작물에 따라 시용시기 및 시용방법이 제한되고 있다(Jongbloed와 Lenis, 1998; Zebarth 등, 1996).

액상구비 시용에 따른 질소의 손실은 유기물에 의한 무기화 또는 작물에 이용되는 양은 매우 적으며 대부분 휘산이나 유거수 및 지하수로 용탈에 의하여 양분손실이 일어난다(Gregory 등, 2002). 유거수 발생을 일으키기 쉬운 경작지에 액비의 시용은 유거수 중에 고형물과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 손실을 증가시키지만, $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 대한 영향은 크지 않다고 하였다(Smith 등, 2001a). 돈분이 시용된 토양에서 유거수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 양이온 농도간에는 상호 유의한 관계가 있으며 이것은 강우시 빗물에 의하여 토양표면에서 유실되는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 다른 양이온들과 당량적으로 짝을 이루어 이동한다고 하였다(윤과 류, 1996). 혼파초지에 우

분뇨 액상구비를 시용시 유기수내 BOD 및 COD는 무비구에서 가장 낮았으며
우분뇨액비 시용수준이 증가함에 따라 높아졌다(김 등, 2000). Smith 등(2001b)
은 유기수를 통한 슬러리 중 P의 손실은 하천으로 유입되어 부영양화를 가속
화시키고 특히 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 같이 높을 때 그 영향은 더 크다고 하였다.

4. 가축분뇨 시용에 따른 용탈수의 수질특성

작물의 요구량보다 과다한 가축분뇨 시용은 잉여양분이 근권이하로 용탈되
어 지하수를 오염시킬 수 있는 가능성이 높다고 할 수 있다. 방목초지에 시용
된 돈분액비의 질소성분은 용탈 8~19%, 목초이용 20%, 휘산 15~26%, 토양
및 식물체뿌리 잔존 14~18%이며 나머지 약 30%는 탈질에 의하여 손실된다고
하였다(Carey 등, 1997). Powell과 Gaines(1994)에 따르면 퇴비시용시 토양구조
는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 용탈에 영향을 주며 모래와 같이 거친 토양조직은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 를 토양으
로부터 더 빨리 용탈시키나 식양토와 같은 보다 조밀한 토양구조에서는 더디게
용탈된다고 하였다. 화산회토양에서 퇴비 및 요소 시용에 따른 토양에 축적된
 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 질소시용량이 증가할수록 증가하였다(강과 송, 2001). 또한 사
양질 및 습한 토양 조건에서 겨울철 동안 무기화 된 질소와 옥수수 재배 후 토
양에 남아 있던 모든 $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 용탈이 촉진되어 진다고 하였다(Trindade 등,
1997).

$\text{NO}_3\text{-N}$ 와 P의 용탈량은 돈분액비, 톱밥발효돈분 및 화학비료 모두 시용수
준에 비례하여 증가하였으며 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 단지 시험초기 집중 호우시에 높
은 용탈량을 나타낸 반면 P는 강우시마다 지속적으로 높은 경향을 보였다(육
등, 2002). 또한 육(2003)에 따르면 혼과초지에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 용탈은 8월 하순부

터 9월 초순에 가장 높았으며 질소 400kg/ha 시용수준까지는 유의적인 차이는 나타나지 않았다고 하여 목초의 생육이 정지되는 하고기에 용탈이 많이 일어나고 있음을 알 수 있었다. 또한 $\text{NO}_3\text{-N}$ 나 다른 용해성 영양분의 용탈은 강수량이 많은 지역에서 증가되었고 작물요구량 이상이나 토양수용능력 이상으로 분뇨를 시용했을 때 양분축적이나 용탈이 일어난다고 하였다(Lorain과 Buckley, 2003).

액상분뇨가 시용된 초지 토양의 무기태 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량은 액비시용량간에 차이를 나타내지 않았으나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 액비시용량이 많을수록 함량도 높아졌으며 심토로 이동하여 집적하였다. 또한 용탈수의 질산태질소 농도는 연중 심한 변이를 나타내었다고 하였다(류, 1997). 반면에 옥수수 재배지의 0.9~1.2m 깊이에서 질산태질소의 농도는 화학비료구가 분뇨시용구 보다 높았으며 이는 화학비료가 분뇨시용구보다 질산태질소 용탈에 보다 큰 영향을 받을 가능성이 높기 때문이라고 하였다(Dauden와 Quilez, 2004).

표토의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 비교시 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도가 증가할수록 $\text{NO}_3\text{-N}$ 도 증가하는 정의 상관관을 보였으나 심토에서는 반대로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 증가함에 따라 $\text{NH}_4\text{-N}$ 가 감소하는 부의 상관관을 보였다(윤과 류, 1994). 토양 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 액비시용기간 동안 증가했고 액비시용량이 많은 처리구에서 증가하였다(Lowrance 등, 1998). 용탈수 중 양이온의 농도는 돈분시용량이 증가할수록 Ca, Mg 및 Na 농도가 증가하였으며 이들 양이온 등이 돈분유래 $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 동반하여 용탈되는 경향을 보였다. 용탈수에서 질산태질소에 대한 양이온들의 당량비는 돈분시용량이 많을수록 증가하였으며 사양토, 양토 공히 돈분 시용량이 많을수록 심토 중에 질산태질소 농도가 증가하였다(윤과 류, 1996). 또한 Pleyzier와 Juo(1981)도 양이온 용탈시험에서 심토층에 Ca, Mg 및 K 이온이 축적되며

Cl 이온도 심토에서 증가함을 보고하였다. 따라서 용탈수에 의해 이동되는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 토양 중 양이온들과 동반용탈되어 심토층 및 지하로 용탈됨으로써 지하수의 염류농도 증가를 유발할 가능성이 있다고 하였다.

제주도의 지질은 투수성이 높아 비료성분 및 축산폐수 등으로 기인된 질산태질소에 오염될 가능성이 많으며 농경지에서 비료와 가축분뇨의 사용은 지하수 중의 질산태질소 농도를 높이는데 직접적으로 영향을 줄 수 있다. 미국 Nebraska에서는 비점오염원(nonpoint source)에 의해 지하수가 질산염으로 오염된다고 하였으며 질소동위원소를 이용하여 조사한 결과 오염원이 주로 비료(Gormly와 Spalding, 1979) 또는 토양 유기물로부터 유래된다고 하였다(Lindan과 Spalding, 1984). 1994년부터 1998년까지 5년간 제주지역의 상수원으로 사용하고 있는 지하수 관정 98개에 대해 질산태질소에 의한 오염을 조사한 결과 1,780건의 시료 중 10.6%가 먹는 물 수질기준을 초과한 것으로 보고하였다(송 등, 1998). 또한 제주도 지하수 관정 중 질산태 질소로 오염된 7개소를 질소동위원소를 이용하여 오염원을 추적한 결과 5개소에서 화학비료, 2개소에서 동물성 유기물질 및 자연토양 유기물질에 의해 오염이 높게 되는 것으로 보고하고 있다(오와 현, 1997). 음용수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 10.0mg/L 이상이 되면 사람이나 동물이 장기간 음용할 경우 질병을 유발할 수 있다(Carey 등, 1997). 특히 지하수가 한번 오염될 경우 수질회복은 거의 불가능하기 때문에 지하수가 오염물질에 노출되는 것을 사전에 예방을 하는 것이 최선의 방법이라 할 수 있다.

Ⅲ. 재료 및 방법

<시험 1> 제주 화산회토양에서 돈분액비 발효형태가 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량, 사료가치 및 토양특성에 미치는 영향

1. 시험장소 및 시험기간 중 기상개황

본 시험은 해발 180m에 위치한 농촌진흥청 난지농업연구소(구 제주농업 시험장) 시험포장에서 2000년 5월부터 2000년 9월까지 수행하였다. 이 시험기간 동안 제주지역(제주시)의 기상개황은 표 1-1에 나타난 바와 같다.

시험기간 중인 7월과 8월 사이의 월 평균기온은 평년에 비해 1.3~1.5℃ 더 높았으며, 과중시기부터 생육이 왕성하게 일어나는 기간 동안의 강수량은 평년에 비해 매우 적어 작물생육에 다소 불리한 조건이었다.

Table 1-1. Monthly mean air temperature and precipitation between the experimental period and the average previous 30 years in Jeju

Items	Months					
	May	June	July	Aug.	Sept.	
Temperature (°C)	30-yr Avg.	17.5	21.2	25.7	26.5	22.7
	Expt. period	17.2	21.6	26.4	28.0	22.2
Precipitation (mm)	30-yr Avg.	88.2	189.8	232.3	258.0	188.2
	Expt. period	16.0	97.6	166.2	169.6	331.2

2. 공시토양 및 돈분액비 성분의 특성

시험포장은 농암갈색 화산회토양에서 시험을 수행하였으며, 시험이 수행된 공시토양의 이·화학성은 표 1-2와 같다.

pH는 5.28로 산성토양이었으며, 유기물이나 유효인산 함량은 매우 높은 편으로 다소 비옥한 토양이었다.

시험에 이용된 돈분액비(표 1-3)는 미생물처리 발효시스템(3N 시스템)의 마지막 단계인 저류조의 상층액을 수거하여 이용하였으며 돈분액비의 질소와 인산 성분은 매우 낮은 상태였다. 일반 발효돈분 액비는 슬러리돈사의 양돈장에서 수거하여 본 시험에 공시하였는데 비료성분이 미생물제제 이용 발효돈분액비보다 매우 높았다.

Table 1-2. Soil chemical properties of the experimental field

pH (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. cations(cmol ⁺ /kg)			CEC (cmol ⁺ /kg)
			Ca	Mg	K	
5.28	32.0	158.0	6.33	2.48	0.88	16.48

Table 1-3. Chemical composition of applied pig slurry

Items	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
PS ¹	0.19	0.028	0.116	0.023	0.007
PS+P ²	0.05	0.004	0.117	0.004	0.003

¹Aerobic fermented pig slurry

²Aerobic fermented pig slurry treated with probiotics

3. 실험실계 및 시험구 배치

공시작물은 수수×수단그라스 교잡종(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)으로 품종은 Jumbo로 하였으며 처리는 화학비료 시용구, 일반발효돈분액비 시용구 및 미생물제제 이용 발효돈분액비 시용구 등 3처리를 두어 난괴법 3반복으로 시험을 수행하였으며 구당 면적은 $12\text{m}^2(3\text{m}\times 4\text{m})$ 로 하였다.

4. 시비량 및 파종방법

화학비료구는 질소, 인산 및 칼리를 각각 200-150-150kg/ha을 사용하였다. 이 중 질소 50%, P와 K는 전량 기비로 사용하였고 추비는 질소만 50%를 작물의 7~8엽 시기에 실시하였다. 일반 발효돈분액비 및 미생물제제 이용 발효돈분액비 시용구는 화학비료 시용구의 질소시비량을 기준으로 액비 중 총 질소를 분석하여 200kg/ha 전량을 기비로 사용하였고 추비는 하지 않았다. 파종일은 2000년 5월 17일이었으며 파종방법은 휴폭 50cm, 주간거리 2~3cm로 실시하였고 파종량은 30kg/ha였다.

5. 분석방법

1) 생육 및 수량조사

생육조사는 파종 후 매월 일정한 간격으로 각 처리구에서 가장 평균적인 주를 각 반복별로 5주씩 선발하여 측정하였다. 수량조사는 2회에 걸쳐 실시하였는데 1차 수확은 8월 17일, 2차 수확은 9월 27일에 실시하였다. 건물수량 조사방법은 전 처리 모두 전량 예취하여 생초무게를 측정한 후 처리별 시료 1kg 내외를 70℃ 건조기에서 72시간 건조시킨 후 평량하여 ha당 건물수량으로 환산하였다.

2) 분석시료 준비

각 처리구에서 채취한 건조시료는 Willy Mill로 분쇄하여 20 mesh 표준체를 통과시킨 후 일반성분과 무기물함량 분석에 이용되었다.

3) 토양분석 시료 준비

토양시료의 채취는 포장시험 전과 수확 후에 plot 당 15개소에서 토심 10 cm 이내의 토양을 채취하였으며, 실험실로 옮긴 후 그늘진 곳에서 일주일정도 건조 후 10 mesh 표준체를 사용하여 분석용 토양시료로 준비하였다.

4) 시료분석

(1) 식물체

식물체 조성분함량은 건조시켜 분쇄된 시료를 사용하여 조단백질은 Auto Kjeltec을 이용하여 분해하여(AOAC, 1984) 질소자동분석기로 분석하였다. NDF와 ADF 함량은 Goering과 Van Soest(1970)법에 의하여 분석하였으며 양이온은 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ 법으로 습식분해 후 5A 여과지를 이용하여 증류수로 여과한 후 50ml 용량 플라스크에 채운 다음 원자흡광광도계(GBC 908, GBC, Australia)로 측정하여 환산하였다.

(2) 토양

토양시료를 농촌진흥청 토양화학분석법(1989)에 따라 분쇄된 시료 일정량을 취하여 pH는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 현탁시킨 후 일정한 간격으로 저어주면서 40여분 지난 후 pH meter(Orion 520 A+, USA)를 이용하여 측정하였다. T-N과 유효인산은 식물체분석에 사용된 방법과 동일하게 수행되었다. 유기물은 Walkley-Black법을 이용하여 일정량의 시료를 250ml 삼각플라스크에

넣고 1N $K_2Cr_2O_7$ 10ml 를 넣어 잘 섞이도록 한 다음 농황산 20ml 를 넣어 20 ~ 30분간 방치한 후 증류수 200ml 를 가하고 인산 10ml 와 NH_4F 0.2g 을 넣은 후 0.2N 황산제1 철암모늄용액으로 적정하여 소모된 양으로 계산되었다. 치환 영양이온은 1N-Ammonium acetate 용액으로 침출한 다음 원자흡광광도계 (GBC 908, GBC, Australia)로 측정한 후 계산되었다. 그리고 양이온치환용량 (CEC)은 1N- NH_4OAc (pH 7.0) 용액으로 토양시료를 통과시켜 치환성 NH_4^+ 로 포화시키고 과잉의 초산 ammonium 을 80% 알콜로 세척한 후 NH_4^+ 포화토양을 Kjeldahl 증류장치에 의해 NH_4^+ 를 직접 정량하여 CEC를 산출하였다.

6. 통계분석

본 시험 성적은 SAS 통계 package를 이용하여 분산분석을 실시하였으며 처리간 유의성 검정은 Duncan's Multiple Range Test를 이용하여 실시하였다.

<시험 2> 제주 화산회토양에서 돈분액비 시용이 수수×수단그라스 교잡종의
생산량 및 토양의 특성에 미치는 영향

1. 시험장소 및 시험기간 중 기상개황

본 시험은 해발 180m에 위치한 농촌진흥청 난지농업연구소(구 제주농업시험장) 사료포장에서 실시하였으며 시험기간은 2000년 5월부터 2001년까지 9월까지 2년 동안 수행하였다. 이 시험기간 동안 제주지역(제주시)의 기상개황은 표 2-1에 나타난 바와 같다.

시험기간 중인 7월과 8월 사이의 월별 평균기온은 평년보다 다소 높았으며, 시험 1차년도에 강수량은 평년보다 적어 작물의 생육에 다소 불리한 조건이었으나 2차년도에는 평년과 비슷하였다.

Table 2-1. Monthly mean air temperature and precipitation between the experimental period and the average previous 30 years in Jeju

Items	Months					
	May	June	July	Aug.	Sept.	
Temperature (°C)	30-yr Avg.	17.5	21.2	25.7	26.5	22.7
	Expt. period					
	2000	17.2	21.6	26.4	28.0	22.2
	2001	18.5	22.3	26.7	26.8	23.1
Precipitation (mm)	30-yr Avg.	88.2	189.8	232.3	258.0	188.2
	Expt. period					
	2000	16.0	97.6	166.2	169.6	331.2
	2001	105.4	259.7	123.1	233.9	109.7

2. 공시토양 및 돈분액비 성분의 특성

시험포장은 농암갈색 화산회토양으로서 시험포장의 화학적 특성은 표 2-2에 나타난 바와 같다.

토양산도(pH)가 5.13인 산성토양으로 유기물이 53.7g/kg로 높은 편이었으며, 유효인산 함량이 88.1mg/kg로서 비교적 작물이 자라기에는 적합한 토양이었다.

Table 2-2. Soil chemical properties of the experimental field

pH (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cation(cmol ⁺ /kg)				CEC (cmol ⁺ /kg)
			Ca	Mg	K	Na	
5.13	53.7	88.1	1.72	0.78	1.86	0.13	12.9



본 시험에 공시된 돈분액비의 비료성분은 T-N 0.48%(0.33~0.62%), P₂O₅ 0.29%(0.18~0.40%), K₂O 0.30%(0.28~0.32%)으로서 일반적으로 발효된 돈분액비를 이용하였다(표 2-3).

Table 2-3. Chemical compositions of applied pig slurry

Year	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
2000	0.62	0.40	0.32	0.22	0.06
2001	0.33	0.18	0.28	0.14	0.06
Mean	0.48	0.29	0.30	0.18	0.06

3. 실험실계 및 시험구 배치

공시 사료작물은 수수×수단그라스 교잡종인 Jumbo 품종으로 공시하였으며, 처리내용은 화학비료 200kg N/ha 단용구를 대조구로 하여 돈분액비 단용구(200, 300, 400kg N/ha) 및 돈분액비(기비)+화학비료(추비)(100+100, 150+100, 200+100kg N/ha) 혼용구 등 7처리를 두어 난괴법 3반복으로 시험을 수행하였으며 구당 면적은 20m²(4m×5m)로 하였다.

4. 시비량 및 파종방법

1) 시비량

화학비료 단용구는 질소, 인산 및 칼리를 각각 200-150-150kg/ha를 기준으로 하여 질소 50%, P와 K는 전량 기비로 사용하였고, 수수×수단그라스가 7~8엽 되었을 때 나머지 질소만 50%를 추비로 사용하였다. 돈분액비 단용구 및 돈분액비+화학비료 혼용구는 돈분액비 중 질소성분을 기준으로 하여 사용수준에 따라 전량을 기비로 사용하였고, 액비단용구는 추비 사용은 하지 않았으며, 혼용구는 화학비료로 질소만 50% 추비를 하였다.

2) 파종방법

파종하기 전에 돈분액비를 사용 후 경운하여 쇠토한 다음 파종하였다. 2000년도 1차 시험에서는 5월 17일과 2001년 2차 시험에서는 6월 4일에 파종하였으며, 파종방법은 휴폭 50cm, 주간거리 2~3cm로 파종하였고, 파종량은 30kg/ha였다.

5. 분석방법

1) 생육 및 수량조사

생육조사는 파종 후 매월 일정한 간격으로 각 처리구에서 가장 평균적인 주를 각 반복별로 10주씩 선발하여 측정하였다. 수량조사는 1차년도(2000년)에는 9월 5일, 2차년도(2001년)에는 9월 20일에 각 1회만 실시하였다. 건물수량은 전처리 모두 전량 예취하여 생초무게를 측정한 후 처리별 시료 1kg 내외를 70℃ 건조기에서 72시간 건조시킨 후 평량하여 ha당 건물수량으로 환산하였다.

2) 분석시료 준비

식물체 시료의 분석준비는 시험 1과 동일하였다.

3) 토양분석시료 준비

토양분석을 위한 분석준비는 시험 1과 동일하였다.

4) 시료분석

(1) 식물체

식물체 시료의 분석은 시험 1과 동일하였다.

(2) 토양

토양시료의 분석은 시험 1과 동일하였다.

(3) 질소회수량

질소회수량은 식물체의 총 질소를 분석한 후 건물수량을 이용하여 ha당 질소회수량을 산출하였다.

6. 통계분석

본 시험 성적은 SAS 통계 package를 이용하여 분산분석을 실시하였으며 처리간 유의성 검정은 Duncan's Multiple Range Test를 이용하여 실시하였다.



**<시험 3> Lysimeter에서 수수×수단그라스 교잡종 재배시 돈분액비 시용이
유거수 및 용탈수의 특성에 미치는 영향**

1. 시험장소 및 시험기간 중 기상개황

본 시험은 해발 180m에 위치한 농촌진흥청 난지농업연구소(구 제주농업시험장) 사료포장에서 실시하였으며, 시험기간은 2004년 5월부터 9월까지 수행하였다. 이 시험기간 동안 제주지역(제주시)의 기상개황은 표 3-1에 나타난 바와 같다.

월별 평균기온은 7월과 8월 사이에 평년보다 약 1℃ 정도 높았으며, 강수량은 6월과 7월에는 평년 대비 24~28%에 불과하여 작물이 자라는데 매우 불리한 조건이었다. 따라서 본 시험을 수행하는 기간동안 관수를 실시하면서 유거수와 용탈수를 채취하였다.

Table 3-1. Monthly mean air temperature and precipitation between the experimental period and the average previous 30 years in Jeju

Items		Months				
		May	June	July	Aug.	Sept.
Temperature (℃)	30-yr Avg.	17.5	21.2	25.7	26.5	22.7
	Expt. period	18.1	21.5	27.4	27.2	23.2
Precipitation (mm)	30-yr Avg.	88.2	189.8	232.3	258.0	188.2
	Expt. period	124.8	66.1	55.7	405.1	348.5

2. 공시토양 및 돈분액비 성분의 특성

Lysimeter에 충전된 토양은 농암갈색 화산회토양으로서 토양의 화학적 특성은 표 3-2에 나타난 바와 같이 유기물과 유효인산 함량이 비교적 높은 비옥한 토양이었다.

Table 3-2. Soil chemical properties of experimental pots before trial

pH (1:5)	T-N (%)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cation(cmol ⁺ /kg)				CEC (cmol ⁺ /kg)
				Ca	Mg	K	Na	
5.33	0.55	148.0	141.7	2.34	0.70	0.29	0.12	12.9

본 시험에 공시된 돈분액비의 비료성분은 표 3-3과 같이 매우 낮았는데, 이는 2002년도에 시험을 수행하기 위하여 분뇨저장조에서 장기간 보존하는 동안에 슬러리의 침천과 발효에 의하여 유기물이 많이 분해되어 질소성분이 낮아진 상태였다.

Table 3-3. Chemical compositions of applied pig slurry

T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
0.053	0.01	0.22	0.01	0.001

3. Lysimeter 설계 및 설치

돈분액비가 시용되었을 때 유거수 및 용탈수에 대한 특성을 구명하기 위하여 lysimeter 방법을 사용하였다. Lysimeter의 설치는 Jeffrey 등(1996)이 고안한 lysimeter를 약간 변형하여 설치하였다(그림 3-1). 시험에 사용한 lysimeter은 PVS 원추형 통으로 상부면적은 0.19m^2 이었으며, 간이 lysimeter에 지표 기준으로서 20cm와 40cm 위치에 각각 3개씩 구멍을 뚫어 유출관을 설치하여 용탈수를 채취하였고, Lysimeter의 윗부분은 5cm의 여유를 두어 유거수를 채취할 수 있도록 하였다. 토양의 충진은 바닥에 2cm 정도 가는 자갈을 채운 후 농암갈색 화산회토양을 이용하여 파종 6개월 전에 토양을 충진하여 토양을 안정화 하였으며 충진된 lysimeter는 토양표면에서 45cm 깊이로 묻은 후 파종 전까지 외부에 노출시켜 두었다.

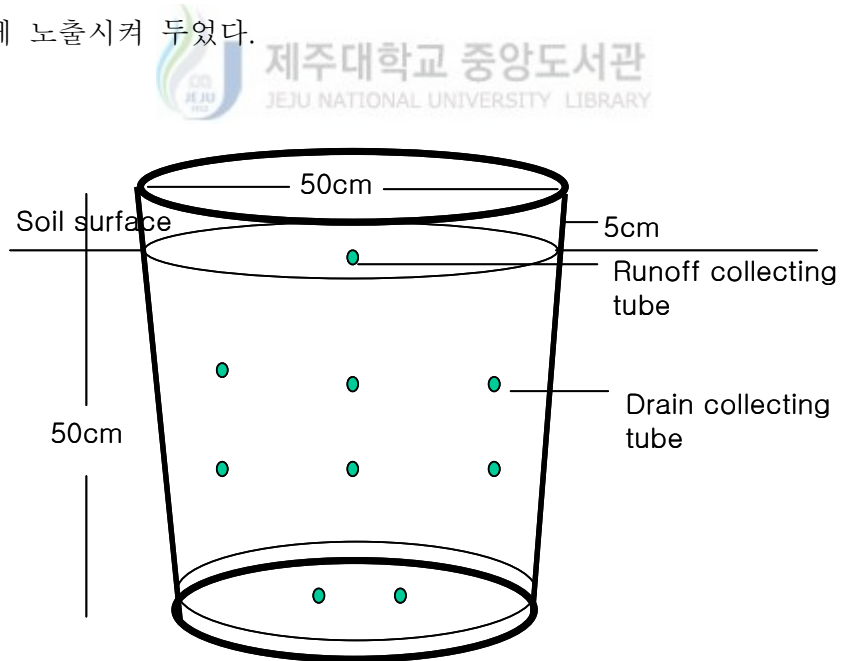


Fig. 3-1. Detailed drawing of lysimeter

4. 실험실계 및 시험구 배치

공시 사료작물은 수수×수단그라스 교잡종인 SS405 품종으로 하였다. 처리 내용은 무비구, 화학비료구(200kg N/ha), 액비단용구(기비 200, 400, 600kg N/ha) 등 5처리를 두어 난괴법 3반복으로 구당 면적은 0.19m²로 하였다.

5. 시비량 및 파종방법

1) 시비량

화학비료구는 질소, 인산 및 칼리를 각각 200-150-150kg/ha를 기준으로 하여 질소 50%, P와 K는 전량 기비로 사용하였고, 수수×수단그라스가 7~8엽 되었을 때 나머지 질소만 50%를 추비를 실시하였다. 돈분액비 사용구는 돈분액비 중 질소성분을 기준으로 하여 사용수준에 따라 전량을 기비로 사용하였고 추비는 하지 않았다.

2) 파종방법

돈분액비는 종자를 파종하기 7일전에 액비를 사용 후 쇠토한 다음 종자를 파종하였다. 파종은 5월 22일에 하였으며, 파종방법은 휴폭 25cm, 주간거리 2~3cm로 실시하였고, 파종량은 30kg/ha였다.

6. 관수량 및 시료채취

본 시험에서는 유거수와 용탈수의 성분을 분석하기 위하여 관수를 실시하였다. 관수는 지하수로 공급되는 상수도를 이용하였다. 관수방법은 관수배관을

반복 및 처리구별로 별도 장치를 설치한 후에 30분정도 관수를 하였으며 이 때 관수량은 처리구별 30L 내외의 물을 관수하였다. 유거수는 지표면에 설치된 유거튜브에서 유거수를 1L 정도 채취하였으며, 용탈수는 토심 20cm와 40cm에서 각각 용탈수를 1L 정도 채취하였다. 유거수 및 용탈수의 채취는 5월 27일, 6월 18일, 7월 14일, 8월 26일, 9월 21일에 총 5회에 걸쳐 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 냉장보관(-4℃)을 하면서 분석을 실시하였다.

7. 분석방법

1) 생육 및 수량조사

생육조사는 파종 후 매월 일정한 간격으로 각 처리구에서 가장 평균적인 주를 각 반복별로 5주씩 선발하여 측정하였다. 수량조사는 9월 30일에 1회만 실시하였다. 건물수량 조사방법은 전 처리 모두 전량 예취하여 생초무게를 측정 후 처리별 시료 1kg 내외를 70℃ 건조기에서 72시간 건조시킨 후 평량하여 ha당 건물수량으로 환산하였다.

2) 토양분석시료 준비

토양시료의 채취는 토양을 lysimeter에 충전하기 전에 시료를 채취하였으며, 시험이 종료된 후에는 10cm 이내에서 토양을 채취하여 실험실로 옮긴 후 그늘진 곳에서 일주일정도 건조 후 10mesh 표준체를 사용하여 분석용 토양시료로 준비하였다.

3) 시료분석

(1) 유거수

채취된 유거수의 성분분석은 수질오염공정시험법(환경부, 2000)으로 분석하였다. BOD는 윙클러-아지드화 나트륨 변법을 이용하여 산소의 소모량을 측정 후 환산되었다. COD는 과황산칼륨에 의한 화학적산소요구량(산성법)으로 시료를 황산(1+2)으로 산성화한 후 과망간산칼륨 10ml를 넣고 30분간 수욕상에서 가열반응 시킨 다음 소비된 과망간산칼륨량으로 부터 이에 상당하는 산소의 양을 측정하였다. T-N는 알카리성 과황산칼륨을 넣고 고압증기 멸균 후 분광광도계(Agilent 8453, Hewlett Packard, USA)로 220nm 에서 측정하여 농도를 계산되었다. T-P는 시료에 과황산칼륨을 넣고 고압증기멸균 후 아스코르빈산 환원법으로 처리한 후 분광광도계로 880nm 에서 측정하여 계산되었다. 그리고 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 Indophenol-blue법을 이용하여 시료를 50ml 용량플라스크에 넣은 다음 나트륨 페놀라이트용액 10ml 와 니트로프루싯나트륨 용액 1ml 를 넣어 조용히 섞은 후 차아염소산나트륨용액 5ml 를 넣고 증류수로 표선까지 채운 다음 약 30분간 방치 후 분광광도계로 630nm 에서 측정하여 계산되었다. 채취된 시료는 0.45 μm filter(MFS-25, Advantec)로 통과시켜 이온크로마토그래피(Dionex, ICS-1000 및 ICS-90, USA)를 이용하여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 양이온성분(Ca, Mg, K, Na)을 분석되었다.

(2) 용탈수

각 lysimeter에서 채취된 용탈수는 바로 실험실로 옮겨 냉장보관하면서 분석시료로 이용하였다. 채취된 용탈수는 0.45 μm filter(MFS-25, Advantec)로 통과시켜 이온크로마토그래피(Dionex, ICS-1000 및 ICS-90, USA)를 이용하여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 양이온성분(Ca, Mg, K, Na)을 분석되었다.

(3) 토양

토양시료의 분석은 시험 1과 동일하였다.

8. 통계분석

본 시험 성적은 SAS 통계 package를 이용하여 분산분석을 실시하였으며 처리간 유의성 검정은 Duncan's Multiple Range Test를 이용하여 실시하였다.



IV. 결과 및 고찰

<시험 1> 제주 화산회토양에서 돈분액비 발효형태가 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량, 사료가치 및 토양특성에 미치는 영향

1. 생육시기별 초장

발효형태가 다른 돈분액비를 수수×수단그라스 교잡종 재배시에 사용하였을 때 생육시기별 초장은 표 1-4에 제시된 바와 같다.

수수×수단그라스 교잡종의 초장은 생육초기부터 처리 간에 큰 차이가 없었으며 수확시에는 모든 처리구가 250~260cm로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 화학비료 및 돈분액비 시용구 모두 같은 양의 질소를 시용한 결과와 본 시험이 수행된 포장의 토양조건이 유기물은 32.0g/kg, 유효인산은 158.0mg/kg으로 비옥한 토양이어서 처리 효과가 나타나지 않은 것으로 생각된다.

신 등(1999)은 화학비료구에 비해 액상분뇨구에서 초장이 길었으며 화학비료구는 생육이 비교적 완만한데 비해 액상분뇨구에서는 급속도로 생장이 진행되었다고 하였다. 또한 서 등(1999)와 서 등(2000)은 발효 축분의 시용조건에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 생육특성이나 출수일에는 큰 차이를 보이지 않았다고 하였다. 그러나 시용된 가축분에 관계없이 수수×수단그라스 교잡종은 조과구가 산과구에 비해 초장이 더 길었다고 하여 파종방법에 따라서는 차이가 있었다고 하였다.

Table 1-4. Plant height of sorghum×sudangrass hybrid as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications

Treatment	Plant height (cm)			
	30 d (June 17)	60 d (July 17)	1st harvest (Aug. 17)	2nd harvest (Sept. 27)
CF ¹ 200kg N/ha	55.3	209.7	256.5	169.4
PS ² 200	57.6	219.2	250.7	165.6
PS+P ³ 200	59.3	218.2	260.0	162.2

¹Chemical fertilizer

²Aerobic fermented pig slurry

³Aerobic fermented pig slurry treated with probiotics

* NS : not significant



2. 건물수량

돈분액비의 시용에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 표 1-5에서 보는 바와 같다.

수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 화학비료, 일반발효 돈분액비 및 미생물제제 이용 발효돈분액비 시용구가 각각 15,393, 14,848 및 15,421kg/ha으로 처리간 유의적인 차이는 보이지 않았다. 예취시기에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 1차 예취시나 2차 예취시 모두 처리간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그리고 2차 예취시 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 모든 처리구에서 다소 수량이 낮았는데 이는 1차 수확시기가 늦었고 또한 추비를 실시하지 않았기 때문인 것으로 보인다.

高井 등(1976)은 동일한 수준의 화학비료와 액비를 시용시 화학비료가 증수되었는데 이는 화학비료가 빠른 성장을 유도함으로써 건물률이 액상구비구보다 높게 나타났기 때문이라고 하였다. 또한, 전 등(1995)도 같은 양의 질소를 시용하였을 때 화학비료구가 액상구비에 비하여 건물수량이 높았다고 하였다. 이는 화학비료가 액상구비에 비하여 속효성인 점과 화학비료 시용구는 인산과 칼리를 각각 기비로 시용한 반면 액상구비는 인산이나 칼리를 보충하지 않았기 때문이라고 하였다. 또한 1차 수확 후 추비를 해 주는 것이 생육에 도움이 된다고 하였다. 마찬가지로 육(2003)도 가축분뇨의 처리형태에 관계없이 건물수량이 화학비료구에 비해 유의적으로 낮았다고 하였다. 그러나 본 연구결과에서는 화학비료구나 발효형태가 서로 다른 돈분액비를 시용한 결과 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량에는 차이가 없었다. 이와 같은 결과는 시험토양이 비옥하였기 때문에 처리에 대한 효과가 낮았던 것으로 사료된다.



Table 1-5. Dry matter yield of sorghum×sudangrass hybrid as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications

Treatment	Dry matter yield (kg/ha)		
	1st harvest (Aug. 17)	2nd harvest (Sept. 27)	Total
CF 200kg N/ha	12,356	3,037	15,393
PS 200	11,962	2,886	14,848
PS+P 200	12,583	2,838	15,421

* NS : not significant

3. 사료가치

화학비료 및 돈분액비 시용에 따른 식물체의 조성분 함량은 표 1-6에서 보는 바와 같다.

Table 1-6. Nutritive value of sorghum×sudangrass hybrid forage as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications (% of DM basis, sample of 1st harvested forage)

Treatment	CP	NDF	ADF	Ca	P	Mg	K
CF 200kg N/ha	7.17 ^a	70.2 ^a	42.8 ^b	0.27 ^b	0.13 ^b	0.22 ^a	1.60 ^a
PS 200	7.11 ^a	71.7 ^a	46.7 ^a	0.25 ^b	0.19 ^a	0.21 ^a	1.67 ^a
PS+P 200	6.26 ^b	71.3 ^a	43.5 ^b	0.32 ^a	0.13 ^b	0.24 ^a	1.44 ^a

^{a-b}Means in the same column with different superscripts are significantly different (p<0.05)

수수×수단그라스 교잡종의 조단백질 함량은 화학비료구와 일반 발효돈분액비 시용구가 7.11~7.17%의 범위로 처리에 대한 차이가 없었으나 미생물제제 이용 발효 돈분액비 시용구는 6.26%로 다른 처리보다 낮았다(p<0.05). ADF는 일반발효 돈분액비 시용구가 46.7%로 화학비료구나 미생물제제 이용 발효 돈분액비 시용구에 비해 높았다(p<0.05). 이와 같이 미생물제제 이용 발효 돈분액비 시용구에서 수수×수단그라스 교잡종의 조단백질 함량이 다른 처리구보다 낮은 이유는 시용된 돈분액비의 질소함량이 0.05%로 매우 낮아 기비로 한번에 시용된 돈분액비가 지하로 용탈되면서 질소 손실이 많이 발생하였기 때문인 것으로 사료된다.

서 등(1999)은 발효우분, 돈분 및 계분의 시용조건에서 수수×수단그라스 교잡종의 조단백질 함량은 1차 수확시 12.9~14.1%, 2차 수확시 9.9~12.3%였다고 하여 본 연구의 결과보다는 높은 조단백질 함량을 보였다.

4. 시험 후 토양특성

화학비료 및 돈분액비의 시용에 따른 토양의 이화학적 성분에 미치는 영향은 표 1-7에서 나타냈다.

Table 1-7. Soil chemical characteristics of before and after trial (0-20cm soil depth)

Treatment	pH (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. cations (cmol ⁺ /kg)			CEC (cmol ⁺ /kg)
				Ca	Mg	K	
1st CF 200kg N/ha	5.47 ^a	47.9 ^a	269.0 ^a	6.81 ^a	2.72 ^a	0.86 ^b	16.6 ^a
harvest PS 200	5.46 ^a	55.5 ^a	184.6 ^b	6.59 ^a	2.50 ^a	0.84 ^b	16.8 ^a
(8/17) PS+P 200	5.63 ^a	51.2 ^a	213.6 ^b	6.71 ^a	2.48 ^a	1.47 ^a	16.7 ^a
2nd CF 200kg N/ha	5.40 ^a	43.5 ^a	199.9 ^a	6.08 ^a	2.25 ^a	0.81 ^a	16.4 ^a
harvest PS 200	5.42 ^a	45.1 ^a	129.0 ^b	6.20 ^a	2.20 ^a	0.74 ^a	17.2 ^a
(9/27) PS+P 200	5.35 ^a	47.9 ^a	151.3 ^{ab}	6.39 ^a	2.21 ^a	1.09 ^a	17.0 ^a

^{a-b}Means in the same column with different superscripts are significantly different (p<0.05)

시험 후 토양의 pH는 처리간 유의적인 차이는 없었으나 토양의 유효인산

함량은 화학비료 시용구가 1차 수확시 269.0mg/kg, 2차 수확시 199.9mg/kg으로 발효 돈분액비 시용구들에 비해 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 이는 화학비료 시용구는 인산 150kg/ha을 기비로 시용한데 반하여 발효 돈분액비 시용구는 액비중 인산 함량이 0.004~0.028%로 매우 낮았던 것이 주원인으로 사료된다.

화학비료 시용구에서 높은 인산 축적율은 일반적으로 우리나라 토양의 경우 시비된 인산비료는 Al^{3+} , Fe^{2+} 와 결합하여 토양 중에 축적되기 때문인 것으로 보고되고 있다(이, 1992). 반면 토양의 무기성분 중 K 함량은 미생물제제 이용 발효돈분액비 시용구가 1차 수확시 $1.47\text{cmol}^+/\text{kg}$ 으로 화학비료 시용구 $0.86\text{cmol}^+/\text{kg}$, 일반 발효 돈분액비 시용구 $0.84\text{cmol}^+/\text{kg}$ 보다 유의적으로 높은 함량을 보였다($p < 0.05$). 이와 같이 미생물제제 이용 발효돈분액비 시용구에서 K 함량이 높았던 이유는 액비 중의 K 함량이 N 함량에 비해 높았기 때문인 것으로 보인다. 이는 기비로 시용된 액비가 질소성분을 기준으로 하여 2~3배 더 많이 시용했기 때문에 ha당 액비시용량이 많아 토양내 K 함량이 높아진 것으로 보인다. 이것은 전 등(1995)이 보고한 액비시용구에서 K 함량이 화학비료 구에 비해 높은 함량을 보였다는 것과 유사하였다. 그러나 Lopez-Mosquera 등(2000)은 젓소 우분액비 시용에 따른 방목초지 토양의 무기물 성분 중 P 함량은 초지에 적당한 수준을 유지하였으나 K의 경우는 결핍되었다고 하었다고 하여 본 연구의 결과와 다르게 나타났다. 돈분액비 시용에 따른 토양의 이화학적 특성변화는 본 시험의 경우 1회에 한하여 시용하였기 때문에 시험 후 토양에 큰 영향을 주지 못한 것으로 사료되며 돈분액비를 장기 연용시 토양의 이화학적 특성 변화에 대한 연구가 더 필요한 것으로 사료된다.

시험 1은 양돈농가에서 발생하고 있는 돈분액비를 이용하여 수수×수단그라스 교잡종 재배시 화학비료의 대체가능성을 검토하고자 일반발효 돈분액비와

미생물제제 이용 발효돈분액비를 시용하였을 때 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량, 사료가치 및 토양특성 변화에 미치는 영향을 조사하였다.

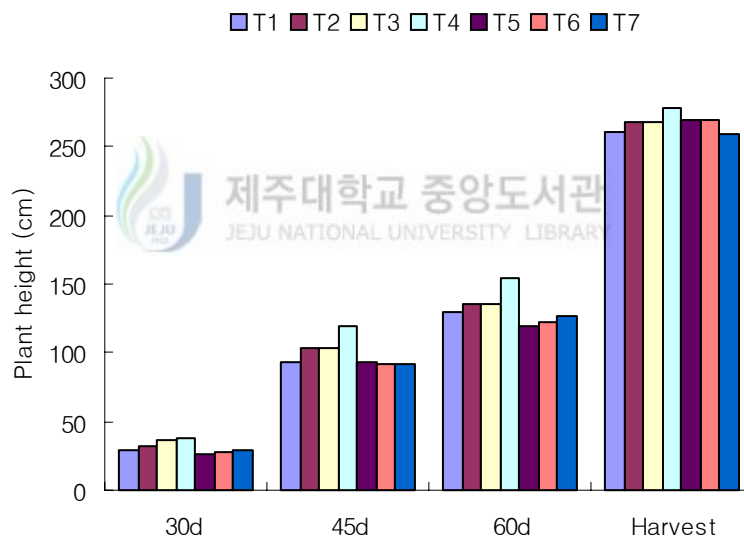
결과적으로 수수×수단그라스 교잡종 재배시 화학비료, 일반발효 돈분액비 및 미생물제제 이용 발효돈분액비를 시용하였을 때 수수×수단그라스 교잡종의 생육특성이나 건물수량은 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 따라서 200kg N/ha 수준의 화학비료를 대체하여 일반발효 돈분액비나 미생물제제 이용 발효 돈분액비를 시용하더라도 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량이나 토양변화에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.



<시험 2> 제주 화산회토양에서 돈분액비 시용이 수수×수단그라스 교잡종의
생산량 및 토양의 특성에 미치는 영향

1. 생육시기별 초장

화학비료 및 돈분액비 시용수준에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 생육시
기별 초장은 그림 2-1에 나타낸 바와 같다.



(T1 : CF (chemical fertilizer) 200kg N/ha, T2 : PS (pig slurry) 200, T3 : PS 300, T4 : PS 400, T5 : PS 100+CF 100, T6 : PS 150+CF 100, T7 : PS 200+CF 100)

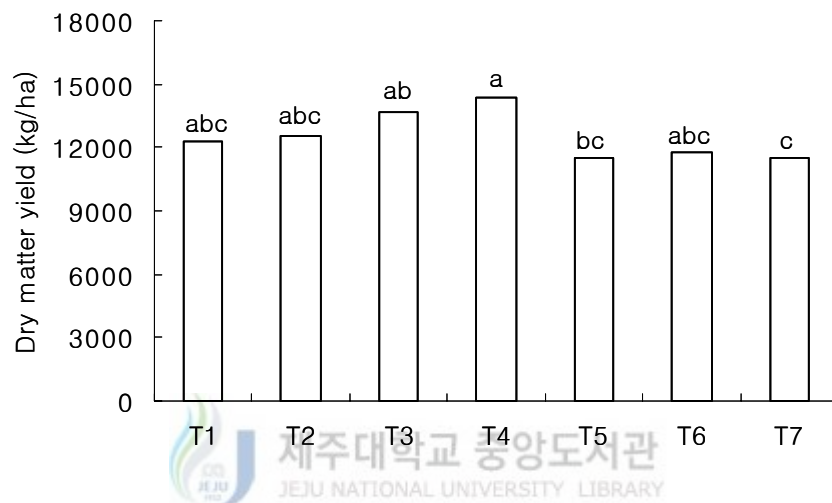
Fig. 2-1. Plant height of sorghum×sudangrass hybrid as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications

같은 양의 질소 200kg/ha을 사용한 화학비료구(T1), 돈분액비 단용구(T2) 및 돈분액비+화학비료 혼용구(T5)의 수수×수단그라스 교잡종 초장은 돈분액비 단용구(T2)가 화학비료구(T1)와 돈분액비+화학비료 혼용구(T5)에 비해 초기 생육이 다소 좋았다. 그러나 화학비료로 100kg N/ha을 추비함으로써 수확시기에는 초장이 비슷하게 나타났다. 돈분액비 단용구에서는 돈분액비 300kg N/ha(T3)과 400kg N/ha(T4)가 돈분액비 200kg N/ha 단용구(T2)에 비해 초기 생육이 우수하였으나 통계적인 유의차는 보이지 않았다. 돈분액비+화학비료 혼용구에서는 처리간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 생육단계별로 보면 파종 30일 후 수수×수단그라스 교잡종의 초장은 돈분액비 단용구가 시용초기부터 수확시까지 생육이 좋았으며 그 다음은 화학비료구, 돈분액비+화학비료 혼용구 순으로 나타났다. 이와 같은 결과는 기비로 전량 사용된 돈분액비의 질소가 수수×수단그라스 교잡종의 초기 생육을 촉진하였음을 알 수 있었다.

윤과 최(1999)의 보고에 따르면 화학비료의 질소 시비수준 증가에 따라 수단그라스계 초장이 생육중기까지는 200kg/ha에 비해 400kg/ha 이상에서 더 높은 경향이었지만, 생육 말기 및 출수기에는 반대의 현상이 나타났다. 전 생육기의 평균 초장은 질소시비 수준의 증가에 따른 차이를 발견치 못했고 질소비료의 다량사용에 의해 초기 생육은 향상되지만 생육 말기에는 오히려 둔화되는 것으로 나타났다고 하여 본 연구의 결과 유사하였다. 또한 강 등(2001)의 옥수수 시험에서도 질소질 비료를 많이 사용할수록 초장이 커지는 경향을 보였다고 하여 본 연구의 결과와 비슷하였다. 그러나 수단그라스는 질소 시비수준이 증가함에 따라 초장이 길어지는 경향을 보였으나 150kg/ha 시용구는 120kg/ha 시용구에 비해 초장이 짧아지는 경향을 보였다고 하였다(이 등, 1997).

2. 건물수량

제주 화산회토양에서 돈분액비 시용에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 그림 2-2에 나타난 바와 같다.



(T1 : CF (chemical fertilizer) 200kg N/ha, T2 : PS (pig slurry) 200, T3 : PS 300, T4 : PS 400, T5 : PS 100+CF 100, T6 : PS 150+CF 100, T7 : PS 200+CF 100)

Fig. 2-2. Dry matter yield of sorghum×sudangrass hybrid as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications. Means with different superscripts are significantly different ($p<0.1$).

수수×수단그라스 교잡종 재배시 돈분액비 단용 및 혼용에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량을 보면 돈분액비 200kg N/ha 시용구(T2)의 ha당 건물수량은 같은 질소수준의 화학비료구(T1) 및 돈분액비+화학비료 혼용구(T5)의 건물수량보다는 높았으나 유의적인 차이를 보이지 않았다. 또한 돈분액비 단용구(T2, T3, T4)에서도 돈분액비 시용수준이 증가함에 따라 수수×수단그라스

스 교잡종의 건물수량은 증가하는 경향이었으나 처리 간에 유의적인 차이는 보이지 않았다. 마찬가지로 돈분액비+화학비료 혼용구(T5, T6, T7)의 시용수준에서 처리간 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 돈분액비 400kg N/kg 단용구(T4)의 건물수량은 ha당 14,948kg으로 돈분액비+화학비료 혼용구(T5, T7)에 비해 유의적으로 높은 수량을 보였다($p < 0.1$). 이와 같은 결과는 돈분액비를 전량 기비로 시용함으로써 수수×수단그라스 교잡종의 초기 생육을 촉진한 결과로 보이며 돈분액비를 화학비료 시비수준으로만 시용하더라도 수수×수단그라스 교잡종의 수량 감소없이 화학비료를 대체하여 사용이 가능하다는 것을 보여주고 있다.

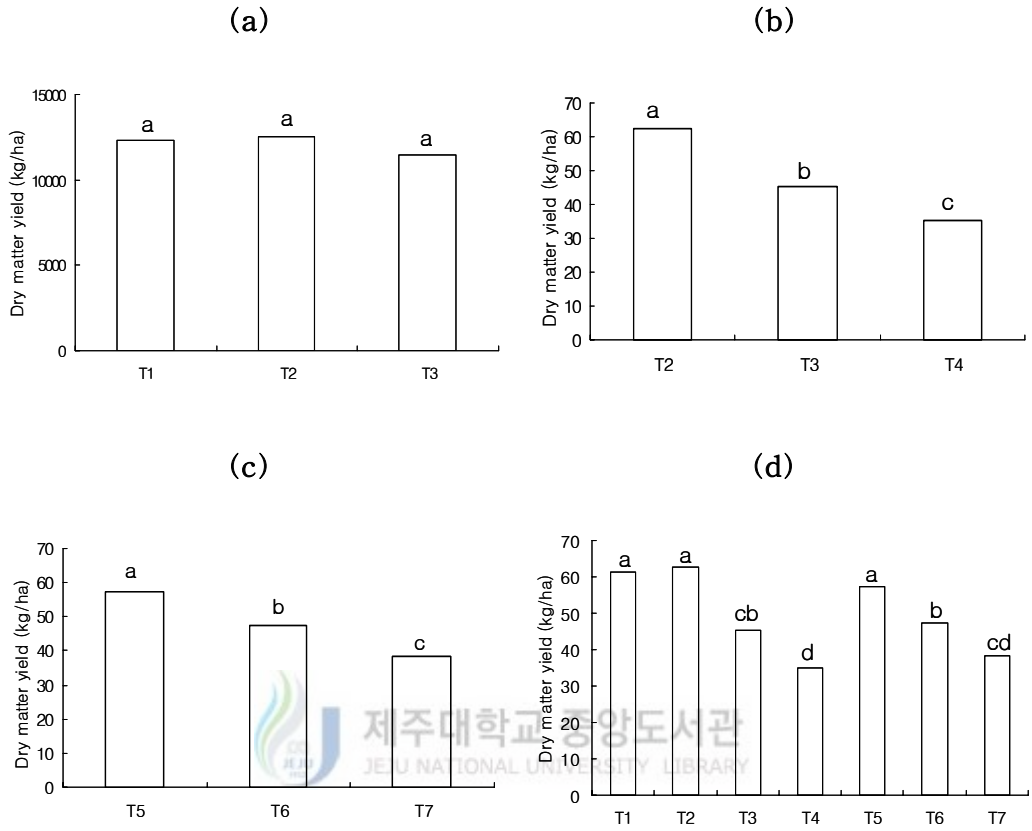
高井 등(1976)에 따르면 생육초기의 빠른 성장은 작물의 건물량을 높여 수량에 영향을 미친다고 하였다. 전 등(1995)은 수단그라스의 건물수량은 액상구비구나 화학비료구 모두 시비수준이 증가함에 따라 증가되었으며, 특히 같은 양의 질소를 시용하였을 때 화학비료가 액상구비보다 유의적으로 높았다고 하였다. 반면에 이와 전(2004)은 사일리지용 옥수수의 건물수량은 화학비료보다 액상분뇨 시용시 더 높은 효과를 보였다고 하였다. 또한 옥수수의 건물생산량은 액상발효우분 시용량의 증가에 따라 증가하였으며 화학비료의 경우도 유사한 경향을 보였으나 액비에 비해서는 낮은 효과를 나타내었다고 하였다(육과최, 2002). 그리고 Long과 Gracey(1990)는 액상발효돈분을 시용함으로써 사초의 수량을 증가시켰다고 하였으며, 육 등(2000)도 톱밥발효돈분 시용에 따른 사일리지용 옥수수의 건물수량은 톱밥발효돈분의 시용 수준이 증가에 따라 건물수량도 증가하였다고 하여 본 연구의 결과와 유사하였다. 그러나 Dauden와 Quilez(2004)은 화학비료와 돈분액비 시용구간에 옥수수의 건물수량은 차이가 없다고 하였다. 또한 박 등(2002)은 동일한 질소 수준으로 화학비료와 돈분액비를 시용했을 때 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 비슷하다고 하여 본 연

구에서 같은 양의 질소를 투입한 화학비료구와 돈분액비 시용구가 비슷한 수량을 보인 것과 같은 결과를 보였다.

수수×수단그라스 교잡종 재배시 돈분액비 투입에 따른 질소 kg당 건물생산량은 그림 2-3에 나타난 바와 같다.

같은 양의 질소가 사용된 화학비료구, 돈분액비 및 돈분액비+화학비료 혼용 구간 비교시 N kg 당 건물수량은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 돈분액비 시용수준의 증가에 따라 N kg당 건물수량은 유의적으로 감소하였다($p<0.01$, Fig 2-3, b). 또한 돈분액비+화학비료의 혼용구에서도 시용수준의 증가에 따라 N kg당 건물수량의 유의적으로 감소하였다($p<0.01$, Fig 2-3, c). 이와 같이 돈분액비 시용량이 증가할수록 N kg당 건물수량이 떨어지는 주요 원인은 돈분액비를 전량 기비로 시용함으로써 시용시 질소는 휘산되어 손실되고 장마기간 중에 유거수나 용탈수로 손실되어 작물이 충분히 이용하지 못했기 때문인 것으로 추측된다. 따라서 과도한 돈분액비의 시용은 비료성분들이 유실되어 양분의 이용효율을 낮게 하기 때문에 적절한 양분투입이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 돈분액비를 사용하여 수수×수단그라스 교잡종을 재배할 경우 질소기준으로 200kg/ha을 사용하는 것이 질소를 효율적으로 이용하는 것으로 생각된다.

임 등(2003)에 따르면 호밀에 돈분액비 시용시 투입된 N kg당 건물생산량은 화학비료구와 액비 100% 시용구가 81kg으로 비슷하였으며 액비시용량이 증가하면서 41~64kg으로 큰 폭으로 감소하여 액비의 다량시용은 투입된 질소의 이용율이 낮아 잉여 질소는 용탈 또는 휘산으로 환경에 영향을 준다고 하여 본 연구의 결과와 비슷하였다.



(T1 : CF 200kg N/ha, T2 : PS 200, T3 : PS 300, T4 : PS 400, T5 : PS 100+CF 100, T6 : PS 150+CF 100, T7 : PS 200+CF 100)

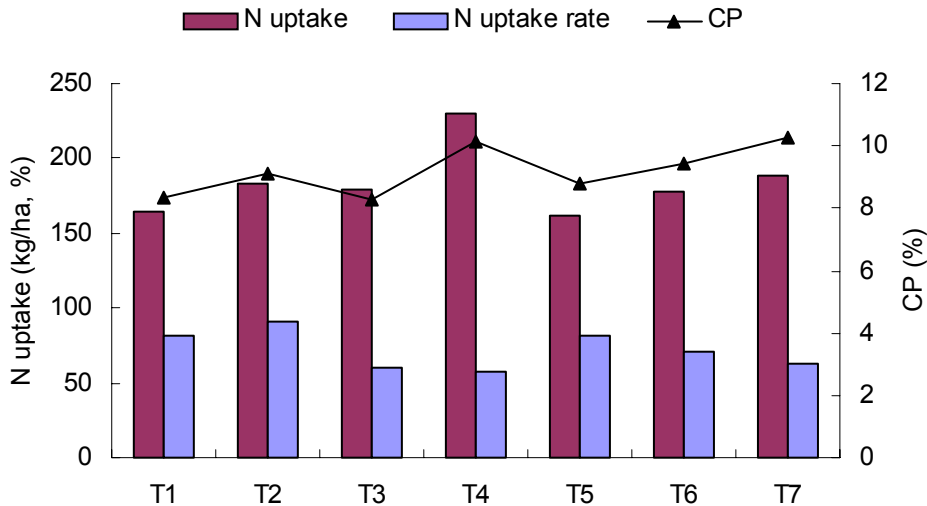
Fig. 2-3. Dry matter yield per input nitrogen of sorghum×sudangrass hybrid as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications (a : fertilizer types, b : application rates, c : application rates and methods, d : total). Means with different superscripts are significantly different ($p < 0.01$)

3. 조단백질 함량 및 질소회수량

돈분액비 시용수준에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 조단백질 함량과 질소회수량은 그림 2-4에 나타난 바와 같다.

돈분액비 시용수준에 따른 조단백질(CP) 함량은 질소시용량이 증가할수록 높아지는 경향을 보였으나 처리간에 유의적인 차이는 없었다. 질소회수량은 질소시용수준이 증가할수록 많아지는 경향이었으며 돈분액비 400kg N/ha 시용구(T4)가 230.1kg/ha으로 가장 높게 나타났다. 이는 수수×수단그라스 교잡종의 조단백질 함량 및 건물수량의 증가에 따라 질소회수량에 영향을 준 것으로 사료된다. 그러나 처리별 질소회수율을 보면 질소 200kg N/ha를 시용한 화학비료구(T1), 돈분액비 단용구(T2) 및 혼용구(T5)가 각각 81.9, 91.5 및 81.1%로 가장 높았으며 돈분액비 400kg N/ha 단용구(T4)가 57.5%로 가장 낮게 나타났다.

신 등(1999a)은 사일리지용 옥수수와 수수×수단그라스 교잡종에 대한 조단백질 함량은 동일한 시비조건에서는 화학비료시용구가 6.5 및 8.9%로 가장 높았다고 하여 본 연구의 결과와 비슷한 함량을 보였다. 또한 육 등(2000)은 톱밥발효돈분 시용에 따른 옥수수의 N 수량은 톱밥발효돈분 시용수준이 증가함에 따라 질소수량은 유의적으로 증가하였다고 하여 본 연구의 결과와 비슷하였다. Anderson과 Christie(1995)도 화학비료구에 비해 액비 시용량이 많은 처리구가 조단백질 생산량이 높았다고 하여 본 연구의 결과와 유사하였다. 서 등(1999)에 따르면 수수×수단그라스 교잡종의 Jumbo 품종의 조단백질 함량은 1차 수확시 13.4%, 2차 수확시 11.5%였다고 하였다 이는 본 연구에서 나타난 것보다 높게 나타났는데, 이는 수수×수단그라스 교잡종의 수확시기에 따른 차이로 사료된다.



(T1 : CF 200kg N/ha, T2 : PS 200, T3 : PS 300, T4 : PS 400, T5 : PS 100+CF 100, T6 : PS 150+CF 100, T7 : PS 200+CF 100)

Fig. 2-4. Content of crude protein (CP), nitrogen uptake rate and nitrogen plant uptake of sorghum×sudangrass hybrid as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications

Dauden 등(2004)은 질소 사용량이 증가함에 따라 질소회수율은 감소하였다고 한 반면 Zebarth 등(1996)은 젓소 우분액비 사용시기는 옥수수의 건물수량과 N 회수율에 유의적인 효과가 있었으나 사용량 간에는 차이는 없었다고 하였다. 신 등(1999)은 질소투입에 따른 질소회수율은 화학비료구가 43%, 옥수수+연맥 작부체계에서 액비의 계속사용구가 24~33%, 옥수수 액비사용+연맥 무시용 잔여효과구가 33~50%로 액비의 계속 사용구에 비해 잔여효과구의 질소회수율이 좋았는데 이는 전체 질소투입량에 비해 생산량이 낮기 때문이라고 하였다. 그러나 Chadwick 등(1998) 등은 사용된 돈분액비의 질소 중 31%가 토양내에서 무기화되어 남아있고 15.6%만이 목초에 의해서 회수되었

다고 하여 본 연구의 결과보다는 매우 낮았다. 토양에 사용된 질소가 작물에 의해 흡수되는 정도는 재배되는 작물의 종류와 비료형태, 사용량 및 사용시기에 의하여 달라진다고 하였다(Hummel과 Waddington, 1981).

4. 사료가치

돈분액비 사용에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 사료가치는 표 2-4에서 보는 바와 같다.

Table 2-4. Acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), Digestible dry matter (DDM), Dry matter intake (DMI) and Relative feed value (RFV) of sorghum×sudangrass hybrid as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications (% of DM basis)

Treatment	ADF	NDF	DDM ¹⁾	DMI ²⁾	RFV ³⁾
T1(CF 200kg N/ha)	50.5 ^a	82.0 ^a	49.5 ^a	1.46 ^{bc}	56 ^{bc}
T2(PS 200)	49.4 ^a	79.2 ^a	50.4 ^a	1.50 ^{ab}	59 ^{abc}
T3(PS 300)	51.8 ^a	80.4 ^a	48.5 ^a	1.43 ^{bc}	54 ^c
T4(PS 400)	49.3 ^a	73.0 ^b	50.5 ^a	1.66 ^a	64 ^a
T5(PS 100+CF 100)	49.8 ^a	73.9 ^b	50.1 ^a	1.66 ^a	63 ^{ab}
T6(PS 150+CF 100)	53.6 ^a	81.3 ^a	47.1 ^a	1.40 ^c	54 ^c
T7(PS 200+CF 100)	48.4 ^a	77.3 ^{ab}	51.1 ^a	1.50 ^b	62 ^{abc}

¹⁾DDM = 88.9 - (0.779 × ADF)

²⁾DMI (% of body weight) = 120/NDF (%)

³⁾RFV = DDM (%)×DMI (% of body weight)/1.29

^{a-c}Means in the same column with different superscripts are significantly different (p<0.01)

ADF와 NDF 함량은 전체적으로 높게 나타났는데 이는 수수×수단그라스 교잡종의 수확시기가 늦어져 줄기의 경도가 높아졌기 때문인 것으로 사료된다. ADF 함량은 처리수준간 유의적인 차이는 보이지 않았다. 그러나 NDF 함량은 화학비료 200kg N/ha 시용구(T1)가 가장 높았으며 질소시용 수준이 증가할수록 낮게 나타났다($p<0.01$). 가소화건물함량(DDM)은 처리간에 유의적인 차이가 없었으며, 상대적사료가치(RFV)는 돈분액비 시용수준이 증가할 수록 높아지고 있다($p<0.01$).

신 등(1999)은 동일한 질소시비 조건에서 수수×수단그라스 교잡종의 ADF 함량은 화학비료 시용구가 39.5%로 가장 높았다고 하여 본 연구에서 보여진 결과와 유사하였으며, TDN 함량은 58.2%로 가장 낮았다고 하였다. 그러나 호밀 재배시 돈분액비 시용은 ADF 및 NDF 함량에 있어 큰 영향은 주지 않았으나 액비를 시용함으로써 다소 낮아지는 경향이었다고 하였다(임 등, 2003).



5. 시험 후 토양특성

돈분액비 시용수준에 따른 토양특성의 변화는 표 2-5에서 보는 바와 같다. 돈분액비 시용량이 증가함에 따른 토양 pH는 차이를 보이지 않았다. 그러나 유효인산 함량은 돈분액비+화학비료 혼용구가 화학비료구나 돈분액비 단용구에 비해 다소 높은 경향을 보였다. 반면에 무기물 함량은 화학비료구가 돈분액비 단용구나 돈분액비+화학비료 혼용구에 비해 높게 나타났다.

Plaza 등(2002)은 화학비료를 시용한 토양에 비해 돈분액비를 시용한 토양은 pH와 전기전도도(EC)가 높았으며 T-N은 다소 높게 나타났다고 하였다. 반면에 수수×수단그라스 재배시 액상구비 시용은 토양 pH에 대한 개선 효과는 없었으며(신 등, 1999), 고 등(2003)도 제주 화산회토양에서 돈분액비 시용에 따른 토양 pH, T-N 등은 화학비료구나 돈분액비 시용구 간에 뚜렷한 차이는 없

었다고 하였다. 초지에서 가축분뇨의 처리형태나 시용수준에 따른 토양유기물
에 미치는 영향을 비교할 때 톱밥발효돈분이 가장 높았으며 화학비료구와 액상
발효돈분이 가장 낮았는데, 이는 돈분 또는 톱밥내의 유기물 함량이 화학비료
나 액비에 비해 높았기 때문이라고 하였다(육, 2003). 가축분뇨액비 시용수준에
따른 유효인산 함량은 우분뇨 액비가 화학비료에 비해 유효인산 함량이 높은
경향을 보인다고 하였으며(김 등, 2000), 젓소 우분액비 시용에 따른 방목초지
토양의 무기물 성분 중 P는 초지에 적정 함량을 유지하였으나 K의 경우는 결
핍되었다고 하였다(Lopez-Mosquera 등, 2000).

**Table 2-5. Soil chemical characteristics before and after trial (0-20cm
soil depth)**

Treatment	pH (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cation(cmol ⁺ /kg)			
				Ca	K	Mg	Na
T1(CF 200kg N/ha)	5.54 ^a	57.6 ^a	134.5 ^d	3.81 ^a	0.54 ^a	1.59 ^a	0.22 ^{bc}
T2(PS 200)	5.43 ^a	56.9 ^a	149.5 ^c	3.15 ^d	0.52 ^a	1.42 ^b	0.18 ^c
T3(PS 300)	5.45 ^a	56.7 ^a	149.7 ^c	3.48 ^c	0.44 ^b	1.39 ^{bc}	0.20 ^{bc}
T4(PS 400)	5.46 ^a	55.9 ^a	151.2 ^{bc}	3.59 ^b	0.46 ^b	1.36 ^c	0.28 ^a
T5(PS 100+CF 100)	5.55 ^a	61.1 ^a	153.5 ^b	3.76 ^a	0.40 ^c	1.43 ^b	0.28 ^a
T6(PS 150+CF 100)	5.51 ^a	58.8 ^a	160.2 ^a	3.23 ^d	0.37 ^c	1.24 ^d	0.24 ^b
T7(PS 200+CF 100)	5.53 ^a	58.1 ^a	125.8 ^e	3.24 ^d	0.26 ^c	1.14 ^c	0.19 ^c

^{a-c}Means in the same column with different superscripts are significantly
different (p<0.01)

그러나 가축분뇨 액비사용시 인산 함량은 전반적으로 화학비료구에서 높게 나타났으며, Ca, Mg, K 함량은 동일시비수준시 액상구비 사용구가 화학비료 사용구에 비하여 높아 토양의 이화학적 성분을 유지하거나 개선하는 효과가 있다고 하였으나(Dolan과 Bolger, 1997; 전 등, 1995; 고 등, 2003), 본 연구에서 유효인산 함량은 돈분액비 사용량이 증가할수록 화학비료구에 비해 높았으며 무기물은 반대로 돈분액비 사용구에 비해 화학비료구가 높게 나타나 다소 상이한 결과를 보였다. 이와 같은 가축분뇨 액비사용에 따른 토양의 특성변화는 액비가 사용되는 지역의 기후, 토양형태, 토지 이용형태 및 관리에 따라 토양의 이화학적 특성이 차이가 나는 것으로 사료된다.

시험 2는 돈분액비를 사용하여 수수×수단그라스 교잡종 재배시 사용수준 및 사용방법에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 생산성 및 토양에 미치는 영향을 조사하였다. 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 돈분액비 사용수준이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나 유의적인 차이를 보이지 않았으며 사료 가치 및 토양에 미치는 영향도 큰 차이가 없어 수수×수단그라스 교잡종 재배시 화학비료를 대체할 수 있다는 가능성을 제시하고 있다. 그러나 질소투입에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량이나 질소 이용효율을 고려한 적정 질소 사용수준은 돈분액비 200kg N/ha을 전량 기비로 사용하거나 돈분액비 100kg N/ha을 기비로 사용하고 추비로 화학비료 100kg N/ha을 사용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

<시험 3> Lysimeter에서 수수×수단그라스 교잡종 재배시 돈분액비 사용이 유거수 및 용탈수의 특성에 미치는 영향

1. 건물수량

Lysimeter에서 돈분액비 사용수준에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 건물 수량은 그림 3-2에서 보는 바와 같다.

Lysimeter에서 돈분액비 사용수준에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 건물 수량은 무시용구가 가장 낮았으며, ha당 200kg의 질소를 시용한 화학비료와 돈분액비 시용구의 건물수량은 각각 26,495과 25,309kg으로 통계적인 유의차가 없었다. 또한 돈분액비 중 400와 600kg N/ha 시용구의 ha당 건물수량도 각각 46,475과 43,717kg으로 두 처리간에도 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 무비구, 돈분액비 200 및 400kg N/ha 시용구에서 ha당 각각 15,430, 25,329 및 46,475kg의 건물수량을 보여 처리간 고도의 유의차가 있었다($p < 0.01$). 같은 양의 질소 200kg/ha을 시용한 수준에서 돈분액비와 화학비료간 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량에 미치는 효과는 비슷하였으며 수수×수단그라스 교잡종이 다비성 작물일지라도 과도한 양분시용은 질소의 회산, 유거수 또는 용탈수에 의하여 양분이 유실되어 생산성에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 본 연구가 수행된 lysimeter에서 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 사료작물 재배포장에 비해 매우 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 lysimeter에서는 수수×수단그라스 교잡종의 초기생육부터 수확시까지 충분하게 관수함으로써 작물 생육에 도움을 주었기 때문이라고 사료되며, 또한 본 시험이 수행된 2004년도에

는 태풍이 발생하지 않아 작물이 생육하기에 좋은 조건을 가졌기 때문인 것으로 생각된다.

수수×수단그라스 교잡종 및 옥수수의 건물수량은 질소시비 수준이 높아질수록 유의적으로 증가하였다고 하였다(이 등, 1992; Kamprath와 Jason, 1978). Lysimeter에서 액상발효우분과 질소의 시용수준에 따른 옥수수의 건물수량은 무비구를 100%로 볼 때 액상발효우분 200 및 400kg N/ha 시용구에서 각각 173 및 293%의 증가를 보였고 시용수준의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내어 본 연구의 결과와 일치하였다(육, 2003). 그러나 윤과 최(1999)는 질소시비 수준을 200, 400 및 600kg/ha으로 증가함에 따라 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 오히려 감소하였다고 하여 본 시험과는 다소 상이하였다.

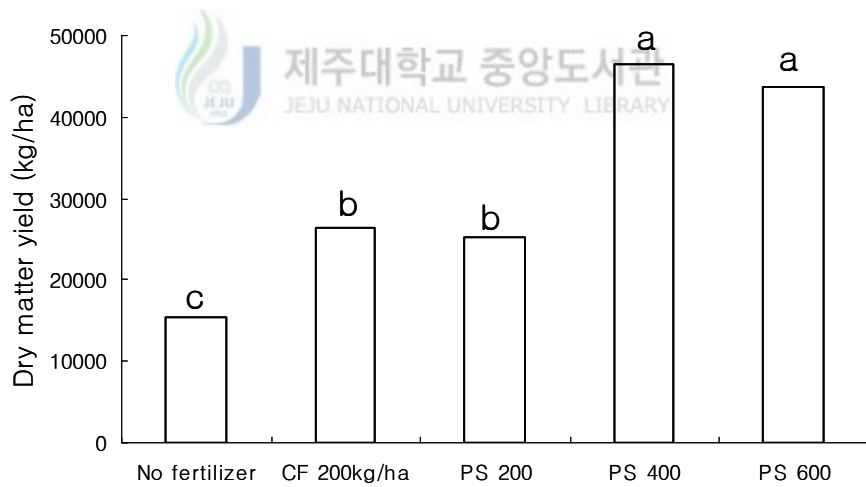


Fig. 3-2. Dry matter yield of sorghum×sudangrass hybrid as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter. Means with different superscripts are significantly different ($p < 0.01$)

돈분액비 시용수준과 건물수량과의 회귀관계는 그림 3-3에 나타난 바와 같다.

돈분액비 시용수준이 증가할 수록 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 고도의 유의적인 정의 상관관계를 보였다($p < 0.001$).

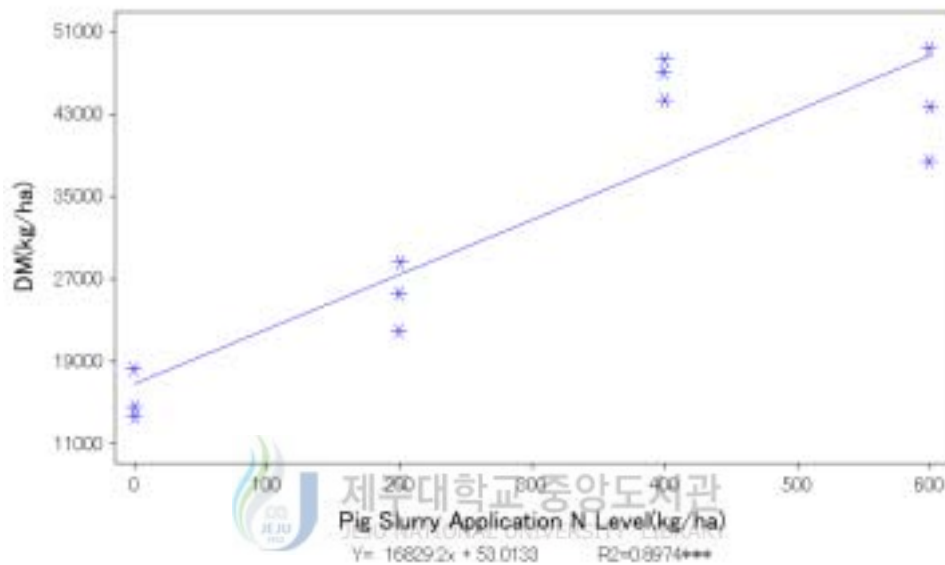


Fig. 3-3. The linear regression between dry matter yield of sorghum×sudangrass hybrid and pig slurry application level (** $p < 0.001$)

2. 유거수의 수질특성

1) BOD 및 COD

처리에 따라 돈분액비를 시용한 후 수수×수단그라스 교잡종의 생육기간 동안 lysimeter에서 채취한 유거수의 생물학적산소요구량(BOD)과 화학적산소요구량(COD)의 농도 변화는 표 3-4와 표 3-5에 나타난 바와 같다.

Table 3-4. Changes of BOD of runoff water as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

Treatment	Sampling date				
	May 27	June 18	July 14	Aug. 26	Sept. 21
	-----mg/L-----				
No fertilizer	71.57 ^{ab}	0.80 ^c	0.51 ^a	0.77 ^a	0.57 ^a
CF 200kg/ha	62.47 ^{ab}	0.97 ^{bc}	0.77 ^a	1.10 ^a	1.00 ^a
PS 200	54.73 ^b	1.77 ^a	0.77 ^a	1.13 ^a	0.77 ^a
PS 400	56.57 ^b	1.43 ^{ab}	0.80 ^a	0.70 ^a	0.83 ^a
PS 600	79.93 ^a	1.07 ^b	0.80 ^a	0.70 ^a	0.63 ^a

^{a-c}Means in the same column with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$)



돈분액비를 사용한 후 15일경에 1차로 채취하여 분석한 유거수의 BOD 농도는 같은 질소 200kg/ha을 사용한 화학비료구 및 돈분액비 사용구 간에는 차이가 없었다. 그러나 돈분액비 600kg N/ha 사용구에서는 BOD 농도가 79.93mg/L으로 가장 높게 나타났다($p < 0.05$). 그러나 2차 채수된 유거수의 BOD 농도는 모든 처리구에서 현저하게 감소하였으나 같은 질소수준의 화학비료구보다는 돈분액비 사용구에서 BOD 농도가 높게 나타났다. 이는 본 시험에 사용된 돈분액비가 건물함량이 매우 낮아 유기물이 적었기 때문에 큰 처리 간에 차이를 보이지 않은 것으로 사료된다. 또한 1차 유거수에 의하여 사용된 돈분액비의 유기물 등의 성분이 손실됨에 따라 BOD 농도가 낮아진 것으로 사료된다.

Table 3-5. Changes of COD of runoff water as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

Treatment	Sampling date				
	May 27	June 18	July 14	Aug. 26	Sept. 21
	-----mg/L-----				
No fertilizer	8.70 ^c	9.03 ^a	1.34 ^b	2.13 ^a	1.70 ^a
CF 200kg/ha	8.37 ^c	8.13 ^{ab}	2.45 ^{ab}	1.93 ^a	2.43 ^a
PS 200	12.40 ^c	5.90 ^b	2.71 ^a	1.33 ^a	2.33 ^a
PS 400	21.80 ^b	6.10 ^b	3.52 ^a	1.87 ^a	1.87 ^a
PS 600	29.40 ^a	9.33 ^a	3.82 ^a	1.70 ^a	1.83 ^a

^{a-c}Means in the same column with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$)



같은 질소 200kg N/ha을 시용한 화학비료구와 돈분액비 시용구간의 COD 농도는 각각 8.37 및 12.40mg/L으로 돈분액비 시용구가 다소 높았으나 유의적인 차이는 없었다. 그러나 돈분액비 시용량의 증가에 따라 COD 농도는 유의적으로 증가하여 돈분액비 400 및 600kg N/ha 시용구는 각각 21.80mg/L과 29.40mg/L으로 높게 나타났다($p < 0.05$). 2차 및 3차에 채취된 유거수에서도 돈분액비 시용수준이 증가함에 따라 COD 농도는 높게 나타났다.

김 등(2000)은 방목초지에 우분뇨액비 시용수준에 따른 유거수의 BOD 및 COD 농도를 조사한 결과 연간 평균 BOD 농도는 무비구에서 가장 낮았으며 화학비료나 액비 시용수준 증가에 비례하여 그 함량이 증가하는 경향이었다고 하였다. 또한 돈분액비 시용에 따른 유거수의 수질은 화학비료구에 비해 돈분

액비를 시용함으로써 COD 농도가 높아져 돈분액비를 시용할 경우 양분유실에 따른 수계오염 등에 영향을 줄 수 있다고 하였다(농촌진흥청, 2004).

2) T-N 및 T-P

Lysimeter에서 채취한 유거수의 T-N와 T-P의 농도 변화는 표 3-6와 표 3-7에 나타난 바와 같다.

Table 3-6. Changes of T-N of runoff water as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

Treatment	Sampling date				
	May 27	June 18	July 14	Aug. 26	Sept. 21
	----- mg/L -----				
No fertilizer	0.64 ^d	1.54 ^b	1.21 ^{ab}	0.56 ^a	1.28 ^a
CF 200kg/ha	5.00 ^c	2.39 ^a	1.72 ^b	0.77 ^a	1.12 ^a
PS 200	15.30 ^b	2.07 ^a	1.21 ^{ab}	0.84 ^a	1.08 ^a
PS 400	13.50 ^b	2.41 ^a	2.74 ^a	0.90 ^a	0.99 ^a
PS 600	29.30 ^a	2.79 ^a	2.42 ^a	0.72 ^a	1.07 ^a

^{a-c}Means in the same column with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$)

Table 3-7. Changes of T-P of runoff water as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

Treatment	Sampling date				
	May 27	June 18	July 14	Aug. 26	Sept. 21
	-----mg/L-----				
No fertilizer	0.20	0.16	0.19	0.08	0.24
CF 200kg/ha	0.20	0.11	0.17	0.11	0.20
PS 200	0.22	0.15	0.19	0.08	0.20
PS 400	0.21	0.21	0.24	0.09	0.20
PS 600	0.24	0.21	0.21	0.08	0.19

* NS : not significant

화학비료구와 돈분액비 시용수준에 따른 유거수의 T-N 함량은 돈분액비 시용구에서 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.05$). 돈분액비 200kg N/ha를 시용구의 T-N 농도는 15.30mg/L으로 같은 양의 질소를 시용한 화학비료 시용구에 비해 높았으며 무비료구의 경우는 0.64mg/L으로 가장 낮았다($p < 0.05$).

한편 돈분액비 시용량이 증가할수록 유거수의 T-N는 증가하였으며, 돈분액비 시용초기에 그 농도가 높게 나타났다. 특히 돈분액비 600kg N/ha 시용구에서 유거수의 T-N 농도는 29.30mg/L으로 가장 높았으며 화학비료시용구보다 약 6배 정도 높은 농도를 나타냈다. 이는 화학비료구의 경우 기비로 질소를 50%만 시용하였고 돈분액비구의 경우 전량 기비로 시용하였기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 2차 채취시부터는 유거수 중의 T-N 농도는 매우 떨어졌으며 처리간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 이는 작물에 의한 이용과 유거수에 의하여 비료성분이 유실되어 처리간에 차이를 보이지 않은 것으로 사료된다.

유거수 중의 T-P 농도는 돈분액비 시용수준에 대한 영향을 그다지 받지 않은 것으로 보이며 처리간에도 유의적인 차이를 나타나지 않았다. 그러나 유

거수 중의 BOD, COD 및 T-N의 농도가 1차 시료 채취시에는 매우 높았던 것이 그 후 시간이 경과하면서 농도가 떨어진 것에 비해 T-P는 일정한 농도로 유거수 중에 계속 함유되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 유거수 중의 T-P는 돈분액비 시용수준에 의하여 영향 보다는 토양에 흡착되어 있던 P이 유거수 중에 포함되었기 때문인 것으로 사료된다.

돈분액비 시용수준에 따른 유거수의 T-N와 T-P 농도와의 관계를 보면 돈분액비 시용수준과 유거수 중의 T-N 농도와의 회귀관계는 $r^2=0.29$ 로 돈분액비 시용량이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였다($p<0.05$). 그러나 돈분액비 시용수준과 T-P 농도는 관계가 매우 낮은 것으로 나타났다(그림 3-4).

경사도 및 톱밥발효돈분 시용에 따른 옥수수 재배지의 유거수에 의한 질소유실은 경사도가 증가함에 따라 질소 유실량은 증가하는 경향을 보였으며, 톱밥발효돈분 시용수준의 증가에 의해서도 질소 유실량은 증가한다고 하였다(육 등, 2000). Vagstad 등(2000)은 높은 가축 사육밀도와 슬러리 시용은 N와 P의 손실에 유의적으로 영향을 준다고 하였으며 특히 N보다는 P에 현저히 나타난다고 하였다. Smith 등(2001b)에 따르면 우분액상구비의 시용은 지표 유거수에 독특한 형태의 인산 및 용해성 인산으로 손실이 증가되었으며 지표층을 경유한 손실은 유거수에 의한 손실보다 적었다고 하였다. 또한 유거수를 통한 슬러리 중 P은 하천으로 유입되어 부영양화를 가속화 시키고 특히 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 같이 높을 때 그 영향은 더 크다고 하였다. Sharma 등(1985)도 토양에 시용된 인산이 초기에는 이동되나, 토양에 흡착되어 그 농도가 낮아지면 주로 확산에 의해 이동된다고 하였으며, 인산의 이동성은 일반적으로 작으나 사질토양에 수용성 인산을 시용했을 때 많은 인산이 용탈되었다고 보고하였다.

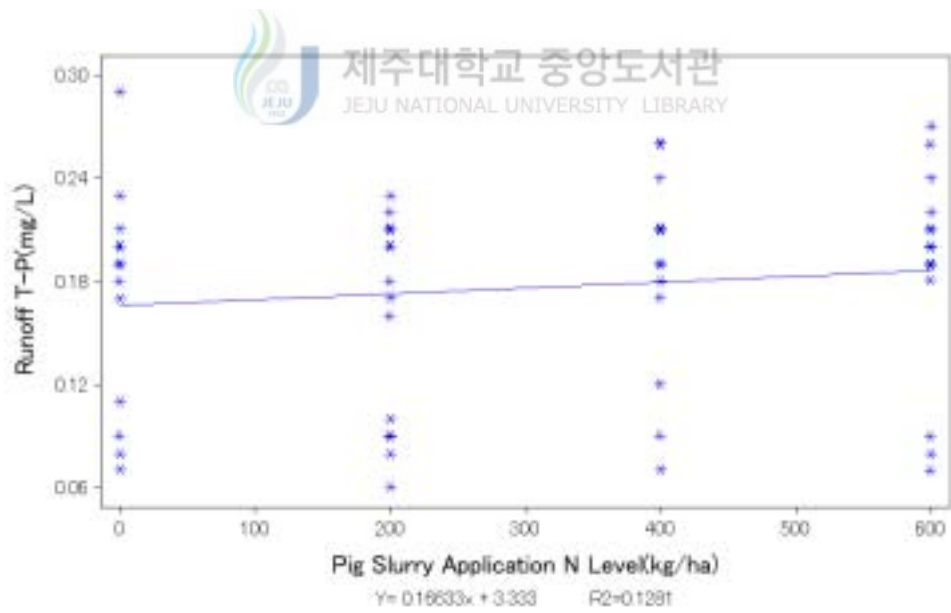
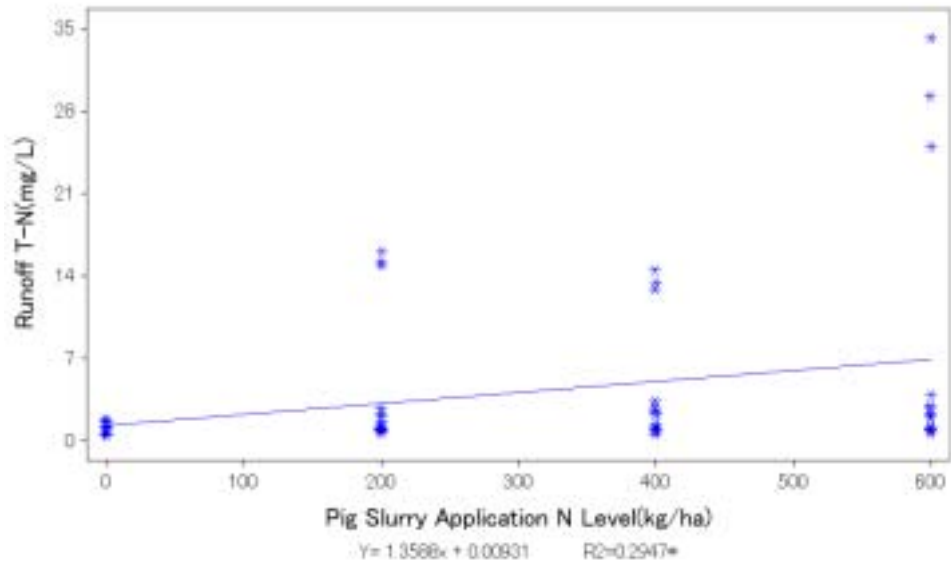


Fig. 3-4. The linear regression between T-N and T-P of runoff water and pig slurry application level (* p<0.05)

Hodgkinson 등(2002)에 따르면 돈분액비 사용은 유거수에 T-P 농도를 지속적으로 증가시켰으며 초기에는 돈분액비를 사용하였을 때 T-P 농도는 무시용구에 비해 매우 높았다고 하여 본 연구의 결과와는 다소 상이하였다. 지표 유거수의 T-N와 T-P 이동은 토지 이용 및 관리, 토양형태, 화학비료 또는 액비의 사용시기나 사용량 등 여러 가지 요인에 의하여 영향을 받는다고 하였다(Hooda 등 2000; Vagastad 등, 2000).

3) $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 $\text{NH}_4\text{-N}$

돈분액비 사용수준에 따라 수수×수단그라스 교잡종을 재배하면서 시험기간 중 5회에 걸쳐 lysimeter에서 채취한 유거수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도 변화는 표 3-8와 표 3-9에 나타난 바와 같다.

유거수 중의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 같은 양의 질소 200kg/ha를 사용한 화학비료나 돈분액비구 간에는 유의적인 차이는 없었으나 돈분액비 사용수준이 증가할수록 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 높았다($p < 0.05$). 특히 돈분액비 600kg N/ha 사용구의 유거수 중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 2.34mg/L으로 가장 높은 농도를 보여 유거수에 의한 양분손실이 많이 발생되고 있음을 확인할 수 있었다($p < 0.05$). 또한 2차 채수된 유거수에서도 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$).

$\text{NH}_4\text{-N}$ 의 경우도 돈분액비 사용 초기에 돈분액비 사용수준이 증가함에 따라 유거수의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 증가하였다. 돈분액비 400kg N/ha와 600kg N/ha를 사용한 초기의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 각각 1.33mg/L와 1.70mg/L으로 무비구나 200kg N/kg을 사용한 화학비료구 및 돈분액비 사용구에 비해 3배 이상의 높은 농도를 보였다($p < 0.05$). 그러나 무비구나 200kg N/ha를 사용한 화학비료구 및 돈분액비 사용구간의 유거수 내 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량은 차이가 없었다. 돈분액비를 사용한 후 2개월 후부터는 농도가 감소하였으며 처리 간에 유의성

도 없었다. 이는 지표면에 있었던 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 가 작물에 의하여 이용되거나 휘산 및 유거수에 의하여 손실되었기 때문인 것으로 사료된다.

돈분액비 시용수준과 유거수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도와의 관계는 각각 $r^2=0.35(p<0.001)$ 과 $r^2=0.30(p<0.05)$ 으로 돈분액비 시용수준이 증가에 따라 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 증가하는 추세였다(그림 3-5).

윤 등(2001)은 옥수수 재배토양에서 유거수에 의한 질산태질소 유실량은 돈분시용량이 많을수록 증가하는 경향이었다고 하여 본 연구의 결과와 일치하였다. Smith 등(2001a)은 유거수가 쉽게 발생하는 경작지에 유기질 퇴비나 액비의 시용은 유거수의 양을 증가시키고 유기질 액비의 고형물과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 손실을 증가시키나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 대해서는 거의 영향을 주지 않았다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 돈분액비 시용수준이 증가할수록 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 $\text{NH}_4\text{-N}$ 보다 많은 손실을 보여 다소 상이한 결과를 나타내었다(그림 3-6). 이는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 돈분액비의 시용방법, 토양구조 및 강수량 등과 같은 환경요인에 의해 많은 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다. Rochette 등(2004)은 돈분액비를 따뜻한 시기에 시용하게 되면 분뇨 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 급격히 질산화되고 N_2O 방출량도 높게 되며, 가을에 시용된 돈분액비는 차가운 조건에서 질산화를 억제하여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 축적을 막는다고 하여 계절에 따라 다른 결과를 나타낸다고 하였다.

토양에서 무기태질소는 NO_3^- 와 NH_4^+ 2가지 형태로 존재하는데 NO_3^- 는 토양에서 자유롭게 이동하여 물과 함께 근권이하로 쉽게 이동할 수 있는 반면에 NH_4^+ 는 양이온 변화 기전에 따라 토양에 남아 있는 경향이 있다(Hooda 등, 2000). 그러나 용탈에 의한 N의 손실은 지표층(sub-surface)에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 형태로 손실되는 것이 97 ~98%라고 하였다(Lowrance, 1992; Gangbazo 등, 1995).

Table 3-8. Changes of NO₃-N of runoff water as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

Treatment	Sampling date				
	May 27	June 18	July 14	Aug. 26	Sept. 21
	-----mg/L-----				
No fertilizer	0.49 ^c	0.53 ^b	0.56 ^a	0.70 ^a	0.73 ^a
CF 200kg/ha	0.68 ^{bc}	0.57 ^b	0.59 ^a	0.75 ^a	0.64 ^a
PS 200	0.75 ^{bc}	0.64 ^b	0.53 ^a	0.79 ^a	0.64 ^a
PS 400	1.93 ^{ab}	0.92 ^a	0.53 ^a	0.79 ^a	0.67 ^a
PS 600	2.34 ^a	0.94 ^a	0.55 ^a	0.78 ^a	0.72 ^a

^{a-c}Means in the same column with different superscripts are significantly different (p<0.05)



Table 3-9. Changes of NH₄-N of runoff water as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

Treatment	Sampling date				
	May 27	June 18	July 14	Aug. 26	Sept. 21
	-----mg/L-----				
No fertilizer	0.34 ^b	0.07 ^b	0.05 ^a	0.53 ^a	0.05 ^a
CF 200kg/ha	0.48 ^b	0.11 ^b	0.32 ^a	0.70 ^a	0.07 ^a
PS 200	0.49 ^b	0.34 ^b	0.07 ^a	0.41 ^a	0.08 ^a
PS 400	1.33 ^{ab}	0.72 ^a	0.06 ^a	0.43 ^a	0.07 ^a
PS 600	1.70 ^a	0.64 ^a	0.04 ^a	0.44 ^a	0.07 ^a

^{a-b}Means in the same column with different superscripts are significantly different (p<0.05)

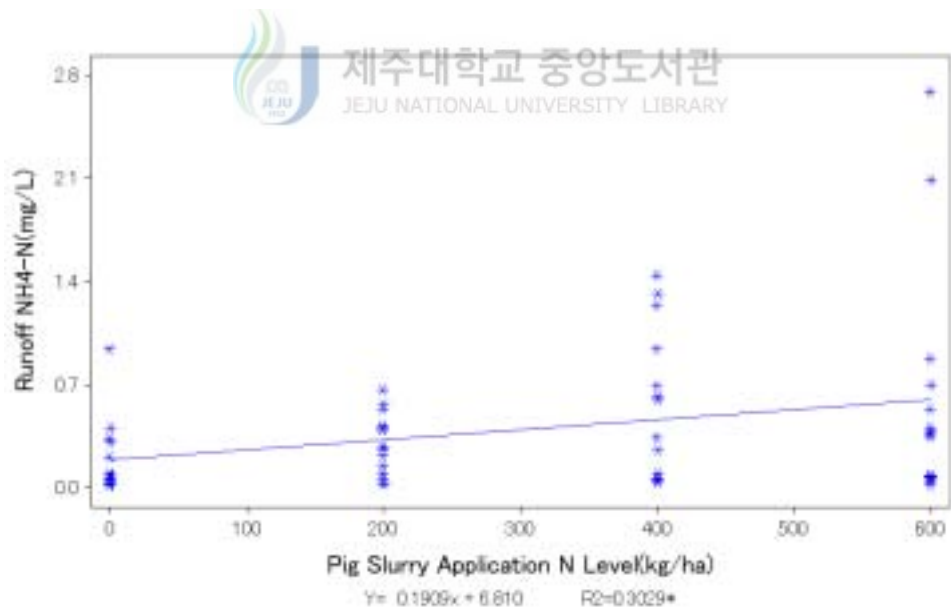
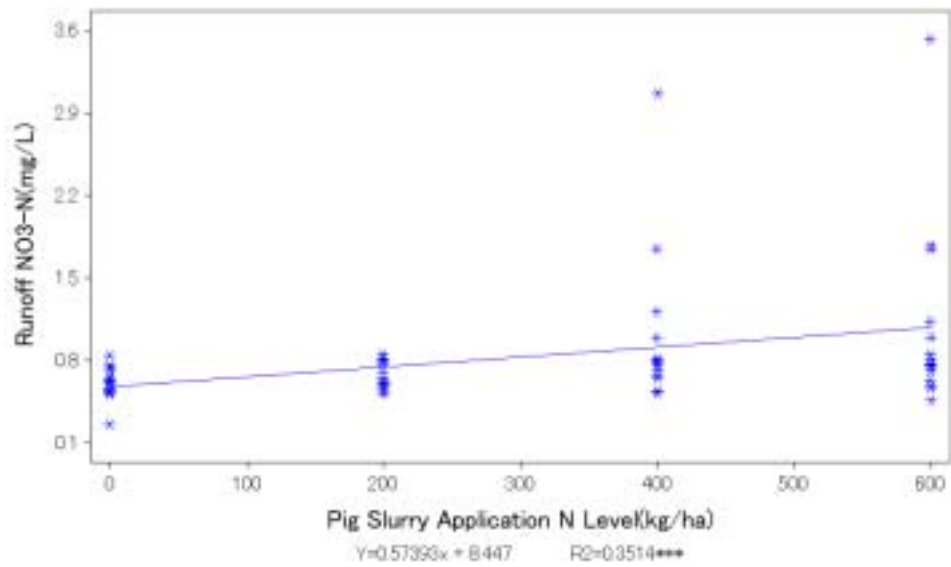


Fig. 3-5. The linear regression between NO₃-N and NH₄-N of runoff water and pig slurry application level (* p<0.05, *** p<0.001)

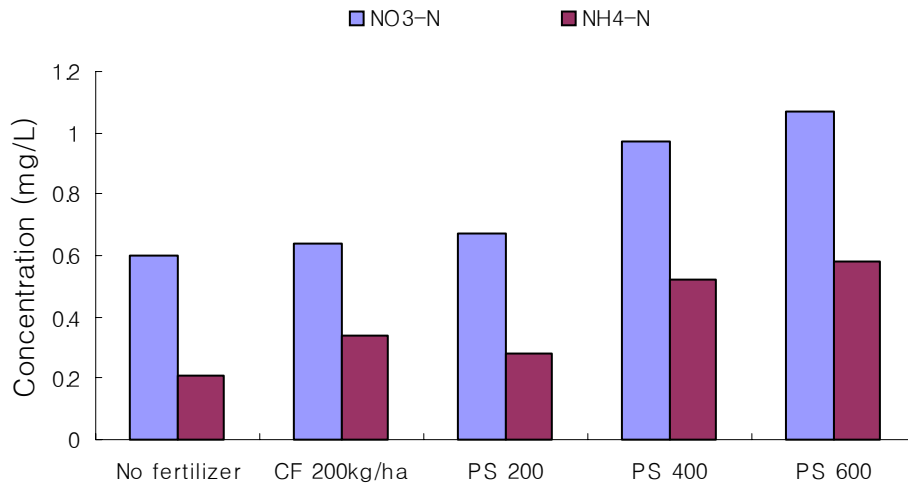
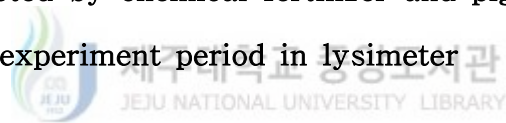


Fig. 3-6. Mean concentrations of NO₃-N and NH₄-N in runoff water as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications during experiment period in lysimeter



4) 무기물

돈분액비 시용수준에 따른 lysimeter에서 채취한 유거수의 Ca, Mg, K, Na의 농도 변화는 그림 3-7에 나타난 바와 같다.

유거수 중의 Ca, Mg, K, Na의 농도는 돈분액비 시용량 증가에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다. 유거수 중의 Ca, Mg, K, Na 농도는 수수×수단그라스 교잡종의 초기생육시부터 수확시까지 일정한 수준으로 유거수 중에 함유되어 양분 손실이 일어나고 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 유거수 중 무기물 성분이 돈분액비 시용초기부터 수확시까지 일정한 수준으로 나타나는 것은 무기물들이 토양에 흡착되어 있다가 관수시 유거수에 의하여 양분이 유실되면서 유

거수에 함유되었기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 Ca, Mg의 경우 시간이 경과하면서 유거수 중에 함량이 약간 높아지는 반면에 K의 경우는 시용초기에 높게 나타났으나 시간이 경과하면서 비슷하게 나타났다. 이는 양이온 중 K가 토양흡착력이 다른 양이온에 비해 매우 높기 때문에 유실량이 비슷하게 나타난 것으로 보인다(Pleysier와 Juo, 1981).

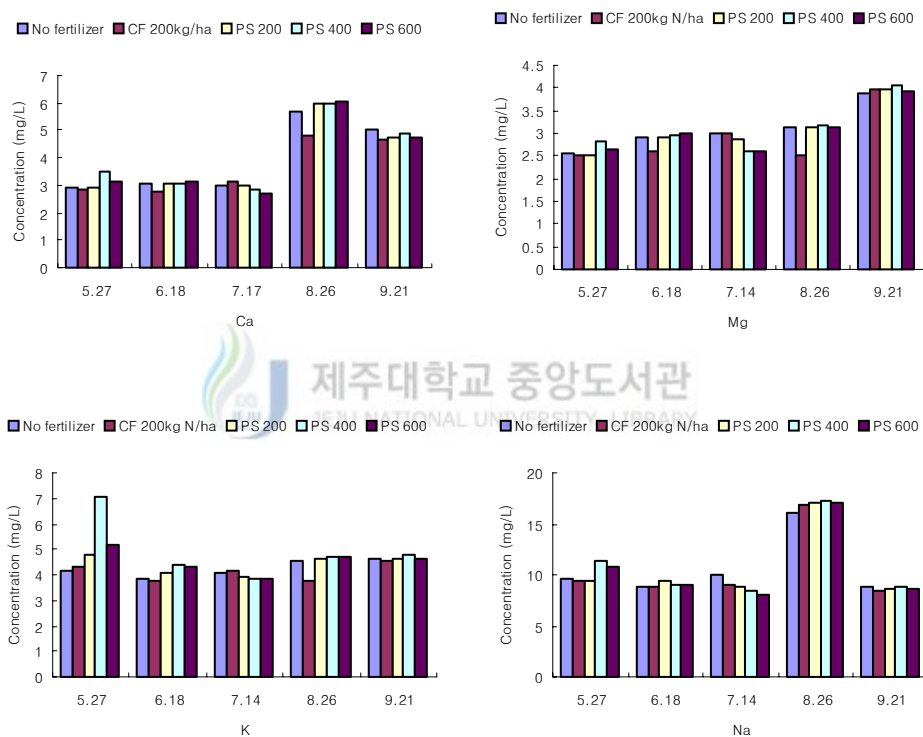


Fig. 3-7. Changes of major mineral contents of runoff water as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

5) 유기수 성분간의 상관관계

시험기간 동안 유기수의 성분들간의 상관관계는 표 3-10에 나타난 바와 같다.

Table 3-10. Relationship between the concentration of runoff water as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

	pH	EC	BOD	COD	T-N	T-P	NO ₃ ⁻ N	NH ₄ ⁻ N	Ca	Mg	K
EC	0.13										
BOD	0.01	0.433 **									
COD	-0.09	0.59 **	0.77 **								
T-N	0.06	0.60 **	0.73 **	0.88							
T-P	-0.09	-0.03	0.37 **	0.36 **	0.38 **						
NO ₃ ⁻ N	0.21	0.38 **	0.47 **	0.69 **	0.72 **	0.20					
NH ₄ ⁻ N	0.29 *	0.46 **	0.52 **	0.65 **	0.70 **	0.08	0.81 **				
Ca	0.27 *	0.11	-0.34 **	-0.41 **	-0.29 *	-0.49 **	0.06	0.004			
Mg	0.04	-0.14	-0.39 **	-0.36 **	-0.29 *	0.04	-0.03	-0.26 *	0.64 **		
K	0.27 *	0.22 *	0.30 **	0.36 **	0.37 **	0.12	0.73 **	0.55 **	0.35 **	0.35 **	
Na	0.35 **	0.32 **	-0.09	-0.15	-0.07	0.68 **	0.19	0.31 **	0.068 **	-0.03 **	0.23 *

* p<0.05, ** p<0.01

T-N와 BOD, COD 간의 상관관계는 각각 $r=0.73$, 0.88 로서 매우 높은 유의적인 정의 상관관계를 보였으며, BOD와 COD의 상관관계는 $r=0.77$ 로서 BOD의 함량이 높을수록 COD의 함량도 같이 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 T-N 간의 상관관계도 유의적인 정의 상관관계를 보였다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 K와의 상관관계는 유의적으로 높은 반면에 Ca, Mg와는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

돈분이 시용된 토양에서 유기수의 질산태질소와 양이온 농도 간에는 상호 유의한 관계가 있다고 윤 등(2001)이 보고하였다. 이런 결과는 강우시 빗물에 의하여 토양 표면에서 유실되는 질산태질소는 침투수에 의하여 용탈되는 경우와 유사하게 다른 양이온들과 전기적 인력에 의한 화학적으로 결합되어 동반이동이 일어난다고 하였다.



3. 용탈수의 수질특성

1) $\text{NO}_3\text{-N}$

사료작물 재배지에서 돈분액비 시용수준 효과를 구명하기 위해 수수×수단 그라스 교잡종을 재배하면서 lysimeter를 이용하여 20cm와 40cm에서 채취한 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도 변화를 조사하였으며 그 결과는 표 3-11에 나타난 바와 같다.

토심 20cm와 40cm에서 채취된 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 돈분액비 시용수준의 증가에 따라 높아졌다. 특히 토심 40cm에서 채취된 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 돈분액비 시용량의 증가에 따라 높아졌다. 토심 20cm에서 채취된 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 1차 채취시 처리간에 차이가 없었다. 그러나 2차 및 3차에

채수된 용탈수의 NO₃-N 농도는 돈분액비 시용량이 증가함에 따라 유의적인 증가를 보였으며, 특히 돈분액비 600kg N/ha 시용구에서 가장 높게 나타났다 (p<0.05). 마찬가지로 토심 40cm에서도 돈분액비 시용량이 증가함에 따라 NO₃-N 농도 유의적으로 높아졌으며, 특히 돈분액비 600kg N/ha 시용구의 NO₃-N 농도는 14.71mg/L으로 다른 처리구에 비해 매우 높게 나타났다(p<0.05).

Table 3-11. Changes of NO₃-N of leaching water collected at the soil as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

Soil depth	Treatment	Sampling date				
		May 27	June 18	July 14	Aug. 26	Sept. 21
		-----mg/L-----				
20cm	No fertilizer	1.63 ^a	1.28 ^c	0.42 ^b	0.43 ^a	0.39 ^a
	CF 200kg/ha	2.75 ^a	1.93 ^c	0.85 ^{ab}	0.47 ^a	0.55 ^a
	PS 200	2.31 ^a	4.47 ^b	0.45 ^b	0.50 ^a	0.59 ^a
	PS 400	2.52 ^a	4.06 ^b	0.54 ^b	0.57 ^a	0.50 ^a
	PS 600	3.68 ^a	8.97 ^a	0.99 ^a	0.67 ^a	0.35 ^a
40cm	No fertilizer	1.88 ^d	2.01 ^c	0.70 ^b	0.51 ^a	0.50 ^a
	CF 200kg/ha	8.03 ^c	7.73 ^b	0.60 ^b	0.69 ^a	0.61 ^a
	PS 200	8.09 ^c	7.63 ^b	0.62 ^b	0.56 ^a	0.46 ^a
	PS 400	9.90 ^b	7.22 ^b	0.44 ^b	0.64 ^a	0.45 ^a
	PS 600	14.71 ^a	11.82 ^a	1.41 ^a	0.54 ^a	0.54 ^a

^{a-d}Means in the same column with different superscripts are significantly different (p<0.05)

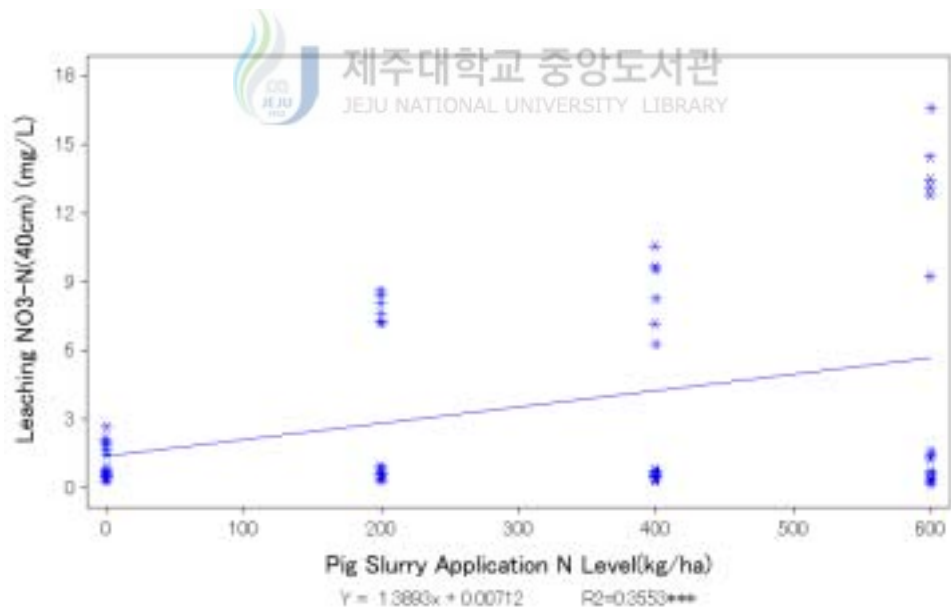
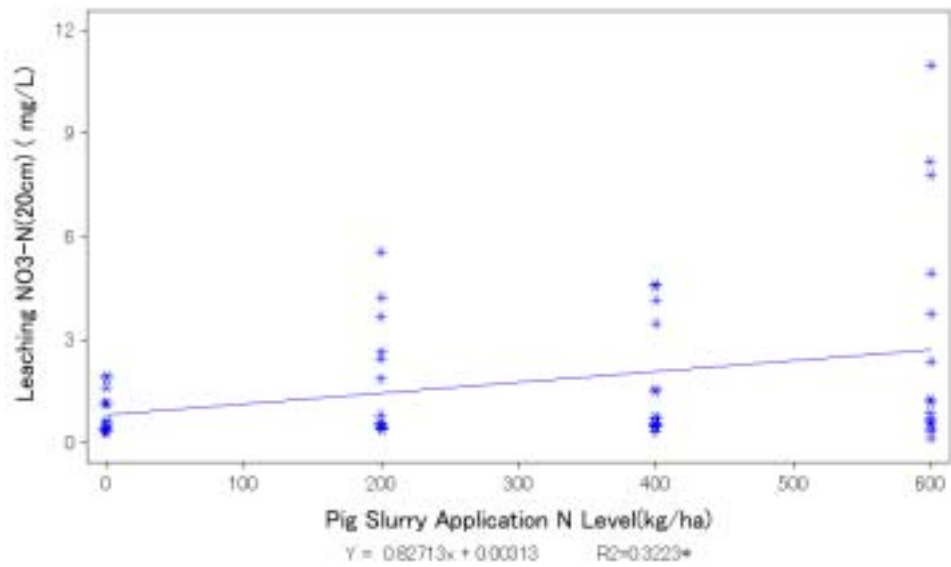


Fig. 3-8. The linear regression between NO₃-N of leaching water and pig slurry application level (* p<0.05, ***p<0.001)

화학비료 시용구나 돈분액비 시용수준에 상관없이 토심 40cm에서 채취된 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 20cm에 비해 매우 높게 나타났다. 특히, 무비구의 경우는 토심 20나 40cm에서 채취된 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 큰 차이를 보이지 않은 것에 비해 화학비료구 및 돈분액비 시용구에서는 시용초기에 토심 20cm에서 채취된 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도 보다 토심 40cm에서 매우 높게 나타났다. 특히 40cm에서는 돈분액비 400와 600kg N/ha 시용구의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 시용초기에는 음용수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 수질 기준을 초과하거나 근접하여 장기적으로 돈분액비를 연용할 경우 지하수의 오염을 초래할 가능성이 큰 것으로 나타났다. 그러나 돈분액비 시용 후 60여일이 경과하면서 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 크게 감소하였으며 처리간에도 유의적인 차이를 볼 수 없었다. 이는 작물의 지속적인 이용과 유거수에 의한 손실 및 용탈로 인하여 점차 양이 감소하였기 때문으로 보인다.



토심별로 돈분액비 시용량과 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도와의 회귀관계는 그림 3-8에서 보는 바와 같다. 돈분액비 시용량이 증가에 따라 토심 20와 40cm에서 채취된 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 유의적인 상관을 보였으며 특히 토심 40cm에서 돈분액비 시용수준과 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도과의 회귀관계는 $r^2=0.36$ 이었으며 고도의 유의적인 관계를 보였다($p<0.001$).

과도한 가축액비 시용은 가축분뇨 내에 있는 질소의 무기화 또는 탈질화를 거쳐 유거수와 지하수로 질산태질소의 오염을 초래한다고 하였다(Burden, 1984; Strebel 등, 1989). 또한 질소시비량이 많을 경우에는 미생물에 의한 priming effect(Heilman, 1975; Laura, 1977) 때문에 토양 중 유기태질소의 무기화작용을 촉진하게 되므로 토양 중 질산태질소 함량을 더욱 증가시키는 원인이 되기도 한다(Westerman와 Tucker, 1974). 이렇게 과잉 축적된 질산태질소는

습윤지역에서 근권의 범위를 넘어 용탈될 가능성이 있다고 하였다(Jokela와 Randall, 1989). 본 시험에서도 돈분액비 시용수준 증가에 따라 용탈수 중의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 현저히 증가하였으며, 토양 중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 질소시용량의 증가에 비례했다는 Lowrance 등(1998), Studdy 등(1995)의 보고와도 유사하였다. 또한 질소시용수준에 따른 토양 깊이별 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 표토(0~20cm)에서 질소시용량 증가에 따른 농도 증가는 거의 없었으나 심토(20~30cm)에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 질소시비량의 증가에 따라 토양 중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 축적되는 경향을 보였다(윤과 류, 1994). 또한 송(2004)은 제주 화산회토양에서 동절기에 이탈리아 라 이그라스 재배시 돈분액비를 시용한 결과 토양용탈수 중 평균 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 토심 30cm 깊이에서 돈분액비 시용량이 증가함에 따라 높게 나타났으며 토심 60cm에서는 액비시용량에 따라 증가를 보여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 하향이동 된다고 하여 본 연구의 결과와 일치하였다.

류(1997)는 방목초지에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량은 액비시용량간에 차이를 나타내지 않았으나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 액비시용량이 높을수록 함량도 높아졌으며 하층으로 이동하여 집적되었다고 하여 본 연구의 결과를 뒷받침 해 주었다. 그러나 Dauden와 Quilez(2004)에 따르면 토심 90~120cm에서 돈분액비 시용수준에 따른 용탈수의 질산태질소 농도를 분석한 결과 돈분액비 처리구에 비해 화학비료 처리구에서 높았으며, 이런 결과를 통해 화학비료가 질산태질소 용탈에 보다 민감하다는 것을 지적하였다. 또한 옥수수 재배포장에서 돈분액비의 적절한 사용은 화학비료를 이용하였을 때보다 토양의 NO_3^- 함량이 적게 되거나 비슷하게 되었다고 하였다(Beauchamp, 1986; Diez 등, 2001). 방목초지에 200kg N/ha을 시용한 처리구의 용탈수 중 무기태질소 농도는 25mg N/L 이하로 유지되었으나 400kg N/ha을 시용한 처리구에서는 65mg N/L으로 매우 높았으며 그 농

도도 장시간 지속되었다(Carey 등, 1997). 그러나 Dauden과 Quilez(2004)은 파종 전에 낮은 수준의 돈분슬러리를 사용하고 부족한 부분을 화학비료 질소로 추비 및 적절한 관수를 통하여 용탈수의 질산태질소 오염을 경감시킬 수 있다고 하였다.

이와 같이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 용탈에 의한 N의 손실은 주로 토양수의 이동 때문에 일어나며 토성 및 토양공극의 크기에 따라 N 손실율이 달라진다고 하였다(Allison, 1966; Bates 등, 1957). 따라서 제주지역의 화산회 토양은 용적밀도가 낮아 공극율이 높기 때문에 투수성이 매우 빠르게 일어난다. 이와 같이 토양수의 빠른 이동은 작물의 요구량 이상으로 질소를 초과투입시 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 작물이 흡수하기 전에 토양 하층으로 이동하여 용탈함으로써 지하수 오염에 영향을 미칠 수 있다고 생각된다.

2) 무기물



Lysimeter를 설치하여 수수×수단그라스 교잡종을 재배하면서 20와 40cm에서 시험기간 중 5회에 걸쳐 채취한 용탈수의 Ca, Mg, K, Na의 농도 변화는 표 3-12에 나타난 바와 같다.

용탈수의 양이온 함량은 화학비료 시용구나 돈분액비 시용증가에 따른 양이온들의 용탈량은 일정한 변화를 보이지 않았다. 용탈수의 Ca과 Mg 농도는 토심 20cm에서 보다 토심 40cm에서 높은 경향을 나타내었으나, K과 Na의 농도는 일정한 경향을 나타내지 않았다. 그러나 돈분액비 시용량이 많은 처리구에서 용탈수의 Ca과 Mg은 하층으로 이동하여 양분이 손실되는 것으로 나타났다. 그러나 화학비료 시용구나 돈분액비 200kg N/ha 시용구의 20 및 40cm에서 채취된 용탈수의 Ca과 Mg 농도는 비슷하였으며 무비구와도 큰 차이는 보이지

않았다. K과 Na의 경우는 돈분액비 사용량이 증가할 수록 용탈수 중의 농도는 높았으며 K의 경우는 돈분액비 사용 후 90여일이 경과하면서 농도가 낮아졌으나 Na은 일정한 수준으로 계속 유지되었다. 보통 토양중의 염류이동은 잘 일어나지 않는데 본 시험에서는 유거수와 용탈수를 채취하기 위하여 주기적으로 관수를 하였기 때문에 근권이하로 양이온들이 용탈된 것으로 사료된다.

Choudhary 등(1996)은 돈분액비의 사용량이 증가하면 토양 중 무기함량이 증가된다고 하였으며, 제주화산회토양에서 시기별 Ca^{+2} 의 용탈은 옥수수 생육 중반기인 7월 30일까지 완만히 감소하다가 8월 30일 이후 급속한 감소를 보였으며 K^{+} 의 경우는 7월 30일 이후 용탈수 중 K^{+} 농도가 급격히 감소하였다(강 등, 2001)고 하여 본 연구의 결과와 비슷하였다. 토양 중 K 함량이 8월 이후 감소되는 것은 세포구성 물질로 많이 이용되면서 식물이 많이 흡수했기 때문인 것으로 보인다. Griffith 등(1964)은 질소가 사용되어 토양에 무기태질소의 농도가 높으면 K의 흡수가 증가한다고 보고하였고, 본 시험에서도 7월 14일에 채취 전 용탈수의 K 이온은 급격히 감소되는 추세를 보였는데 이는 수수×수단그라스 교잡종의 생육이 가장 왕성한 시기여서 식물체에 의한 K의 흡수에 의하여 용탈량이 상대적으로 감소된 것으로 사료된다. Pleyzier와 Juo(1981)에 의하면 양이온들의 용탈은 서로 다르고 토양의 양이온교환 선택성에 의존하며, 양이온들의 용탈은 $K < Al = Ca = Mg < Na$ 순이며, 이와는 반대로 토양의 양이온 흡착력은 $K > Al = Ca = Mg > Na$ 순으로 K가 가장 크다고 보고하였다. 그러나 본 시험에서도 토심 20와 40cm 깊이에서는 함량이 차이가 없었는데 이는 토양에 K가 흡착되어서 이동이 거의 일어나지 않았기 때문인 것으로 생각된다. 또한 류와 송(1984)에 따르면 Na의 경우 용탈이 쉽게 일어나 표토보다는 심토에서 Na 함량이 높다고 하였는데 본 연구의 결과에서는 표토와 심토간에 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 3-12. Changes of major mineral content of leaching water collected at the soil as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

Treatment	Sampling dates				
	May 27	Jun. 18	Jul. 14	Aug. 26	Sep. 21
-----Ca, 20cm-----					
No fertilizer	6.32 ^a	7.49 ^a	5.47 ^a	3.65 ^a	2.63 ^a
CF 200kg N/ha	6.72 ^a	7.96 ^a	5.06 ^a	5.06 ^a	2.86 ^a
PS 200	7.98 ^a	11.33 ^a	5.15 ^a	4.14 ^a	1.50 ^a
PS 400	6.91 ^a	8.15 ^a	5.35 ^a	4.70 ^a	2.95 ^a
PS 600	7.02 ^a	8.38 ^a	5.12 ^a	4.72 ^a	2.28 ^a
-----Ca, 40cm-----					
No fertilizer	6.85 ^c	10.29 ^a	6.70 ^a	5.71 ^a	3.92 ^a
CF 200kg N/ha	7.84 ^c	9.86 ^a	8.89 ^a	4.85 ^a	4.14 ^a
PS 200	9.99 ^{bc}	7.30 ^a	5.34 ^a	5.85 ^a	3.26 ^a
PS 400	13.62 ^{ab}	9.27 ^a	8.20 ^a	4.86 ^a	4.04 ^a
PS 600	16.44 ^a	12.51 ^a	7.92 ^a	5.90 ^a	3.62 ^a
-----Mg, 20cm-----					
No fertilizer	2.53 ^a	2.57 ^a	1.73 ^a	1.25 ^a	1.11 ^a
CF 200kg N/ha	2.32 ^a	2.48 ^a	1.74 ^a	1.53 ^a	1.23 ^a
PS 200	3.35 ^a	3.56 ^a	1.80 ^a	1.36 ^a	1.13 ^a
PS 400	2.92 ^a	2.41 ^a	1.85 ^a	0.82 ^a	1.18 ^a
PS 600	2.79 ^a	2.96 ^a	1.84 ^a	1.38 ^a	0.84 ^a
-----Mg, 40cm-----					
No fertilizer	1.68 ^c	3.37 ^a	2.09 ^a	1.79 ^a	1.37 ^a
CF 200kg N/ha	3.05 ^{bc}	3.34 ^a	2.72 ^a	1.51 ^a	1.59 ^a
PS 200	3.72 ^{bc}	2.30 ^a	1.83 ^a	1.69 ^a	1.10 ^a
PS 400	4.85 ^{ab}	3.11 ^a	2.74 ^a	1.51 ^a	1.18 ^a
PS 600	6.12 ^a	3.91 ^a	2.77 ^a	1.71 ^a	1.30 ^a

Treatment	Sampling date				
	May 27	June 18	July 14	Aug. 26	Sept. 21
-----K, 20cm-----					
No fertilizer	2.27 ^b	1.81 ^c	0.90 ^b	0.35 ^a	0.49 ^a
CF 200kg N/ha	2.47 ^b	3.45 ^{bc}	2.53 ^b	0.49 ^a	0.69 ^a
PS 200	3.43 ^b	5.23 ^{ab}	2.05 ^b	0.57 ^a	0.59 ^a
PS 400	4.12 ^b	6.07 ^a	1.44 ^b	0.38 ^a	0.61 ^a
PS 600	7.76 ^a	6.18 ^a	6.43 ^a	0.57 ^a	0.60 ^a
-----K, 40cm-----					
No fertilizer	1.50 ^c	2.02 ^c	0.62 ^c	0.69 ^a	0.44 ^a
CF 200kg N/ha	2.51 ^{bc}	3.49 ^a	1.22 ^{bc}	0.74 ^a	0.69 ^a
PS 200	3.30 ^{ab}	1.94 ^c	3.11 ^a	0.36 ^a	0.50 ^a
PS 400	3.26 ^{ab}	2.35 ^{bc}	2.05 ^b	0.48 ^a	0.68 ^a
PS 600	4.39 ^a	3.38 ^{ab}	1.93 ^b	0.38 ^a	0.82 ^a
-----Na, 20cm-----					
No fertilizer	8.12 ^{ab}	6.39 ^a	5.03 ^b	4.58 ^a	5.29 ^a
CF 200kg N/ha	4.92 ^b	7.80 ^a	6.25 ^{ab}	5.12 ^a	5.70 ^a
PS 200	5.48 ^{ab}	7.48 ^a	6.72 ^{ab}	6.61 ^a	3.24 ^a
PS 400	6.59	6.30 ^a	5.67 ^b	6.06 ^a	5.67 ^a
PS 600	10.02 ^a	7.18 ^a	7.93 ^a	6.55 ^a	5.45 ^a
-----Na, 40cm-----					
No fertilizer	5.73 ^a	3.44 ^b	4.55 ^b	6.71 ^a	5.69 ^a
CF 200kg N/ha	5.60 ^a	4.98 ^a	4.09 ^b	6.67 ^a	7.09 ^a
PS 200	7.44 ^a	3.69 ^b	5.06 ^b	5.94 ^a	4.85 ^a
PS 400	7.58 ^a	5.67 ^a	3.69 ^b	7.69 ^a	4.43 ^a
PS 600	6.96 ^a	5.13 ^a	7.26 ^a	6.79 ^a	6.51 ^a

^{a-c}Means in the same column with different superscripts are significantly different (p<0.05)

3) 용탈수 성분간의 상관관계

용탈수의 NO₃-N과 Ca, Mg, K, Na 등 양이온간의 상관관계는 표 3-13과 3-14에 제시되었다.

화학비료 및 돈분액비 시용에 따른 NO₃-N과 Ca, Mg 및 K 농도간에는 유의적인 정의 상관관계를 보여 20cm 용탈수에서는 각각 r=0.62, 0.62, 0.69이었으며, 40cm 용탈수에서는 r=0.76, 0.79, 0.80를 보였다. 이는 NO₃-N가 표토에서 심토층으로 하향 이동시 이들 양이온과 같이 동반용탈되어 축적되고 있음을 알 수 있었다. 또한 Ca, Mg 및 K 간에도 유의적으로 높은 상관관계를 보였다. 그러나 NO₃-N, Ca, Mg, K와 Na 간에는 상관관계가 매우 낮았다.

Table 3-13. Relationship between the concentration of leaching water collected at the 20 cm depth of soil as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

	NO ₃ -N	Ca	Mg	K
Ca	0.62 **	1.00		
Mg	0.62 **	0.86 **	1.00	
K	0.69 **	0.63 **	0.64 **	1.00
Na	0.35 **	0.27 *	0.29 *	0.56 **

* p<0.05, ** p<0.01

Table 3-14. Relationship between the concentration of leaching water collected at the 40 cm depth of soil as affected by chemical fertilizer and pig slurry applications in lysimeter

	NO ₃ -N	Ca	Mg	K
Ca	0.76 **	1.00		
Mg	0.79 **	0.93 **	1.00	
K	0.80 **	0.74 **	0.79 **	1.00
Na	0.16	0.09	0.10	0.09

* p<0.05, ** p<0.01



NO₃-N가 용탈될 때 양이온들이 동반용탈된다면 토양에서 양이온과 NO₃-N 농도간에 일정한 관계를 갖고서 분포하며 양이온의 농도 분포는 NO₃-N 농도에 영향을 받게 되고 이것은 양이온의 이동성 정도에 따라 차이가 있다. 따라서 심토층에서 NO₃-N과 Ca, Mg 및 K 농도간에는 정의 상관관계 (r=0.89, 0.98, 0.87)를 보였으며 이는 NO₃-N이 표토에서 심토층으로 하향 이동 시 이를 양이온과 동반용탈되어 축적된다고 하였다(윤과 류, 1994). 또한 강과 송(2001)은 제주 화산회토양에 NO₃-N은 Cl⁻, SO₄⁻² 등의 음이온과 정의 상관관계를 나타내고 있으며 양이온간에도 고도의 정의 상관관계를 보여 Ca⁺²>K⁺>Mg⁺²순으로 나타나고 있다고 하였다.

이와 같은 NO₃-N의 용탈은 표토에서 식물에 유용한 양분의 손실을 유발하며 또한 동반 양이온들은 시간이 경과함에 따라 더욱 밑으로 이동하여 지하

수의 염류농도를 증가하게 하는 결과를 초래할 수도 있다고 사료된다.

시험 3에서는 lysimeter에서 수수×수단그라스 교잡종 재배시 돈분액비 시용수준에 따른 유거수 및 용탈수의 특성을 조사하였다. 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 질소 시용수준이 증가할 수록 유의적으로 증가하였다. 그러나 같은 양의 질소 200kg/ha를 시용한 화학비료 시용구와 돈분액비 시용구는 건물수량이 비슷하였다. 돈분액비를 시용한 초기에는 돈분액비 시용량이 증가할수록 유거수 및 용탈수 중에 BOB, COD, T-N, NO₃-N 함량 등이 매우 높게 나타났다. 그러나 같은 양의 질소 200kg/ha를 시용한 화학비료 시용구와 돈분액비 시용구간에는 시험기간 동안 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 제주지역 화산회토양에서 수수×수단그라스 교잡종의 생산성과 유거수 및 용탈수의 성분을 고려한다면 돈분액비의 적정 시용수준은 200kg N/ha 정도가 바람직하다고 사료된다.



V. 종합 결론

제주지역 화산회토양에서 돈분액비의 발효특성이 수수×수단그라스 교잡종의 생육특성 및 토양에 미치는 영향을 구명하고, 돈분액비의 사용수준과 사용방법에 따른 유거수 및 용탈수 등 수질 환경에 미치는 영향을 구명하여 제주지역 화산회토양에서 가축분뇨 이용기술 체계를 확립하고자 연구를 수행하였다.

시험 1에서는 수수×수단그라스 교잡종 재배시 화학비료와 서로 다른 발효형태의 돈분액비 사용은 수수×수단그라스 교잡종의 생육이나 건물수량에 있어 차이를 나타내지 않았다. 또한 수수×수단그라스 교잡종의 사료가치도 처리에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나 돈분액비를 사용할 경우 질소를 기준으로 하여 사용하기 때문에 무기물 중의 K 함량이 높게 나타나 장기 연용할 경우 토양에 집적되어 영양소 불균형을 초래할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 미생물로 처리된 돈분액비의 경우 질소성분이 매우 낮아 과량사용 때문에 액비로 이용하기에는 적절치 않은 것으로 사료된다.

시험 2에서는 돈분액비 사용수준 및 사용방법에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 생산성에 대한 연구로 질소 200kg N/ha을 사용한 화학비료구, 돈분액비 단용구 및 돈분액비+화학비료 혼용구간 비교에서 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 비슷하였다. 돈분액비 사용수준이 증가함에 따라 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 증가하는 경향이었으며, 특히 돈분액비 400kg N/ha을 사용하였을 때 건물수량은 돈분액비+화학비료 혼용구에 비해 높게 나타났다. 반면에 돈분액비와 화학비료를 혼용한 사용방법간에는 건물수량이 차이를 보지

지 않았다. 그러나 투입된 질소 kg 당 건물수량 및 질소회수율은 돈분액비의 사용수준이 증가함에 따라 유의적으로 감소하였다. 이는 돈분액비를 전량 기비로 사용함으로써 수수×수단그라스 교잡종의 초기 생육을 촉진하였으나 돈분액비 사용시 휘산, 유거수 및 용탈수에 의하여 양분이 손실되어 생육후기에는 생육이 다소 떨어지는 것으로 사료된다. 그러나 돈분액비를 화학비료 시비수준으로만 사용하더라도 수수×수단그라스 교잡종의 수량 감소없이 화학비료를 대체하여 사용이 가능하다는 것을 보여주고 있다. 돈분액비 사용은 화학비료보다 토양의 치환성 Ca, K 함량을 증가시켰고 반대로 유효인산 함량은 감소되었다. 제주지역의 경우는 사료작물 재배지가 대부분 화산회 토양이므로 돈분액비의 사용에 따른 양분의 이동과 집적에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

시험 3에서는 lysimeter에서 돈분액비 사용수준에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량과 유거수 및 용탈수의 성분특성에 대하여 시기별로 조사하였다. 돈분액비 사용수준이 증가할수록 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 유의적으로 증가하였다. 또한 돈분액비 사용수준에 따른 유거수의 BOD, COD, T-N, NO₃-N 등은 돈분액비 사용수준이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였다 ($p < 0.05$). 그러나 같은 양의 질소를 사용한 화학비료구와 돈분액비 사용구는 시험기간 동안 비슷한 함량을 보였다. 반면에 돈분액비 600kg N/ha 사용하였을 때 사용초기에 유거수의 BOD와 COD 함량은 농업용수 수질기준인 8mg/L보다 훨씬 높았으며 2차 채취 이후 농도가 점차 감소하였다. 또한 유거수 중의 T-N도 돈분액비 사용량이 증가할수록 증가하였으며 특히 돈분액비 사용초기에 농도가 높게 나타났다. 그러나 T-P의 경우는 돈분액비 사용수준에 대한 영향은 그다지 받지 않은 것으로 보이며 처리간에도 유의적인 차이는 보이지 않았다. 이와 같은 결과는 유거수 중의 T-P는 돈분액비 사용수준에 의하여 영향을 받

기 보다는 토양에 함유된 인산이 유거수 중에 용해되어 유실된 것으로 사료된다.

돈분액비 시용수준에 따른 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 무기물은 돈분액비 시용수준이 증가함에 따라 증가하였다. 그러나 돈분액비 200kg N/ha 단용구는 화학비료구와 비슷한 함량을 보여 돈분액비를 ha당 질소기준 200kg을 시용할 경우 환경에는 그다지 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다

화학비료나 돈분액비 시용수준에 상관없이 토심 40cm에서 채취된 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 20cm에 비해 높게 나타나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 시간이 경과하면서 하층으로 이동하여 집적되고 있음을 알 수 있었다. 이러한 경향은 돈분액비 시용수준이 증가함에 따라 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 더욱 증가하는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 또한 화학비료 및 돈분액비 시용에 따른 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 Ca, Mg, K 농도간에는 유의적인 정의 상관관계를 보여 20cm 용탈수에서는 각각 $r=0.62, 0.62, 0.69$ 이었으며, 40cm 용탈수에서는 $r=0.76, 0.79, 0.80$ 를 보였다. 이는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 표토에서 심토층으로 하향 이동시 이들 양이온과 같이 동반용탈되어 축적되고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 여름철에 작물이 요구하는 양을 초과한 돈분액비의 과잉시용은 강우시 유거수에 의해 양분의 손실이 일어나며 유실된 양분은 하천을 오염시키는 오염원이 된다고 할 수 있다.

이상의 연구결과를 종합해 보면 돈분액비를 이용한 조사료 생산은 적정하게 이용할 경우 매우 유용한 자원이라고 할 수 있다. 그러나 제주지역에서 돈분액비 이용은 지하수 등 환경오염을 일으킬 가능성이 매우 크므로 사용하는데 있어 상당한 주의를 기울여야 한다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 지하로 용탈되어 지하수를 오염시킬 경우 복구는 거의 불가능하기 때문에 가축분뇨 시용체계를 확립하여 오염을 미리 예방하여야 한다.

따라서 본 연구의 결론은 제주지역 화산회토양에서 여름철에 많이 재배되고 있는 수수×수단그라스 교잡종의 재배시 화학비료를 대체하여 돈분액비를 사용하여 조사료를 생산하고자 하는 경우 돈분액비의 적정 사용량은 질소기준으로 ha당 200kg인 것으로 사료된다.



VI. 적 요

제주지역에서 사료작물 작부체계에 있어 여름철에 주로 재배되고 있는 수수×수단그라스 교잡종(*Sorghum bicolor* (L.) Moench) 재배시에 돈분액비를 사용하였을 때 수수×수단그라스 교잡종의 생산성과 유거수 및 용탈수의 특성에 미치는 영향을 구명하기 위하여 실시하였다.

시험 1은 화학비료 및 돈분액비의 발효특성이 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량 및 토양에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다. 처리내용은 화학비료 시용구(200kg N/ha), 일반발효 돈분액비 시용구(200kg N/ha) 및 미생물제제 이용 발효 돈분액비 시용구(200kg N/ha) 등 3처리를 두어 난괴법 3반복으로 수행하였다. 같은 양의 화학비료 및 돈분액비 시용(200kg N/ha)에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 초장은 처리 간에 차이를 보이지 않았다. 또한 건물수량에 있어서도 화학비료와 돈분액비 시용 간에 유의적인 차이가 없었다. 수수×수단그라스 교잡종의 사료가치도 화학비료나 돈분액비를 사용하였을 때 차이가 없는 것으로 나타났다. 시험 후 토양의 pH는 5.35~5.63으로 비슷하여 유의적인 차이는 보이지 않았으나 유효인산 함량은 화학비료 시용구가 돈분액비 시용구에 비해 유의적으로 높았다($p<0.05$). 치환성양이온 중 K는 미생물제제 이용 발효 돈분액비를 사용했을 때 유의적으로 높은 함량을 보였다($p<0.05$).

시험 2는 돈분액비 사용수준 및 사용방법이 수수×수단그라스 교잡종의 생산성 및 토양특성에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다. 처리내용은 화학비료 시용구(200kg N/ha), 돈분액비 단용구((200, 300, 400kg N/ha) 및 돈

분액비(100, 150, 200kg N/ha)+화학비료 혼용구(100 N/ha) 등 7처리를 두어 난괴법 3반복으로 수행하였다. 화학비료 및 돈분액비 시용수준에 따른 수수×수단그라스 교잡종의 생육단계별 초장은 처리간에 유의적인 차이는 보이지 않았다. 또한 돈분액비 시용수준이 증가함에 따라 건물수량은 증가하는 경향을 보였으며 돈분액비 400kg N/kg 시용구는 돈분액비+화학비료 혼용구에 비해 건물수량이 유의적으로 증가하였다($p<0.1$). 그러나 같은 200kg/ha 질소를 시용한 화학비료구와 돈분액비구의 건물수량은 비슷하였다. 또한 200kg/ha 질소를 시용한 화학비료구, 돈분액비 단용구 및 돈분액비+화학비료 혼용구의 N kg 당 건물수량은 다른 처리에 비해 높게 나타났다($p<0.01$).

시험 3은 lysimeter에서 돈분액비 시용수준이 유거수 및 용탈수의 특성에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다. 처리내용은 무비구, 화학비료구(200kg N/ha), 돈분액비 시용구(200, 400, 600kg N/ha) 등 5처리를 두어 난괴법 3반복으로 수행하였다. Lysimeter에서 수수×수단그라스 교잡종의 건물수량은 돈분액비 시용수준이 증가에 따라 유의적으로 증가하였다($p<0.01$). 그러나 200kg N/ha를 시용한 화학비료 및 돈분액비 시용구의 건물수량은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 돈분액비의 시용 초기에 유거수내 BOD 및 COD는 돈분액비 600kg N/ha 시용구가 다른 처리구에 비해 유의적으로 높았다($p<0.05$). 또한 돈분액비 시용량이 증가할수록 유거수의 T-N는 증가하였다. 그러나 유거수 중의 T-P 농도는 돈분액비 시용수준에 대한 영향은 그다지 받지 않은 것으로 보이며 처리 간에도 유의적인 차이는 보이지 않았다. 유거수 중의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 돈분액비 시용수준이 증가할수록 높았다($p<0.05$). 토심 20cm와 40cm에서 채취된 용탈수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 돈분액비 시용수준이 증가함에 따라 용탈수 중의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 증가하였으며, 특히 돈분액비 600kg N/ha 시

용구에서 높게 나타났다($p < 0.05$). 용탈수의 Ca 및 Mg 농도는 토심 20cm에서 보다 토심 40cm에서 높은 경향을 나타내었으나, K과 Na의 농도는 시험기간 동안 일정한 경향을 나타내지 않았다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 Ca, Mg 및 K 농도 간에는 유의적인 정의 상관관계를 보였으며 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 용탈시 양이온들도 동반되어 용탈이 일어났다.

결론적으로 제주 화산회토양에서 돈분액비 200kg N/ha 시용은 화학비료 200kg N/ha 시용수준의 수수×수단그라스 교잡종의 수량을 수확할 수 있어 충분히 화학비료를 대체할 수 있다. 그러나 그 이상의 돈분액비 시용은 사초생산량을 높일 수 있으나 유거수 및 용탈수의 환경오염이 우려되어 적절치 않다고 사료된다.



VII. 인용문헌

- Allison, F. E. 1966. The fate of nitrogen applied to soil. *Adv. Agron.* 18, 219-258
- Anderson R. and P. Christie. 1995. Effect of long-term application of animal slurries in laboratory soils. *J. Sci. Food Agric.* 67, 205-213
- A.O.A.C. 1984. *Official Methods of Analysis* 14th ed.(Ed. S. Williams). A.O.A.C. Arlington. VA
- Bates, T. E., and S. L. Tisdale. 1957. The movement of nitrate nitrogen through columns of coars-textured soil materials. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21, 525-528
- Beauchamp, E. G. 1986. Availability of nitrogen from three manures to corn in the field. *Can. J. Soil Sci.* 66, 713-720
- Bernal, M. P., A. Roig, A. Lax and A. F. Navarro. 1992. Effects of the application of pig slurry on some physico-chemical and physical properties of calcareous soils. *Bioresour. Technol.* 42, 233-239
- Bruno B., and J. T. Ritchie. 2005. Impact compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. *Agr. Ecosyst. Environ.* 1-13

- Burden, R. J. 1984. Nitrate contamination of New Zealand aquifers : a review. *New Zeal. J. Sci.* 25, 205-220
- Carey, P. L., A. W. Rate, and K. C. Cameron. 1997. Fate of nitrogen in pig slurry applied New Zealand pasture soil. *Aust. J. Soil Res.* 35, 942-959
- Chadwick, D. R., T. van der Weerden, J. Martinez and B. F. Pain. 1998. Nitrogen transformations and losses following pig slurry applications to a natural soil filter system(solepur process) in Brittany, France. *J. Agric. Engin. Res.* 69, 85-93
- Choudhary, M., L. D. Bailey, and C. A. Grant. 1996. Review of the use of swine manure in crop production : effects on yield and composition and on soil and water quality. *Waste Manage Res.* 14(6), 581- 595
- Dauden, A., and D. Quilez. 2004. Pig slurry verse mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. *Europ. J. Agron.* 21, 7-19
- Dauden, A., D. Quilez, and M. V. Vera. 2004. Pig slurry application and irrigation effects on nitrate leaching in Mediterranean soil lysimeters. *J. Environ. Qual.* 33, 2290-2295
- Diez, J. a., A. I. De la Torre, M. C. Cartagena, M. Carballo, A. Vallejo, and M. J. Munoz. 2001. Evaluation of the application of pig slurry to an experimental crop using agronomic and ecotoxicological approaches. *J. Environ. Qual.* 30, 2165-2173

- Dolan, S. and T. Bolger. 1997. Difference in the chemistry of leachates from forest and grassland soil associated with the addition of pig slurry- A lysimeter experiment, biology and environment : Proceedings of the Royal Irish Academy. 97B, 173-183
- Exner, M. E., M E. Burbach, D. G. Watts, R. C. Shearman, and R. F. Spalding. 1991. Deep nitrate movement in the understated zone of a simulated urban lawn. J. Environ. Qual. 20, 658-662
- Gangbazo, G., A. R. Pesant, G. M. Barnet, J. P. Charuest, and D. Cluis. 1995. Water contamination by ammonium nitrogen following the spreading of hog manure and mineral fertilizers. J. Environ. Qual. 24, 420-425
- Garcia, C., T. Hernandez, and F. Cosra, 1994. Biochemical parameters in soils regenerated by the addition of organic waste. Waste Mange. Res. 12, 457-456
- Garcia-Gil, J. C., C. Plaza, P. Soler-Rovia, and A. Polo. 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. Soil Bio. Biochem. 32, 1907-1913
- Gangstad. E. O. 1964. Physical and chemical composition of grass sorghum as related to palatability. Crop Sci. 4, 269-270
- Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis. Agr. Handbook 397. ARS. USDA. Beltsville



- Gormly, J. R., and R. F. Spalding. 1979. Source and concentration Region, Nebraska. *Ground Water* 19, 291-301
- Gregory, P. J., J. S. Ingram, R. Andersson, R. A. Betts, V. Brovkin, T. N. Chase, P. R. Gracr, A. J. Gray, N. Hamilton, T. B. Hardy, S. M. Howden, A. Jenkins, M. Meybeck, M. Olsson, I. Ortiz-Monasterio, C. A. Palm, T. W. Payn, M. Rummukainen, R. E. Schulze, C. Valentin, and M. J. Wilkinson. 2002. Environmental consequences of alternative practices for intensifying crop production. *Agric. Environ.* 88, 279-290
- Griffith, W. K., M. R. Teel, and H. E. Parker. 1964. Influence of nitrogen and potassium on the yield and chemical composition of orchardgrass. *Agron. J.* 56, 473-475
- Harms, C. L. and B. B. Tucker. 1973. Influence of nitrogen fertilization and other factors on yield, prussic acid, nitrate and total nitrogen concentrations of sudangrass cultivars. *Agron. J.* 65, 21-26
- 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
- Hodgkinson, R. A., B. J. Chambers, P. J. A. Withers, and R. Cross. 2002. Phosphorus losses to surface water following organic manure applications to a drained clay soil. *Agric. Water Manage.* 57, 155-173
- Hollen, B. F., J. R. Owens, and J. I. Sewell, 1992. Water quality in a stream receiving dairy feedlot effluent. *J. Environ. Qual.* 11, 5-9

- Hooda, P. S., A. C. Edwards, H. A. Anderson, and A. Miller. 2000. A review of water quality concerns in livestock farming area. 250, 143-167
- Hummel, N. W., and D. V. Waddington. 1981. Evaluation of slow-release nitrogen source on Baron Kentucky bluegrass. Soil Sci. Soc. Am. J. 966-970
- Jeffrey, W. Moyer, Louis S. Saporito, and Rhonda R. Janke. 1996. Design, construction, and installation of an intact soil core lysimeter. Agron. J. 88, 253-257
- Jokela, W. E., and G. W. Randall. 1989. Corn yield and residual soil nitrate as affected by time and rate of nitrogen application. Agron. J. 81, 720-726
- Jongbloed, A. W., and N. P. Lenis. 1998. Environmental concerns about animal manure. J. Anim. Sci. 76, 2641-2648
- Kamprath, E. T., and W. A. Jason. 1978. Development of nitrogen efficient prolific hybrids of maize. Crop Sci. 27, 181-186
- Kandeler, E., G. Eder and M. Sobotik. 1994. Microbial biomass, N mineralization, and the activities of various enzymes in relation to nitrate leaching and root distribution in a slurry-amended grassland. Biol. Fertil. Soils. 18:7-12
- Laura, P. O. 1977. Salinity and nitrogen mineralization in soil. Soil Biol. Biochem. 9 : 333-336



- Lindan, C. W., and R. F. Spalding. 1984. Major procedural discrepancies in soil extracted nitrated levels and nitrogen isotopic values. *Ground Water*. 22, 273-278
- Long F. N. J., and H. I. Gracey. 1990. Effect of fertilizer nitrogen source and cattle slurry on herbage production and nitrogen utilization. *Grass Forage Sci.* 45, 431-442
- Lopez-Mosquera, M. E., C. Moiron, and E. Carral. 2000. Use of dairy-industry sludge as fertiliser for grassland in northwest Spain : heavy metal levels in the soil and plants. *Resour Conserv Recy.* 30, 95-109
- Lorain, B. and K. Buckey. 2003. Land application of hog manure: agronomic and environmental considerations the Canadian perspective. Proceedings for the Joint CPC/AAFC workshop on hog and the environment. Agriculture and Agri-Food Canada
- Lowrance, R. 1992. Nitrogen outputs from a field size agricultural watershed. *J. Environ. Qual.* 21, 602-607
- Lowrance, R., J. C. Johnson, Jr., G. L. Newton and R. G. Williams. 1998. Denitrification from soils of a year-round forage production system fertilized with liquid dairy manure. *J. Environ. Qual.* 27, 1504-1511
- May, M. L., J. M. Phillips and G. L. Cloud. 1990. Drough-induced accumulation of nitrate in grain sorghum. *J. Prod. Agric.* 392, 238-241

- Ndayegamiye, A., and D. Cote. 1989. Effects of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. *Can. J. Soil Sci.* 69, 39-47
- Plaza, C., N. Senesi, J. C. Garcia-Gil, G. Brunetti, V. D'Orazio, and A. Polo. 2002. Effects of pig slurry application on soils and soil Humic acids. *J. Agric. Food Chem.* 50, 4867-4874
- Pleysier, J. L. and A. S. R. Juo. 1981. Leaching of fertilizer ions in a Ultisol from the high rainfall tropics : Leaching through undisturbed soil column. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 754-760
- Powell, G. T., and S. T. Gaines. 1994. Soil texture effect on nitrate leaching in soil percolates. *Commun. Soil Sci. Plant* 25, 2561-2570
- Rochette, P., D. A. Angers, M. H. Chantigny, N. Bertrand and D. Cote. 2004. Carbon dioxide and nitrous oxide emissions following fall and spring applications of pig slurry to an agricultural soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 1410-1420
- Roth, G. W., and R. H. Fox. 1990. Soil nitrate accumulations following nitrogen fertilized corn in Pensilvania. *J. Environ. Qual.* 19, 243-248
- Sharma, P. K., A. K. Sinha, and T. N. Chaudhary. 1985. Movement of surface and deep placed phosphorus in a sandy loam soil in relation to initial soil wetness, amount of water applied, and evaporation potentials. *Soil Sci.* 140, 256-262

- Smith, K. A., D. R. Jackson, and T. J. Pepper. 2001a. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manure to arable land. 1. Nitrogen. *Environ. Pollut.* 112, 41-51
- Smith, K. A., D. R. Jackson, and P. J. A. Withers. 2001b. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manure to arable land. 2. Phosphorus. *Environm. Pollut.* 112, 53-60
- Stamatiadis, S., J. W. Doran, and T. Kettler. 1999. Field and laboratory evaluation of soil quality change resulting from injection of liquid sewage sludge. *Appl. Soil Ecol.* 12, 263-272
- Strebel, O., W. H. Duynisveld, and J. Bottcher. 1989. Nitrate pollution of groundwater in western Europe. *Agr. Ecosyst Environ.* 26, 189-214
- Studdy, C. D., R. M. Morris and I. Ridge. 1995. The effects of separated cow slurry liquor on soil and herbage nitrogen in *Phalaris arundinacea* and *Lolium perenne*. *Grass Forage Sci.* 50, 106-111
- Trindade, H. J. Coutinho, M. L. Van Beusichem, D. Scholefield, and N. Moreira. 1997. Nitrate leaching from sandy loam soils under a double-cropping forage system estimated from suction-probe measurements. *Plant Soil.* 195, 247-256
- Vagstad, N., V. Jansons, E. Loigu, and J. Deelstra. 2000. Nutrient losses from agricultural areas in the Gulf of Riga drainage basin. *Ecological Engineering.* 14, 435-441

- Westerman, R. L., and T. C. Tucker. 1974. Effects 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
- Wilkinson, S. R. 1979. Plant nutrient and economic value of animal manure. *J. Anim. Sci.* 48, 121-135
- Zebarth, B. J., I. W. Paul, O. Schmidt and R. McDougall. 1996. Influence of the time and rate of liquid-manure application on yields and nitrogen utilization of silage corn in south coastal British Columbia. *Can. J. Soil Sci.* 76, 153-164
- 高井康雄, 早 達即, 熊澤善久雄. 1976. 植物營養土壤大載典. 養賢堂. p.956-964
- 강봉균, 박양문, 강영길. 2001. 화산회토에서 옥수수과 감자의 시비처리에 따른 양분흡수 및 용탈. *한작지* 46(3), 253-259
- 강봉균, 송창길. 2001. 화산회토양에서 퇴비 및 요소시용에 따른 토양중 $\text{NO}_3\text{-N}$, 양이온의 용탈. *한국유기농업* 9(2), 101-105
- 고서봉, 박남건, 황경준, 이종언, 강승률. 2003. 방목초지 돈분액비 시용이 목초 생산성 및 방목한우 증체에 미치는 영향. *한초지* 23(4), 255-264
- 김문철, 현해남, 최대진, 문봉춘, 고용구, 강태숙. 2001. 제주화산회토지역에서 돈분액비와 인산시용이 이탈리아 라이그라스 재배 토양의 화학적 특성 및 미생물상에 미치는 영향. *한초지* 21(4), 181-185
- 김원호, 신동은, 최기준, 정의수, 김영진. 2000. 혼파초지에서 우분액비 시용수준이 유거수 및 토양유실에 미치는 영향. *축산시설환경* 6(1), 53-57

- 농촌진흥청. 1989. 토양화학분석법.
- 농촌진흥청. 2002. 가축분뇨액비사용기술
- 농촌진흥청. 2004. 가축분뇨(액비) 이용기술 개발. p 168
- 류순호, 송관철. 1984. 제주도 토양의 화학적 특성조사 연구. I. 지대별 화학적 특성 변화. 한토비지 17(1), 1~6
- 류종원. 1997. 초지에서 액상분뇨시용이 토양의 질소 동태와 NO_3 용탈에 미치는 영향. 한초지 17(1), 43-47
- 류종원, H. Jacob. 1997. 목초생산성과 초지생태계에 미치는 액상구비의 시용 효과. 한초지 17(1), 35~42
- 박남건, 고서봉, 이종언, 황경준, 김문철, 송상택. 2003. 제주화산회토양에서 돈분액비 시용이 수수×수단그라스 교잡종의 생산성 및 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 용탈에 미치는 영향. 한초지 23(3), 151-158
- 박남건, 고서봉, 고문석. 2002. 미생물제제 이용 처리 발효돈분액비 시용이 수수×수단그라스 교잡종의 생산성에 미치는 영향. 축산시설환경 8, 35-42
- 서 성, 김종근, 정의수, 강우성, 신재순, 김정갑. 1999. 가축분 시용조건에서 주요 수수×수단그라스 교잡종의 생산량과 사료가치 비교 연구. 한초지 19(1), 57-62
- 서 성, 김종근, 정의수, 김원호, 강우성. 2000. 가축분 시용조건에서 파종방법과 파종량이 청예용 수단×수단그라스 교잡종의 생산량과 사료가치에 미치는 영향. 한초지 20(1), 49-54

- 서 성, 김종근 정의수 김원호, 최기준, 이종경. 2002a. 가축분 시용수준이 수단
×수단그라스 교잡종의 질산태질소 함량과 당도 및 채식률에 미치는 영향.
한초지 22(2), 123-130
- 서 성, 김종근 정의수 신동은, 임영철, 윤세형. 2002b. 가축분 시용조건에서 4
종 수단×수단그라스 교잡종의 질산태질소 함량과 당도 및 채식률 비교 연
구. 한초지 22(2), 131-136
- 송상택. 2004. 돈분액비시용이 사료작물의 생산성과 토양 및 용탈수의 화학적
특성에 미치는 영향. 박사학위논문
- 송영철, 김성홍, 김길성, 오순미, 김태현, 김세라. 고용구. 1998. 제주도 지하수
중 수질특성. 제주도보건환경연구원보 9, 163-188
- 신동은, 김동암, 서 성, 이종경, 권희수, 신재은, 김원호. 1999. 액상 분뇨의 종류
및 N 시용량이 연맥의 무기물함량, 질산태질소 및 토양특성에 미치는 영향
한초지 19(3), 203-207
- 신동은, 김동암, 신재순, 송관철, 이종경, 윤세형, 김원호, 김정갑. 1998. 추파용
호밀에 대한 액상분뇨 시비 효과 II. 무기물함량, N 생산성 및 토양환경에
미치는 영향. 한초지 18(3), 243-250
- 신재순, 이혁호, 신동은, 조영무, 정의수, 이종경, 윤세형. 1999a. 짓소액비 시용
방법이 담근먹이 옥수수과 수수×수단그라스 교잡종의 생산성 및 토양특성
에 미치는 영향. 한초지 19(4), 333-338
- 신재순, 이혁호, 류종원, 최기준, 임용우, 김원호, 김기용, 이기중. 1999b. 돈분뇨
고액분리 시용에 따른 혼과초지의 생산성과 토양의 화학적 특성 변화. 한초
지 41(4), 479-486

- 오상실, 고용구, 현해남. 1998. 제주도 토양의 농약 흡착 및 용탈성. 제2회 한국 토양환경학회제주지부 국제심포지움 141-144
- 오윤근, 현익현. 1997. ^{15}N 값을 이용한 제주도 지하수중의 질산성 질소 오염 원 추정에 관한 연구. 대한지하수환경학회 4, 1-4
- 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 시용 수준이 옥수수의 생산성 및 N의 용탈에 미치는 영향. 한초지 22(2), 85-92
- 육완방, 최기춘. 2002. 액상발효우분(cattle slurry) 및 요소의 N 시용수준이 옥수수의 생산성과 N의 용탈에 관한 연구. 한초지 22(1), 37-44
- 육완방, 안승현, 최기춘. 2000. 경사지에 대한 가축분뇨 시용시 옥수수의 생산성과 양분유실에 관한 연구. 한초지 20(1), 31-40
- 윤순강, 박광래, 김민경, 김원일, 류순호. 2001. 돈분이 시용된 밭토양에서 질산태질소의 유기손실. 한토비지 34(3), 158-164
- 윤순강, 류순호. 1996. 돈분에서 유래한 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 토양중 행동. 한토비지 29(4), 353-359
- 윤순강, 류순호. 1994. 요소 유래 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 동반양이온의 토양중 행동. II. 토양과 용탈수의 pH 변화 및 시용질소의 행동. 한토비지 27(1), 21-26
- 윤창, 최기춘. 1999. 질소시비 수준이 생육단계별 수단그라스계 교잡종의 질산염 축적 및 수량에 미치는 영향. 한초지 19(1), 81-88

- 이상무, 전병태. 2004. 화학비료와 액상분뇨 시용이 사일리지용 옥수수의 생육 특성, 사료가치 및 토양의 NO_3 에 미치는 영향. 한초지 24(3), 127-244
- 이상무, 육완방, 전병태. 1997. 질소시비 수준이 수수×수단그라스 교잡종과 대두와의 간작재배에 미치는 영향. 한초지 17(2), 167-176
- 이상무. 1992. 수수×수단그라스 교잡종과 대두와의 간작에 관한 연구. 건국대학교. 박사학위논문 84-86
- 이상무, 문상호, 구재윤, 전병태. 1992. 예취높이와 질소시비 수준이 수수-수단그라스계 잡종의 생육특성 및 건물수량에 미치는 영향. 한초지 12(1), 41-48
- 임영철, 윤세형, 김종근, 김원호, 김맹중, 신재순, 정의수, 이종경, 신동은, 조무환, 육완방, 박근제. 2003. 돈분액비 시용수준이 호밀의 수량 및 사료가치에 미치는 영향. 한초지 23(4), 293-298
- 전병태, 이상무, 김재영, 오인환. 1995. 액상구비시용이 사료작물의 생산성과 토양성분에 미치는 영향. 한초지 15(1), 52-60
- 정 찬, 전병태. 1989. 가축분이 초지의 토양과 생산성에 미치는 영향. 한초지 9(1), 48-52
- 최기춘, 육완방. 2000. 발효돈분 및 화학비료시용이 사일리지용 옥수수의 생산성과 사료가치에 미치는 영향. 한초지 20(1), 41-48
- 최중대, 최예환, 김기성. 1995. 방목지와 초지의 지표수 및 지하수의 수질특성. 한국수자원학회지 28(3), 175-186
- 환경부. 2000. 수질오염공정시험법

감사의 말씀

한 자그마한 농촌에서 태어나 40여 년간 농업이라는 울타리 속에서 살면서도 저는 농업의 참 뜻을 모르고 살아 왔습니다. 그것은 지금도 마찬가지입니다. 그러나 앞으로 나아가면서 이 참 뜻을 조금이나마 깨우칠 기회를 주신 주신 고마운 분들에게 이 지면을 빌어 감사의 말씀을 전합니다.

부족한 저에게 학문의 길을 열어 주시고 마지막까지 논문이 완성될 수 있도록 지도하여 주신 김문철 교수님께 먼저 깊은 감사의 인사를 올립니다. 그리고 바쁘신 가운데서도 심사를 맡아 주시면서 논문의 완성도를 높이기 위하여 한자 한자 교정하여 주신 강민수 교수님, 강영길 교수님, 양영훈 교수님, 축산연구소의 서 성 박사님께 깊은 감사의 글을 올립니다. 또한 학부생 때부터 가르침을 주시고 격려를 해 주신 동물자원과학과 김규일 교수님, 강래숙 교수님, 이현종 교수님께도 감사드립니다.

난지농업연구소에서 같이 근무하면서 초지이라는 이름을 접하게 하여 주시고 지금은 후배를 위해 명예로운 퇴임을 하시어 기술자문위원으로 계신 고서봉 박사님께 감사를 말씀을 전합니다. 또한 바쁜 가운데도 처음부터 끝까지 이 논문을 위해 고락을 같이 해 준 황경준 후배님에게 진심으로 깊은 감사의 마음을 보냅니다. 그리고 그 동안 맺은 인연으로 인하여 진심어린 마음으로 많은 지원을 하여 주신 난지농업연구소 강상조 소장님, 고문석 과장님, 오운용 박사님 및 동료 직원여러분께 감사드립니다. 시료분석을 위해 많은 협조를 주신 보건환경연구원의 송상택 박사님, 논문교정 및 통계처리에 많은 도움을 준 난지농업연구소의 박형수 박사, 축산연구소의 이지웅 박사님께도 감사드립니다.

지금은 축산연구소에 있지만 전임 축산팀장님이신 홍성구 박사님, 현

축산팀장인 임석기 박사님께는 제가 농촌진흥청으로 전근을 온 이후 바쁜 가운데도 논문을 작성할 수 있도록 귀중한 시간을 할애해 주신데 대하여 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 또한 사업관리에 바쁘게도 불구하고 시간을 배려해 주신 연구관리과 조은기 과장님을 비롯한 동료 여러분들에게도 감사의 마음을 전합니다. 그 외에 일일이 거명은 못하지만 많은 관심과 격려를 아끼지 않으셨던 모든 분들께 깊이 감사드립니다.

저를 오늘에 이르기까지 보살펴 주시고 격려를 해 주신 부모님과 항상 막내사위를 믿음직스럽게 맡없이 지켜봐 주신 장인, 장모님께 이 작은 결실을 바칩니다.

끝으로 항상 일 핑계로 같이 시간을 보내 주지 못하고 마음 고생만 하게 한 사랑하는 나의 아내 오화진님과 2년여 동안 떨어져 살면서 생일이나 어린이날도 같이 있어 주지 못했지만 그 누구보다도 착하게 자란 준 사랑스럽고 예쁜 지선이와 응감하고 멋쟁이인 정수와 이 기쁨을 함께 하고자 합니다.