

631.8  
L2937

최 중  
연구보고서

GOVP 19917593

작물생육 시뮬레이션 모델 및 환경보전형 최적시비  
전문가 시스템 개발

Development of a Rice Growth Simulation Model and an Expert  
System for Environmentally Sound Fertilization

단 국 대 학 교  
한국농촌경제연구원

농 립 부



## 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “작물생육 시뮬레이션 모델 및 환경보전형 최적시비 전문가 시스템 개발”

에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1999. 2. 20.

주관연구기관명 : 단국대학교  
총괄연구책임자 : 채 제 천  
연 구 원 : 손 상 목  
연 구 원 : 최 준 수  
협동연구기관명 : 한국농촌경제연구원  
협동연구책임자 : 권 태 진  
연 구 원 : 김 연 중  
연 구 원 : 오 세 익

# 요 약 문

## I. 제 목

작물생육 시뮬레이션 모델 및 환경보전형 최적시비 전문가 시스템 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

식량 증산을 위하여 화학비료 특히 질소질 비료를 과다하게 사용하여 온 우리나라에서는 토양의 이화학적 성질 악화는 물론 지표수 오염, 질산염에 의한 지하수의 오염 등 환경문제가 야기되었으며 따라서 환경보전형 농업의 필요성이 크게 대두되고 있다.

환경보전형 농업을 위해서는 작물생산의 수익성을 유지하고, 자원 및 환경을 보전하며, 식품의 안전성을 동시에 추구하는 최적시비기술을 개발하여야 한다. 이에 대한 접근방법으로는 토양진단법과 생산함수 분석법이 있는데 어느 방법이든 토양 및 기상조건, 품종, 생육시기, 영농관리에 따른 질소 요구량 및 시비량과 작물수량 및 오염량과의 함수관계를, 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 모델로 개발하고, 주어진 토양, 작물 및 기상조건에 적합한 시비 및 관개 전략을 수립할 수 있도록 전문가 시스템을 개발, 보급할 필요가 있다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

우리나라 조건에 적합한 시뮬레이션 모델을 개발하기 위하여 외국에서 기 개발된 작물생육 시뮬레이션 모델을 수집, 장단점을 분석하여, 미국에서 개발된 CERES(Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis) model을 선정하였다. 1996년부터 1998년까지 3개년간 질소 시비와 수도생육 실험 자료를 이용하여 이 모델의 적합성과 적정시비수준을 검정하였다. 또한 환경오염방지정책을 검정, 개발하였으며, 최종적으로 최적시비 전문가 시스템을 완성하고 효과를 검정하였다.

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### (1) 수도작 시비 현황과 문제점

우리 나라는 외국에 비해 단위 면적당 시비량이 많으며 대다수의 농민들이 지도기관의 추천시비량보다도 많은 비료를 살포하고 있다. 특히 질소질 비료의 편중 현상이 지속되고 있다. 우리 나라의 ha당 화학비료 소비량은 421kg으로서 네덜란드를 제외하면 세계에서 가장 높은 수준에 있다. 과거 우리보다도 단위면적당 화학비료 소비량이 높았던 일본이나 벨기에 등은 환경문제의 심각성을 깨닫고 꾸준히 사용량을 감소시켜왔으나 우리 나라는 오히려 비료 소비량이 증가해 오다가 최근에 와서야 감소 추세를 나타내고 있다.

이처럼 화학비료의 소비량이 높은 것은 토양조사 등 과학적 방법에 의한 시비 지도가 소홀하였으며 비료 가격이 농산물 가격에 비해 상대적으로 낮은데 그 원인이 있다. 특히 수도작의 경우 1970~80년대 식량 증산에 크게 기여한 다수성 품종 재배 방식이 아직도 계속되고 있다는 데서도 그 원인을 찾을 수 있으며 이 밖에도 비료에 대한 정부의 가격지지정책이 지속되고 있다는 점도 지적할 수 있을 것이다.

비료를 과도하게 사용할 경우 지하수와 지표수의 오염을 일으킨다는 사실이 실험을 통해 입증되고 있다. 지표수의 오염은 하천이나 호수의 부영양화를 촉진시켜 수질을 오염시키고, 지하수의 오염은 식수원을 파괴시키는 결과를 초래하기 때문에 많은 사회적 비용을 유발한다. 조사 결과 우리 나라의 수질은 이미 오염이 심각한 상태이며 농업용수의 오염도 염려할 만한 수준에 도달한 것으로 나타났다. 가축분뇨는 수질을 악화시키는 주요한 원인으로 지적되고 있지만 아직까지 벼농사에 의한 수질 오염은 염려할 만한 상황은 아니다. 그렇지만 장차 수질오염이 더욱 심각한 상황에 이를 경우 벼농사에 의한 수질 오염도 방치해서는 안될 것이기 때문에 미리 대책을 강구하는 지혜가 필요하다.

수도작 농가의 시비행태와 문제점을 조사한 결과 비료는 쌀 수확량에 큰 영향을 미치기 때문에 비료 가격이 대폭 인상되더라도 현재의 시비 수준을 유지하려는 인식이 강한 것으로 나타났다. 비료 가격을 50% 인상할 경우 시비량은 7.5% 정도 감소시키고, 비료 가격이 100% 인상될 경우 평균 시비량은 15% 가량 감소시킴으로써 비료의 가격탄성치가 약 -0.15 정도인 것으로 파악되었다. 이것은 1980년대 중반부터 최근까지의 시계열자료를 이용하여 비료의 가격탄성치를 계측한 결과 나타난 -0.28과는 상당한 괴리가 있다. 그렇지만 앞으로 화학비료 사용량을 줄이려는 농가도 상당수 있는 것으로 조사되었기 때문에 과학적인 시비 지도를 통해 적정 시비 수준으로 유도할 수 있을 것으로 보인다. 농민들은 화학비료 사용으로 인해 환경오염이 유발될 수 있음을 인식하고 있었다. 조사 농가의 2/3 정도가 지하수를 이용하고 있는 것으로 나타났으며 지하수가 오염될 경우 깨끗한 물을 사용하기 위하여 비용을 지불할 용의가 있다는 점이 확인되었다.

## (2) 환경보전형 적정 시비 모델 개발

적정 시비란 작물 생산의 수익성을 보장하고 자원과 환경을 보전하며 인간의 건강과 식품의 안전성을 동시에 확보할 수 있는 시비 수준을 말한다. 많은 경우 적정 시비를 작물 수량을 극대화시키는 시비 수준으로 인식하고 있으나 이는 수익을 극대화시키는 시비 수준과는 차이가 있다. 농업경영자 입장에서는 화학비료 사용에 의한 환경오염 문제를 고려하지 않기 때문에 농업수익을 극대화시키는 시비 수준과 환경오염을 고려한 사회적 최적 시비 수준과는 괴리가 있을 수 밖에 없다.

적정 시비수준을 결정하기 위해서는 여러 가지 방법을 동원할 수 있지만 가장 기본이 되는 것은 생육 시험을 통한 자료의 확보이다. 이 연구에서는 주관연구기관인 단국대학교에서 3년 동안 시험한 자료를 이용하여 외국에서 개발한 CERES 모델(작물생육시물레이션 모형의 일종)을 우리 나라 환경에 맞도록 수정하고 이를 적정 시비수준을 찾기 위한 도구의 하나로써 이용하였다. 또한 과거 농촌진흥청에서 전국을 대상으로 비료의 효과를 시험한 자료를 통해 통계적 모형을 개발하여 수정된 CERES 모델과 결합하였다. 이 연구의 목표인 환경을 고려한 최적 시비 수준을 찾기 위해서는 모델을 통한 비료와 쌀수량과의 기술적 계수뿐만 아니라, 쌀 가격, 비료 가격 등 경제적 변수와 오염함수와 오염의 사회적 비용이라는 환경적 요소까지도 동시에 감안하여야 한다.

추정 결과 현재의 기술 및 시장 상황하에서 쌀 수량을 극대화시키는 질소 비료의 시비수준은 10a당 15.9kg으로서 현재의 농가 시비 수준과 일치하였다. 그러나 수익을 극대화하기 위해서는 시비 수준을 15.5kg으로 낮추어야 한다는 것이 모델 추정 결과 확인되었다. 만약 앞으로 심각한 문제로 대두될지도 모를 환경문제까지도 미리 감안한다면 질소질 비료의 시비 수준을 11.9kg까지 낮출 필요가 있다는 결과가 도출되었다. 분석 결과 현재의 상황으로는 벼농사에 현재와 같은 수준의 화학비료를 사용하더라도 환경에 큰 부담을 주지 않지만 앞으로 수질오염 문제가 더욱 심각해질 경우 분석 결과에서 제시된 수준으로 화학비료 사용량을 감소시키지 않으면 안될 것이다. 시산 결과 10a 당 현재의 시비 수준에서 질소질 비료를 1kg(성분량 기준) 추가함으로써 야기되는 수질 오염을 근원적으로 막기 위해서는 4,835원의 정화비용을 투입해야 하는 것으로 나타났다. 이것은 비료 사용에 의한 사회적 비용이라고 할 수 있다.

### (3) 전문가 시스템 개발

전문가시스템을 개발하기 위하여 지금까지 개발된 많은 종류의 작물생육시물레이션 모델을 비교분석한 결과 CERES모델이 가장 적합한 것으로 파악하였다. 왜냐 하면 이 모델은 수도작을 위한 독립된 모델을 가지고 있으며 벼 종자의 발아부터 수확까지의 전 과정을 모형화하여 생육기간중의 토양내 양분 동태를 파악할 수 있고 시비에 따른 토양, 작물체내 양분 이용 뿐만 아니라 양분의 지하침투량까지도 예측할 수 있기 때문에 본 연구의 목적에 부합하기 때문이다. 라이시미터를 통해 3년간 시험한 자료와 농촌진흥청의 비료 효과에 관한 시험자료 등을 이용하여 우리나라의 벼품종 특성과 토양 및 기후 특성을 반영하는 CERES 모델로 수정하였다. 이 모델의 변형을 위하여 외부 전문가의 도움을 얻어 모델개발자와 공동작업을 시도하였다.

모델에 이용되는 주요 입력자료로서는 작물의 품종특성치, 온도, 습도, 강우량, 일조량 등

기상관측자료, 토층별 유기물함량, 총질소, 질산태 및 암모니아태 질소 함량, pH, 토양수분함량, 토양의 물리적 특성 등 토양 특성에 관한 자료, 시비와 관개, 이앙, 수확 등 영농관리에 관련된 사항 등이 있다. 모델의 시뮬레이션을 통해 제공되는 주요 출력자료는 식물체의 생체중, 건물중, 엽수, 엽면적지수, 질소흡수량, 근장, 수량 등 식물체 생육상황, 질소의 식물체 흡수량, 침투량, 토양잔류량 등 질소 이용수지, 양분 및 수분의 스트레스 등을 제시함으로써 개별 농가의 상황을 반영하여 시비 및 제반 영농관리를 개선할 수 있다.

전문가시스템의 개발환경은 DOS와 윈도우95 운영체계를 기반으로 하여 MS-Fortran 5.0, Visual Basic 5.0, MS-Excel 97 환경에서 작동될 수 있도록 하였다. 모델베이스로서 수정된 CERES모델을 기본으로 하고 통계적 모형인 수량반응함수, 이윤함수, 오염함수 등을 결합하였다. 주요 데이터베이스로서 작물의 특성, 기후자료, 토양자료 등은 Excel을 통해 입력하고 이앙시기 및 방법, 관개시기 및 관개량, 시비시기 및 시비량 등은 모델에 직접 입력하도록 구성하였다.

개발된 모형의 검정 결과 주관연구기관의 1996, 1998년 실험결과와 모델의 추정치는 상당히 근접하였으나 1997 실험결과는 추정치와 상당한 괴리를 보였다. 모델에서 추정된 질소 이용량은 토양, 기후조건, 시비수준에 따라 비교적 민감하게 반응하였다. 생육단계별 작물 생육지표는 실제치와 추정치간에 근접하였으며 비교적 안정적이었다.

개발된 모형을 이용하여 시비 시기를 조절함으로써 식물체의 질소비료 흡수량은 감소시키지 않으면서 침투량을 줄일 수 있는 것으로 나타남으로써 시비 시기의 조절에 의한 환경오염 경감 가능성을 확인하였다. 이 모형을 통해 도출된 결과는 추가적인 포장 시험을 통해 확인할 필요가 있으며 3년이라는 실험결과를 바탕으로 모델이 개발된 만큼 앞으로 지속적인 실험을 통해 모델을 보완해 나가는 노력이 필요하다.

#### (4) 환경보전형 시비를 위한 정책 대안

환경정책 대안으로서 직접규제, 경제적 유인제도, 자발적 유인제도 등을 고려할 수 있으며 과학적인 방법을 통해 시비량을 줄이도록 권장하는 방안이 현재로서는 가장 효과적일 것으로 판단된다. 앞으로 직접지불제도와 연계하여 종합양분관리제도(Integrated Nutrition Management)를 정착시키는 노력이 필요할 것이다.

직접규제의 경우는 비료의 과다 사용을 신속히 제어할 수 있지만 과다사용 여부에 대한 감독이 곤란하며 행정 비용이 과다할 것이므로 실용성이 낮다는 단점이 있다. 경제적 유인제도로써 비료세를 적용할 경우 정책수단과 정책 목표간의 연계성 면에서는 바람직하나 농가에 대한 부담 면에서는 직접 규제보다 크며, 비료가격보조 감축은 정부의 재정 지출을 줄일 수 있으나 비료 사용 감소 효과가 적고 농가에 대한 부담이 큰 것으로 나타났다.

권장 또는 지도의 경우는 정책효과는 의문시되지만 집행비용을 최소화 할 수 있고 효과적인 프로그램을 개발할 경우 시비량 감축 효과도 클 것으로 판단되어 현재 추진하고 있는 정밀토양검정 프로그램과 시비처방프로그램을 보완한다면 가장 바람직한 정책대안이 될 것으로 판단된다.



## SUMMARY

The purposes of this study are as follows:

- to develop rice growth simulation model applicable to our agricultural environment through modifying existing models
- to find the optimum nitrogen level considering farm profits and negative environmental effects
- to suggest policies to prevent pollution by the overuse of fertilizer
- to develop expert system to recommend the optimum fertilizer use.

A rice growth simulation model was developed by modifying CERES(Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis) model which was developed under different environmental conditions from Korea. The model is useful to estimate nitrogen level leached to the ground water and rice yield under different soil, climate, and farm practices. Three-year experimental data was used to estimated parameters in the model.

The optimal nitrogen application rates were estimated by using statistical models. The optimum nitrogen level was 15.9 kg per 10a to maximize rice yield, while it was 15.5 kg per 10a to maximize profit. However, 11.9 kg of nitrogen is recommended to maximize social welfare by considering negative effects on environment through overuse of chemical fertilizers. Yield response functions, profit function, pollution functions were estimated to find the optimal nitrogen levels. The optimal nitrogen levels are depend on soil fertility, output price, fertilizer price, and social costs of pollution by nitrogen leaching and run-off during rice cultivation as well as the parameters of estimated functions. Considering current nitrogen application level, 15.9 kg per 10a, reduction of nitrogen is needed for sustainable agriculture.

Several alternative policies can be suggested to reduce fertilizer use. The most recommendable policy is a voluntary incentive system like as BMP(Best Management Practices) which is extensively adopted in the United States and european countries. Recommendation of fertilizer rates to the farmers by analyzing soil contents and fertilizer recommendation programs will be very effective at current situation. If we

establish the INM(Integrated Nutrient, Management) by scientific tools, pollution by fertilizer use can be prevented. Direct incentive payment or cost-sharing are alternative policies to reduce fertilizer use. However, the government have to pay a lot of money to the farmers to implement the policies.

Fertilizer tax is not so effective policy because high tax rate is required to reduce fertilizer consumption to the targeted level. Reduction of fertilizer price subsidy gives the similar effect to the farmers as fertilizer tax.

# CONTENTS

Summary .....	7
Chapter 1. Introduction .....	13
1. Background of the Study .....	13
2. State of the Current Arts .....	14
3. Purposes of the Study .....	16
4. Strategies and Methodologies .....	17
Chapter 2. Lysimeter Experiments on Rice Culture as affected by Nitrogen Level .....	19
1. Materials and Methods .....	19
2. Results and Discussions .....	24
Chapter 3. Present Status and Facing Issues of Fertilizer Use in Rice Production .....	29
1. Fertilizer Use in Rice Production .....	29
2. Problems in Fertilizer Use .....	32
3. Fertilizer Application Behavior and Problems in Rice Production Farms .....	35
Chapter 4. Optimum Fertilizer Application Model for Sustainable Agriculture .....	40
1. Theoretical Background .....	40
2. Estimation of Models and the Results .....	42
Chapter 5. Development of an Expert System for Optimum Fertilizer Use .....	52
1. Basic Design .....	52
2. Development of the Expert System .....	54
Chapter 6. Policies for Sustainable Fertilizer Use .....	57
1. Guidelines and Regulations for the Conservation of Water Quality .....	57
2. Alternative Policies .....	58
3. Fertilizer Related Policies in the Foreign Countries .....	64
4. Policy Development and Implications .....	73
Chapter 7. Conclusions .....	76
References .....	78
Appendix .....	85

# 목 차

요 약 문 .....	2
Summary .....	7
제 1 장 서 론 .....	13
1. 연구의 필요성 .....	13
2. 관련 기술 현황 .....	14
3. 연구개발 목표 및 내용 .....	16
4. 추진전략 및 방법 .....	17
제 2 장 질소시비에 따른 수도생육 실험 결과 .....	19
1. 재료 및 방법 .....	19
2. 결과 및 고찰 .....	24
제 3 장 수도작 시비 현황과 문제점 .....	29
1. 수도작 시비 현황 .....	29
2. 비료 시용의 문제점 .....	32
3. 수도작 농가의 시비 행태와 문제점 .....	35
제 4 장 환경보전형 적정 시비모델 개발 .....	40
1. 적정 시비 모델 .....	40
2. 적정 시비 추정 모형 및 추정 결과 .....	42
제 5 장 전문가시스템 개발 .....	52
1. 기초 설계 .....	52
2. 전문가시스템 개발 .....	54
제 6 장 환경보전형 시비를 위한 정책 대안 .....	57
1. 우리 나라의 수질 관련 환경기준과 규제 .....	57
2. 환경보전정책 대안 .....	58
3. 외국의 환경 보전 정책 .....	64
4. 정책 개발과 효과 분석 .....	73
제 7 장 결 론 .....	76
참 고 문 헌 .....	78
부록 1. 수도 생육실험 성적 .....	85
부록 2. 수질환경기준 및 규제기준 .....	152
부록 3. DSSAT 모델의 체계도 .....	157
부록 4. 최적 시비 전문가 시스템 S/W .....	158
부록 5. 시비수준별 질소질 비료 수지 시뮬레이션 결과 .....	163
부록 6. 질소 시비수준별 쌀 시뮬레이션 결과 .....	166

## 표 목 차

### 제 2 장

표 2-1. 주요 국별 비료 소비량 .....	30
표 2-2. 우리 나라와 일본의 시비량 비교 .....	30
표 2-3. 수도작 시비기준 .....	31
표 2-4. 쌀 생산비 중 무기질 비료비 비중 .....	32
표 2-5. 시설별 항목별 농업용수 수질기준 초과 현황 .....	34

### 제 3 장

표 3-1. 시비수준별 질소이용량 및 용탈량 변화 .....	44
표 3-2. 수도생산의 수량극대화 및 수익극대화 시비수준 (OM=2.5%인 경우) .....	47
표 3-3. 환경오염을 고려한 최적 시비 수준 .....	48

### 제 4 장

표 4-1. 전문가 시스템 구성과 내용 .....	54
-----------------------------	----

### 부 록

부표 1. 수도 생육실험 성적 .....	85
부표 2-1. 하천의 수질환경기준 .....	153
부표 2-2. 호소의 수질환경기준 .....	154
부표 2-3. 수질 보호의 경제적 효과 .....	155
부표 2-4. 시비 시기 조절에 의한 질소 비료의 이용 변화 .....	156

# 그림 목 차

## 제 2 장

그림 2-1. 비료사용에 의한 피해경로 .....	33
-----------------------------	----

## 제 3 장

그림 3-1. 수량극대화 최적 시비수준 .....	40
그림 3-2. 농가 이윤 극대화 최적 시비수준 .....	41
그림 3-3. 사회적 후생 극대화 최적 시비 수준 .....	42
그림 3-4. 수도 수량반응함수 추정 결과 .....	46
그림 3-5. 유기물함량에 따른 Quadratic 수량반응함수의 형태 .....	46
그림 3-6. 유기물함량에 따른 Square Root 수량반응함수의 형태 .....	47
그림 3-7. 최적 시비수준 비교 .....	51

## 제 4 장

그림 4-1. 시비 시기 조절에 의한 질소 이용량의 변화 .....	56
그림 4-2. 시비시기별 질소이용량 및 용탈량의 변화 .....	56

## 제 5 장

그림 5-1. 환경오염방지정책의 효과와 비용 .....	75
--------------------------------	----

# 제 1 장 서 론

## 1. 연구의 필요성

우리나라의 농업은 과거 20여년 동안 비료, 농약, 식물생장조절제, 가축항생제 등과 같은 화학물질의 증투에 힘입어 농업생산성을 높이고 식량을 안정 공급하는데는 크게 기여하였으나 환경오염이라는 새로운 문제를 야기시키고 있다. 즉, 화학비료와 농약의 과도한 사용은 토양의 이화학적 성질을 악화시켜 지속가능한 농업을 저해할 뿐 아니라 토양 및 수질오염, 생태계 파괴, 인간의 건강 위협, 식품의 안전성 저하 등의 문제를 유발하고 있다.

과다한 질소질비료의 사용은 토양을 산성화시킬 뿐 아니라 지표 유기수에 의해 수계를 부영양화시키고 질산염에 의해 지하수 오염을 야기한다. 질산염은 화학적으로 안정되어 다른 물질과 결합하지 않고 토양입자에 흡착되지 않으며 물에 잘 녹아 지하수에 침투하기 쉬워서 가장 광범위하고 규제하기 어려운 오염원이다. 질산염으로 오염된 지하수를 장기간 음용하면 혈액 속의 헤모글로빈이 산소를 운반하지 못하는 메세모글로빈으로 변화되어 사망률이 8%에 달하는 청색증 (methemoglobinemia, blue baby disease)을 유발시킨다(이창기,1997). 이 때문에 미국과 유럽 등 선진국에서는 질소질 오염이 사회적 문제로 대두되고 있으며 따라서 질소질비료 사용을 정책적으로 감소시키는 추세에 있다.

우리나라의 화학비료 사용량은 1997년 현재 42.1kg/10a(성분량 기준, 농림통계연보, 1998)로 세계에서 가장 높은 나라 중의 하나이며 경제적인 적정시비 수준을 초과하고 있다. 특히 질소질비료는 1985년에 16.0kg/10a에서 1997년에는 21.4kg/10a(농림업 주요통계, 1997)로 최근 들어 증가세가 완만하기는 하나 아직도 상당한 양을 시비하고 있으며 일본의 경우보다도 2배 이상이나 많다. 경제적 적정시비 수준(수익극대화 시비수준)을 초과하는 시비량은 농민의 소득을 저하시킬 뿐만 아니라 환경오염을 가중시키는 요인이 되며 따라서 환경보전형 농업을 발전시키기 위해서는 최적시비기술을 개발하여야 한다.

최적시비기술이란 작물생산의 수익성을 유지하고, 자원 및 환경을 보전하며, 건강과 식품의 안전성 확보라는 세가지 목표를 동시에 추구하는 시비기술을 말한다. 이에 대한 접근방법은 토양진단법과 생산함수 분석법이 있다. 토양진단법은 작물의 생육기간 중 수시로 토양 분석을 실시하여 작물이 필요로 하는 시기에 필요한 양의 질소질비료를 시용하는 방법으로 독일, 스위스, 네델란드, 영국, 미국 등 농업선진국에서 실용화되고 있다. 생산함수 분석법은 시비수준에 따른 작물의 수량 및 오염물질 배출량을 함수로 나타낸 다음 한계생산물가치 (marginal value product, MVP)를 한계투입비용 (marginal factor cost, MFC)과 오염에 의

한 사회적인계손실 (marginal social damage by pollution, MSC)의 합과 일치시키는 시비수준을 찾아내는 것이다. 그러나 토양진단법을 적용하려면 작물의 생육시기에 따른 질소 요구량을 알아야 하고 생산함수 분석법은 시비량과 작물수량 및 오염량과의 관계 규명이 선행되어야 한다. 이러한 함수관계는 토양 및 기상조건, 작물의 종류 및 품종, 생육시기, 영농관리 등을 충분히 반영해야 하며 시비시기 및 관개시기를 감안하기 위해서는 동태적인 요소까지도 포함시켜야 한다. 이러한 관계를 나타내는 가장 진보된 방법은 컴퓨터를 이용한 작물생육 시뮬레이션 모델(crop growth model)인데 작물이 성장하는 실제 현상을 수학적인 모형을 이용하여 예측하는 것이다. 즉, 과거의 여러 실험결과들을 종합하여 작물의 광합성, 작물 및 토양의 양분 동태를 생육단계, 기상조건, 토양특성 등에 따라 계수화하고 이를 이용하여 주어진 토양, 기상 및 작물특성이 다른 다양한 조건하에서 시비량, 시비시기, 시비방법 등이 작물수량, 시비효율, 질산염 유실에 미치는 영향을 예측하는 방법으로 미국, 독일, 네델란드, 영국, 프랑스 등 여러나라에서 수십가지 모델을 개발하고 있다.

이러한 모델들은 모두 그 지역에 알맞게 제작되었기 때문에 우리나라에 그대로 도입할 경우 현실과 맞지 않는 문제가 있다. 따라서 우리나라 환경 및 재배조건에 따른 수량 및 오염량과의 관계를 구명하는 포장(또는 라이시미터)실험을 실시하고 그 결과를 이용하여 우리나라에 알맞는 작물생육 시뮬레이션 모델을 개발할 필요가 있다. 또한 이 모델을 이용하여 최적시비수준을 결정하고 이를 실현시키기 위한 효율적인 정책방안(예, 비료세 부과, 비료사용량 규제, 오염세, 오염량 규제 등)을 강구하여야 하며, 또한 주어진 토양, 작물 및 기상조건에 적합한 시비 및 관개 전략을 수립할 수 있도록 전문가 시스템(expert system)을 개발, 보급할 필요가 있다.

## 2. 관련 기술 현황

### 가. 지금까지의 연구개발 실적

시뮬레이션 모델로서 외국에서 개발된 ① EPIC (erosion-productivity impact calculator) crop growth model ② IEM (Irrigation Efficiency Model) model ③ SPAW (Soil-Plant-Atmosphere-Water) model ④ CERES (Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis) model 등을 수집 분석하였다.

이 연구에 쓰이는 시뮬레이션 모델의 필수조건은 관개 및 시비전략에 따른 수도 수량과 질소질 유실량을 예측할 수 있어야 하는데 이러한 조건에 맞는 모델은 EPIC과 CERES 모델뿐이다. 그러나 EPIC 모델은 수도작 모델이 따로 없어 정확도가 떨어질 뿐만 아니라 수도작에 대한 검증이 불충분한 상태이다. 이에 비하여 CERES 모델은 수도작을 위한 독립된



모델이 개발되어 있을 뿐 아니라 국제비료개발센터(IFDC)와 국제미작연구소 (IRRI)에서 적극적으로 보완 중에 있어 필요시 협조를 얻을 수 있는 장점이 있으므로 CERES 모델을 선택하였다.

CERES model은 미국의 10여개 주립대학 연구진이 합동으로 개발한 컴퓨터 프로그램으로써 기존의 여러가지 실험으로 밝혀진 작물의 생육 및 발육과정을 수학적인 모형으로 계수화 한 것이다. 현재 개발된 모델은 밀, 보리, 감자, 옥수수, 콩, 조, 땅콩 등 11개이며 최근에 벼 모델이 개발되고 있다. 이 모델은 종자가 발아하는 시점부터 수확시까지 작물생육의 전과정을 모형화하였을 뿐 아니라 토양층의 영양분의 동태(질소동화, 이동, 유실 등)까지도 시뮬레이션할 수 있다. 이 모델의 주요 입력자료는 일자별 기상조건, 토심별 토양특성, 작물특성, 영농관리(시비 및 관개) 등이며, 주요 출력자료 작물수량, 일자별 건물중, 질소흡수량, 질소 수지(nitrification, denitrification, leaching, volatilization), 토심별 영양분 및 수분의 동태 등이다. 이 모델은 수도작에 활용이 가능하고 토양, 작물체 및 지하침투수 내의 질소 함량을 시뮬레이션할 수 있을 뿐 아니라 시비 및 관개전략에 따른 수량 및 질소 유실량을 예측할 수 있다.

#### 나. 현 기술상태의 취약성

우리나라의 비료 사용량은 세계에서 가장 높은 나라 중의 하나이다. 정부에서는 비료사용량 감소를 위하여 노력하고 있으나 농민들은 수량 감소를 우려하여 이를 받아들이지 않고 있다. 농민들에게 환경보전형 저투입 농업기술을 보급하기 위해서는 작물, 토양 및 지대별로 최적시비수준을 결정한 다음 이를 실증적으로 보여 주어야 한다.

최적시비수준을 결정하려면 작물, 토양, 지대 및 년도별로 시비, 관개, 유기물투입 등의 영농관리가 작물수량 및 질산염 배출에 미치는 영향을 실험하여 그 관계를 구명해야 하는데 그렇게 하려면 많은 비용과 시간이 소요되며 현재의 기술수준으로는 질산염 배출량을 측정하기도 쉽지 않다.

따라서 몇가지 실험을 실시하여 우리나라의 기후, 작물 및 토양조건에 알맞는 작물생육 시뮬레이션 모델을 개발한다면 이를 이용하여 최적시비수준을 결정할 수 있을 뿐 아니라 전문가 시스템을 개발, 보급함으로써 농민 또는 영농회사가 개인 컴퓨터를 이용하여 자신의 토양 및 영농관리에 적합한 시비방법을 개발할 수도 있다. 또한 토양진단법을 개발하여 농민에게 보급하고 농촌지도소에 토양분석시설을 설치한다면 저투입 농업 육성에 기여할 수 있다.

#### 다. 앞으로의 전망

쾌적한 환경 및 안전농산물에 대한 수요는 앞으로 급증할 것으로 예상되며 또한 WTO의 출범과 그린라운드와의 연계는 환경보전형 농업의 보급을 재촉하고 있다. 그러나 농민의 입장에서 환경 못지 않게 농가소득이 중요하기 때문에 시비량의 감소를 유도하는 것은 쉽지 않을 것이다. 따라서 작물생육 시물레이션 모델의 개발과 이를 이용한 최적시비수준 결정 및 전문가 시스템의 개발, 보급은 환경보전형 농업의 육성을 위해 대단히 중요하다. 이와 같은 시스템이 개발된다면 우리와 유사한 농업조건을 가진 일본, 대만 중국을 비롯한 동남아시아의 환경보전형 농업발전에도 크게 기여할 것이다.

#### 라. 기술의 타당성

우리나라는 주작물이 수도작이고 기후, 토양 등 제 조건이 외국과 다르기 때문에 미국, 유럽 등 선진국에서 개발된 작물생육 시물레이션 모델을 그대로 도입할 수 없는 문제가 있다. 또한 전문가 시스템 및 토양진단법도 국내의 제반 여건을 감안해야 하기 때문에 외국에서 연구된 결과는 의미가 적다.

### 3. 연구개발 목표 및 내용

#### 가. 연구개발 목표와 내용

- 1) 시물레이션 모델 검정 : 질소 시비와 수도생육 실험 자료를 이용하여 이미 개발된 시물레이션 모델의 적합성을 검정하여 우리 실정에 맞는 모델로 수정한다.
- 2) 적정 시비수준 결정 : 시물레이션 모델과 통계적 모형을 통하여 적정 시비수준을 제시한다.
- 3) 환경보전정책 개발 : 비료 사용과 관련된 환경오염 방지대책을 개발한다.
- 4) 전문가 시스템 개발 : 최적시비 전문가 시스템을 개발하고 효과를 추정한다.

#### 나. 연차별 연구개발 목표와 내용

- 1) 1차년도(1996) : 외국의 작물생육 시물레이션 모델을 수집하여 장단점을 분석, 우리나라에의 적합성을 검토하고 수정하였으며, 적정시비수준을 결정하였다. 동시에 질산염 오염방지를 위한 정책을 설계하였다.
- 2) 2차년도(1997) : 수도생육 실험결과를 이용하여 시물레이션 모델의 적합성과 적정시비수준을 검정하였다. 또한 오염방지정책을 개발하고 전문가 시스템을 설계하고 시안을 작성하였다.
- 3) 3차년도(1998) : 수도생육 및 오염발생 자료를 이용하여 시물레이션 모델의 적합성과

적정시비수준을 검정하였으며 환경오염방지정책을 검정하였다. 최적시비 전문가 시스템을 완성하고 효과를 검정하였다.

## 4. 추진전략 및 방법

### 가. 추진전략

○수도생육 시물레이션 모델은 외국에서 기 개발된 모델을 수집하여 우리나라의 환경조건에 맞는가를 검정하고 필요한 경우에 프로그램을 수정하였다.

○1, 2, 3차년도에 실험을 통하여 수집한 데이터로 모델을 검정 및 수정하고 3차년도에 적정시비수준과 환경오염방지정책을 검정하고 최적시비 전문가 시스템을 완성하였다.

○시물레이션 모델 개발을 위한 수도생육 반응 실험은 단국대학교 농과대학에서 수행하였으며 시물레이션 모델 개발, 적정시비수준 결정, 환경보전 정책 개발 및 최적시비 전문가 시스템 개발은 한국농촌경제연구원에서 수행하였다.

### 나. 연구 방법

#### 1) 시물레이션 모델 개발을 위한 시비수준에 따른 수도생육 반응 실험

답작 포장 내에 Lysimeter를 설치하고 질소 시비 처리에 따른 실험을 수행하였다. 1차년도에는 0N, 0.5N, 1N의 질소 3처리를, 2, 3차년도에는 퇴비(0, 1000kg/10a) + 질소 0N, 0.5N, 1N, 1.5N, 2N을 2요인 처리하고 모델에서 요구하는 토양, 식물체 및 기상조사와 분석을 실시하였다.

#### 2) 작물생육 시물레이션 모델 개발

위와 같은 작물생육실험 결과를 토대로 모델의 source code 수정하며 개발하였다.

#### 3) 적정시비수준 결정

우리나라 실정에 알맞게 수정된 작물생육 시물레이션 모델을 이용하여 시비량, 시비시기 및 비료의 종류, 관개량 등을 달리하는 수백개의 작물생산활동(activity)을 시물레이션 한 다음 각 활동별 수량 및 질산염 배출량을 산출하였으며 산출된 data를 계량경제학적인 기법을 이용하여 생산함수와 오염함수를 계측하였다. 또한 미시경제기법(또는 Operation Research 기법)을 이용하여 생산함수, 오염함수, 비료가격, 농산물가격, 오염의 사회적 비용 등을 감안한 최적시비전략 (소득극대화 또는 오염최소화를 위한 시비량, 시비시기 등)을 결정하였다.

#### 4) 환경보전 정책 개발

○오염세(Pollution tax) : “ $MVP=MFC+오염세$ ” 인 경우의 최적시비량 및 이에 따른 소득 및 오염량을 산출하였다. 오염세의 금액을 가감하면서 소득 및 오염량의 변화를 계측하였다.

○오염물질 배출 제한(Pollution standards) : 오염량을 일정한 수치에 고정시킨 상태에서 작물수량 및 소득을 산출하였다. 오염량 허용치를 가감하면서 소득의 변화를 계측하였다.

○비료세(Fertilizer tax) : 비료가격에 세금을 포함시킨 후( $MVP=MFC+비료세$ ) 적정시비량, 소득 및 오염량을 산출하였다. 비료세를 가감하면서 이에 따른 비료사용량, 소득 및 오염량을 계측하였다.

○비료사용량 제한(Fertilizer standards) : 비료사용량을 일정하게 고정시킨 후 소득 및 오염량을 산출하였다. 비료사용량을 가감하면서 소득 및 오염량의 변화를 계측하였다.

○이러한 정책중 환경기준 충족 가능성, 농가소득 극대화 및 실현가능성 등을 감안하여 최선의 정책수단을 개발하였다.

#### (5) 최적시비 전문가 시스템 개발

작물생육 시뮬레이션 모델을 (3) 및 (4)의 과정을 동시에 감안하도록 개조한 다음 주어진 조건(기상, 작물, 토양 및 경제) 하에서 최선의 영농관리(시비, 관개, 유기물 투입 등) 기법을 찾아낼 수 있는 시스템을 개발하였다.

## 제 2 장 시비에 따른 수도생육 실험 결과

### 1. 재료 및 방법

#### 가. 공시품종

수도 증만생품종 추청벼를 공시하였다.

#### 나. 라이시미터 설치 및 공시토양

가로×세로×깊이가 94×49×64cm, 표면적 4,606cm<sup>2</sup>, 부피 0.32m<sup>3</sup> 되는 플라스틱제 사각통을 Lysimeter로 사용하였다. 포장 바닥을 균평하게 고른 후 모래를 깔고 그 위에 보도브릭을 놓고 라이시미터를 놓았다. 라이시미터는 23개씩 4열로 배치하였다. 2열의 중앙부는 브릭으로 쌓아 폭 2m의 통로를 설치하고 용탈수를 받는 20ℓ 들이 물통을 놓을 수 있게 하였다. 라이시미터의 온도관리를 위하여 중앙부 브릭 담과 라이시미터 사이에는 5cm 두께의 스티로폼을 충전하였고 라이시미터 사이 및 외곽 주변에는 흙을 충분히 채워서, 되도록 실제 논토양과 같은 온도조건이 되도록 하였다.

라이시미터의 하부에 배수공을 설치하였는데 직경 2cm, 길이 30cm의 플라스틱 파이프에 50여개의 구멍을 뚫고 이를 부직포로 감싼 후 밑바닥에 설치하였으며 외부 배수구는 철제 콕크를 설치하고 직경 8mm의 배수 호스를 연결토록 하였다.

인근 논토양을 10, 30, 70cm의 층위별로 운반하여 충전하였다. 인위적 라이시미터 토양의 한계를 극복하기 위하여 충전시 토양 공극과 가비중이 자연상태에 근접되도록 각별히 유의하였으며 충전후 담수하여 토양의 안정과 환원화를 도모하였다. 1996년에는 누수방지 겸 지력 보강을 위하여 퇴비 1000kg/10a을 사용하였다. 여러 가지 조치에도 불구하고 1996년은 사전 준비기간이 부족하여 토양 충전후 충분히 안정되지 못한 상태에서 실험이 수행되었다.

1996년 실험후 잔존 비료의 영향을 배제하기 위하여 1997년도에는 라이시미터 토양을 전면 교체하였는데, 토양을 충전한 후 충분히 안정시키고 실험을 수행하였다. 그러나 매년 토양을 교체하면 토양조건이 자연상태와 다르고 따라서 용탈량도 비정상적일 것으로 생각되어 1998년에는 토양을 교체하지 않고 1997년 토양을 그대로 사용하였다(토양시료 채취용 라이시미터는 별도 운영). 즉 1998년 토양은 벼를 1년 이상 재배하여 자연상태와 유사한 토양조건이었다고 생각된다. 항시 라이시미터 건조에 따른 토양의 균열 또는 토양과 라이시미터 벽체와의 틈새로 인한 용탈량 증가로 실험오차가 발생되지 않도록 각별히 유의하였다.

#### 다. 실험처리

○1996년 : 질소 수준은 0, 0.5, 1N의 3수준이었고 완전임의배치 3반복으로 하였다.

○1997 및 1998년 : 퇴비 수준은 0, 1,000kg/10a의 2수준, 질소 수준은 0, 0.5, 1, 1.5, 2N의 5수준이었고 2요인 완전임의배치 3반복으로 하였다.

#### 라. 재배관리방법

‘바’항 시물레이션 모델을 위한 조사항목에 기재한 바와 같으며 그 밖의 재배관리방법은 단국대학교 실습농장 표준경종법에 준하였다.

#### 마. 조사, 분석 및 측정법

##### 1) 토양시료 채취

Auger로 10cm, 30cm, 70cm까지의 근권토양을 채취하여 시료 약 500g을 깊이별로 미리 준비해 둔 통에 담아 재빨리 냉장고로 옮긴후 EC, pH,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Urea, T-N, T-C, Org.-N을 분석 측정하였다.

##### 2) 토양분석, 측정법

가) 토양 E.C. (농촌진흥청 토양화학분석법, 1988) : 건조 토양 10g에 증류수 50ml을 가한 후 30분간 진탕하고 여과지로 여과 후 Conductivity Meter(ATI ORION社 Model 115)로 측정하였다.

나) 토양 pH (농촌진흥청 토양화학분석법, 1988) : 건조 토양 10g에 증류수 50ml을 가한 후 30분간 진탕하고 여과지로 여과 후 Ion meter(ATI ORION社 Model 725A)로 측정하였다.

다) 토양  $\text{NH}_4^+$  (Wageningen Agric. Univ., 1989) : 토양 건조시료 20g을 200ml 플라스틱병에 취하고 Wageningen Agric. Univ.법(1989)으로 분석하였다.

라) 토양 Urea (Wageningen Agric. Univ., 1989) : 토양 생체시료 10g을 200ml 플라스틱병에 취하고 Wageningen Agric. Univ.법(1989)으로 분석하였다

마) 토양 T-N (농촌진흥청 토양화학분석법, 1988) : 건조 시료 0.5g에  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20ml와 촉매제로서 황산염 혼합 분말 5g을 가하여 분해시킨 후 냉각하여 NaOH 5ml를 가하고 증류시켰다. 증류하여 받은 용액은 0.1N HCl으로 청색에서 핑크색이 될 때까지 적정한 후 T-N 함량을 계산하였다.

바) 토양 T-C (농촌진흥청 토양화학분석법, 1988) : 수분을 정량한 토양을 도가니에 1~3g을 넣고 이를 오븐에서 450°C 상태로 1~1.5 시간 가열하였다. 그후 도가니를 데시케

터에서 약 30분간 식힌 후 평량하여 감량을 구하여 건조에 대한 %로 표시하였다.

사) 토양 Organic-N : 농촌진흥청 토양화학분석법(1988)에 의하였다.

아) 토양수 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 농도 : *E. coli* cell 이용법을 적용하였다(Kücke, 이윤건, 손상목, 1996).

### (1) 분석방법

#### ① 시료의 용출

- 식물체 : 생체시료 10g을 분쇄한 후 100ml 증류수에 1시간 동안 진탕하였다.
- 토 양 : 생체 100g에 0.025N CaCl<sub>2</sub> 용액 250ml를 가한 후 30분간 진탕하였다.
- 수 질 : 용출하지 않고 직접 분석하였다.

#### ② 방법

시료 추출액(수질은 직접 사용) 0.2ml를 시험관에 넣은후 1.7ml Formate buffer 용액 넣고 → 37°C water bath 에 넣음 → 0.1ml *E. coli* cell suspension을 넣은후 30초간 N<sub>2</sub> gas 주입 → 시험관을 고무마개로 막고 20분간 37°C water bath에서 incubation → 20분후 2ml NO<sub>2</sub> test reagent (sulfanilamide + NEDC)투입 → 540nm에서 extinction 값을 측정하였다.

### (2) 배양액 제조

#### ① *E. coli* 배양액

- 용액 1 : 1mol KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> · 3H<sub>2</sub>O와 189mmol (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 혼합액
- 용액 2 : 10.2mmol MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 34mmol tri-Na-citrate · 2H<sub>2</sub>O와 64μmol (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O의 혼합액
- 용액 3 : 1mol Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O
- 용액 4 : 1mol Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O
- 용액 5 : 10% KNO<sub>3</sub>
- 용액 6 : 0.65g casein hydrolysate와 2.7g nutrient broth(Difco)를 100ml의 증류수에 녹인다.
- 용액 7 : 30% D - glucose

② *E. coli* strain : KCTC(한국과학기술연구소/생명공학연구소 유전자은행) 1116 K12 Wildtype을 사용하였다.

#### ③ Cell 배양 및 분석 이용 과정

- *E. coli* 접종 : *E. coli* 균주를 배지에 접종
- *E. coli* 배양 : 혐기상태 37 °C shaking bath에서 배양한 후 수확
- *E. coli* 보관모액 : 수확된 stock suspension은 약 6개월간 냉장고 보관
- *E. coli* 분석용액 : 분석당일 stock suspension을 희석하여 사용용액 제조

### (3) *E. coli* cell 배양 방법

○ 0.8% nutrient broth solution 50ml을 삼각플라스크에 stirring magnet와 함께 넣고 120℃에서 고압 멸균시킨 후 *E. coli*를 접종하였다. 플라스크 입구를 멸균한 마개로 막고 16시간 동안 37℃에서 교반하였다

○ 1~6 용액을 배양용기에 stirring magnet와 함께 넣고 멸균시켰다. 보통 혐기적으로 밀봉이 가능한 병을 사용하였다.

○ Glucose solution은 1~6 혼합용액과 따로 멸균시킨 다음 혼합액과 섞었다. 접종을 위해 접종균을 배양용기에 옮겼다.

○ 1cm<sup>3</sup> 정도의 공기방울만 남기고 미리 멸균시킨 2차 증류수로 배양용기의 목까지 가득 채운뒤 37℃에서 계속 교반시키면서 배양하였다.

#### (4) 분석모액 제조

○ 5시간 동안의 cell 배양이 끝난후 재빨리 배양용기에 얼음물을 담가 냉각시키면서 교반하였다. 4℃ 이하로 완전히 냉각되면(약 30분 소요) 10,000g에서 원심분리하였다. 이때 온도는 4℃ 이하로 유지하였으며 원심분리기용 tube는 미리 4℃로 냉각시킨 것을 사용하였다.

○ 원심분리 후 상등액은 버리고 cell은 냉장된 0.1mol/l phosphate buffer로 2회 세척하였다. 세척 후 p-buffer를 세척한 양의 절반만 가하고 cell(pellet)을 잘 풀어준 뒤 저장용병에 stirring magnet 와 함께 넣고 차게 유지시켜 교반하면서 N<sub>2</sub> gas를 10분 동안 충분히 주입하였다.

○ suspension의 희석시 0.1mol formate 또는 1mol formate와 p-buffer 혼합용액으로 희석하였다. 혐기적 공기조성을 용이하게 하기 위해 저장병의 N<sub>2</sub> gas의 투입구 및 배출구에 유의하였고 gas 주입 후 마개를 꼭 막아 냉장고에 보관하였다.

○ NaR activity는 cell suspension을 만든 후 처음 일주일 내에 적어도 2배가 되도록 하였다.

#### (5) 분석용액 제조

○ 분석 당일 stock suspension은 보통 phosphate buffer로 희석하여 사용하였다. 분석을 위해서는 NaR activity가 30μg NO<sub>3</sub>-N인 stock suspension 0.1ml가 필요하다. 만약 NaR activity가 10μg NO<sub>3</sub>-N이라면 0.3ml의 stock suspension이 필요하다.

### 3) 작물체 분석, 측정법

수도의 근장은 Newman의 line intersection method(1966)를 이용하여 측정하였으며 기타 방법은 표준법에 의하였다.



## 바. 시뮬레이션 모델을 위한 조사항목

### 1) Site and Soil Information

Latitude, Longitude, Slope, Soil classification, Soil series를 조사하였다.

### 2) 기상자료

최고기온, 최저기온, 평균기온 및 평균습도는 포장에서 일본 O.T.A.사제 자기온습도계 (OT-103)로 측정하였다. 일사량은 기상청 기상월보의 월별기상자료중 청주지역 자료를 이용하였으며 강우량은 포장에서 우량계로 조사하였다. 토양온도는 lysimeter내 10cm, 30cm, 70cm의 3개 토층 깊이로 무선 Data Logger(ROLOGG Agent)를 매물하고 생육기간중 경시적으로 측정하였고 증발산량은 관수량 측정치에서 용탈량을 제하고 산출하였다.

### 3) 토양자료 : 0~10, 10~30, 30~70cm 깊이별로 조사하였다.

가) 이양전 : 토양 pH, 토양  $\text{NO}_3^-$  함량, 토양  $\text{NH}_4^+$  함량, 토양 Total N, 토양 Total carbon, 토양 가비중, 토성, 토층별 토양수분을 조사하였다.

나) 이양후 경시적 조사 : 용탈수량, 용탈수  $\text{NO}_3^-$  함량(ppm), 용탈수  $\text{NO}_3^-$  량(mg)을 조사하였다.

다) lysimeter 토양 채취 조사 : 분얼기, 유수형성기, 출수기, 성숙·수확기에 라이시미터 토양을 파내고 토양 pH, 토양  $\text{NO}_3^-$ , 토양  $\text{NH}_4^+$ , 토양 Organic-N, 토양 Total-C, Urea-N, 토양 EC 등을 토층별로 조사하였다.

### 4) 작물체 자료

가) 이양전 : 수도 품종의 P1(출아부터 등숙까지 일수, 9°C이상 생육일수의 GDD), P5(출수 3~4일후부터 생리적 성숙기까지의 일수중, 9°C이상 생육일수의 GDD), G2(이상조건에서 생육했을 때의 완전1립중), G3(이상조건하 IR64 대비 분얼계수), G4(온도저항계수), 천립중, 파종량, 모소질 (草長, 엽수, 根長, 생체중, 건물중, N함량)을 조사하였다.

나) 이양후 조사 : 이양기, 이양깊이, 재식밀도, 시비량, 비중, 분시율, 분시시기, 담수심을 조사하고, 관개수량은 매일, 초장, 분얼수는 7일 간격으로 조사하였다.

다) lysimeter 수확조사 : 분얼기, 유수형성기, 출수기에 식물체를 수확하여 건물중(leaf, stem, root, 출수기 이후 이삭), LAI, 根長, 근중, 식물체 부위별 N 흡수량을 조사, 분석하였으며 성숙기에 수확하여 간장, 수수, 입수, 천립중, 등숙율, 수량, 생육일수, 식물체 부위별 N 흡수량 등을 조사하였다.

## 2. 결과 및 고찰

### 가. 기상조사 성적

1996년부터 1998년까지 수도 재배기간중의 기상자료로서 최고기온, 최저기온, 평균기온, 강우량, 평균습도, 일사량은 부록1 표 1, 2 및 3과 같고 토양온도는 부록1 표4, 증발산량은 부록1 표5와 같다.

### 나. 토양조사 성적

실험지의 위치, 토양분류, 토양통, 가비중, 토성, 수분함량 등 토양정보는 다음과 같고, 1996년부터 1998년까지 수도 재배기간중의 각종 토양조사 성적은 부록1 표6부터 표16 까지와 같다.

1) Site and Soil Information은 다음과 같다.

- 충남 천안시 안서동 산 29번지
- Latitude : 30° 49' 86", Longitude : 127° 09'92", Slope : 2%
- 토양분류 : Inceptisols (Alluvial soils, 충적토), Soil series : Sachon series (사촌통)

2) 토양 가비중은 다음과 같다.

토양 깊이 (Cm)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	
	1996	1997, 1998
0 ~ 10	1.5	1.6
10 ~ 30	1.6	1.5
30 ~ 70	1.6	1.5

3) 토성은 다음과 같다.

토양 깊이 (Cm)	1996				1997, 1998			
	점토(%)	미사(%)	모래(%)	계	점토(%)	미사(%)	모래(%)	계
0 ~ 10	19.2	28.1	52.2	100	21.3	27.6	51.1	100
10 ~ 30	22.1	34.1	43.8	100	19.8	29.4	50.8	100
30 ~ 70	17.4	25.4	57.2	100	18.4	30.2	51.4	100

4) 토층별 토양수분은 다음과 같다.

토양깊이 (Cm)	1996			1997, 1998		
	Maximum capacity (최대용수량, %)	Field capacity (포장용수량, %)	Wilting point (위조점, %)	Maximum capacity (최대용수량, %)	Field capacity (포장용수량, %)	Wilting point (위조점, %)
0 - 10	30.1	21.7	14.5	28.2	20.5	15.6
10 - 30	29.2	21.3	13.5	28.0	20.4	14.8
30 - 70	28.4	20.5	12.5	27.5	19.8	14.5

5) Soil pH, 토양(토층별) pH : 부록1 표6과 같다.

6) 토양중 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 함량, Total N 함량, Total carbon 함량 : 부록1 표7, 표8, 표9 및 표10과 같다.

7) 용탈수량

토양 용탈수량은 부록1 표11과 같다. 1996, 1997, 1998년 3개년 모두 이앙직후는 많았으며 시간이 경과하면서 감소되다가 생식생장기(7월20일경) 이후 크게 증가하는 양상을 나타내었다. 토양을 새로 충진한 1996, 1997년보다 1998년의 용탈량 증가가 특이하였으며, 또한 3년 모두 이앙 초기보다 생식생장기 이후의 용탈량 증가가 뚜렷하였다. 라이시미터 조건인 이 실험에서는 지하수위가 형성되지 않아 중력에 의한 용탈이 촉진되는 등 자연 논조건에서보다 토양 용탈수량이 다소 많았을 것으로 추정된다.

이선용(1995)은 우리나라 벼 재배방법별 관개용수량은 이앙재배시 838mm, 건답직파 998mm, 답수직파 1,263mm이며, 이앙재배시의 관개수량(838mm)은 (엽면증발량 500mm+수면증발량 300mm+지하삼투량 500mm+정지작업요구수량 120mm) - 유효강수량 582mm라고 보고한 바 있다. 또한 직파시의 지하삼투량은 800~845mm으로서 1일평균 지하삼투량은 이앙재배 5mm, 답수직파 5~6.5mm, 건답직파 8mm(초기 20일간은 1일 15mm) 정도라고 보고하였다.

8) 용탈수 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>농도(ppm) 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>함량(mg) : 부록1 표12, 표13과 같다.

용탈수중의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 농도는 1996년에는 초기에 10~15ppm에서 시간의 경과에 따라 감소하여 7월 이후에는 1~2ppm을 보였다. 1997년에는 생육초기에 1~2ppm 범위이었다가 생육진전에 따라 다소 증가하여 생육 후기에는 2~6ppm을 나타냈다. 1998년에는 분얼초기까지는 4.3~6.9ppm으로 다소 높았다가 분얼성기 이후 2.5~3.5ppm을 나타냈다.

용탈수중에 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 농도를 곱한 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 용탈량을 보면 기비, 분얼비 및 수비 모두 질소 시비 직후 급증하였으나 경우에 따라서는 질소 시비를 해도 질소용탈량이 뚜렷하게 증가하지

않는 경우도 있었다.

작물재배기간중의 질소 용탈량은 1996년은 0.333~0.370kg/10a이었고 1997년은 0.113~0.185kg/10a이었으며 1998년에는 0.814~1.524kg/10a이었다. 질소 용탈량은 용탈수의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 농도보다는 용탈수량에 의해 지배되는 것으로 나타났다. 유럽의 작물재배지에서는 시비된 질소의 26~30%인 연간 2.5~3kg/10a의 질소가 유실되며 미국 옥수수 밭에서는 공급된 질소비료의 10~34%인 연간 4~5.7kg/10a의 질소가 유실되는 것으로 보고되고 있다(최 등, 1995). Kafkafi(1997)는 토양의 질소 용탈량은 질소비료 무시용시 1.8kg/10a, 질소 시용량이 10a당 5, 10, 15kg 수준일 때는 큰 차이 없이 2kg/10a 내외이고, 시용량이 20kg/10a로 증가시 약 3kg/10a 이었다고 하였다.

이 실험에서 조사된 질소 용탈량은 외국에서 보고된 양보다 크게 낮았다. 한편 이 실험에서 얻어진 질소 용탈량을 시비된 질소질 비료량에 대비해 보면 때 1996년은 2.6~2.8%, 1997년은 0.9~1.4%, 용탈수량이 크게 증가한 1998년은 6.3~11.7%에 해당하였다.

9) 토양중 Organic-N, Urea-N, EC : 부록1 표14, 표15 및 표16과 같다.

#### 다. 작물체 조사 성적

##### 1) 벼의 생육 및 성분 분석

1996년부터 1998년까지 수도 재배기간 중의 작물체 생육조사 및 분석성적은 부록1 표17부터 표22까지와 같다. 초장과 분얼은 어느 해에나 질소 시비량에 비례하여 시비량이 많아지면 증가하였다. 정조수량은 질소 무비구(N0)의 경우 1997년이 300kg/10a, 1998년이 305kg/10a 이었으며 퇴비시용-무비구는 1996년이 400kg/10a, 1997년이 420kg/10a, 1998년이 410kg/10a이었다. 질소 표준구(N1)의 정조수량은 1996, 1997, 1998년이 각각 595kg, 602kg, 602kg/10a이었다. 관개수량은 3개년 모두 이양후부터 6월까지 감소하다가 7월중순 생식생장기 이후 크게 증가하는 것으로 나타났다.

초장, 분얼, 건물중 및 수량으로 본 수도의 생육은 전반적으로 정상이었으며 생육량은 질소 수준을 잘 나타내었다고 보여진다.

2) 수도 품종 추청벼의 P1, P5, G2, G3, G4를 조사한 결과는 다음과 같다.

○P1 (출아부터 등숙까지 일수, 9°C이상 생육일수의 GDD) : 2,048°C

○P5 (출수 3~4일후부터 생리적 성숙기까지의 일수중, 9°C이상 생육일수의 GDD) : 570°C

○G2 (이상조건에서 생육했을 때의 완전1립중) : 0.027

○G3 (이상조건하 IR64 대비 분얼계수) : 1.10

○G4 (온도저항계수) : 1.20

3) 천립중 : 22g, 모소질 : 130g

4) 이앙기 : 3년간의 이앙기는 각각 1996. 5. 24, 1997. 5. 26, 1998. 5. 25 이었다. 이앙 깊이는 3cm, 재식밀도는 주당 3묘, 라이시미터당(4,606cm<sup>2</sup>) 12주(=26주/1m<sup>2</sup>, 86주/평)이었다.

5) 시비 : 표준비는 N-P-K = 15-8-10kg/10a이었다. 분시비율은 N은 기비 : 분얼비(14DAT) : 수비(-24DBH) = 50 : 30 : 20%으로 사용하였고 P는 100% 기비로 사용하였으며 K는 기비 : 수비 = 70 : 30%로 사용하였다. N은 요소로, P는 용성인비로, K는 염화加里로 사용하였다.

○3년간의 시비시기는 다음과 같다.

비 료	시비시기	1996	1997	1998
N	기비	5.23	5.26	5.25
	분얼비(14DAT)	6.7	6.9	6.9
	수비(-24DBH)	7.24	7.28	7.28
P	기비 100%	5.23	5.26	5.25
K	기비	5.23	5.26	5.25
	수비(-24DBH)	7.20	7.28	7.28

6) N 흡수량 : 부록1 표17과 같다.

7) 관개수량 : 매일 기록된 관개수량은 별첨 부록1 표18과 같다. 담수심은 5cm를 유지하였으며 담수심이 2cm 정도로 낮아지면 관수하였다. 따라서 거의 매일 관수하였다.

8) 초장 및 주당분얼수 : 7일 간격, 3반복, 반복당 5주 조사하였으며 부록1 표19 및 표20과 같다.

9) 건물중(leaf, stem, root, 출수기 이후 이삭), LAI, 토층별 根長, 근중은 부록1 표21과 같다.

10) 주당수수, 주당입수, 천립중, 등숙율 및 收量은 부록1 표22와 같다.

11) 분얼기(시, 기, 종료기) : 1996년이 각각 6월7일, 7월19일, 9월6일이었고 1997년은 6월9일, 7월30일, 9월1일이었으며 1998년은 각각 6월15일, 7월6일, 9월7일이었다.

12) 유수형성기 : 1996년 7월24일, 1997년 7월26일, 1998년 7월29일이었다.

13) 출수기(시, 기, 수전기) : 1996년 8월17, 20, 23일, 1997년 8월16, 19, 22일, 1998년 8월19, 22, 25일이었다.

14) 수확기 : 1996년 10월10일, 1997년 10월11일, 1998년 10월7일이었다.

15) 파종부터 출수까지의 일수 : 1996년 113일(출수기 1996. 8. 20), 1997년 110일(출수기 1996. 8. 19), 1998년 110일(출수기 1998. 8. 22)이었다. 이앙부터 출수까지의 일수는 1996년

88일, 1997년 85일, 1998년 89일이었다. 파종부터 성숙까지의 일수는 1996년 164일, 1997년 163일, 1998년 156일이었다. 이앙부터 성숙까지의 일수는 1996년 139일, 1997년 138일, 1998년 135일이었다.

## 제 3 장 수도작 시비 현황과 문제점

### 1. 수도작 시비 현황

#### 가. 비료 사용량의 국제간 비교

우리 나라는 단위 면적당 비료 소비량이 세계 최고 수준이다. 다른 선진 외국처럼 우리나라도 비료 사용량을 차츰 줄이는 추세이기는 하나 아직도 높은 수준을 유지하고 있다. 우리나라의 ha당 시비량은 421kg(성분량 기준)으로서 네덜란드(555.0kg)를 제외하고는 세계에서 가장 높은 수준이다(표 2-1). 비료 사용량이 많다고 알려진 일본(326.8kg), 벨기에(365.8kg), 영국(379.8kg)보다도 높은 수준이다. 1980년만 하더라도 벨기에(596.0kg)와 네덜란드(775.1kg)는 우리나라에 비해 2배 이상 많은 비료를 사용하였으나 비료 사용량이 차츰 감소하고 있는 추세인데 비해 우리나라는 오히려 증가하였다가 최근에는 감소하는 추세를 보이고 있다.

우리 나라는 일본에 비해 단위 면적당 비료를 많이 사용하고 있다. 일본 토양은 우리나라 토양에 비해 유기물 함량이 높은 등 토양 조건이 다르기 때문이기도 하지만 환경에 대한 관심이 높아지면서 새로운 비료의 개발과 시비 방법을 개선함으로써 시비량을 줄일 수 있었다. 수도작 생산에 있어서도 우리나라는 일본에 비해 비료를 많이 사용하지만 특히 질소질 비료의 사용량이 매우 높은 수준이다. 일본은 질소 비료의 비율이 전체 시비량의 1/3 수준인데 비해 우리나라는 질소의 비중이 1/2을 초과하고 있다(표 2-2).

토양 특성에 따라 시비 기준이 다르지만 보통논에 대한 지도기관의 추천시비량은 10a당 N-P-K가 11-7-8kg인데 비해 농가 사용량은 15.9-6.3-7.6kg으로서 인산이나 칼리질 비료는 시비기준을 준수하고 있는데 비해 질소질 비료는 추천 시비량보다 44.5%나 과다 사용하고 있는 실정이다(표 2-3). 특히 채소류나 과일류의 경우는 비료의 과다 사용이 심각하다.

표 2-1. 주요 국별 비료 소비량

단위 : 성분 kg/ha

국 별	1980	1985	1990	1995	1997
네덜란드	775.1	765.3	586.6	555.0 <sup>1</sup>	-
덴 마 크	236.3	236.3	246.2	205.4 <sup>1</sup>	-
미 국	110.6	93.7	97.0	102.7 <sup>1</sup>	-
벨 기 에	596.0	562.8	494.2	365.8 <sup>1</sup>	-
영 국	293.6	357.6	355.9	379.8 <sup>1</sup>	-
일 본	372.1	430.4	344.0	334.2	326.8 <sup>2</sup>
캐 나 다	50.2	57.1	49.8	54.0	-
프 랑 스	297.2	296.0	296.1	268.0	-
한 국	285.0	311.0	458.0	434.0	421.0

자료 : 농림부, 1998. 농림업 주요통계.

일본 농림통계협회, 1998. 비료요람.

FAO, 1997. Production Yearbook.

FAO, 1996. Fertilizer Yearbook.

OECD, 1997. OECE Environmental Data: Compendium.

<sup>1</sup> 1994년

<sup>2</sup> 1996년

표 2-2. 우리 나라와 일본의 시비량 비교

단위 : 성분량 kg/10a

연 도	한 국				일 본			
	질 소	인 산	칼 리	계	질 소	인 산	칼 리	계
1991	15.6	6.7	7.7	30.0	9.3	9.9	8.4	27.6
1992	15.5	6.5	7.6	29.6	9.9	9.8	8.5	28.2
1993	15.9	6.5	8.1	30.5	8.9	9.4	8.0	26.3
1994	16.0	6.5	7.7	30.2	9.0	9.6	8.4	27.0
1995	15.9	6.3	7.7	29.9	8.7	10.0	8.2	26.9
1996	15.9	6.3	7.6	29.8	8.7	10.3	8.1	27.1

자료 : 농림부, 「농산물 생산비 통계」, 각 연도.

일본 농림통계협회, 「비료요람」, 1998.



표 2-3. 수도작 시비기준

단위 : 성분량 kg/10a

구분	토양특성	기 비			추 비			계			비 고
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
일반계	○ 평야지, 중간지 보통논, 미숙논 - 1모작	5.5	7.0	5.6	5.5 (2.2)	0	2.4 (2.4)	11.0 (2.2)	7.0	8.0 (2.4)	토양인산함량 100ppm 이하
		7.7	7.0	5.6	3.3 (2.2)	0	2.4 (2.4)	11.0 (2.2)	7.0	8.0 (2.4)	
	○ 모래논, 고논	6.5	8.0	7.0	6.5	0	3.0	13.0	8.0	10.0	
	○ 중산간지, 냉조풍지	6.5	10.0	7.7	4.4	0	3.3	11.0	10.0	11.0	
	○ 산간고냉지	8.8	12.0	9.1	2.2	0	3.9	11.0	12.0	13.0	
	○ 염해지	4.0	8.0	3.2	16.0	0	4.8	20.0	8.0	8.0	
	다수계	○ 보통논, 미숙논	7.5	9.0	7.7	7.5	0	3.3	15.0	9.0	
일반계	○ 보통논, 미숙논 - 1모작	5.5	3.0	5.6	5.5 (2.2)	0	2.4 (2.4)	11.0 (2.2)	3.0	8.0 (2.4)	토양인산함량 100ppm 이상
		7.7	3.3	5.6	3.3 (2.2)	0	2.4 (2.4)	11.0 (2.2)	3.0	8.0 (2.4)	

자료 : 한국비료공업협회, 1998. 「비료연감」.  
주 : ( )내는 이삭거름 시비기준임.

쌀 생산비 중 무기질 비료비의 비중은 낮다. 1997년의 쌀 생산비 중 비료비 비중은 2.6%에 불과하며 경영비중 비료비 비중은 5.2%이다(표 2-4). 1970년 초반까지만 하더라도 쌀 생산비 중 비료비 비중은 5%에 이르렀으나 쌀 가격에 비해 비료 가격 상승률이 상대적으로 낮아지면서 비료비의 비중은 2%대에 머물게 되었다. 그 반면 비료의 증수기여도는 매우 높은 것으로 평가되고 있다. 1970년대와 '80년대의 녹색혁명은 비료 반응이 높은 새로운 품종의 개발과 비료의 공급 증대에 의해 달성된 것이라고 해도 과언이 아니다.

표 2-4. 쌀 생산비 중 무기질 비료비 비중

단위 : 원/10a

연 도	쌀 생산비(A)	무기질 비료비(B)	B/A(%)
1970	17,160	839	4.9
1975	53,291	2,581	4.8
1980	143,752	5,981	4.2
1985	252,140	11,386	4.5
1990	385,851	10,345	2.7
1995	411,975	11,118	2.7
1997	458,240	11,975	2.6

자료 : 농림부, 「농산물생산비통계」, 각 년도

비료의 증수 효과는 높은데 비해 가격이 낮다는 사실은 비료의 가격탄력성이 낮다는 추정 결과에 의해 잘 반영되고 있다. 일반적으로 인산질 비료의 가격탄력성은 -0.3 정도이며, 질소질 비료는 -0.1~-0.2 정도인 것으로 알려져 있다. 이러한 사실로 미루어 볼 때 비료 가격이 올라간다고 해서 사용량이 쉽게 줄지는 않을 것으로 예상된다. 따라서 비료 사용량이 과다할 경우 이를 줄이기 위하여 가격정책을 채용하는 데는 한계가 있다는 것을 시사한다.

한편 화학비료에 대한 정부보조는 비료가격을 더욱 낮추는 요인이 된다. 1989년부터 농민에게 공급하는 비료, 농약, 농기구에 대해서는 부가가치세를 면제하는 영세율을 적용함으로써 대농민 영농자재 판매가격을 낮추고 있다. 1998년의 경우 화학비료에 대한 보조액은 대농민 판매가격과 판매원가 간의 차액인 1,308억원으로 파악되고 있다. 이 중 77억원은 농협이 자체적으로 흡수하고 나머지 1,065억원은 재정에서 보전되었다. 차손액의 대부분은 비료계정 차입금 누적에 따른 지급 이자의 과다에 의해 발생된 것이다.<sup>1)</sup> 화학비료의 대농민 판매가격은 판매원가의 72.5% 수준으로 평균 보조율은 27.5%에 달한다.

## 2. 비료 시용의 문제점

### 가. 비료에 의한 환경오염 경로

화학비료의 환경오염경로는 <그림 2-1>과 같다. 작토층에 살포된 비료의 일부는 작물에 흡수되어 농작물 생산에 이용되고, 나머지는 토양에 체류하거나 자연환경에 유실된다. 질소질 비료가 자연환경에 유실되는 경로는 세 가지로 나누어 생각할 수 있다.

1) 1997년말의 비료계정 적자 누적액은 1조 4,849억원에 달하며 한국은행 및 농협차입금에 대한 지급이자만도 연간 1,200억원을 초과함.

첫째, 질소원자, 또는 질소분자의 형태로 공중에 비산되어 오존층 파괴를 유발하는 것으로서 아직까지는 심각한 피해를 주고 있지 않다.

둘째, 비료성분이 표면수에 녹아 지표수를 오염시키는 현상으로 하천, 호수 및 저수지의 부영양화를 촉진시켜 수질을 오염시킨다.

셋째, 비료 성분이 중력수 또는 지하 침투수에 용해되어 지하수를 오염시켜 오염된 지하수를 사람이나 가축이 마시면 여러 가지 질병이 유발된다.

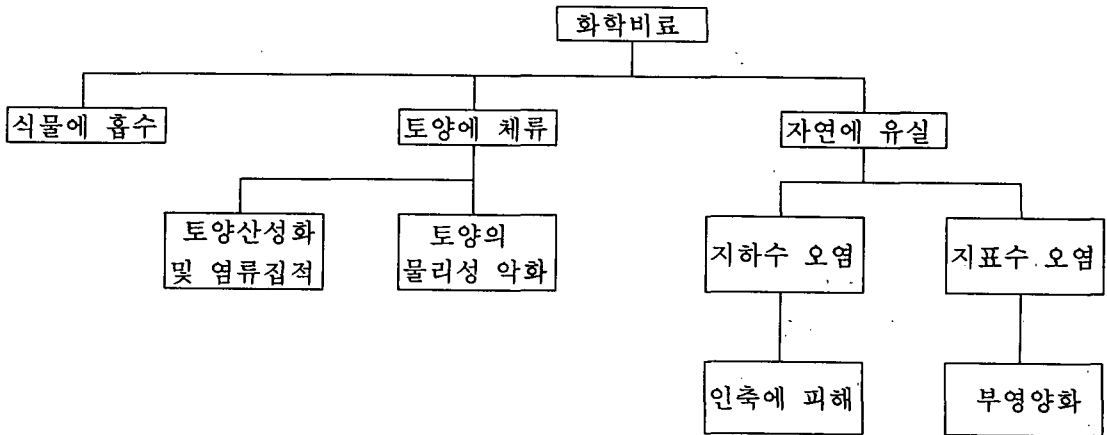


그림 2-1. 비료사용에 의한 피해경로

자료 : 오세익 외, 1997. 「환경보전형 농업 발전을 위한 정책과제」, 연구보고 R361.  
한국농촌경제연구원.

#### 나. 수질오염

우리 나라의 연간 물 이용량은 312억톤으로 생활용수 67억톤(22.0%), 공업용수 32억톤(10.0%), 농업용수 148억톤(47.0%), 유지용수 66억톤(21.0%)이다. 지하수 이용량은 총 28.6억톤으로서 전체 물 이용량의 9.2%를 차지한다. 용도별 지하수 이용량(총 이용량 중 비율)은 생활용수 14.7억톤(21.9%), 공업용수 2.1억톤(6.7%), 농업용수 11.2억톤(7.5%), 유지용수 0.7억톤(1.0%)이다.

농업용 화학비료 사용에 의해 파생되는 문제점 중 가장 흔히 나타날 수 있는 문제점으로써 수질 오염을 들 수 있다. 수질 오염은 크게 지하수 오염과 지표수 오염에 의한 하천 및 호소의 오염으로 구분한다. 우리 나라의 경우 도시 지역에서는 지하수를 식수로 사용하는 경우가 흔치 않으나 농촌 지역에서는 지하수를 식수로 사용하는 경우가 빈번하고 따라서 화학비료 사용에 따른 지하수의 오염을 방지하기 위한 대책이 필요하다. 사양토 논인 경우 1ha당 생육기간중 지하로 침투되는 물의 양은 6,000~7,000톤 정도인 것으로 파악되고 있으며 질소질 비료를 시용할 경우 NO<sub>3</sub>-N(질산태 질소)의 용탈이 일반적인 형태이다. 논에 시

용된 퇴비나 화학 비료는 NH<sub>4</sub>-N(암모니아태 질소) 또는 NO<sub>3</sub>-N(질산태 질소) 형태로 물에 녹아 있다가 강우 또는 관개시 하천으로 유출되며 생육기간중 1ha당 1,500~2,000톤의 물이 유출되는 것으로 알려져 있다.

우리 나라는 전국적인 수질오염 상태를 파악하기 위하여 수질오염 측정망을 운영하고 있으며 1993년 1,348개소에서 1998년 1,540개 조사지점으로 확충하였다. 물 이용 목적에 따라 하천수, 호소수, 상수원수, 농업용수, 공단배수, 도시관류 등으로 분류하고 측정횟수도 연2회~48회로 차등을 두고 있다. 농업용수는 전국의 149개 측정지점에서 연 2회 측정한다.

환경기준 I등급으로 정해져 있는 호소의 연평균 총질소(T-N) 농도는 0.9~1.8mg/l로 대부분 수질환경기준 V등급에 속하거나 등급을 초과하고 있으며, 총인(T-P)은 II등급에 속하는 것이 대부분이다. 우리 나라의 호소는 부영양화가 심각하며 인산보다는 질소 오염이 더 큰 문제가 되고 있다. 이는 축산시설 등 농업에 의한 비점오염이 주된 원인인 것으로 알려져 있다.

1997년 전국 161개소(농업용수원 175개 지점)를 대상으로 수질오염 현황을 조사한 결과 24개소(전체의 14.9%)가 오염이 심한 것으로 나타났다. 주된 오염원은 생활하수, 축산폐수, 산업폐수로 나타났으며 이 중 생활하수에 의한 오염이 67.7%를 차지하며 축산폐수에 의한 오염은 24.2%였다. 총질소(T-N) 농도 기준을 초과한 농업용수원은 33개소였으며 담수호 7개소중 5개소가 기준치를 초과하였으며 저수지의 질소 오염도 심각하였다(표 2-5).

표 2-5. 시설별 항목별 농업용수 수질기준 초과 현황

단위 : 개소

시 설	대상 시설	pH 초과	EC 초과	SS 초과	DO 초과	BOD 초과	COD 초과	T-N 초과	T-P 초과	Cl <sup>-</sup> 초과	Pb 초과	Cu 초과	Cd 초과
계	161	72	5	56	3	10	65	33	22	8	0	0	0
담수호	7	5	3	6	3	0	7	5	5	5	0	0	0
저수지	130	63	0	0	0	0	58	28	17	0	0	0	0
양수장	16	2	1	0	2	7	0	0	0	2	0	0	0
보	8	2	1	0	1	3	0	0	0	1	0	0	0

자료 : 농림부, 1998. 「'97 농업용수 수질조사 보고서」.

#### 다. 토양오염

화학비료는 작물에 필요한 양분을 보충해 주어 농업생산성을 향상시키는 반면 과용하게 되면 염류집적, 토양산성화를 촉진시켜 지력을 저하시킨다. 우리 나라 농경지는 pH 5.7, 유기물

합량 2.3%, 유효인산 107, 칼리 0.27, 석회 3.8, 마그네슘 1.4로 권장치<sup>2)</sup>에 미달되고 있다. 질소 비료를 과다 시용할 경우 식물체에 흡수되고 난 나머지는 지하로 침투, 표면수를 통해 유실, 공기중에 휘산되며 일부는 토양중에 축적되어 다음 경작기에 이용되거나 2차적인 오염을 유발하는 요인으로 작용한다. 작토층에 체류하는 비료성분은 농축되어 염류집적 현상을 유발하며, 토양유기물의 C/N율(탄소/질소 비율)을 제고시킴으로써 유기물의 분해를 촉진시킨다. 이와 같이 염류집적 및 토양유기물의 감소는 토양의 물리적 성분을 악화시켜, 토양의 산성화와 작물의 생산성을 감소시키게 된다. 이러한 이유 때문에 미국이나 유럽의 경우 시비 지도를 함에 있어서 윤작하는 작물의 종류에 따라 시비처방을 달리하는 것을 볼 수 있다.

### 3. 수도작 농가의 시비 행태와 문제점

#### 가. 조사 개요

##### 1) 면접조사 및 통신원조사

##### 가) 면접조사

- 조사기간 : 1997. 7
- 조사내용 : 농민의 시비실태와 농촌의 환경오염 실태를 파악하기 위해 농민의 환경의식, 환경오염원, 오염된 곳, 논 토양정밀검사여부, 지도소의 추천시비량, 비료사용량 제한에 따른 농민의 반응 등
- 조사 농가수(314농가) : 경기(40),충북(41), 충남(92), 전북(48), 전남(39), 경북(54)

##### 나) 통신원조사

- 조사기간 : '98. 7. 29 ~ 8. 25
- 조사 농가수 : 한국농촌경제연구원의 통신원중 수도작을 경영하는 1,220 농가중에서 800 농가를 무작위 선정하여 우편조사를 실시한 결과 354농가(44.3%)의 조사표가 회수되었다.
- 조사내용 : 쌀 수확량에 영향을 미치는 요인, 질소질 비료와 수확량과 관계, 시비량 수준, 지도소 추천 시비량, 비료 가격변화와 비료사용량과의 관계 등

#### 나. 농가의 시비 행태

##### 1) 비료에 대한 농민의 의식 및 시비 행태(통신원 조사 결과)

- 쌀 수확량에 영향을 미친다고 생각하는 우선 순위는 ① 기후(26.6%) ② 비료

2) ph 6.5, OM 2.5, 유효인산 100, 칼리 0.5, 석회 5.0, 마그네슘 2.0

(16.9%) ③ 병충해(16.4%) ④ 토양(1.1%)

- 농민들은 쌀 생산에 영향을 미치는 요인중 기후를 가장 중요한 것으로 인식하고 있으며 생산자 스스로가 조절할 수 있는 요인으로서 비료를 가장 중요하게 고려하고 있다.
- 질소비료 시비량과 수확량과의 관계는 ① 크다(78.0%) ② 없다(10.2%) ③ 약간 있다(10.2%)
  - 특히 질소질 비료 투입량과 수확량은 비료 반응 시험에서도 확인된 바와 같이 농민들도 매우 연관성이 높은 것으로 인식하고 있다.
- 화학비료 시비 형태 ① 밀거름(2.8%) ② 밀거름+가지거름(15.5%) ③ 밀거름+가지거름+이삭거름(48.0%) ④ 밀거름+가지거름+이삭거름+알거름(6.2%) ⑤ 밀거름+이삭거름(2.3%) ⑥ 가지거름(4.8%) ⑦ 가지거름+이삭거름(9.9%) ⑧ 가지거름+이삭거름+알거름(2.0%) ⑨ 무응답(8.5%)
  - 절반 정도의 농가는 밀거름 사용후 추비로서 가지거름, 이삭거름으로 2회 분시하고 있는 것으로 조사되었다. 밀거름을 주지 않는 농가도 17% 가량인 것으로 나타났다.
- 농가 시비량은 5년 전에 비해 ① 비슷하다(66.4%) ② 많다(20.9%) ③ 적다(10.5%)
  - 수도작 농가의 시비량은 5년 전에 비해 비슷하거나 많다는 의견이 지배적이었다. 이는 퇴비 사용량의 감소 추세와 무관하지 않은 것으로 보인다.
- 앞으로 화학비료 시비량은 ① 현재대로(55.1%) ② 줄일 계획(32.5%) ③ 늘릴 계획(4.2%) ④ 생각해 본 적 없다(7.3%)
  - 앞으로의 화학비료 시비량은 현재와 비슷한 수준으로 하든가 줄인다는 의견이 대부분을 차지하였다.
- 지도소의 추천시비량은 ① 적정하다(24.6%) ② 적다(47.5%) ③ 많다(7.3%)
  - 많은 농민들이 지도소의 추천 시비량을 적다고 인식하고 있었다. 지도소의 추천시비량은 안전 생산을 위한 기준이라고 할 때 농민들의 반응은 비료 투입량 조사에서 나타난 결과와 일치한다.

- 현재 사용하는 시비량이 지도소 추천량에 비해 ① 많다(37.0%) ② 적정하다(31.1%) ③ 적다(12.1%)
  - 앞의 질문과 연관해 볼 때 지도소의 추천시비량이 적다고 대답한 농민이 47.5%인데 비해 실제로 지도소의 추천시비량보다 많이 투입하는 농가 비율이 37.0%인 것은 기후 조건에 따라 시비량을 조절하는 농가가 많이 있기 때문인 것으로 해석된다.
  
- 화학비료(예를 들면 복합비료) 가격이 50% 인상될 경우 시비량 수준은 ① 현수준 유지(48.6%) ② 5% 감소(17.5%) ③ 10% 감소(17.2%) ④ 20~30% 감소(11.0%) ⑤ 50% 감소(4.5%) ⑥ 무응답(1.2%)
  - 화학비료 가격이 50% 인상될 때 절반 정도의 농가는 현재의 수준을 유지할 것이라고 대답하였고 20% 이상 감소하겠다고 대답한 농가는 15% 정도인 것으로 나타났다.
  - 농가의 반응을 종합할 때 비료가격 50% 인상시 시비량을 평균 7.5% 감소할 것으로 예상된다.
  
- 비료 가격이 100% 인상될 경우 시비량 수준은 ① 현수준 유지(23.7%) ② 5% 감소(9.3%) ③ 10% 감소(13.8%) ④ 20~30% 감소(20.6%) ⑤ 50% 감소(5.7%) ⑥ 무응답(26.9%)
  - 비료 가격을 배로 올리더라도 50% 이상 감소하겠다는 농가는 5.7%에 불과하고 평균적으로 시비량을 15% 가량 감소하겠다고 대답하였다.
  - 위의 질문과 연계할 때 화학비료의 가격탄력성은 -0.15 정도인 것으로 조사되었다.
  
- 만일 화학비료 사용량을 현재의 사용량보다 적게 사용하도록 강제로 규제한다면 ① 규정량만큼만 사용하고 퇴비나 유기질 사용량을 늘린다(45.8%) ② 퇴비나 유기질 사용량은 현재대로 하고 화학비료 사용량을 규정대로 줄인다(25.4%) ③ 어떻게 해서라도 현재 사용량을 확보할 수밖에 없다(27.4%)
  - 정부에서 화학비료 사용량을 강제적으로 규제할 경우 퇴비나 유기질 비료를 통해 부족량을 채우겠다는 대답이 45.8%, 불법적이지만 현재의 사용량을 유지하겠다는 대답이 27.4%로 나타남으로써 현재의 시비량을 유지하겠다는 대답이 전체의 3/4을 차지하여 환경친화적 시비 정책의 어려움을 시사하고 있다.
  
- 퇴비 사용여부 ① 해마다(24.6%) ② 가끔씩 (37.7%) ③ 사용 않음(31.6%) ④ 무응답(6.1%)

- 해마다 퇴비를 사용하고 있는 농가는 전체의 1/4에 지나지 않고 사용하지 않는다는 농가도 1/3 가량 되었다.
- 가끔씩이나마 퇴비를 정기적으로 투입하고 있는 농가는 전체의 60% 정도로서 농민들은 퇴비 사용의 중요성을 인식하고 있었다.

○ 10a 당 퇴비 사용량은? 1,004kg

○ 볏짚 사용은 ① 해마다 100%(24.0%) ② 해마다 50%(25.2%) ③ 가끔씩(28.8%) ④ 사용 않음(22.0%)

- 퇴비 사용 농가가 감소하는 대신 가끔씩이나마 볏짚을 사용하는 농가는 전체의 80% 가량으로서 과거에 비해 크게 증가하였다.
- 해마다 볏짚의 100%를 환원하는 농가도 24%나 되었다.

○ 눈에 사용하고 있는 화학비료로 인해 환경이 오염된다고 생각하는가 ① 그렇다(36.7%) ② 아니다(10.2%)

- 상당한 농가들은 화학비료가 환경오염의 원인이 된다는 점을 인식하고 있었다.

○ 식수원은? ① 수돗물(18.1%) ② 자체 우물(54.5%) ③ 공동 우물(12.7%) ④ 약수(1.7%) ⑤ 구입 생수(0.6%) ⑥ 기타 (12.4%)

- 전에 농가의 2/3 정도가 우물을 통해 식수를 해결하고 있는 것으로 조사되어 아직도 우물은 농촌의 중요한 식수원임을 확인할 수 있었다.

○ 식수에 문제가 있는 경우 ① 다른 식수원 이용(28.2%) ② 위생 처리(46.1%) ③ 식수원 개선(17.2%) ④ 기타(2.0%) ⑤ 무응답(6.5%)

- 식수원에 문제가 발생할 경우 위생처리 등 어떤 형태든 비용을 투입하여 개선하겠다는 농가가 대부분이었다. 이는 환경오염이 발생할 가능성이 있는 경우 사전에 오염을 방지하기 위한 비용을 지불할 의사가 있음을 시사하는 것이다.

#### 다. 시비 행태의 문제점과 개선 방안

우리 나라 농가의 시비 행태에 대한 문제점으로써 가장 먼저 지적할 수 있는 것은 화학비료 의존도가 높다는 것이며 권장 시비량에 비해 많은 비료를 사용하고 있다는 것이다. 또한 농가는 토양조사에 근거를 두어 시비하지 않고 과거의 경험에 의해 시비함으로써 토양중 비



료 성분이 축적되어 토양을 산성화시키거나 지하로 용탈되어 지하수를 오염시키고 있다. 농민들의 이러한 시비관행은 화학비료 과용이 환경에 미치는 부하를 생각하지 않을 뿐만 아니라 화학비료의 가격이 비료의 효과에 비해 상대적으로 저렴하기 때문이다. 쌀가격에 대한 비료가격의 비율은 '80년 이후 계속 낮아지고 있으며 생산비 중 화학비료의 비중은 2.7%(경영비 비중 5.6%)에 불과하다.

다음으로는 농민들이 전통적인 시비 관행을 버리지 않고 있다는 점이다. 경험에 의해 시비량을 결정하는 농민의 비율이 57.4%이고, 과거의 시비량을 계속해서 지키는 농민이 20.2%, 지도기관의 추천 시비량에 따라 시비하는 농민의 비율이 12.5%, 환경영향을 고려해서 시비한다는 농민은 2.6%에 불과하다.

과학적인 시비를 위하여 토양검증을 한번이라도 실시한 농가 36%, 그 중 시비 추천량을 준수한 농가는 37%로 과학적인 시비를 하는 농가는 전체의 13%에 불과하다. 대부분의 농가가 과거의 다수확 위주 시비 기준을 아직도 버리지 않고 있다.

## 제 4 장 환경보전형 적정 시비모델 개발

### 1. 적정 시비 모델

#### 가. 적정 시비의 개념

적정(optimum) 시비수준을 한마디로 정의하기는 어렵지만 다음과 같은 세 가지 기준을 제시할 수 있다. 먼저 비료 투입량을 증가시켜도 더 이상 수량이 증가되지 않는 수준의 시비량으로 정의할 수 있다. 즉 비료의 한계생산(MPP<sub>N</sub>)이 정(+)에서 0으로 바뀌는 시비 수준을 말한다. 이를 그림으로 나타내면 <그림 3-1>과 같다. 이러한 개념의 적정 시비량은 흔히 자연과학적 실험 결과에 따라 가장 높은 수량을 나타내는 시비 수준으로 표현된다. 이러한 시비량은 작물의 수량을 극대화시키기는 하지만 개별 농가의 이윤이나 비료에 의한 환경오염은 고려하지 않기 때문에 농가 경영적 입장에서나 국가 차원의 시비 기준으로서 채택하는데 한계가 있다.

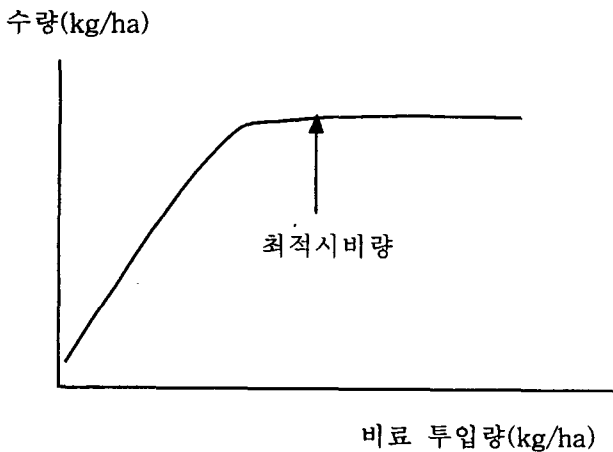


그림 3-1. 수량극대화 최적 시비수준

다른 개념의 적정 시비량으로서 단위 면적당 이윤을 극대화시키는 시비 수준을 제시할 수 있다. 농가의 경영목표는 여러 가지 자원을 결합하여 최대 이익을 실현하는데 있다. 비료를 추가로 투입하여 생산량을 늘리더라도 증가된 생산물의 가치가 추가로 투입된 자원의 비용보다도 작다면 농가로서는 그러한 영농방법을 채택하지 않을 것이다. 경제이론에 의하면 비료의 한계가치생산(marginal value product, MVP<sub>N</sub>)이 비료의 한계요소비용(marginal factor cost)과 같아질 때까지 비료 투입을 증가시킴으로써 이윤을 극대화할 수 있음 제시한다. 즉,

완전경쟁시장에서 추가로 투입하는 비료 1단위의 가격과 비료 1단위 투입에 의해 추가로 생산되는 생산물의 가치가 같아지는 수준에서 비료를 투입한다면 농가는 가장 높은 이윤을 올릴 수 있다. 이처럼 농가가 이윤을 극대화시키기 위해서는 비료의 투입과 생산량과의 관계뿐만 아니라 비료 가격과 농산물의 가격을 동시에 감안하지 않으면 안될 것이다. 비교 시점에 비해 비료 가격이 상대적으로 하락한다면 비료 투입량을 더욱 늘림으로써 이윤을 증대시킬 수 있을 것이고, 만약 생산물의 가격이 상대적으로 하락할 경우 비료 투입량을 감소시킴으로써 최대 이윤을 확보할 수 있게 된다. 이 때 농가는 비료 사용에 의해 발생하는 오염에 대해서는 고려하지 않을 것이다.

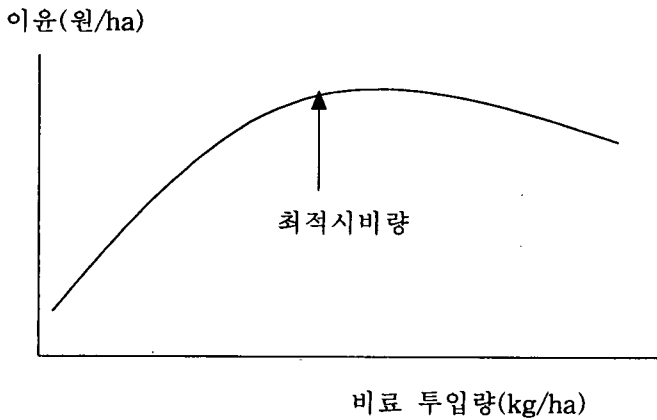


그림 3-2. 농가 이윤 극대화 최적 시비수준

마지막으로 사회적 후생을 극대화 시켜주는 시비 수준을 적정 시비량이라고 정의할 수 있을 것이다. 비료를 과다하게 투입함으로써 환경오염을 유발할 경우 농가 입장에서는 이를 비용으로 간주하지 않지만 사회 전체로서는 국민들의 삶의 질이 떨어지는 결과가 초래된다. 따라서 사회 전체적으로는 적절한 방법에 의해 비료 사용량을 감소시킴으로써 삶의 질을 높일 수 있을 것이다. 이처럼 사회적 후생(welfare)을 극대화시키는 시비 수준을 찾을 수 있다면 이를 적정 시비수준이라고 할 수 있다. 이를 찾기 위해서는 비료와 생산량과의 관계뿐만 아니라 비료와 농산물의 가격, 비료에 의한 환경오염의 정도와 환경오염이 사회에 미치는 온갖 효과를 감안해야만 한다.

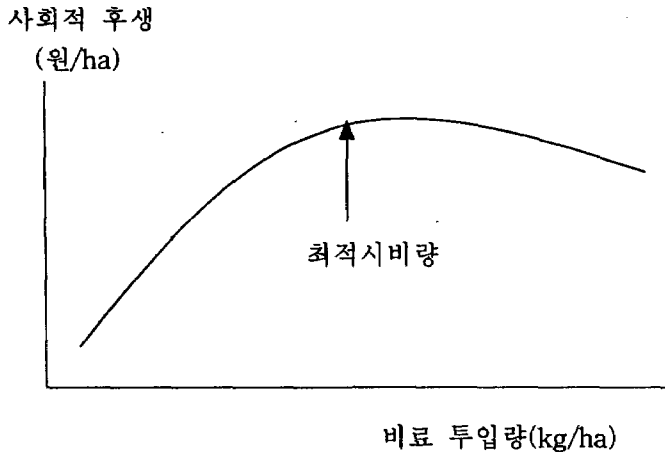


그림 3-3. 사회적 후생 극대화 최적 시비 수준

#### 나. 적정 시비수준 결정을 위한 자료

- 수도 생육 시험에 의한 적정시비수준
  - 단국대의 실험자료를 이용하여 적정 시비수준 결정
- 통계적 기법에 의한 적정시비수준
  - 농진청에서 실시한 질소 시비량에 따른 수량 시험자료를 이용하여 수량반응함수를 추정하여 적정 시비수준 결정
  - 시험내용 : 수확량, 토양의 화학성(pH, OM, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>)
  - 처리방법 : 7개도×2개토양×5개시비수준×3반복=240개 표본(보통논)
- 환경오염을 고려한 적정시비수준
  - 농산물 및 비료 가격 자료, 농진청의 시험 자료를 기초로 추정한 수량반응함수, CERES모형을 이용하여 추정한 비료 오염함수 추정 결과를 결합
  - 오염함수는 CERES 모델과 농촌진흥청의 시험 결과를 바탕으로 추정
  - 오염에 의한 사회적 비용은 표준 정화시설 운영비용 추정을 통해 도출

## 2. 적정 시비 추정 모형 및 추정 결과

### 가. 적정 시비 추정 모형

#### 1) 작물생육모형(CERES)에 의한 최적 시비수준 결정

수도 생육시뮬레이션 모델을 이용하여 시비량, 시비시기, 관개량 및 관개시기 등을 변화시키는 실험을 통하여 각 영농관리에 따른 벼 수량, 비용, 질산염 배출량 등을 감안하여 최적 시비 수준을 결정한다. 이 방법은 개별 농가가 처한 특별한 환경 조건과 영농관리하에서 최적 시비량

을 결정함으로써 매우 유용하게 활용될 수 있으나 모델의 특성상 개별 농가의 특수 상황을 모두 반영할 수 있을 만큼 모델을 신뢰할 수 있는가가 먼저 검토되어야 할 것이다.

2) 통계적 기법을 통한 최적시비수준 결정

○ 생산함수를 이용한 수량 극대화 시비 수준 결정

- 생산함수 :  $Y = f(N, W)$

$$Y = a + b_1N + b_2W + b_3NW + b_4W^2 + b_5W^2 \text{ (Quadratic)}$$

$$Y = a + b_1N + b_2W + b_3N^{1/2} + b_4W^{1/2} + b_5N^{1/2}W^{1/2} \text{ (Square-Root)}$$

단, Y : 생산량(조곡 kg/10a)

N : 질소질 시비량 (성분량 kg/10a)

W : 기타 투입량

a, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub>, b<sub>5</sub> : 파라메타

○ 생산함수, 이윤함수, 비료가격, 농산물가격을 이용하여 비료의 한계가치생산이 비료의 한계요소비용과 일치(MVP=MFC)하도록 하는 이윤 극대화 시비 수준을 결정

- 생산함수 :  $Y = f(N, W)$

- 이윤함수 :  $\max \Pi = P_y \cdot f(N, W) - r_N \cdot N - r_W \cdot W$

$$\rightarrow P_y \cdot f_i = r_i$$

단,  $\Pi$  : 이윤

N : 질소 시비량

W : 질소비료 이외의 생산요소

$P_y$  : 농산물 (쌀) 가격

$f_i$  : i요소의 한계생산

$r_w, r_N, r_i$  : 질소비료 이외의 생산요소, 질소 및 생산요소 i의 가격

3) 환경오염을 고려한 방법

지금까지의 시비관행은 화학물질의 과도한 사용을 유발하여 환경을 오염시킬 뿐만 아니라, 환경오염에 따른 사회적 비용을 야기하여 자원의 최적배분을 저해한다. 따라서 환경오염을 고려한 최적 시비 수준은 시비로 인한 사회적 비용을 내부화해야 할 것이다. 이러한 시비 행태는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\max \Pi = P_y \cdot f(N, W) - r_W \cdot W - r_N \cdot N - C_S \cdot g(N, W)$$

$$\rightarrow P_y \cdot f_i = r_i + C_S \cdot g_i$$

- 여기서  $N$  : 질소 시비량
- $W$  : 질소외의 생산요소
- $P_y$  : 농산물 (쌀) 가격
- $r_w, r_N, r_i$  : 질소질 이외의 생산요소, 질소 및 생산요소  $i$ 의 가격
- $g(N,W)$  : 오염배출 함수
- $C_s$  : 유실된 비료가 환경에 미치는 사회적 비용
- $f_i$  :  $i$ 요소의 한계생산
- $g_i$  :  $i$ 요소의 한계오염

나. 적정 시비 추정 결과

1) CERES 모델에 의한 결과

시물레이션에 의한 연도별 시비수준별 질소질 비료의 수지(식물체, 토양중)는 <표 3-1>과 같다. '98년의 경우 식물체가 흡수한 질소질 비료 성분중 곡물 생산량에 이용된 양은 ha당 무비구 95.5kg, 반비구 129.3kg, 보비구 161.9kg, 1.5비구 175.8kg, 배비구 208.2kg으로서 비료 투입량이 많을수록 질소질 비료의 이용량이 높게 나타났으며 수확된 곡물중 질소질 함량도 증가하였다. 식물체에 흡수되지 못하고 용탈되는 질소질 비료의 함량은 '96년의 경우 ha당 무비구 6.47kg, 반비구 6.57kg, 보비구 6.65kg으로 시비 수준별로 큰 차이를 나타내고 있지 않지만, '97년과 '98년에는 시비량이 많을수록 질소질비료의 누출량이 많은 것으로 나타났다.

질소질 비료가 토양에 가장 많이 누출되는 시기는 유수형성기를 전후한 한달 정도로서 식물체에 흡수되는 양보다는 토양중에 누출되는 질소질 비료의 함량이 더욱 많다. 식물체가 질소질 비료의 부족으로 인한 스트레스를 많이 받는 기간은 유수분화기, 출수기, 그리고 생육말기로서 토양 성분을 고려한 시비 시기의 조절이 필요한 것으로 분석되었다.

표 3-1. 시비수준별 질소이용량 및 용탈량 변화

단위 : kg/ha

시비 수준	96년				98년			
	이용량	곡물	식물체	용탈량	이용량	곡물	식물체	용탈량
0.0N	110.6	69.6	41.0	6.47	95.5	47.9	47.6	7.59
0.5N	131.5	74.1	57.4	6.57	129.3	66.3	63.0	9.99
1.0N	155.6	73.5	82.2	6.65	161.9	74.4	87.5	12.19
1.5N	-	-	-	-	175.8	75.6	100.2	14.11
2.0N	-	-	-	-	208.2	73.6	134.6	16.43

2) 통계적 기법에 의한 적정 시비수준

수도의 적정시비 수준 및 환경오염방지정책에 대한 사회적 비용을 산출하기 위하여 수도의 수량반응함수를 계측하였다. 종속변수는 수도의 조곡 수량 (kg/10a), 독립변수는 질소질 비료 시비량(성분량 kg/10a)과 토양중 유기물 함량(%)으로 하였다. 계측모델은 Quadratic(Q-D) 및 Square-Root(S-R)의 두 가지를 택하였으며 1984년 농촌진흥청이 제주도를 제외한 전국 8개 도에서 보통답을 대상으로 질소비료 시비량에 따른 수도 수량 시험자료를 이용하였다. 질소질 비료 시비량은 5수준 (0, 10, 15, 20kg/10a 및 토양검정 결과 추천량)이며 처리는 2 수준(농토배양 및 관행)이었다.

수량반응함수 추정 결과는 다음과 같다. 먼저 Quadratic함수에 의한 추정결과는 다음과 같다.

$$Y = 388.72 + 25.200N + 58.047M - 0.547N^2 - 2.924M - 3.110NM + 23.321D$$

(117.7)    (3.993)    (85.02)    (0.097)    (15.57)    (1.314)    (8.266)

n = 240, Adj-R<sup>2</sup> = 0.4284

Square-Root함수에 의한 추정결과는 다음과 같다.

$$Y = 218.96 - 7.487N - 25.725M + 129.35N^{1/2} + 226.97M^{1/2} - 41.506N^{1/2}M^{1/2} + 23.761D$$

(413.6)    (2.604)    (155.3)    (31.89)    (504.7)    (18.32)    (8.287)

n = 240, Adj-R<sup>2</sup> = 0.4254

단, Y : 생산량(조곡 kg/10a)  
 N : 질소질 시비량 (성분량 kg/10a)  
 M : 토양중 유기물 함량(%)  
 D : 더미 변수(관행답 D=0, 농토배양답 D=1)  
 ( )안은 표준오차(standard error)

두 가지 형태의 함수중 Quadratic함수가 Square-Root함수에 비해 결정계수가 높고 계수의 유의성 면에서도 나은 추정결과를 나타내고 있는 것으로 판단되어 최적 시비량 계산시 Quadratic함수에 의한 수량반응함수를 사용하였다.

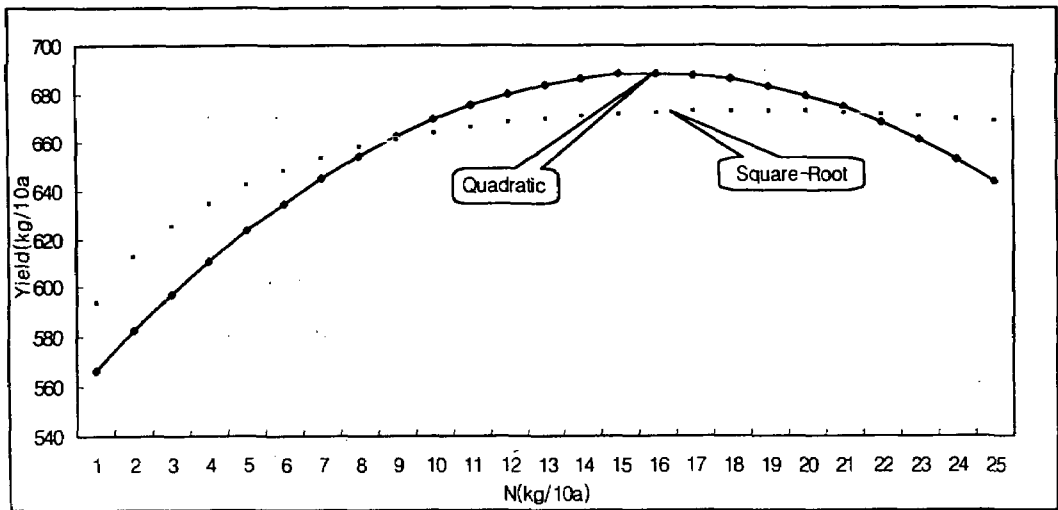


그림 3-4. 수도 수량반응함수 추정 결과

토양유기물 함량(OM)은 수량에 많은 영향을 미치기 때문에 계측된 함수에 유기물함량을 3수준(1.5, 2.5, 3.5)으로 가정하여 수량반응함수를 비교하면 <그림 3-5>와 같다.

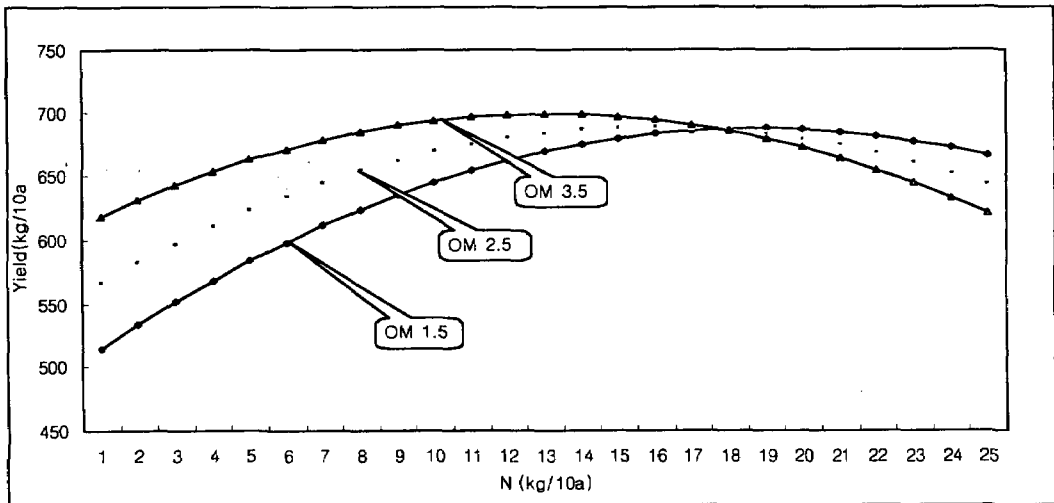


그림 3-5. 유기물함량에 따른 Quadratic 수량반응함수의 형태



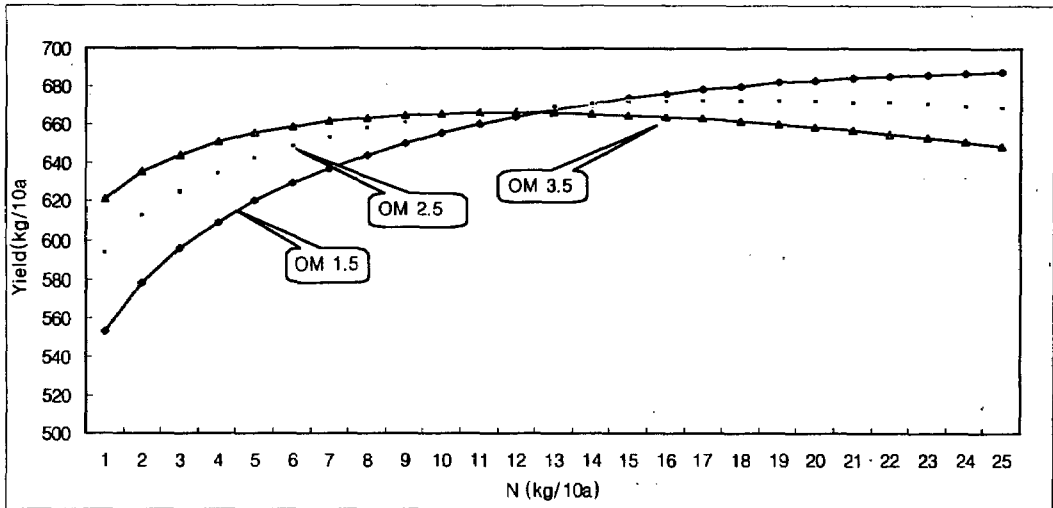


그림 3-6. 유기물함량에 따른 Square Root 수량반응함수의 형태

농민들은 시비량을 결정할 때 환경오염을 고려하지 않고 수량극대화 또는 수익극대화를 목표로 한다. 이러한 생산함수를  $Y=f(N, W)$ 라고 하면 수익극대화 행위는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\max \Pi = P_y \cdot f(N, W) - r_w \cdot W - r_N \cdot N$$

$$\rightarrow P_y \cdot f_i = r_i \quad (MVP_i = MFC_i)$$

단, N : 질소 시비량, W : 질소외의 생산요소,  $P_y$  : 농산물 (쌀) 가격  
 $r_w, r_N, r_i$  : 각각 질소질 이외의 생산요소, 질소 및 생산요소 i의 가격

즉, 농민은 비료의 한계비용(MFC)이 한계가치생산(MVP)과 같을 때까지 비료를 증투하게 된다. 위에서 계측한 수도 수량반응함수중 Quadratic함수를 이용하여 수량극대화 및 수익극대화 시비수준을 산출하면 <표 3-2>와 같다. 표에서 수량극대화와 수익극대화 시비 수준은 각각 10a당 15.9kg과 15.5kg으로 큰 차이가 없었으며 현재 수도작 농가의 질소질 비료 평균 시비수준 15.9kg/10a은 수량(또는 수익) 극대화를 위한 시비수준에 근접하는 것이다.

표 3-2. 수도생산의 수량극대화 및 수익극대화 시비수준 (OM=2.5%인 경우)

구 분	최적 시비 수준(성분량 kg/10a)
수량극대화	15.9
수익극대화	15.5

주 1) 조곡 kg당 가격 : 1,252원(1998년 농가판매가격)

2) 질소질 비료 가격 : 576원/성분량 kg(1998년 농가구입가격)

### 3) 환경오염을 고려한 적정 시비수준

추가로 투입된 비료의 한계가치생산(marginal value product)이 개인적 한계비용(marginal private cost)에 사회적 한계비용(marginal social cost)을 합친 비용과 같도록 하는 수준에서 비료를 투입해야만 사회 전체적으로 바람직한 시비 수준이라고 할 수 있다.

$$\max \Pi = P_y \cdot f(N, W) - r_w \cdot W - r_N \cdot N - C_s \cdot g(N, W)$$

$$\rightarrow P_y \cdot f_i = r_i + C_s \cdot g_i$$

단, N : 질소 시비량, W : 질소외의 생산요소, P<sub>y</sub> : 농산물 (쌀) 가격  
 C<sub>s</sub> : 유실된 비료가 환경에 미치는 사회적 비용, g(N, W) : 오염배출함수,  
 r<sub>w</sub>, r<sub>N</sub>, r<sub>i</sub> : 각각 질소질 이외의 생산요소, 질소 및 생산요소 i의 가격,  
 g<sub>i</sub> : i요소의 한계오염

여기서 비료의 한계가치생산은 P<sub>y</sub> · f<sub>i</sub>로 나타낼 수 있으며 개인적 한계비용은 r<sub>i</sub>, 사회적 한계비용은 C<sub>s</sub> · g<sub>i</sub>로 표시된다. 비료사용에 따른 사회적 한계비용은 영(零)보다 크기 때문에 환경오염을 고려한 시비량은 환경오염을 고려하지 않을 경우 보다 낮은 수준이다. 비료사용의 사회적 한계비용(C<sub>s</sub>·g<sub>i</sub>)을 0~10,000원/kg이라고 가정하면 환경오염을 고려한 적정시비 수준은 <표 3-3>과 같다. 그러나 사회적으로 바람직한 질소 시비 수준을 찾기 위해서는 시비 수준에 따른 오염량(g<sub>i</sub>)과 오염된 비료가 환경에 미치는 사회적 비용(C<sub>s</sub>)이 밝혀져야만 한다.

표 3-3. 환경오염을 고려한 최적 시비 수준

C <sub>s</sub> ·g <sub>i</sub> (원/kg)	0	2,000	4,000	6,000	8,000	10,000
질소시비량 (kg/10a)	15.9	14.5	13.0	11.5	10.1	8.6

질소질 비료 사용에 따른 환경오염은 크게 2가지 경로로 나누어 생각할 수 있다. 하나는 토양 침투(Leaching)에 의한 지하수의 오염이며, 다른 하나는 표면수의 유실(Run-off)에 따른 하천이나 호소의 오염이다. 우리 나라에서는 많은 경우 공공 급수체계에 의해 식수를 조달하므로 지하수 의존도가 높은 다른 외국에 비해 지하수 오염의 심각성이 다소 낮게 인식되지만 농촌의 경우는 농가조사에서도 나타난 것처럼 60% 이상의 농가가 개인 우물 또는 공동 우물을 통해 식수를 조달하고 있어 지하수가 오염될 경우 농촌의 식수 공급에 큰 문제를 일으키게 된다. 급수원이 오염될 경우 정화처리를 하든가 아니면 다른 급수원으로 전환해야 하기 때문에 지하수의 오염은 사회적 비용을 유발시키게 되는 것이다. 비료를 사용하

게 되면 물에 용해되어 표면수의 질소 농도가 높아지게 된다. 시간이 경과함에 따라 질소 농도가 점차 낮아지겠지만 강우나 관개에 의해 표면수의 유실은 피할 수 없는 일이다. 수도 생육기간중 10a당 유실되는 표면수의 양은 500mm 정도로 알려져 있다. 이것은 약 500톤에 해당하는 물의 양이다. 유실된 물은 다시 농업용수로 이용되는 경우도 있지만 하천이나 호소로 유입되어 부영양화 현상을 유발하게 되고 결국 상수원을 오염시키는 결과를 낳게 된다.

논에 사용된 질소질 비료가 얼마만큼 지하로 침투되는가에 대한 충분한 실험자료가 확보되지 않았기 때문에 CERES 모형을 이용하여 여러 가지 기상조건하에서 본 연구의 실험 대상이 되는 사양토에 대해 반복적으로 시뮬레이션을 실시하여 질소 침투량 자료를 구하였다. 이 자료를 바탕으로 시비 수준에 따라 지하로 침투되는 질소의 양을 나타내는 오염함수를 다음과 같이 제척하였다.

$$g^L = 0.7632 + 0.0309N - 0.0001N^2$$

$$(0.064) \quad (0.0009) \quad (0.00003)$$

단,  $g^L$  = 질소질 침투량(N kg/10a)  
 $N$  = 질소 비료 사용량(성분량 kg/10a)  
 ( )내는 표준오차

질소질 시비 수준 15kg/10a에서 시비량을 1kg 증가하였을 때 예상되는 질소 성분의 침투량을 계산하면 다음과 같다.

$$\partial g^L / \partial N = 0.039 - 0.0002N = 0.028\text{kg}$$

실험 결과에 의하면 벼 생육기간 중 침투수의 질산태 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 성분 평균 오염농도는 10ppm(10mg-N/l)으로 밝혀졌으므로 0.028kg의 질소는 질산태 질소 농도 10ppm인 오수의 12.4톤에 해당하는 양이다.

이 연구에서는 표면수의 질소 오염함수를 제척할 수 있는 실험이 행해지지 않았으므로 농촌진흥청의 실험자료를 이용하여 표면수의 유출에 의한 질소 비료의 오염을 나타내기 위한 오염함수를 다음과 같이 제척하였다. 즉, 질소질 비료를 사용하지 않았을 때의 질산태 질소로 환산한 질소 성분 유실량은 10a당 0.242kg이고 1kg씩 질소질 비료 사용량을 늘릴 경우 0.113kg씩 증가한다.

$$g^R = 0.242 + 0.113N$$

단,  $g^R$  = 표면수의 질산태 질소 유실량( $\text{NO}_3\text{-N}$  kg/10a)

N = 질소 비료 투입량 (성분량 kg/10a)

실험 결과 벼 생육 기간중 표면수를 통해 유실되는 농업용수는 암모니아태 또는 질산태 질소의 형태로 유출되거나 편의상 질산태 질소의 형태로 유출된다고 가정했을 때 평균 농도는 10ppm 정도로 밝혀졌으므로(이기상, 허일봉, 1996) 질소질 비료 1kg 증투함으로써 표면수를 통해 유출되는 질산태 비료 성분 0.113kg은 질산태 질소 10ppm을 함유하고 있는 오수 11.3톤에 해당하는 양이다.

따라서 10a당 질소 비료 1kg을 증투할 경우 지하수 및 지표수를 통해 질산태 질소 10ppm의 오수 23.7톤을 배출하는 결과를 초래하게 된다.

벼농사 과정에서 유출되는 질소질 비료가 환경에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 여러 가지 방법을 통해 예측할 수 있지만 이 연구에서는 질소 성분을 포함하는 오수의 정화비용을 계산하여 대체하는 방법을 채택하였다. 일반적으로 낮은 농도의 오염물질을 정화하는 방법으로는 생물적 처리법, 제올라이트 이용법, 공기주입법(air stripping), 전기분해법, 약품이용법 등을 고려할 수 있으나 이 연구에서는 약품이용법을 이용할 경우 소요 비용을 산출하였다. 논농사의 경우 현재의 시비 수준은 평균적으로 질산태 질소 10ppm 정도의 농도 밖에 되지 않기 때문에 우리 나라의 수질 오염기준이나 외국의 수질오염 기준의 허용한도를 초과하지 않는다. 그러나 시기적으로 비료 사용 직후의 일주일 정도는 표면수나 지하수로 유출되는 질소의 농도가 우려할 만한 수준인 것으로 나타났다. 따라서 호소나 지하수의 자정 능력을 초과하는 수준의 오염물질이 계속적으로 방출될 경우 현재의 배출량이라고 할지라도 언젠가는 환경오염을 더욱 악화시킬 수 있다. 따라서 논농사의 경우 비료 사용에 의해 발생하는 오염물질의 농도가 낮다고 하더라도 이를 원래의 상태로 정화시킴으로써 수질오염을 추가로 발생시키지 않기 때문에 이에 소요되는 비용을 비료 사용에 따른 사회적 비용으로 간주할 수 있을 것이다.

NO<sub>3</sub>-N 10ppm인 오수를 1ppm으로 정화시키는데 소요되는 비용을 계산하기 위하여 다음과 같은 기준을 설정하였다.

- 1일 5,000톤 처리규모
- 초기 시설 투자비 : 50만원/톤(내구연수 30년, 잔존가치 0)
- 연간 가동일 수 : 300일
- 수리, 유지비 : 연간 투자비의 2%
- 약품비(methanol) : 톤당 5.4원
- 전기료 : 약품비의 10%
- 소요 인력 : 1인(월 150만원)
- 이자율 : 6%

비용 계산 결과 질산태 질소 농도 10ppm인 오수를 1ppm으로 정화시키는데 소요되는 비

용은 톤당 204원으로 산출되었다. 따라서 10a당 질소 비료 1kg(성분량 기준)을 추가로 사용했을 때 지하수나 표면수로 유출되는 오수를 정화하는데 소요되는 비용은 4,835원이다.

비료사용의 사회적 한계비용 ( $C_s \cdot g_i$ )을 10a당 4,835원이라고 할 때 환경오염을 고려한 최적 시비량은 10a당 11.9kg으로 계산되었다.

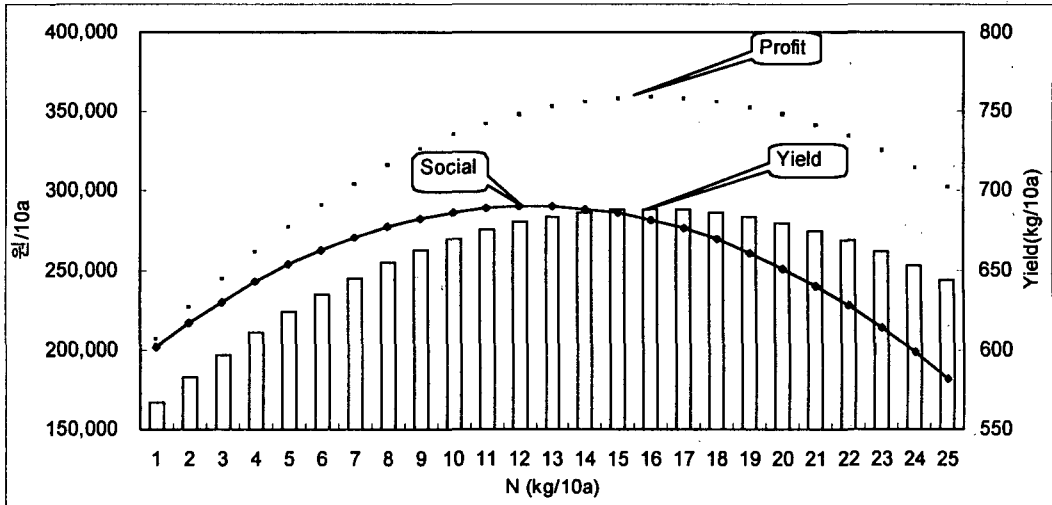


그림 3-7. 최적 시비수준 비교

# 제 5 장 전문가 시스템 개발

## 1. 기초 설계

### 가. 설계 단계

- 작물생육 시뮬레이션 모델 수집
- CERES 모델을 변형하여 우리 나라 환경에 적합한 모델 개발
- CERES 모델 검증에 필요한 input data 및 variable 파악
- 변형된 CERES 모델의 Test-run 및 검정
- CERES 모델과 통계적 모델을 결합한 수도작 농가의 시비 시스템 개발  
(EXCEL 프로그램 이용)

### 나. 작물생육 시뮬레이션 모델의 특징

작물의 생육 상황을 시뮬레이션할 수 있는 모델은 SPAW, IEM, EPIC, ORIZA 등 많은 모델이 개발되어 있으나 관개 및 시비전략에 따른 수도 수량과 질소질 유실량을 예측할 수 있는 모델은 EPIC, ORIZA, CERES 모델 등이 있다.

EPIC 모델은 수도작 모델이 따로 없이 모든 작물을 계수(crop coefficient)만을 바꾸어 적용하기 때문에 정확도가 떨어질 뿐만 아니라 수도작에 대한 검증이 불충분한 상태이다. CERES 모델은 수도작을 위한 독립된 모델이 개발되어 있고 벼 종자가 발아하는 시점부터 수확시까지 생육의 전과정을 모형화하여 생육기간중 토양내 영양분의 동태(질소동화작용, 질소질의 이동 및 유실)를 알 수 있고, 시비에 따른 토양, 작물체내 및 지하침투수 내의 질소 함량을 예측할 수 있어 이 연구에서 구명하고자 하는 정보를 상당 부분 얻을 수 있다. 이를 이용하면 농민소득의 극대화 또는 질소 오염을 줄이기 위한 시비전략(시비량, 시비시기, 비료종류, 시비방법) 및 관개전략(관개량, 관개시기, 관개방법)을 개발할 수 있다.

CERES 모델은 하와이 대학, 미시건 대학, 조지아 대학 등을 주축으로 한 미국의 10여개 주립대학 연구진이 합동으로 개발한 컴퓨터 프로그램이다. 이 모델은 기존의 여러 실험에서 밝혀진 작물의 생육 및 발육과정을 수학적인 모형으로 계수화한 것이며 주요 프로그램은 Fortran으로 작성되어 있다. 현재 개발된 모델은 밀, 보리, 감자, 옥수수, 콩 등 13개이며 이 연구에서 사용한 벼 모델은 비교적 최근에 개발된 것으로 아직도 자포니카계통의 벼를 이앙 재배할 경우 생육 단계별 생리 특성, 담수하의 질소질 수치, 수량예측 등에는 문제가 있어 계속 보완 중이다.

모델의 주요 입력 자료는 일자별 기상조건, 토심별 토양특성, 작물특성, 영농관리 (시비 및 관개) 등이며, 주요 출력 정보는 작물수량, 일자별 건물중, 질소흡수량, 질소질 balance (nitrification, denitrification, leaching, volatilization), 토심별 영양분 및 수분의 동태 등이다.

#### 다. 시뮬레이션 모델의 DSSAT 체계

시뮬레이션 모델인 DSSAT(Decision Support System for Agrotechnology Transfer)는 model driver, input module 및 simulation crop module로 구성되어 있다. Crop Model drive의 프로그램은 MDRIV960.EXE이고, Model input module은 MINPUT960.EXE으로 실험자료인 FILEX, 토양자료인 SOIL.SOL 그리고 수도작의 품종특성을 나타내는 Cultivar로 구성되어 있다. Simulation crop module은 작물별로 작물의 특성을 고려한 model로 구성되어 있으며 수도작의 경우는 ricer960.exe이다. Simulation에 이용된 정보는 일시적으로 IBSNAT30.INP에 저장되고, 결과는 OVERVIEW.OUT, SUMMARY.OUT, GROWTH.OUT, PEST.OUT, WATER.OUT, CARBON.OUT, NITROGEN.OUT 및 PHOSPHOR.OUT 등으로 나타난다.

#### 라. 모델에 이용한 입력자료(Input) 항목

시뮬레이션 모델 수정에 필요한 자료는 주관연구기관인 단국대에서 수도 생육실험(Lysimeter 실험)을 통하여 제공하였다. 주요한 입력 자료는 다음과 같다.

- 작물 특성 : 품종 특성치
- 기상관측 자료 : 일기온 (최고, 최저, 평균), 습도, 강우량, 일사량, 증발산량
- 토양 조건: 토층별 유기물함량, 총질소, 질산태 질소, 암모니아태 질소, pH, 가비중, 수분함량 (최대, 최소, 포화)
- 영농관리 : 시비 및 관개(일자별 투입량), 이앙(날자, 재식밀도) , 수확(수확일, 수확량)

#### 마. 시뮬레이션 출력자료(Output) 항목

시뮬레이션 결과 제공되는 정보는 다음과 같다.

- 식물체 생육상황 : 생체중, 건물중, 엽수, 엽중, 엽면적지수, 질소흡수량, 뿌리깊이, 근장, 수량
- 질소 이용 수치 : 식물체 흡수량(잎, 줄기, 곡물), 용탈량, 토양 잔류량
- 토양중 양분 및 수분 동태 : 양분 및 수분 스트레스(시기별 스트레스 정도)

## 2. 전문가시스템 개발

### 가. 개발환경

- Window95 - Visual Basic 5.0, - MS-Fortran 5.0, - Excel 97

### 나. 시스템 구성 및 내용

표 4-1. 전문가 시스템 구성과 내용

	내 용	비 고
데이터베이스	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 작물의 특성</li> <li>· 기후자료</li> <li>· 토양자료</li> <li>· 이앙시기 및 방법</li> <li>· 관개시기 및 관개량</li> <li>· 시비시기 및 시비량</li> </ul>	EXCEL FILE " " 직접입력 " "
모델베이스	<ul style="list-style-type: none"> <li>· CERES 모델</li> <li>· 수량반응함수</li> <li>· 오염함수</li> <li>· 수익극대화 모형</li> <li>· 환경을 고려한 적정시비 모형</li> </ul>	Bio-Model 통계적 모형 " "
결 과	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수확량 예측</li> <li>· 수량극대화 시비량 수준</li> <li>· 최적시비량 수준</li> <li>· 시기별 질소질비료의 침출량</li> <li>· 시기별 질소질비료의 체내 중량</li> <li>· 시기별 질소질비료의 증발량</li> </ul>	데이터 출력 " " 데이터, 그래프 "

### 다. 개발 모형의 검정 결과

단국대학교의 실험자료를 이용하여 공시된 품종인 추청벼의 작물 특성과 제반 환경 변수를 입력한 후 반복적으로 모델을 검정하였으며 입수된 정보는 이 모형의 개발자에게 전달되어 모형의 안정성을 검토하였다. 모형의 수정과정에서 1996, 1997년의 2년간 자료밖에 확보되지 않았기 때문에 모형의 수정에는 한계가 있었으므로 농촌진흥청과 경희대학교의 관련 연구팀의 자문의 받아 추가적인 실험 자료가 개발자에게 전달되었으며 개발자와의 끊임없는 정보 교환을 통하여 우리나라 실정에 적합한 모델로 수정하였다.<sup>3)</sup> 수정된 결과는 1998년 개발된 DSSAT v.3.5에 반영되었다. 모델 검

3) 모형의 개발과정에서 경희대학교의 윤진일 교수와 농촌진흥청 작물시험장의 신진철 박사께서 많은 도움을 주신데 대해 감사드리고 CERES 모델중 벼 모델을 개발하고 관리하는 IFDC(International Fertilizer Development Center)의 Dr. P. W. Wilkens와 Dr. U. Singh에게 감사드리며 Rice Model의 Source code를 기꺼이 제공해준 하와이대학의 Dr. Gordon Y. Tsuji와 조지아대학의 Dr. G. Hoogenboom에게 감사드린다.



정 결과 1996, 1998 실험 결과는 실험치와 추정치가 상당히 근접하였으나 1997 실험 결과는 추정치와 상당한 괴리를 보였다. CERES 모델에서 추정된 질소 이용량은 토양 및 기후조건, 시비 수준에 따라 비교적 민감하게 반응하였다. 작물 생육단계별 작물 성장지표는 실제치와 추정치가 매우 근접하였으며 안정적이었다.

#### 라. 이용전략

개발된 모델은 기상, 작물, 토양 및 경제적 측면을 고려한 최선의 영농관리 (시비, 관개, 유기물 투입 등) 기법을 찾아내는데 매우 유용하게 이용될 수 있다. 특히 이 모델을 통해 생육기간 중 특정시점에서 예상 수확량을 추정할 수 있다는 것은 주요 작물에 대한 관측에 활용하고 식량의 수급을 전망하는데 활용될 수 있다. 특히 이 모델을 응용하여 우리가 직접 조사할 수 없는 북한 지역의 식량 생산량을 추정하는데 활용될 수도 있을 것이다.

이 모델을 활용하여 개별 농가의 영농전략을 수립할 수 있다. 수확량을 극대화시킬 수 있는 최적 이앙일 및 최적 주수, 관개시기 및 관개량, 질소질 비료의 시비시기, 그리고 시비량을 찾는 데 도움이 될 것이다.

#### 라. 전문가 시스템을 이용한 질소 비료 오염량 감소 전략

개발된 모델을 이용하여 시비 시기 조정에 의한 질소 비료 침투량 감소(분얼비 시기 조정) 가능성을 분석하였다. 질소질 비료의 이용과 유실을 검토한 결과 분얼비 시용후 많은 질소질 비료가 식물에 이용되지 못하고 유실되는 결과를 초래하고 이 결과 질소질 비료의 침투에 의한 지하수 오염 가능성이 매우 높은 것으로 나타났다. 따라서 분얼비의 시용 시기를 조절함으로써 질소질 비료의 식물에 이용률을 증가시키고 유실량을 감소시킬 수 있을 것이다. <그림 4-1>과 <그림 4-2>에서 보여 주는 것처럼 분얼비 시용날짜를 10일 정도 지연 시킴으로써 질소질 비료의 이용량을 줄이지 않으면서 지하로 침투되는 비료량을 현저히 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 물론 이 결과는 모델의 시뮬레이션에 의한 결과이기 때문에 포장시험을 거쳐 시뮬레이션에 의한 결과를 검증할 필요가 있다.

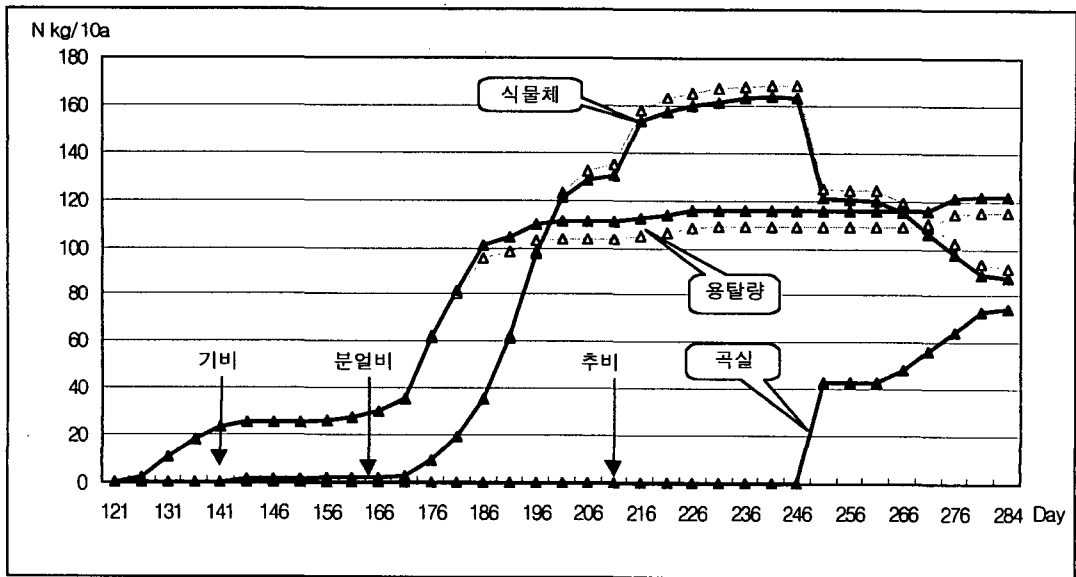


그림 4-1. 시비 시기 조절에 의한 질소 이용량의 변화

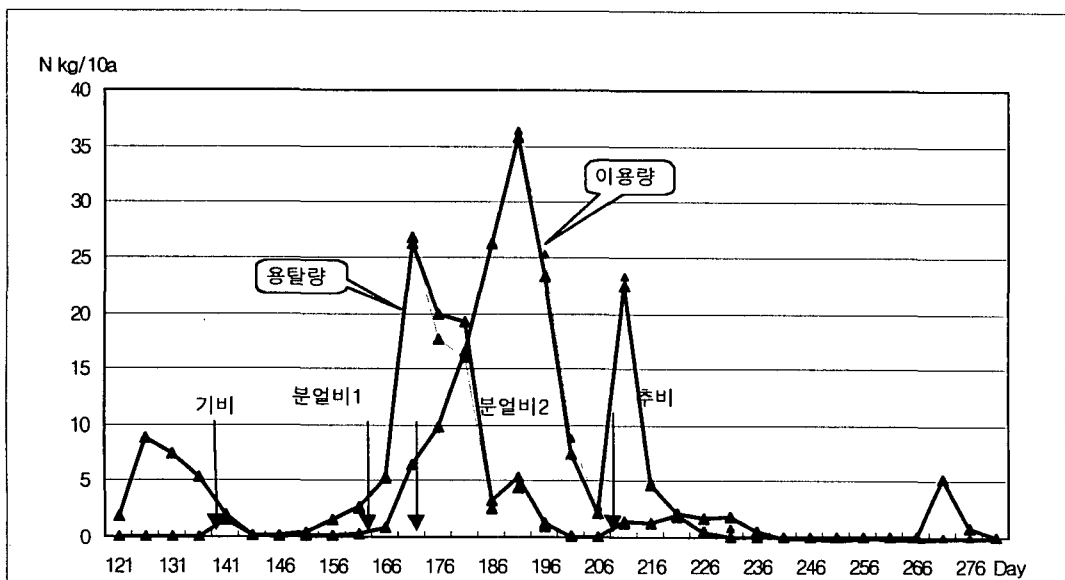


그림 4-2. 시비시기별 질소이용량 및 용탈량의 변화

## 제 6 장 환경보전형 시비를 위한 정책 대안

### 1. 우리 나라의 수질 관련 환경기준과 규제

#### 가. 수질관련 법규

수질관련 환경기준은 크게 “수질환경기준”과 “수질규제기준”으로 구분된다. “수질환경기준”은 그 자체가 규제기준은 아니며 달성하고자 하는 환경질의 가치를 나타내는 환경정책의 목표라고 할 수 있다(환경정책기본법). “수질규제기준”은 환경기준을 달성하기 위해 설정된 강제 규정으로서 방류수기준과 배출허용기준으로 구성되어 있다(수질환경보전법).

수질관련 환경기준의 변천과정을 살펴보면 우선 1963년에 제정된 공해방지법을 그 효시로 삼을 수 있다. 공해방지법은 공장 또는 사업장 폐액의 기준(pH, BOD, 대장균, 시안, 비소 등 21개 물질), 하수처리장 방류수의 수질기준(pH, BOD, SS, 대장균 등 4개 물질), 공장 또는 사업장 폐수의 수질 기준(일반기준 : 온도, pH, BOD 등 7개 항목; 공공하수 : 온도, pH, BOD, 시안 등 총 9개 항목) 등 주로 하·폐수 및 폐액의 방류수 기준이었으며 하천과 호소에 대한 수질환경기준은 제정되지 않았다(최지용, 신은성).

1963년 공해방지법 제정 이후 중화학공업의 추진으로 대기, 수질, 토양 등 환경오염 문제가 본격적으로 제기되면서 환경오염으로 인한 국민들의 보건위생 문제를 사전에 방지하고 환경을 보전하기 위한 목적으로 1977년 환경보전법을 제정하였다. 환경보전법은 하천, 호소, 해역의 3가지 수역에 대해 등급을 구분하고 각각의 수질환경기준을 설정하였으며 이를 달성하기 위하여 배출허용기준 및 보다 엄격한 방류수 수질기준을 설정하였다. 수질환경기준은 인체 건강에 관한 기준과 생활환경의 보전에 관한 기준으로 분류하여 설정하였다.

환경문제가 보다 복잡해지면서 1991년 종래의 단일법 체계인 환경보전법을 체계화하여 환경정책기본법 등 총 11개의 법안으로 분법하였다. 이에 따라 국가 환경기준 설정에 관한 사항은 환경정책기본법에서 규정하고 배출허용기준 등에 관한 사항은 개별법에서 규정하게 되었다. 수질의 경우는 수질환경보전법과 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률로 체계화하게 되었다.

#### 나. 수질환경기준

우리 나라는 수역별, 항목별로 수질환경기준을 설정하고 있으며 수역별로는 하천, 호소, 해역으로 구분하고, 항목별로는 생활환경기준인 pH, BOD, COD, SS, DO, 대장균군수, 총질소, 총인 등 8개 항목과 사람의 건강보호기준인 Cd, As, CN, Hg, 유기인, Pb, Cr, PCB, 음

이온계면활성제 등 9개 항목으로 구분하고 있다. 등급별로는 하천, 호소에 5개 등급(I~V), 해역에 3개 등급(I~III)으로 구분하여 각각 기준을 차등 설정하여 관리한다.

하천의 경우 총질소(T-N) 기준이 없으나 호소의 경우는 등급에 따라 0.2~1.5 mg/l의 기준을 설정하고 있다. 농업용수는 IV등급으로 분류되며 총질소(T-N) 함량을 1.0 mg/l 이하로 설정하고 있다(부록 2 참조).

#### 다. 수질규제기준

배출허용기준은 개별 배출업소에 적용하는 규제기준으로서 환경기준과 하천이나 호소의 자정능력을 감안하여 28개 항목에 대하여 농도규제와 양적규제를 부분적으로 병행한다. 1997년부터는 환경부장관이 지정하는 지역에 대하여 총질소와 총인의 배출허용기준을 적용하고 있다. 방류수 수질기준은 하수·폐수 및 분뇨처리시설과 같은 종말처리시설에 적용되는 기준으로서 1996년부터 총질소(60mg/l 이하)와 총인(8mg/l 이하)을 추가하였다.

오수·분뇨 및 축산폐수방류수 수질기준은 정화조(단독정화조, 합병정화조), 오수정화시설, 분뇨처리시설, 축산폐수처리시설로 구분하여 방류수 수질기준을 설정하고 있다. 이 중 분뇨처리시설과 축산폐수처리시설은 총질소(120mg/l 이하)와 총인(16mg/l 이하)의 허용기준을 설정하고 있다.

## 2. 환경보전정책 대안

### 가. 직접규제(Regulation)

직접규제는 농민들에게 특정 투입재의 사용을 제한 또는 사용량을 감소시키거나 특정 오염감소 기술을 채택하도록 강요하는 방법으로서 점오염원(Point source pollution)을 감소시키기 위한 수단으로서 이용되는 경우가 많다. 비점오염원(Nonpoint source pollution)은 직접계측할 수 없기 때문에 이 방법을 적용하는데 한계가 있으며 설령 오염량의 계측이 가능하다고 하더라도 행정비용이 매우 높다.

직접규제 방식은 오염물질을 배출하는 시설의 설치 제한과 설치된 시설에 대해서는 배출량을 제한하는 기준을 정하고 이를 어길 경우 행정명령 등 벌칙을 적용하여 원래의 목적을 달성하는 방식이다. 이에선 환경기준(Environmental quality standards)과 배출기준이 있다. 환경기준은 직접규제를 위한 규제기준이라기보다는 지향하는 목표기준이라고 할 수 있다. 산업이 발달하고 생활공간이 집단화됨으로써 오염 발생원의 수와 규모가 커지고 전반적으로 오염이 축적되기 때문에 개별 오염원에 대한 배출기준을 설정하여 규제하는 데는 한계가 있고 기대되는 환경조건을 확보하기가 곤란하다. 따라서 국민들의 건강을 보호하고 쾌적한 삶

을 유지하기 위한 환경기준을 설정하여 이를 지키는 것은 매우 중요한 일이다. 환경기준은 환경의 질에 대한 목표(goal)이며 환경관리의 지침(guideline)이고 환경질의 달성 여부를 판가름하는 판정기준(criteria)인 동시에 환경질에 대한 표준(standard)라고 할 수 있다. 우리나라의 경우 환경정책기본법상의 환경기준은 행정법상의 허용한도가 아니며 규제기준도 아니다. 환경기준은 환경보호를 위한 행정상의 목표로서 법적 구속력을 갖는 것은 아니다.

배출기준은 오염물질의 배출을 규제하기 위한 기준으로서 이 기준을 초과하여 오염물질을 배출하는 오염원에 대해서는 배출을 억제하기 위한 수단을 취하게 된다. 일반적으로 배출규제를 위해서는 배출기준, 배출시설의 종류, 오염물질의 종류, 오염물질의 측정방법에 관한 규정을 두고 있다. 배출기준은 배출시설에서 배출되는 환경오염물질의 최대허용량 또는 최대허용농도를 말하여 배출허용기준이라고도 한다. 이 기준은 오염 규제를 위한 강제조치 한계이며 배출부과금 제도를 운용할 경우 부과금 설정의 기준이 된다. 수질의 경우에는 수질환경보전법에 배출기준을 설정해 놓고 있다.

농업활동에 의한 수질 오염을 방지하기 위하여 비료 사용에 대해 직접규제를 적용할 경우 두 가지의 정책대안을 생각할 수 있다. 하나는 오염물질의 배출한도를 설정하는 것이고 다른 하나는 수질오염의 직접적인 원인이 되는 비료의 사용량을 제한하는 방안이다. 오염물질 배출제한을 적용할 경우 비료 사용에 의한 한계가치생산( $P_y \cdot f_i$ )이 비료의 한계비용( $r_i$ )과 한계오염비용( $\lambda \cdot g_i$ )을 합친 비용과 일치하도록 오염물질 배출제한( $Z$ )을 설정하는 것이 바람직하다. 이러한 정책 수단은 비료 사용 그 자체가 문제가 되는 것이 아니라 비료를 잘 못 사용하여 환경에 피해를 주게 될 때 문제가 될 수 있다는 인식에서 출발한다. 비료에 의한 환경오염은 농가가 처한 토양조건이나 기후조건, 지형, 외부의 환경여건, 그리고 영농관리방법에 따라 크게 차이가 있다. 그리고 비료를 사용할 경우 토양은 자정 능력을 가지고 있기 때문에 비료 사용을 적절히 관리할 경우 환경에 부담을 주지 않을 수 있으므로 비료 사용량을 직접 제한하는 불합리성을 극복할 수 있다는 의미에서 합리적인 기준으로 평가된다. 그러나 오염물질의 배출량을 측정하고 이를 관리하는 일은 엄청난 노력과 관리비용이 수반되기 때문에 정책화하는데는 한계가 있다. 이에 대한 대안으로서 비료사용량에 대한 제한이라는 수단을 채택할 수 있다.

○ 오염물질 배출제한을 적용할 경우 :  $Z$

$$\max \pi = P_y \cdot f(N, W) - r_W \cdot W - r_N \cdot N, \quad \text{s.t. } g(N, W) \leq Z$$

$$\text{Lagrangian : } \max \pi^{ps} = P_y \cdot f(N, W) - r_W \cdot W - r_N \cdot N + \lambda(Z - g(n, W))$$

$$\rightarrow P_y \cdot f_i = r_i + \lambda \cdot g_i$$

단,  $g(N, W) =$  오염함수

$g_i =$  투입요소  $i$ 의 한계오염

$\lambda =$  오염물질의 잠재비용

오염물질 배출제한 제도는 합리성을 가지더라도 비점오염원에 대해서는 시행상의 문제가 있다. 이에 대한 기술적 문제를 해결하기 위한 방안의 하나로서 비료 사용량에 대한 직접 제한을 고려할 수 있다. 이 제도는 다음 식에 표시된 것처럼 비료 사용에 의한 한계가치생산 ( $P_y \cdot f_N$ )이 비료의 한계비용을 나타내는 비료가격( $r_N$ )과 비료의 잠재비용( $\mu$ )을 합한 비용과 일치하도록 비료사용량 기준을 설정함으로써 효과를 극대화할 수 있다.

○ 생산요소(비료) 사용량 제한 :  $\check{N}$

$$\max \pi = P_y \cdot f(N, W) - r_W \cdot W - r_N \cdot N, \quad \text{s.t. } N \leq \check{N}$$

$$\text{Lagrangian : } \max \pi^{is} = P_y \cdot f(N, W) - r_W \cdot W - r_N \cdot N + \mu(\check{N} - N)$$

$$\rightarrow P_y \cdot f_N = r_N + \mu$$

단,  $f_N =$  비료의 한계생산

$r_N =$  비료가격

$\lambda =$  비료의 잠재비용

#### 나. 비자발적 경제적 유인제도(Nonvoluntary incentives)

위에서 설명한 직접규제 방식은 농업환경오염의 경우 그 범위가 광범위하여 지속적인 감시가 곤란하고 시기적으로 오염 정도가 다를 뿐만 아니라 영농방식이나 토양 및 기후조건에 따라 일률적으로 말하기 어렵기 때문에 실제로 적용하는 데는 한계가 있다. 따라서 많은 국가에서는 경제적인 유인책을 통하여 간접적으로 규제하는 방식을 도입하고 있다. 환경오염 방지를 위한 간접규제방식에는 배출부과금제도, 제품부과금제도, 비용분담제도, 과징금제도 등이 있다.

배출부과금(Measured emission tax)제도는 사업자가 배출허용기준치를 초과하여 오염물질을 배출하는데 대하여 금전적으로 부과하는 일종의 부담금이다. 오염물질의 배출에 대하여 금전적으로 부담을 지우게 함으로써 사업자 스스로 오염물질의 적정처리를 유도하는 간접 규제제도이다. 오염 배출자에게 일정한 기준을 준수할 것을 유도하고 그로 말미암아 발생하는 손실을 내부 비용화 함으로써 환경의 질적 기준을 효과적으로 달성하기 위한 데 목적이 있다. 오염물질 배출부과금 제도는 다음의 세 가지 가정에 기초하고 있다. 첫째, 오염

물질 제거의 비용은 그 배출 원인자에게 부담시켜야 한다. 둘째, 부과금을 부과함으로써 오염배출을 억제하고 오염을 덜 발생시키는 생산방법을 개발, 사용하도록 유도할 수 있다. 셋째, 부과금을 부과함으로써 오염물질의 제거 경비를 조달할 수 있다. 배출부과금은 기본 부과금과 배출 부과금을 구분하여 부과하는 경우가 일반적인 현상이다. 기본부과금은 사업장 규모에 따라 부과하며 배출부과금은 배출한 오염물질의 농도 및 배출량의 근거로 부과하는 것이다. 배출부과금제도의 특징은 환경규제의 수단과 정도가 오염 배출자에게 맡겨져 있는데 장점이 있다. 프랑스, 독일, 네덜란드 등지에서 하천, 호소 등을 오염시키는 물질의 배출에 대하여 부과하고 있는 것은 좋은 예가 된다. 발생 장소가 일정한 오염원에 적합한 제도로서 규제효과가 매우 크다.

부담금제도는 오염 원인행위에 대하여 지불하는 조세 성격으로 오염억제 효과와 재분배 효과를 가지고 있다. 우리 나라에서는 일정 규모 이상의 시설물과 경유자동차에 대하여 오염유발 부담금의 성격으로 부담금제도를 시행하고 있으며 여기에서 징수되는 부담금은 환경오염방지금으로 사용한다.

제품부과금(Product charge)제도는 환경오염을 유발하는 제품자체에 부과하는 제도로서 폐용제류, 폐기물 다량발생 제품 등에 부과하는 경우가 많다. 우리 나라의 경우 합성수지폐기물처리사업법에 근거를 두어 폐합성수지제품의 제조업자에게 연간 제품생산량을 토대로 부과하여 징수된 금액은 농어촌 지역의 폐합성수지 수집비용으로 사용한다. 지표수나 지하수를 오염시키는 제품에 대하여 부분적으로 적용할 수 있으며 규제 효과는 제한적이다. 노르웨이나 스웨덴에서는 비료와 농약에 대해 세금을 부과하고 있다. 생산요소에 대해 세금을 부과할 경우 적정 부과금은 다음과 같이 표시할 수 있다. 비료의 추가 사용에 의한 한계가치생산( $P_y \cdot f_N$ )이 단위당 비료가격( $r_N$ )과 비료에 대한 세금( $T^N$ )을 합한 금액과 일치하도록 세금을 부과함으로써 정책 효과를 최대로 할 수 있다.

○ 생산요소(비료)에 세금을 부과할 경우 : ( $T^W$  또는  $T^N$ )

$$\begin{aligned} \max \pi^u &= P_y \cdot f(N, W) - (r_W + T^W) \cdot W - (r_N + T^N) \cdot N \\ &\rightarrow P_y \cdot f_N = r_N + T^N \end{aligned}$$

이 정책은 대상이 되는 물질이 가격 변화에 얼마나 민감한가에 따라 그 효과가 달라진다. 일반적으로 비료는 가격 변화에 대해 수요 변화가 적은 가격 비탄력적 투입재이므로 효과는 크지 않으며 지역에 따라 변이가 큰 것으로 분석된다. 한 연구에 의하면 미국의 일리노이주의 경우 비료 사용량을 10% 줄이기 위해서는 비료에 대해 65%의 세금을 부과해야하지만

인디애나주의 경우 13%의 세금만 부과하여도 동일한 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다(Fernandez-Cornejo, 1993). 농약에 대해서도 비슷한 결과가 나타난 것을 볼 수 있다(Ribado and others, 1993). 이 방법은 비점오염원 문제가 매우 심각한 특정 지역을 대상으로 실시해야만 효과를 거둘 수 있다.

과징금은 행정적으로 부과하는 일종의 부과금으로 위반 업체에 대한 불이익과 함께 선량한 민간인에게 피해가 가는 경우 이를 방지하자는 취지에서 금전적으로 부과하는 일종의 행정벌이다.

예치금은 원인자 부담원칙에 따라 유해물질을 함유하거나 다량으로 폐기물이 발생하는 제품의 경우 그 폐기물의 회수, 처리사용을 제품의 제조, 수입업자에게 부담시키는 경제적 유인책으로서 기업이 자율적으로 폐기물 발생량을 줄이도록 유도하고 이미 발생된 폐기물을 효율적으로 회수, 처리하기 위한다 목적 있다. 우리 나라의 경우 건전지, 타이어, 윤활유, 가천제품, 종이팩 등 7개 분야의 17종에 대해 실시하고 있다. 농약, 건전지 등 용기 자체가 수질을 오염시키는 경우에 적용할 수 있으며 적용 범위가 매우 제한적이고 규제 효과가 낮은 것이 일반적이다.

오염배출권 거래제도는 오염물을 배출할 수 있는 권리를 거래하는 시장을 형성하여 민간 부문이 자율적으로 환경오염 문제를 해결하도록 하는 제도이다. 오염배출권 거래제도는 각 개별업체별로 배출하여야 할 오염물질의 총량을 할당하고 할당된 범위 내에서 업체간 시장 경제원리를 동원하여 자유롭게 배출권을 거래하도록 한다. 이 제도의 도입을 위해서는 총량 규제의 실시가 전제되어야 하고 오염물 배출에 대한 기초자료가 확보되어야 하며 영향권별 배출총량 설정이 전제되어야 한다. 그리고 지도, 단속기관의 자동모니터링 등 부수적인 사항들이 완비되어야 한다. 오염원의 위치 및 오염 발생지점에 따라 환경에 대한 영향이 달라지므로 규제효과는 낮은 것으로 평가된다.

#### **다. 자발적 참여 유인제도(Voluntary incentives)**

자발적 참여 유인제도는 오염물질 배출자의 선량한 양심에 호소하여 기술적인 지원이나 경제적 부담을 경감시킴으로써 자발적으로 참여케 하고 오염방지 효과를 지속적으로 얻고자 하는 데 목적이 있다. 이 제도는 자발적인 참여를 유도하는 만큼 그 효과가 불확실하기 때문에 참여하지 않는 경우를 대비하여 다른 환경오염 대책이 강구되어 있어야 한다. 감시비용을 줄이면서 경우에 따라 커다란 효과를 거둘 수 있다는 장점이 있다.

비용분담 또는 직접지불제도는 농민들이 오염을 줄일 수 있는 영농방법을 자발적으로 채택하기 위하여 정부와 농민이 비용을 분담(Cost-sharing)하거나 정부가 농민에게 직접 돈을 지급하여 경제적 불안정이나 손해를 보상하는 제도이다. 비용분담(Cost share)은 화학비



료의 시용으로 인해 오염이 발생할 가능성이 있는 경우 이를 사전에 방지하기 위한 시설이나 장비를 설치하거나, 사후적으로 오염된 물이나 토양을 정화하기 위한 시설을 설치할 경우 오염부담자와 정부가 비용을 분담하는 방법으로서 축산분뇨처리시설에 활용되고 있는 제도이다. 화학비료의 경우 사전에 오염을 방지할 수 있는 특별한 장치가 개발되지 않았으며 사후적으로 오염된 물을 정화할 수 있는 효과적인 방법이 개발되지 않았으므로 적용에 한계가 있다. 그러나 일반 속효성 비료에 비해 피복 비료를 사용할 경우 질소 이용률을 높일 수 있고 수질 오염을 상당한 정도로 줄일 수 있다는 시험 결과를 주목한다면 보다 가격이 비싼 완효성 또는 피복비료에 대한 보조금 지급을 통해 농민과 정부가 추가적인 비용을 분담할 수 있는 가능성이 있다.<sup>4)</sup> 통상 비용 분담제도는 새로운 공해방지 시설을 설치하는데 소요되는 초기 투자비용을 분담하며 필요시 운영비의 일부도 분담할 수 있다.

직접지불제도는 오염을 감소시키는 영농방법을 채택함으로써 농민이 입게되는 손실이나 경제적 불안정을 정부가 보상하는 제도로서 다른 부문의 합의가 도출되지 않으면 실시가 곤란하다. 우리 나라는 1999년부터 환경농업에 직접지불제도를 시범으로 실시하고 있다. 비용 분담이나 직접지불제도는 시행에 따른 행정비용을 최소화할 수 있으며 자발적으로 참여하는 만큼 효과면에서 매우 좋은 제도이나 비용 부담이 지속적으로 발생하는 등 소요 비용이 크다는 단점이 있다.

교육 및 기술지원제도는 농민들이 오염을 줄일 수 있는 영농방법을 자발적으로 채택하도록 설득하는데 초점을 두어 농민들이 오염을 줄일 수 있는 방법을 직접 개발하거나 시설을 할 경우 초기 비용을 최소화시킬 수 있다. 이 방법은 기존의 방법 대신 약간의 비용을 추가하여 새로운 방법을 채택함으로써 많은 경제적 효과를 얻을 수 있는 경우 효과적이다. 따라서 농약보다는 비료 관리에 보다 효과적인 방법이다. 대표적으로 시행되고 있는 제도로는 최적비료사용법(BMP, Best management practice)이 있으며 미국이나 유럽에서 널리 채택되고 있다.

4) 일본에서 아끼다꼬마치 품종을 이용하여 비료 형태 및 시비위치별 질소 이용률을 측정한 시험 결과에 의하면 유안을 표면시비하였을 때 질소 이용률은 9.3%, 측조시비 하였을 때 질소 이용률은 32.5%로 증가하며 피복요소를 표면시비하였을 때 질소 이용률은 60.5%로 크게 증가하였음. 피복요소를 측조시비할 경우와 피복요소를 접촉시비할 경우는 질소 이용률이 각각 77.7%, 83.2%로 증가하였음(JA全農, 1996. 「環境保全のための 肥料情報」 3 券)

라. 주요 정책 대안별 장단점 비교

정 책 대 안	장 점	단 점
직접규제	· 비료의 과다 사용을 신속히, 효과적으로 제어	· 과다 사용 여부에 대한 감시, 감독이 곤란
경제적 유인제도		
공해배출세	· 정책 수단과 정책 목표간의 연계성 면에서 바람직	· 측정비용이 과다 소요
제품부과금	· 측정비용과 세금 징수비용이 적게 소요	· 정책 수단과 목표와의 연계성이 미약
비용분담	· 특히 비점오염원에 대한 오염 발생을 효과적으로 억제 · 생산자 및 소비자 모두가 만족하며 효과적으로 환경보전	· 산업경쟁력을 약화시키고 물가인상 요인이 발생 · 정부의 재정지출 발생
권장 또는 지도	· 집행비용을 최소화할 수 있으며 농민의 호응도가 높을 경우 매우 이상적인 제도임	· 정책 효과가 의문시됨

3. 외국의 환경 보전 정책

가. 미국의 환경농업 정책<sup>5)</sup>

미국은 음용수 수질 기준을 NO<sub>3</sub>-N 45mg/l로 엄격하게 설정하고 있다. 1996년 농업법에서 지하수의 수질을 보전하기 위하여 수질개선장려프로그램(WQIP)를 실시중이 있다. 이 프로그램에 참여한 농민은 경작시 비료, 농약, 축산분뇨의 사용 계획에 대해 토양보전국(Soil Conservation Service)으로부터 매년 승인을 받는 조건으로 일정액의 초기 실행 비용과 개인 단 연간 3,500달러까지 인센티브를 지급받을 수 있다.

농업 생산 활동 결과 토양 유실, 유실된 비료나 농약, 가축분뇨의 강 또는 하천 유입, 영양분과 농약의 지하수 침투가 진행된다. 수질정화법 등과 같은 법률은 하수 처리시설 및 기

5) 이 부분은 김은순, 권태진. 1998. 「국제 환경농업 논의 동향과 대응방안」. 정책연구보고 P29. 한국농촌경제연구원중 공동집필자인 본 과제의 협동연구책임자 권태진이 정리한 부분을 일부 발췌·정리한 것임.

타 점오염원으로부터 발생하는 오염을 감소시키는데 기여하였으나 농업 및 기타 비점오염원으로부터 발생하는 오염을 감소시키는데는 한계가 있다. 1990년 미 농무성은 수질계획(Water Quality Program, WQP)을 실시하여 농업 화학물질이나 농업 폐기물에 의한 오염으로부터 전국의 물을 보호코자 하였다. 이 정책은 1970년대의 시범사업과 1980년대의 농촌 수질정화계획, 수질보호를 위한 특별계획을 포함한 과거의 시험적인 노력을 바탕으로 탄생된 것이다. 수질계획은 ① 농업생산 활동과 수질간의 관계에 대한 정확한 특성을 구명하고 ② 지표수 및 지하수의 수질을 보호하기 위하여 기술적으로 경제적으로 효과적인 농업 화학물 관리와 농업 생산 전략을 개발, 채택하기 위한 데 목적이 있다.

수질계획은 ① 연구개발 ② 교육, 기술적, 재정지원 ③ D/B 개발과 평가를 통해 수행된다. 수질계획은 주와 손을 잡고 농업활동으로 인해 수질이 위협받고 있는 지역을 먼저 찾아내고 농가나 목축업자가 환경적으로 안전하고 경제적으로 실행가능한 영농방법을 사용하도록 유도한다. 또한 농가에게는 정보를 제공하여 그들 스스로가 생산비를 줄이고 농업 화학물질 사용을 줄이는 생산체계를 채택하도록 하여 음용수나 농업용수의 수질을 개선케 한다. 한편 주요 경종작물, 채소, 과일에 대한 화학물질 사용에 대한 자료를 D/B화하고 지역 조사계획을 통해 자원과 영농행위와의 관계에 대한 자료를 수집하게 된다. 이러한 자료들은 농민들의 의사결정이 자원의 질과 수익성에 어떻게 영향을 미치는가에 대해 잘 이해시켜줄 수 있을 것이다.

1994년까지 수질계획은 네바다주를 제외한 전국의 모든 주에서 400개의 지역에 있는 농가와 지주를 대상으로 지원되었다. 1994년도에 실시된 시범사업은 주로 농민이나 목축업자들에 대해 비용을 절감하기 위한 농업생산기술과 농약이나 비료가 물에 흘러 들어가는 것을 최소화하는 시스템을 교육하고 기술적으로 지원하는데 치중하였다. 이러한 노력 중에는 토양영양관리, 작부체계 개선, 병해충종합방제(IPM), 대체적인 병해충 관리전략, 적절한 화학물질 살포 및 폐기 기술, 기상자료를 활용한 영농 의사결정 등을 들 수 있다.

수질개선장려계획은 지하수의 수질을 보호하기 위한 자발적 참여계획으로서 1992년부터 시행되었다. 이는 환경적으로 경제적으로 건전한 방법으로 비점오염원에 의한 농업 공해를 줄이기 위한 것이다. 이 계획은 일반적으로 10만 에이커 이하의 소유역을 대상으로 농업에 의해 발생한 공해에 의해 오염된 수질을 회복시키고 개선하기 위한 관리체계 변화를 목표로 한다. 이 계획에 참여한 농민은 자연자원보전국(USDA/NRCS)으로부터 해마다 비료, 농약, 축산분뇨의 사용 등 수질개선을 위한 계획을 승인받아 이를 실천할 경우 일정액의 초기 실행 비용과 이 계획을 실행하기 위한 비용으로 에이커당 연간 20 달러까지, 개인당 연간 3,500 달러까지 지원금을 받을 수 있다. 농가가 택할 수 있는 구체적인 사업으로서는 건설 등 구조적인 실행계획보다는 병해충종합방제와 같은 관리계획, 해충 예찰, 필요 영양분을 파

악하기 위한 토양 및 식물조직 검사 등이 있다. 일반적으로 계약기간은 3년이다.

환경처가 관장하는 「수질정화법(The Clean Water Act)」은 수질을 보호하기 위한 가장 중요한 법이다. 이 법은 1972년부터 시행되었으며 전국의 물을 화학적, 물리적, 생물적으로 무결한 물로 회복하고 유지하기 위한 데 목적을 두고 있다. 이러한 목적을 실천하기 위하여 농업에 영향을 미치는 몇 가지의 규정을 두고 있다.

먼저 호수 수질보호계획(The Clean Lakes Program)은 주 정부로 하여금 호수의 수질을 검사하여 등급을 매기고 호수를 회복하고 보호하기 위한 사업의 추진을 포함하여 사업의 타당성 검토 등을 하도록 환경처는 주 정부에 자금을 제공할 수 있다. 주 정부가 자금을 제공받기 위해서는 매 2년마다 환경처에 호수의 상태에 관한 보고서를 제출하고 맑은 호수를 유지하기 위한 시범사업을 실시해야 한다. 많은 경우 주 정부는 호수에 유입되는 오염물질을 방지하기 위한 非点汚染源 관리 대책 및 点汚染源 관리대책을 세우게 된다. 주 정부는 지정된 호수 주변 지역에 대해 농민들이 자발적으로 농업 오염물질이 호수에 유입되지 않도록 하는 관리 수단을 채용하도록 독려한다.

「수질정화법」에 의해 주 정부와 환경처는 비점오염원에 의한 오염물질을 줄이지 않고서는 기준 수질을 확보할 수 없는 향해 가능 수계를 찾아내어 공동으로 평가보고서를 작성해야 한다. 이와 함께 비점오염원에 의한 오염물질을 감소시키기 위한 관리계획도 마련해야 한다. 현재 모든 주는 환경처가 승인한 계획을 가지고 있다. 이러한 계획을 장려, 발전시키기 위하여 환경처는 해마다 4억 달러까지 주정부에 자금을 지원할 수 있다. 그러나 이 자금은 개별 지주에 대해 비용 부담금으로 지불되어서는 안된다.

점오염원 오염물질 배출허용계획(The National Pollutant Discharge Elimination System Permit Program)은 「수질정화법」에 의하여 확립된 것으로 대규모의 가축 사육장을 포함한 산업 시설 또는 식물 가공시설 등 점오염원의 오염물질 배출을 통제하기 위한 데 목적이 있다. 1993년 환경처는 38개 주에 이 계획을 승인한 바 있다. 농업 생산의 경우 집약적 가축사육장이 이 계획에 포함된다. 집단적 가축 사육장의 경우, 1,000마리 이상의 환산 가축단위(Animal Unit) 또는 300마리 이상으로서 직접 물을 배출하는 경우 또는 300마리 이하라도 물을 오염시킨다고 인정될 경우 배출허가권을 획득해야 한다.

강 어귀 淨化計劃(The National Estuary Program)에 의해 오염의 위험이 높은 전국 주요 강 어귀에 대해 보전 및 관리계획을 세우고 이를 실천할 경우 주 또는 지역 단위의 수질오염 감시 기관에 대해 연방정부 자금을 지원할 수 있다. 지금까지 21개의 만 또는 강 하류가 대상 사업으로 지정되었다. 농무성은 지정된 지역에 대한 보전계획을 효과적으로 추진할 수 있도록 농민들에게 기술적 재정적 지원을 제공한다.

환경처는 안전 음용수 관리법(The Safe Drinking Water Act)에 의해 음용수의 수질 기준

을 확립하고 공공 용수 공급체계에 대해서는 반드시 정화처리를 하도록 규정을 두고 있다. 이 법에 따라 주 정부는 공공 용수 공급을 위한 우물이 농약, 비료, 기타 농업 화학물질에 의해 오염이 되지 않도록 보호 대책을 강구해야 한다. 그 대신 환경처는 주 정부가 안전한 음용수 공급 대책을 실행하고 源泉을 보호하기 위한 프로그램을 개발하도록 주 정부에 자금을 지원할 수 있다. 현재 26개 주가 원천 보호 프로그램을 승인 받고 있다.

농약 프로그램(Pesticide Programs)은 「연방 농약관리법(FIFRA)」에 의해 확립된 제도로써 농약 사용을 규제하기 위한 법적 근거가 된다. 이 법에 의하여 농약이 사람의 건강이나 환경에 대해 수용할 수 없는 정도의 위험을 노출시킬 경우 사용을 제한할 수 있다.

포괄적 주 지하수 보호계획(Comprehensive State Ground Water Protection Program)은 1991년 환경처에 의해 시작된 것으로서 지하수의 수질을 관리하기 위하여 모든 연방, 주, 지방 정부의 프로그램을 조정하는데 목적이 있다. 주 정부는 이 프로그램을 계획하고 실행하는 일차적 임무를 가지고 있다.

미국은 비료의 사용에 대해 연방 정부에서 직접적인 규제를 하고 있지 않으며 대부분의 주에서는 자체적으로 최적사용법(BMP, Best Management Practice)을 권장하고 민간 차원의 위원회를 통하여 농업 환경 보전운동을 확산시키고 있다. 미네소타주의 경우 최적 영농을 실시하는 농가에게 최적영농대출제도(Agricultural Best Management Practices Loan Program)을 통해 유리한 조건의 융자를 제공한다. 미네소타주에서 채택하고 있는 질소질 비료 최적관리계획(Nitrogen Fertilizer Management Plan)은 1989년부터 시행된 지하수종합보호법(Comprehensive Groundwater Protection Act)에 따라 수질 저하를 방지하고 더 수익성이 높은 영농을 위하여 농작물 생산에 사용되는 질소질 비료를 관리할 목적으로 추진된다. 이러한 목표를 달성하기 위한 핵심 도구로서 질소 최적관리가 채택되고 있다.

미네소타주는 주의 자연자원을 보전하기 위하여 9개의 관련기관이 모여 「환경보전위원회(Environmental Quality Board)」를 구성하고 각기 역할을 분담한다. 위원회는 각 행정기관이 가진 힘보다도 강력한 힘을 가지고 있기 때문에 효과적으로 환경의 질을 보전할 수 있으며 미네소타주의 환경에 영향을 미치는 정책, 계획, 제안된 프로젝트의 심사 등을 담당한다. 위원회에는 농업부(Minnesota Department of Agriculture), 기획청(Minnesota Planning), 물 및 토양자원위원회(Minnesota Board of Water and Soil Resources), 보건부(Minnesota Department of Health), 자연자원부(Minnesota Department of Natural Resources), 환경지원청(Minnesota Office of Environmental Assistance), 공공서비스부(Minnesota Department of Public Service), 교통부(Minnesota Department of Transportation), 지속개발국(Sustainable Development Programs and Service) 등 9개의 주 행정기관이 참여한다. 각 참여 기관은 미네소타의 환경보전을 위하여 나름대로 계획을 가지고 있다. 이 중 미네소

다 농업부가 관장하는 환경농업 프로그램 중 비료와 관련된 정책을 소개한다.

최적영농 대출제도(Agricultural Best Management Practices Loan Program)는 군 단위, 토양 및 수질보전사업구 또는 공동사업자에게 최적 영농을 확대할 목적으로 융자금을 배분하는 제도이다. 농민, 농촌지주, 농기업가는 농촌 지역의 비점오염원을 방지하거나 감소시켜 수질을 개선하기 위하여 지방 정부에 융자를 신청할 수 있다. 예를 들면, 가축분뇨 처리 시스템, 방치된 우물 봉쇄, 경사지의 토양유실 방지나 수로 침전 방지를 위한 구조개선 작업, 환경보전형 경운기기 구입과 같은 비구조적 환경개선 등이 융자대상사업에 해당한다.

농업화학물질 오염 배상계정(Agricultural Chemical Response and Reimbursement Account)은 비료나 농약 오염 행위자에게 이를 제거하기 위한 비용을 부담시키는 제도이다.

프로그램 관리위원회에서 배상 결정을 내리면 농약이나 비료 제조회사, 유통업자, 농약 살포업자, 판매업자들은 해마다 부과금을 납부해야 한다. 1991년 이 제도가 시작된 후 1995년까지 173명에 대해 360만 달러의 배상금을 부과하였으며 1995 회계연도에는 40명에 대해 농업화학물질을 제거하기 위한 비용으로 100만 달러를 부과한 바 있다. 이러한 배상제도는 농약 저장에 대한 규정과 연계하여 효과적으로 농업화학물질을 제거할 수 있게 하며 향후 화학물질이 누출되는 것을 방지하는 역할을 하게 한다.

최적영농관리제도(Best Management Practices)는 연구 결과에 바탕을 두고 농민이 자발적으로 참여하여 경제적으로 환경적으로 존립 가능한 영농체계를 구축하기 위한 데 목표를 두고 있다. 농민이 최적관리계획에 따를 경우 농업은 비료에 대한 규제 위협에서 벗어날 수 있으며 더 수익성이 높고 쾌적한 지역사회를 조성할 수 있을 것이다. 질소질 비료 최적관리 계획(Nitrogen Fertilizer Management Plan)은 1989년부터 시행된 지하수종합보호법(Comprehensive Groundwater Protection Act)에 따라 미네소타주의 수질 저하를 방지하고 더 수익성이 높은 영농을 위하여 농작물 생산에 사용되는 질소질 비료를 관리할 목적으로 추진되었다. 최적 관리계획은 질소종합관리라는 개념에 바탕을 둔 것으로서 작물관리계획에 모든 형태의 질소를 포함시켜 관리하는 것이다. 최적 관리의 일차적인 초점은 질소질 비료에 있으나 효과적이고 실질적인 총체적 질소 관리를 위해서는 다른 질소 발생원과 영농 방법에 대한 고려가 필요하다.

질소 최적관리를 위하여 미네소타주를 지역 특성에 따라 북서부, 중동부, 남서 및 중서부, 중남부, 남동부 등 5개의 지역으로 나누어 관리 형태를 달리한다. 미네소타주에 있는 모든 지역, 모든 작물과 영농방식에 공통적으로 적용되는 질소 최적관리 방법은 다음과 같은 목표와 수단을 채택하고 있다.

- 현실성 있는 수량 목표의 설정

· 비현실적으로 높은 수량 목표를 설정하게 되면 농민들은 비료를 너무 많이 시용함으

로써 농가 수익을 떨어뜨리게 되고 질소가 지하수로 유실될 가능성이 높다.

- 따라서 정확한 농가 기장을 바탕으로 포장별 평균 수량을 계산하고 수량 목표를 설정해야 한다.

- 포장별 수량 목표는 최저 수량을 제외한 최근 5개년 평균수량을 적용한다.

- 포장 고유의 정보를 기록하기 위한 종합적 기장체계 개발과 사용

- 수익극대화를 위해서는 현실성 있는 수량 목표를 설정하고 포장단위의 정확한 기록이 유지되어야 하며 이에 바탕을 둔 작물관리가 요구된다.

- 구체적으로는 작물 수량, 질소질 비료, 퇴구비 시용량, 토양 검정결과에 대한 기록이 포함되어야 한다.

- 토양중 유기물 함량, 前作, 퇴구비 시용량에 따라 질소질 비료 시용량을 결정

- 토양유기물은 작물이 이용할 수 있는 질소를 배출하므로 토양 질소검정 결과가 없을 경우 토양유기물 함량에 따라 질소질 비료 시용량을 조정한다.

- 荳科作物은 공기중의 질소를 고정하여 다음 작물에 상당한 양의 질소를 제공하므로 이를 감안하여야 함. 예를 들면, 前作으로 콩을 재배하였을 경우 다음 작물에 에이커당 40파운드의 질소를 제공하는 효과가 있으며 전작으로 알팔파를 재배하였을 경우 에이커당 150파운드의 질소를 제공하는 효과가 있다.

- 퇴구비를 시용한 경우에도 마찬가지로 질소 공급효과가 있기 때문에 질소 시용량을 줄일 필요가 있다.

- 연구 결과에 의하면 옥수수 연작, 콩-옥수수, 밀-옥수수의 경우 옥수수 최적 질소 시비량은 각각 에이커당 160, 120, 120 파운드로 나타났다.

- 토양검정의 실시

- 연간 평균 강수량이 25인치(635mm) 이하인 지역은 질소질 비료 시용량을 감소하기 위해서는 작물의 뿌리 근처에 있는 토양의 잔류 질소를 측정하기 위한 토양 검정을 실시하는 바람직하다.

- 특히 서부지역의 경우 옥수수, 잡곡, 사탕무 생산자에게는 토양 질소검정은 핵심적인 관리 방법이다.

- 토양 검정을 위한 토양 시료는 반드시 파종 이전 0~8인치 깊이에서 채취한다.

- 토양 검정결과 에이커당 175 파운드 이상이 질소가 축적되어 있을 경우 추가로 시비하지 않아도 무방하며 175 파운드 이하일 경우 수량 목표, 토양유기물 함량, 前作에 따라 질소 추천 시비량을 결정한다.

- 세심한 퇴구비 관리

- 퇴구비에 함유되어 있는 질소 성분은 축분의 종류, 취급 및 저장 방법, 시용량, 시용

방법에 따라 다르므로 세심한 주의가 필요하다.

- 퇴구비에 의해 공급되는 양분 함량을 결정하기 위한 최선의 방법은 퇴구비에 함유되어 있는 양분량을 분석적으로 검정하는 것이다. 연구결과에 의하면 일반적으로 알려진 퇴구비의 성분은 25~300%의 폭넓은 범위에서 변화하므로 시용할 퇴구비의 비료 성분량을 정확히 측정하고 일정하게 뿌리는 것이 필요하다.

- 경사지의 경우 퇴구비를 뿌리고 난 다음 흙으로 덮는 것이 효과적이다. 특히 유동성이 있는 퇴구비의 경우 흙을 덮지 않을 경우 암모니아의 휘산이나 경사지를 따라 비료 성분이 유실될 우려가 있다. 가능하면 경사지나 언 땅에는 퇴구비를 시용하지 않는 것이 오염을 피하는 길이다.

- 비료 효과의 지속 기간 감안

- 알팔파나 퇴구비에서 발생하는 질소는 그 효과가 1년 이상 지속되므로 이를 감안하여야 한다. 미세질 토양에 알팔파를 잘 관리하였을 경우 후작으로 재배되는 옥수수에 에이커 당 75파운드의 질소를 제공하고 관리상태가 다소 나쁘더라도 50파운드의 질소를 제공하는 효과가 있다.

- 퇴구비 형태의 유기 질소는 여러 해에 걸쳐 식물이 이용할 수 있는 형태의 질소로 전환된다. 잔류 유기 질소의 33~50%가 이듬해 식물이 이용할 수 있는 형태의 질소로 전환된다.

- 질소 비료 추천량 준수

- 추천량 이상으로 질소를 시용하였을 경우 유실량이 현저히 증가하여 지하수 오염을 일으킨다.

- 질소 시비량이 일정량 이상(옥수수의 경우 에이커당 150 파운드)을 초과하면 작물 수량이 오히려 감소하고 그 대신 지하수의 질산염 함량은 현저히 증가하는 것으로 보고되고 있다.

- 질소 비료 시용 시기의 선택

- 비료 시용 시기와 작물의 비료 흡수 시기 사이에 간격이 클수록 비료 유실은 많으며 그 만큼 오염 가능성이 높아진다.

- 일반적으로 조직이 미세한 토양에는 기비가 효과적인 경우가 많다. 미네소타주의 경우 옥수수가 가장 비료를 많이 흡수하는 시기는 6월말~7월이므로 한 달 이전인 5월말에 시비하는 것이 가장 효과적이다.

#### 나. 유럽의 환경농업 정책

유럽연합(EU)은 2010년까지 물에 대해 “총비용 부담(Full Cost Recovery)”원칙을 실시할



계획이다. 모든 기업, 가정, 농가는 신선한 물의 취수나 유통, 오염된 물의 집수와 처리에 대해 행위자가 모든 비용을 부담하게 된다. 물의 사용 비용을 환경에 미치는 피해 뿐만 아니라 미래의 세대에 미치는 영향까지도 감안한다는 엄격한 기준을 적용한다.

유럽에서는 지하수가 전체 음용수의 70%를 차지하고 있으며 최근 질산염에 의한 지하수의 오염이 심각하여 지하수 및 지표수의 권장 수질을  $\text{NO}_3\text{-N}$  25mg/l 으로 설정하고 최대 허용기준을  $\text{NO}_3\text{-N}$  50mg/l 으로 설정하여 수질 오염을 엄격히 관리하고 있다. 암모니아에 대해서는 권장 수질을  $\text{NH}_4\text{-N}$  0.05mg/l, 최대허용기준을  $\text{NH}_4\text{-N}$  0.5mg/l 으로 설정해 놓고 있다.

유럽연합은 수질오염을 방지하기 위하여 기본적으로 두 가지 접근방법을 채택하고 있다. 하나는 수질목표관리(The Water Quality Objective approach)라는 것으로서 배출물질의 누적적인 영향을 제한하기 위하여 환경이나 인간의 건강을 해치지 않는 최소한의 수질 기준을 설정하고 이를 관리하는 것이다. 이러한 접근법은 이미 1970~80년대 수질 관리를 위한 여러 규정에 반영된 바 있다. 다른 하나는 배출기준치관리(The Emission Limits Value approach)로서 오염물질 배출원의 최대허용량을 관리하는 것이다. 이 접근법은 주로 1990년대 수질관리를 위한 제반 규정에 반영된 것으로서 오수처리장, 산업폐수, 농업활동에 의한 배출수 등 최종처리물질의 수질을 관리하는 방법으로 이용되고 있다. 위의 두 가지 방법중 어느 방법이 적절한가를 두고 오랫동안 논란이 되어오다가 최근에는 두 가지를 혼합한 접근법을 선택하되 상황에 따라 보다 엄격한 접근법을 선택하고 있다. 이 중 배출기준치 관리를 적용함에 있어서는 "최적가능기술(Best Available Techniques)"이라는 개념을 도입하여 현재의 이용 가능한 기술중 가장 효과적인 기술을 채택하는 것을 전제로 한 배출 허용량을 수질 관리의 기준으로 설정하고 있다. 왜냐 하면 유럽연합 회원국은 나라마다 채용하는 기술이 다르기 때문에 특별한 기술을 지정하지 않고 현재까지 개발된 기술중 가장 효과적인 기술을 채용했을 때 환경오염을 방지하기 위한 기준을 설정함으로써 효과적인 수질 관리가 가능하고 국가간의 논란을 방지할 수 있다는 취지에서 정해진 것이다.

유럽연합은 이미 1991년 농업 생산활동과정에서 유출되는 질소질 비료에 의해 수질이 오염되는 것을 방지하기 위하여 질소 규정(Nitrate Directive, EEC 91/676)을 마련하였다. 이 규정에 의하면 질산염 오염이 예상되는 취약지구를 지정하고 표면수와 지하수의 농도를  $\text{NO}_3\text{-N}$  50mg/l 이하로 관리한다<sup>6)</sup>. 이를 위하여 미국에서 실시하고 있는 것과 유사한 최적영농규약(Codes of Good Agricultural Practice)을 설정하여 농민들이 따르도록 하고 회원국은 이를 실천하기 위한 프로그램을 마련해야 한다<sup>7)</sup>. 비료 사용에 대한 규제는 시간과 공간

6) 농약은 허용기준농도를 0.1mg/l 로 설정함.

7) 최적영농규약(Codes of good agricultural practice)는 ① 비료를 살포해서는 안 되는 시기 지정 ② 경사지에 대한 시비 방법 ③ 수분 포화상태의 농경지, 홍수, 얼거나 눈이 덮

에 따라 달리한다. 무기질 비료의 사용에 대한 시비량 규제가 없으나 겨울에는 어떠한 비료의 사용도 금지하고 있다. 오염 민감지역인 호수나 강 주변 20m 이내에는 비료 사용을 금지하고 축산 농가의 경우 3~6개월간 축분을 저장할 수 있는 탱크 시설 설치를 의무화하고 있다. 수자원 보호구역 등 오염 민감지역에서는 2003년까지 유기질 비료 사용 한도량을 연간 ha당 170kg으로 제한하고 중간 목표로써 1998년까지 210kg으로 줄이는 계획을 추진하고 있다.

덴마크는 질소질 비료의 사용량을 감소시키기 위하여 정상 사용량의 60% 이하로 질소질 비료를 투입하는 경우 농민에게 보상(단, 유기농산물 생산 인증 농가 제외)을 실시하고 있다. 정상 사용량은 해마다 일정한 법칙에 따라 정하고 보상을 받게될 경작지의 경우 첫 해는 반드시 식물로 피복되어 있어야 한다. 최소 포장규모는 0.3ha 이상으로 규정하고 있다. 경지 보유 규모와 관계없이 보상을 받는 농민은 의무적으로 윤작계획, 퇴비 및 시비계획을 세워야 하며 퇴비 및 화학비료 수지표(Balance sheet)를 작성해야 한다.

독일은 질소질 비료를 비교적 많이 사용하고 있는 국가로서 질소질 비료의 시용에 의한 지하수 및 지표수의 질산염 오염 문제가 심각하여 환경부, 보건부, 농림부가 공동으로 방안을 마련 중에 있다. 이에 대한 대응책으로서 토양검정 시험을 의무화하여 토양 및 식물 요구량 만큼만 비료를 시용토록 사용량을 제한하며 경우에 따라서는 농경지의 일시적 휴경을 명하는 수도 있다. 10ha 이상의 농지를 소유하고 있는 농가는 해마다 1회씩 토양검사를 실시하여 질소비료(무기질 및 유기질)의 시용량을 결정하여야 하며 인산과 칼리질 비료는 3년에 1회씩 검사를 실시한 후 적정 투입량을 결정한다. 농업회의소는 수질보호를 위하여 농민들에게 경운 방법, 작물의 종류, 비료 및 농약 사용법, 분뇨 및 기타 유기물 처리법 등을 종합적으로 지도하고 각 농장의 실정에 맞는 시비법을 추천하는 등 환경친화적 영농법을 적극 권장한다. 일부 지역의 경우 질소 비료의 사용량을 30% 감소시키는 조방적 농업 경영방식을 채택하게 하고 이를 수용하는 농가에게 보조금을 지급한다. 농업활동의 제약에 따른 손실은 연방정부의 수자원관리법에 의해 보상하고 있다.

네덜란드는 질소질 비료와 유기질의 다량 사용으로 말미암아 지하수의 오염이 심각한 상황이다. 집약 영농을 하고 있는 동부 및 남부 경작지의 경우 지하 9m의 지하수중 질산태 질소 함량이 평균 26.4mg/l로서 최대허용치 11.3mg/l을 초과하고 있다고 한다. 질소 및 인의 유실을 감소시키기 위한 정책 수단으로서 1995년까지 북해에 대한 질소와 인산의 배출량을 1985년의 50% 수준으로 감축하였으며 2000년을 목표로 지하 2m 깊이의 질산태 질소 함량을 11.3mg/l 이하로 설정하고 흐르지 않는 지표수의 총 질소 함량을 2.2mg/l 이하로

---

인 토지에 대한 비료 살포 방법 ④ 수로 근처의 비료 살포 조건 ⑤ 가축 분뇨 보관 방법 등에 관한 내용을 포함하고 있음.

설정하고 있다. 질소의 유실을 감소시키기 위하여 개별 농가의 상황에 따라 각각의 양분 투입-산출 수지표를 작성하여 작물의 양분 요구량에 맞추어 시비토록 하는 등 작물경작법을 개선토록 하고 있다.

영국은 1989년에 제정된 수리법을 통하여 수질오염 부하 경감을 꾀하고 있으며 농업경영 장려규정을 마련하여 비료와 농약의 과다 투입을 억제하고 있다. 비료의 최적 투입을 통하여 질산염 경감을 꾀하고 수질검사를 강화하고 있다. 농업활동의 제약에 따른 손실에 대해서는 보조금을 지불한다.

스웨덴은 1995년까지 농업에 의한 질소비료 용탈을 1986년 기준으로 50%까지 감축하고 2001년까지 비료사용량의 20% 감축을 목표로 하고 있다. 1980년부터 10%의 비료세를 도입하여 시행중에 있다.

이 밖에 오스트리아, 핀란드, 노르웨이도 스웨덴과 마찬가지로 비료에 대한 환경세를 부과하고 있다.

#### 4. 정책 개발과 효과 분석

현 단계에서 가장 먼저 도입되어야 할 제도는 미국이나 유럽에서 널리 이용되고 있는 최적시비관리제도이다. 이 제도는 현재 전국적으로 실시되고 있는 토양검정제도와 시비처방 프로그램을 기초로 보다 치밀한 양분관리 기법이 도입될 필요가 있다. 우선 개별 농가의 토양과 농가경영 상황을 고려한 양분 수지표를 작성한 다음 이를 바탕으로 추천 시비량을 결정한다. 현재 농촌진흥청에서 제시하고 있는 추천 시비량은 수도작의 경우 농가 관행보다는 5kg 정도 낮으며 이 연구에서 밝혀진 수량극대화 및 수익극대화를 위한 최적 시비량 보다 4.5~5kg, 환경오염을 고려한 최적 시비량보다는 1kg 정도 낮은 수준이다.

이 연구에서 개발한 최적시비 전문가 시스템은 질소질 비료의 최적 시비만을 고려한 것이기 때문에 농가에 직접 적용하는 데는 한계가 있으므로 농촌진흥청의 시비처방 프로그램과 연계하여 사전에 질소질 비료의 오염이나 수량을 추정하는 등 보조적인 수단으로서 활용될 수 있다. 현재 농가가 정밀토양검정을 실시할 경우 시료 1점당 5,000원의 검사료를 납부하고 있으나 실제로 15,000~20,000원의 비용이 소요되며 3년에 1회 정도 실시한다면 벼 농사의 경우 연간 100억원 정도의 비용이 소요되는 것으로 추정된다. 농가단위의 정밀 시비량 추천은 많은 비용과 인력이 소요되기 때문에 전면적으로 실시하기에는 한계가 있을 것이므로 그 이전 단계로서 집단화된 들녘 단위의 정밀토양검정을 실시하고 이를 바탕으로 주문비료(Bulk Blending)를 처방하는 방안도 매우 효과적이다.

환경오염방지정책 중 도입이 비교적 용이한 것이 비료세 및 비료사용량 제한이다. 비료세

는 비료의 과다 시용으로 인한 사회적 비용을 세금으로 부과함으로써 비료사용량을 줄이는 방법이고 비료사용량 제한 정책은 비료를 어느 한도 이상으로 살포하는 것을 금지하는 정책이다. 두 방법 모두 비료의 효율적인 사용을 유도하여 환경오염을 감소시킬 수 있으나 전자는 비료세 부과액 만큼 농민의 소득이 감소되는 단점이 있고 후자는 비료사용량이 줄어드는 만큼 농작물 수량이 감소되는 문제가 있다.

<그림 6-1>은 현재의 시비 수준 (15.9kg/10a)을 이 연구에서 산정된 환경을 고려한 최적 시비수준 (11.9kg/10a)으로 낮추기 위하여 두 정책을 도입하였을 경우 농민에게 돌아오는 소득감소 즉 정책도입의 비용을 보여주고 있다. 비료세를 부과하여 비료 사용량을 줄이고자 할 경우 목표 시비량을 단보당 11.9kg으로 하기 위해서는 kg당 비료세를 517원 부과해야 한다. 이 경우 수량감소로 인한 소득감소(MVP) 17,904원/10a과 비료비 추가 부담액(abgh-cefg) 3,848원/10a을 합친 21,752원/10a의 비용이 발생한다. 이에 비하여 비료사용량을 제한할 경우 농민은 생산량의 감소로 인한 소득 감소 ( $14.3\text{kg} \times 1,252\text{원} = 17,904\text{원}/10\text{a}$ )에서 비료사용 절감액 ( $4\text{kg} \times 576\text{원} = 2,304\text{원}/10\text{a}$ )을 뺀 15,600원/10a의 소득감소가 발생한다. 비료세를 부과하는 정책은 추가적인 행정비용이 발생하지 않으나 농민의 부담이 클 뿐만 아니라 정책 효과가 불확실하다는 단점이 있고 비료 사용량을 제한하는 정책을 채택할 경우 농민의 소득감소가 상대적으로 적게 발생하고 정책 효과면에도 비교적 확실하나 이를 감시하기 위한 행정비용이 과다하게 발생할 소지가 있다. 그 대안으로서 현재 논의되고 있는 직접 지불제와 연계하여 비료 사용량 제한 정책을 시행한다면 화학비료의 과다 사용으로 인한 환경오염을 효과적으로 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다. 두 가지 정책 모두 환경오염 저감 효과는 동일하다.

비료세 부과와 유사한 효과를 나타내는 정책대안으로서 비료가격에 대한 보조금 감축을 생각할 수 있다. 현재 농업용 화학비료에 대하여 평균 27.5%의 보조금을 지급하고 있으므로 이를 중단할 경우 평균 비료가격이 38%가량 인상되는 효과가 있으며 현재의 비료 사용량을 유지할 경우 전국적으로 연간 농민이 추가로 부담해야 할 비용은 1,300억원에 달한다. 질소 비료의 가격탄력성이 -0.28로 추정되었으므로 비료가격 인상에 따라 10a당 비료사용량은 10.6% 감소할 것이므로 질소질 비료 사용량은 현재의 15.9kg에서 14.2kg으로 감소할 것으로 예상된다. 비료가격의 상승에 대한 경제적 효과로서 10a당 수량은 4kg(조곡) 감소하여 농가 조수익은 5,008원 줄어들며 농가는 10a당 2,130원의 비료비를 더 부담함으로써 농가의 소득은 7,138원 감소하는데 비해 비료 사용량 감소에 따른 오염피해의 사회적 비용은 8,220원 감소하게 된다. 비료가격에 대한 보조금 감축은 비료세 부과와 마찬가지로 추가적인 행정비용이 발생하지 않는다.

지금까지의 분석은 비료의 과다 시용에 따라 환경오염이 심각해질 경우를 가정한 것이기

때문에 현재에 상황에서는 비료 사용에 따른 환경 부담 비용을 과대 평가하였다고 볼 수 있다. 그리고 이 분석에서는 비료의 유출에 따른 환경오염 피해를 표면수와 지하 침투수에 의한 물의 오염만을 고려하였으며 환경의 자정 능력을 고려하지 않았다는 점에서 분석을 한계를 지적할 수 있다.

비료란 농업 생산활동을 전제로 한 것이기 때문에 농업이 환경에 미치는 긍정적인 효과도 고려하는 것이 바람직하다. 이 연구는 비료의 사용에 따른 환경 부담을 염려하면서 앞으로 적정 시비량을 추천할 경우 사회적 비용을 고려하기 위한 하나의 시도로서 추진되었다. 개별 농가는 제각기 다른 토양과 기후 조건하에서 영농활동을 하기 때문에 농가가 처한 상황에 따라 적절한 영농관리 방법을 채택한다면 환경에 부담을 주지 않으면서 농가의 수익을 극대화시킬 수 있는 길이 얼마든지 있을 것이다.

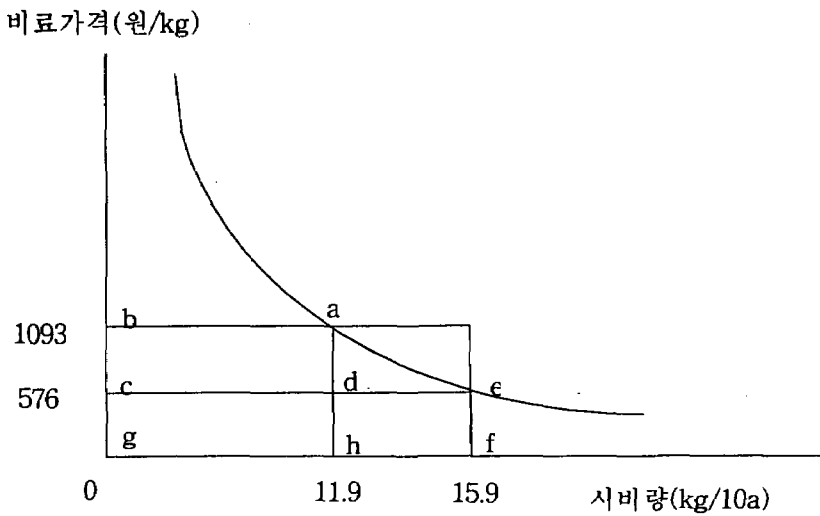


그림 5-1. 환경오염방지정책의 효과와 비용

## 제 7 장 결 론

1. 우리 나라의 수질은 계속 악화되고 있는 것으로 파악되었으며 이는 생활하수 및 축산폐수에 의한 것이 주된 원인이지만 농업용 화학비료의 과다 사용에 따른 원인도 무시할 수 없다. 농업용수의 수질오염도 무시할 수 없는 상황으로서 조사 대상 용수원의 15%가 오염정도가 심한 것으로 조사되었다.
2. 벼농사에 있어서 질소질 비료 사용에 의한 환경오염 부담을 비용으로 계측한 결과 10a당 1kg의 질소질 비료를 추가 시용함으로써 4,835원의 사회적 비용이 발생하는 것으로 추정되었다.
3. 과다한 질소질 비료 사용으로 야기되는 지하수 오염을 방지하는 등 환경보전정책을 검정하고 최적시비 전문가 시스템을 완성하기 위하여, 미국에서 개발된 CERES(Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis) 모델을 기초로 우리 나라 환경에 맞는 모델을 개발하였다. 1996년부터 1998년까지 3개년에 걸쳐서 질소시비 수준에 따른 수도생육실험을 실시하여 시뮬레이션모델을 위한 기상, 토양 및 작물체의 input data를 얻었으며, 이를 토대로 모델의 적합성을 검정하고 적정시비수준을 검정하였다.
4. 모델 개발자와 계속 협의하여 우리 나라의 벼 재배현황과 품종에 맞는 최적시비 전문가 시스템으로 변형하였으며, 이는 앞으로 이 분야의 연구자에게 도움을 줄 수 있다.
  - 기초입력자료로는 작물의 특성, 기후 및 토양 특성, 이앙시기 및 방법, 관개시기 및 관개량, 시비시기 및 시비량 등이며 개별 농가의 영농 환경과 작물 관리 형태에 따라 제반 조건을 달리 설정할 수 있다.
  - CERES 모델, 수량반응함수, 오염함수, 수익극대화 모형 등을 통하여 최적 시비 수준을 결정할 수 있다.
  - 개발한 전문가 시스템을 이용하여 수확량 예측, 수량극대화 시비량 수준, 농가 수준의 이윤극대화 시비량, 환경부하를 고려한 최적시비량 수준, 시기별 질소질 비료의 용탈량, 시기별 질소질 비료의 식물체 흡수량 등을 추정할 수 있다.
  - 그러나 이 시스템을 수도작의 질소 시비에 관해서만 적정시비량을 추천할 뿐 다른 영양분에 대한 정보를 제공하지는 못하므로 앞으로 이 모델은 포장시험을 통하여 실용성에 대한 검정을 실시한 후 다른 전문가 시스템에 대한 보완적인 모델로서 활용될 수 있을

것이다.

5. 모델을 통하여 수량극대화 최적시비수준, 농가 수익극대화 최적시비수준, 환경을 감안한 최적시비수준을 계측한 결과 10a당 질소 시비량은 각각 15.9kg, 15.5kg, 11.9kg으로 나타남으로써 현재 농민들이 사용하고 있는 시비 수준은 수량극대화를 위한 시비 수준으로 농가의 수익을 높이기 위해서는 질소질 비료의 사용량을 다소 줄여야 하며 과다 시비로 인한 환경 오염 가능성을 줄이고 경영의 안전성을 고려한다면 시비량을 더욱 낮은 수준으로 낮추는 노력이 필요하다.

○ 그러나 시비량 감소는 농가의 소득 감소를 초래하기 때문에 보다 과학적인 시험을 통하여 비료가 환경에 미치는 효과를 검정하고 본 연구에서 행한 최적 시비 수준을 확인하는 절차를 통해 농가의 부담을 줄이면서 환경 부담도 감소시키기 위한 방안을 강구하여야 할 것이다.

6. 환경정책 대안으로서 직접규제, 경제적 유인제도, 자발적 유인제도 등을 고려할 수 있으며 과학적인 방법을 통해 시비량을 줄이도록 권장하는 방안이 현재로서는 가장 효과적일 것으로 판단된다. 앞으로 직접지불제도와 연계하여 종합양분관리제도(Integrated Nutrition Management)를 정착시키는 노력이 필요할 것이다.

○ 직접규제의 경우는 비료의 과다 사용을 신속히 제어할 수 있지만 과다사용 여부에 대한 감독이 곤란하며 행정 비용이 과다할 것이므로 실용성이 낮다는 단점이 있다.

○ 경제적 유인제도로써 비료세 적용할 경우 정책수단과 정책 목표간의 연계성 면에서 바람직하나 농가에 대한 부담 면에서는 직접 규제보다 크며,

○ 비료가격보조 감축은 정부의 재정 지출을 줄일 수 있으나 비료 사용 감소 효과가 적으며 농가에 대한 부담이 큰 것으로 나타났다.

○ 권장 또는 지도의 경우는 정책효과는 의문시되지만 집행비용을 최소화 할 수 있고 효과적인 프로그램을 개발할 경우 시비량 감축 효과도 클 것으로 판단되어 현재 추진하고 있는 정밀토양검정 프로그램과 시비처방프로그램을 보완한다면 가장 바람직한 정책대안이 될 것이다.

# 참 고 문 헌

## 1. 질소시비에 따른 수도생육 실험

- 김기준. 1995. 벼농사의 비료사용이 수질에 미치는 영향. 전국대 생명과학지 2:33-38.
- 김범철, 이승환 역. 1997. 1997 지구환경보고서. 도서출판 따님.
- 농림부, 1997, 농림업 주요통계.
- 농림부. 1998. 농림통계연보.
- 농촌진흥청 농업과학기술원. 1988. 토양화학분석법. 농업과학기술원.
- 박승우, 윤광식, 진영민, 이변우. 1997. 논외 물질순환 모니터링. 서울대 농업연구 22(1):19-27. 농림업
- 변종영, 심이성, 안수봉. 1984. 수도 이앙시기와 질소시비량이 잡초의 발생과 수도의 생장 및 수량에 미치는 영향. 한국잡초학회지 4(1):19-25.
- 성락춘, 이호진 역. 1997. 작물생리학. 고려대학교 출판부.
- 小川吉雄, 酒井一. 1989. 水田の窒素容量と水質保存對策. 農土誌 57:593-598.
- 손상목, Michael James Emes. 1992.  $\text{NO}_3^-$  수준이 Oxidase Pentose Phosphate Pathway와 질산동화작용효소 Nitrate Reductase, Nitrite Reductase, Glutamine Synthetase<sub>1</sub> 및 암모늄제동화작용 주요효소 Glutamine Synthetase<sub>2</sub> 활성도의 상호관계에 미치는 영향. 한국작물학회지 37(5) : 468-475.
- 손상목, 김영호, 한도희. 1996. 관행농법, 시설재배 및 유기농법재배지 토양의 화학적 특성과 배추, 상추의  $\text{NO}_3^-$  집적량 차이. 한국유기농업학회지 5(1) : 149-165.
- 孫尙穆, 米山忠克. 1996. 野菜の硝酸:作物体の硝酸の生理,集積,人の攝取. 農業および園藝 71(11) : 1179-1182.
- 손상목, 오경석, 이장석. 1995. 차광정도 및 질소시비량이 배추수량과 가식부위의  $\text{NO}_3^-$  집적량에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 28 : 154-159.
- 손상목, 오경석. 1993. 질소비료 저투입에 의한 우수농산물 간이판정지표로서 주요농작물의 "가식부위내  $\text{NO}_3^-$  함량 활용 가능성에 관한 연구. 한국유기농업학회지 2(1) : 2-15.
- 손상목, 오경석. 1993. 질소시비량이 배추, 무우, 오이의 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  집적량에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 26(1) : 10-19.
- 손상목, 윤덕훈. 1996. 수확후 저장과 조리조건에 따른 배추 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  함량 변화. 한국유기농업학회지 5(1) : 101-110.
- 손상목, 이윤건, 한도희, 김영호. 1996. 농가의 상이한 농법에 의한 배추, 상추, 케일 재배 근권토양 및 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  집적량 차이. 대산논총 4 : 143-152.



- 손상목. 1990. 질소시비량에 따른 감자 괴경내  $\text{NO}_3^-$ , Glutamine, Asparagine, Protein 함량 변화. 단국대학교 논문집 24 : 715-724.
- 손상목. 1994. 일반 관행농법과 유기농법 배추, 무우의 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  집적량 차이. 한국유기농업학회지 3 : 87-97.
- 심재환. 1994. 한국농업용수의 오염실태와 개선방향. Proceedings of the International Symposium on Agricultural Water Quality Management Techniques pp.21-46.
- 윤순광, 유순호. 1993. 토양중 질산태질소의 행방과 지하수질. 한국환경농학회지 12(3):281-297.
- 이변우, 김병찬. 1990. 수도 포장의 실증발산량 추정에 관한 연구. 한국작물학회지 35(6):518-524.
- 이변우, 명을재, 최관호. 1995. 시비후 물관리 방법이 질소의 동태 및 이용효율에 미치는 영향. 한국작물학회지 40(2):157-166.
- 이상모, 류순호. 1994. 논토양에서 중질소(N-15)를 이용한 표면시용 요소로부터 유래하는 질소의 행동에 관한 연구. 한국농화학회지 37(4):277-286.
- 이상모, 류순호. 1997. 담수조건에서 토양의 표면에 시용된 요소태 질소의 행동에 미치는 Methanol의 영향. 한국토양비료학회지 30(2):99-107.
- 이선용. 1995. 우리나라에 있어서 벼 직파재배 기술개발. 한·일 벼 직파재배 세미나. 작물시협장. pp.34-50.
- 이재생 외. 1998. 벼 건답직파에서 질소시비 수준별 생육 및 수량성. 농업환경논문집 40(1):51-56.
- 이정양 외. 1977. 직파재배 양식별 관개용수량 구명시험. 전남농촌진흥원 시험연구보고서 pp.30-32.
- 이종석, 이은용, 이춘영. 1974. 생육시기별 질소의 시용이 수도의 생육과 수량구성요소 및 질소 흡수에 미치는 영향. 서울대 논문집(생농계B)24:146-159.
- 이창기. 1997. 환경과 건강. 하서.
- 지구환경과학연구회. 1998. 지구환경과학. 전남대학교 출판부.
- 채제천, 이종훈, 오윤진, 함영수. 질소 및 인산 시용이 수도의 근호흡 및 생육에 미치는 영향. 한국작물학회지 24(4):1-11. 1979.12.
- 채제천, 이종훈. 수도 근부특성의 품종간 차이. 한국작물학회지 25(1):8-13. 1980.3.
- 채제천, 허훈, 이종훈. 기온 및 수온의 차이가 수도 품종의 생육 및 양분흡수에 미치는 영향. 한국작물학회지 25(1):14-19. 1980.3.
- 최영길, 한명수, 안태영, 곽노태. 1995. 담수의 부영양화. 신광문화사.
- 통계청. 1998. 1997년 하반기 사회통계조사보고서.

- 한강완,전재철,조재영,김성조. 1997. 논 관개수에 함유된 토사중 영양물질의 함량 변화와 천연공급량. 한국환경농학회지 16(4):399-403.
- 한강완,전재철,조재영,김성조. 1997. 논 관개수중 영양물질의 함량 변화와 천연공급량. 한국환경농학회지 16(4):394-398.
- 환경부. 1998. 환경백서.
- Allison, Franklin, E. 1996. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. in Agron.* 18 : 219-258.
- Ashley, D. A., O. L. Bennett, B. D. Doss, and C. E. Scarsbrook. 1965. Effect of nitrogen and irrigation on yield and residual nitrogen recovery by warm-season grasses. *Agron. J.* 57 : 370-372.
- Aubert, C. 1982. Wie kann man nitritarmes Gemüse ernten ? *Garten Organisch* 1/82:10-12.
- Bandel, V. A., S. Dzienia, G. Stanford, and J. O. Legg. 1975. N behavior under no-till vs. conventional corn culture. 1. First-year results using unlabeled N fertilizer. *Agron. J.* 67 : 782-786.
- Brady, N. C. 1974. The nature and properties of soils. Macmillan Pub. Co. pp.220-227.
- Chae, J. C. 1980. Varietal differences in rice root characteristics of paddy rice. *The Korean J. of Crop Sci.* 25(1) : 8-13.
- Chae, Je Cheon. 1998. Effect of Tillage and Seeding Methods on Percolation and Irrigation Requirement in Rice Paddy. *Kor. J. Crop Sci.*43(6) : - .
- Harry, A. M., A. V. Baker, and D. N. Maynard. 1974. Ammonia volatilization from soils. *Agron. J.* 66 : 355-358.
- Hoshikawa, K. 1975. The growth of rice. *Nobunkyo.* pp.205-209.
- Jones, M. B., J. E. Street, and W. A. Williams. 1974. Leaching and uptake of nitrogen applied to annual grass and clover-grass mixtures in lysimeters. *Agron. J.* 66 : 256-258.
- Kafkafi, U. 1997. Considering in fertilizer application to prevent ground-water contamination. *In David Rosen et al. Modern Agriculture and the Environment.* Kluwer Academic Publishers. pp.159-172.
- Kim, J. K. 1994. Information on high-techniques in agriculture. *Rural Development Administration.* pp.180-181.
- Kübler, W. and Hüppe, R. 1985. Welche Nitrataufnahme ist für den Menschen vertretbar? *Ernährungs-Umschau* 32(10):328-332.

- Kücke, M.(1996): German Federal Research Centre for Agriculture, Institute of Soil and Plant Nutrition. Braunschweig/Germany. Personal communication.
- Kücke, M., I .A. Han and S. M. Sohn. 1996. Implication of Examination of the Mineral Nitrogen Dynzemics in Korea and Germany for N Fertilization Recommendations and Environmental Protection in Asia., Eds. R.Ishii and T.Horie, Crop Research in Asia: Achievements and Perspective. Asian Crop Science Association, March 1996. pp.462-463.
- Kücke, M., 이윤진, 손상목. 1996. E. coli 세포를 이용한 식물, 토양 및 수질의 질산분석방법. 한국토양비료학회 제56차 학술발표대회자료집. pp.28-29.
- Lee, Dong-Jin, Benito S. Vergara, Moo-Sang Lim, Je-Cheon Chae and Bong-Ku Kim. 1996. Nitrogen Effect on Development of Large Vascular Bundle and Yield Components of Two Rice Cultivars(*Oryza sativa* L). RDA. J. Agri. Sci. 38(1): 56-63.
- Lee, Ho Jin, Jun Han Seo, Jung Sam Lee, Yong Sang Jung, and Fred E. Below. 1998. Nitrogen management with split application of urea for direct-seeding rice in wet paddy: Korean J. of Crop Sci. 43(1)49-53.
- Lee, J. H. 1996. Food Crops I. Korea Broadcast University Press. p.199.
- Lee, S. Y. 1995. Development of direct seeding technique of rice in Korea. Korea-Japan Seminar on Direct Seeded Rice. pp.34-50.
- Miwa, M. and K. Miwa. 1995. Carcinogenicity of NO. 實驗醫學 13(8): 118-121, 羊土社.
- Newman, E. I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. J. Appl. Ecol. 3 : 139-145.
- Rauter, W. and Wolkerstorfer, W. 1982. Nitrat in Gemüse. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung 175 : 122-124.
- Scharpf, H. 1991. Stickstoffdüngung im Gemüsebau. AID 1223. p.35.
- Sohn, S. M. and M. Kücke. 1996. Investigation on the Dynamic of NO<sub>3</sub> in Barley Rhizosphere and its Suitability for N-Fertilization Strategies and Environmental Control. Eds. R. Ishii and T. Horie, Crop Research in Asia: Achievements and Perspective. Asian Crop Science Association, March 1996. pp.460-461. Wageningen Agri. Univ. 1989.
- Wageningen Agriculture University. 1989. Soil and plant analysis a series of syllabi. Part 5. Soil analysis procedures.

## 2. 작물생육 시뮬레이션 모델 및 환경보존정책 개발

- 강정일 외, 1984. 「비료의 수요예측과 적정재고에 관한 연구」. 한국농촌경제연구원.
- 김건엽 외, 1997. “토양관리 방법이 생태계 환경에 미치는 영향,” 「1997년도 시험연구사업보고서」. 농업과학기술원.
- 김유학 외, 1997. “벼 직파재배시 토양 침투수의 화학성분함량 변화 연구,” 「1997년도 시험연구사업 보고서」. 농업과학기술원
- 김은순, 권태진. 1998. 「국제 환경농업 논의 동향과 대응방안」. 정책연구보고 P29. 한국농촌경제연구원.
- 농림부. 1998. 「'97 농업용수 수질조사 보고서」.
- \_\_\_\_\_. 1998. 「농림통계연보」.
- \_\_\_\_\_. 1998. 「농림업 주요통계」.
- 농협중앙회. 1998. 「비료사업 통계요람」.
- 신현국, 김낙주, 1994. 「환경과학총론」. 동화기술.
- 이기상, 허일봉, 1996. “벼 재배시 질소 양분 행동에 관한 연구,” 「1995년도 시험연구사업보고서 (농업환경부편)」. 농촌진흥청.
- \_\_\_\_\_, 1997. “벼 재배시 질소 양분 행동에 관한 연구,” 「1996년도 시험연구사업보고서」. 농업과학기술원
- 최지용, 신은성, 1997. 수질환경 및 규제기준의 합리적 조정. 한국환경정책·평가연구원.
- Abrahams, Nii Adote and James S. Shortle. 1997. “Uncertainty and the Regulation of Nitrate Pollution from Agriculture,” Working Paper, Dept. of Agricultural Economics and Rural Sociology, Pennsylvania State University.
- Allison, F. E. 1966. The fate of nitrogen applied to soils. *Advan. in Agron.* 18: 219-258.
- Askegaard, M. and Eriksen, J. (1996): Nutrient Balance in Organic Dairy Farms. *Organic Agriculture in Copenhagen*. 11th IFOAM Scientific Conference. Pages 210
- Bartholomew, W.V. (1977) : Soil nitrogen changes in farming systems in the humid tropics. Pages 27-44. In : *Biological Nitrogen Fixation in Farming Systems of the Tropics*. Chichester Wiley.
- Blackmer, A.M. (1990) : Impacts of Industrialization on Agricultural Environments. *Interntl. Symp. Environ. Pollut. Agric.*, September 21, 1990. Seoul Nat'l. Univ., Seoul, Korea, Pages 7-13.
- Byrnes, B.H. (1990) : Environmental effects of N fertilizer use - An overview. *Fertilizer Research* 26:209-215.
- Choi, E. Kwan and Eli Feinerman. 1995. “Regulation of Nitrogen Pollution: Taxes versus

- Quotas," *Journal of Agricultural and Resource Economics* Vol. 20: 122-134.
- Feather, P., and G. Amacher. 1994. "Role of Information in the Adoption of Best Management Practices for Water Quality Improvement," *Agricultural Economics*. Vol. 11, pp. 159-70.
- Fernandez-Cornejo, J. 1993. Demand and Substitution of Agricultural Inputs in the Central Corn Belt States. TB-1816, UDDA/ERS.
- Hartwig De Han. 1982. "Economic Aspects of Policies to Control Nitrate Contamination Resulting from Agricultural Production," *European Review of Agricultural Economics*. Vol. 9: 443-465.
- Helfand, Gloria E. and Brett W. House. 1995. "Regulating Nonpoint Source Pollution Under Heterogeneous Conditions," *AJAE* Vol.77: 1024-32.
- Jain R. K. and A. Clark. 1989. *Environmental Technology, Assessment and Policy*. Ellis Horwood Limited: Chichester.
- Johnson, Scott L., Richard M. Adams, and Gregory M. Perry. 1991. "The On-Farm Costs of Reducing Groundwater Pollution," *AJAE* Vol. 73: 1063-73.
- Justus, M. and Köpke, U. (1995): Strategies to Reduce Nitrogen Losses via Leaching and to Increase Precrop Effects when Growing Faba Beans. *In: Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture*, A B Academic Publishers, PP 145-155
- Lehmann, H.J., Jaeggli, F., Walther, U. and Siegenthaler, A. (1990): Stickstoffdüngung im Ackerbau. *Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Lindau/Zürich*, Pages 4.
- Neeteson, J.J. (1990): Development of nitrogen fertilizer recommendation for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. *Fertilizer Research* 26:291-298.
- Peterson, G.A., Anderson, F.N., Varvel, G.E. and Olson, R.A. (1979): Uptake of <sup>15</sup>N-labeled nitrate by sugar beets from depths greater than 180cm. *Agron. J.* 71:371-372.
- Reneau, R.B., Berry, Jr. D.F. and Martens, D.C. (1990) : Fate and Transport of Selected Pollutants in Soils. *Internatl Symp. Environ. Pollut. Agric.*, September 21, 1990. Seoul Nat'l. Univ., Seoul, Korea, Pages 14-44.
- Ribaldo, M. 1992. "Agriculture's Impact on Water Quality," *Agricultural Resources: Cropland, Water, and Conservation Situation and Outlook Report*, AR-8, ECIFS 10-3.
- Sahrawat, K. L. 1983. Nitrogen availability indexes for submerged rice soils. *Advan. in Agron.* 36: 415-451.
- Sauerbeck, D. and Hersemann, H. (1990): The Nitrogen Balance of Agriculturally used Water Catchment Areas. *In : Merck, R., Vereecken, H. and Vlassak, K. (eds.). Fertilization and the Environment*, Pages 225-232, International Symposium 28.Aug-30.Aug.1989 in

Leuven/Belgium. Presses Universitaires des Louvain. Leuven/Belgium

Scharpf,H.C. (1991): Fachgerechte Stickstoffdüngung. AID Heft Nr.1017, Bonn / Germany

Scharpf,H.C. and Weier,U. (1994): Kalulatorische Ermittlung des  $N_{min}$ -Sollwertes im Gemüsebau unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffimmobilisierung bzw Stickstofffixierung. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 157:11-16

Tsuji Gordon Y., Goro Uehara, and Sharon Balas. 1994. DSSAT version 3, Vol. 1-4. University of Hawaii.

Vroomen, H., and B. Larson. 1991. A Direct Approach for Estimating Nitrogen, Phosphate, and Land Demands at the Regional Level. TB-1786. USDA/ERS.

Williams,A.J. (1993): High-Yield Nutrient Management Systems and Environmental Constraints. International Crop Science Vol I:37-42.

JA全農, 1996. 「環境保全のための 肥料情報」3券.

# 부 록

## 부록 1. 수도 생육실험 성적

Table 1-1. The meteorological condition during cropping season in 1996.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Jun.1	23.6	31.0	17.0	57	0	20.96
2	22.0	27.5	17.0	68	0	15.95
3	20.3	22.5	19.2	78	0	5.79
4	20.9	26.0	18.0	61	50	22.36
5	21.8	28.8	13.0	50	0	25.31
6	24.5	29.0	15.0	56	0	21.76
7	20.2	21.0	19.2	71	2.3	6.74
8	23.4	28.0	18.2	57	0	14.04
9	25.0	30.2	19.2	69	38.2	22.64
10	21.0	23.0	21.0	77	0.38	4.73
11	23.8	27.0	20.9	70	0	12.70
12	24.0	27.2	20.5	68	0	8.22
13	26.0	30.0	23.2	67	0	18.02
14	24.2	27.5	22.2	69	0	16.53
15	25.3	29.7	21.0	73	0.6	18.81
16	25.0	29.4	22.6	72	47.5	12.80
17	23.0	23.0	22.0	80	79.7	2.73
18	20.8	24.9	17.2	72	0.5	15.30
19	24.0	28.9	19.0	68	3.2	20.42
20	22.1	23.0	21.0	75	5.4	4.13
21	24.4	28.0	22.2	67	0	16.08
22	24.3	27.2	23.0	70	0	17.36
23	23.9	27.2	21.4	70	0	12.85
24	21.4	20.0	20.0	80	26.7	2.99
25	20.6	23.0	19.5	71	0.8	5.34
26	22.8	27.0	19.5	70	0	14.68
27	21.0	21.0	21.0	83	14	3.37
28	22.8	24.9	21.5	80	0	6.85
29	23.7	26.0	23.0	81	4.9	3.56
30	24.3	27.0	20.5	71	0	14.96

Table 1-2. The meteorological condition during cropping season in 1996.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Jul.1	25.3	30.0	22.0	69	0	18.57
2	24.9	29.0	22.0	73	0	15.85
3	25.9	30.0	22.8	72	0	19.78
4	23.2	24.5	22.2	80	55	3.17
5	23.9	28.5	20.0	75	0	25.21
6	23.8	28.0	21.2	75	0	19.54
7	23.7	28.0	19.8	63	0	25.23
8	23.5	28.5	16.5	60	0	24.60
9	23.2	28.0	17.0	68	0	26.03
10	23.3	26.9	18.5	62	0	19.83
11	24.0	27.0	20.0	74	0	18.18
12	22.2	24.9	20.5	66	0	7.57
13	23.0	26.5	20.0	76	0.8	12.19
14	22.9	26.8	21.9	75	0	9.99
15	24.2	28.5	21.0	75	27.7	6.07
16	23.9	26.9	22.5	72	0.8	11.61
17	25.6	31.0	21.5	73	0	19.62
18	27.0	33.5	22.5	73	0	23.84
19	26.8	32.0	24.0	74	0	20.49
20	27.0	30.0	24.5	73	0	14.67
21	26.1	29.5	24.2	78	68	7.68
22	25.3	27.8	23.8	78	0	12.38
23	26.9	30.5	23.5	71	0	18.45
24	27.8	31.2	25.4	68	0	18.86
25	27.3	30.5	25.2	67	0	23.09
26	27.5	30.0	25.2	68	0	16.51
27	27.0	30.2	25.2	70	4	16.57
28	26.0	30.8	23.0	71	4	17.23
29	27.5	32.0	24.2	67	0	21.43
30	27.2	31.8	24.0	70	0	22.30
31	27.8	33.5	23.0	69	0	21.66



Table 1-3. The meteorological condition during cropping season in 1996.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Aug.1	27.9	33.8	24.0	96	16	17.08
2	26.9	32.2	23.8	81	0	17.01
3	27	32.0	23.8	71	0	19.52
4	25.9	30.2	23.0	76	7.6	15.14
5	26.4	30.0	24.0	76	0	12.90
6	27.1	31.0	23.2	74	0	22.80
7	25.7	29.8	23.5	67	0	12.94
8	25.0	28.7	23.0	73	0	15.05
9	26.8	30.0	23.5	73	0	18.68
10	27.1	32.0	25.0	71	0	19.11
11	26.9	32.0	24.8	65	0	21.09
12	27.3	31.8	24.0	66	0	21.66
13	26.4	31.5	23.0	72	0	18.87
14	26.4	31.8	23.0	73	0	20.26
15	25.4	29.0	22.0	70	0	20.11
16	24.3	30.0	20.0	70	0	19.82
17	24.6	30.0	19.2	80	0	20.39
18	26.8	32.0	22.0	66	0	19.27
19	26.3	31.2	22.0	71	2.5	16.93
20	26.1	31.5	22.5	72	2.4	19.24
21	27.0	31.0	23.5	69	0	11.88
22	25.0	30.2	25.0	80	12.2	11.83
23	23.7	27.5	21.0	71	0	6.29
24	23.4	27.0	21.0	79	0	14.2
25	21.9	23.5	21.0	75	0	6.36
26	20.2	20.8	19.0	83	63.8	2.13
27	20.5	21.0	20.0	83	6.5	2.38
28	19.7	21.0	18.5	83	0	4.56
29	21.5	28.0	18.0	71	0	16.8
30	20.8	23.0	19.0	70	0	6.27
31	21.5	26.0	19.0	74	0	12.26

Table 1-4. The meteorological condition during cropping season in 1996.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Sept.1	21.8	27.5	16.0	69	0	22.15
2	21.6	28.0	16.0	69	0	21.12
3	21.8	28.0	16.5	72	0	18.84
4	21.5	26.0	18.0	75	0	10.30
5	20.5	24.5	16.5	79	1.4	10.31
6	20.2	23.5	18.0	75	0	8.57
7	21.2	29.0	15.0	77	0	17.24
8	24.1	30.0	17.2	75	4.8	17.53
9	21.6	25.5	17.7	89	0	10.24
10	23.5	28.0	21.0	79	0	15.14
11	23.3	28.5	20.0	78	0	15.36
12	23.9	28.5	19.0	79	0	13.66
13	23.2	29.0	18.8	77	0	16.61
14	23.2	29.0	18.5	75	0	15.70
15	24.4	30.0	18.8	74	0	15.88
16	24.8	29.5	19.5	76	0	11.95
17	23.7	29.0	20.2	81	0	10.24
18	24.5	29.2	19.2	78	0	14.33
19	22.3	26.5	20.5	83	4.3	5.97
20	20.5	25.5	13.0	63	0	17.43
21	17.6	25.5	10.0	63	0	18.91
22	18.9	25.5	12.0	72	0	16.93
23	22.6	29.5	15.0	73	0	15.60
24	22.6	29.5	17.8	79	0	15.74
25	21.7	29.5	17.5	81	0	14.94
26	21.7	28.0	18.0	78	0	15.16
27	23.4	29.0	19.2	71	0	15.18
28	20.8	23.5	18.5	66	0	8.85
29	21.6	29.0	17.0	76	0	12.23
30	21.8	29.0	16.2	68	0	13.62

Table 2-1. The meteorological condition during cropping season in 1997.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Jun.1	22.5	29.0	16.0	71	0	12.41
2	19.8	25.0	14.0	66	0	23.00
3	20.0	25.2	14.0	63	0	21.05
4	22.0	28.0	16.9	68	0	19.57
5	19.6	29.0	16.5	78	16.1	5.06
6	22.3	29.0	16.5	75	0	22.88
7	25.3	31.0	19.5	66	0	21.48
8	24.6	27.5	21.2	51	0.1	8.24
9	23.7	28.0	19.2	71	0	18.45
10	23.6	30.2	19.0	57	0	22.02
11	24.5	30.2	19.8	65	0	19.21
12	24.2	29.5	19.2	66	0	20.68
13	24.3	32.0	18.0	63	0	19.46
14	26.0	33.0	19.5	56	0	19.55
15	26.8	32.7	20.2	62	0	19.78
16	27.4	32.7	22.5	63	0	20.25
17	26.3	33.0	20.7	62	0	17.84
18	27.7	34.5	20.1	58	0	15.65
19	27.3	32.8	23.2	72	0	11.54
20	23.5	29.0	22.0	78	27	9.84
21	25.7	30.2	21.9	74	0	17.79
22	24.8	28.0	22.2	78	0	7.22
23	26.8	32.5	22.5	70	0	19.24
24	27.0	33.0	21.6	70	0	18.80
25	24.2	25.0	23.1	91	107	1.95
26	26.4	27.9	25.0	81	5	5.92
27	25.3	28.0	19.0	83	0	4.78
28	26.1	31.8	22.0	69	0	19.36
29	27.1	33.0	20.2	68	0	18.53
30	26.9	30.5	19.0	70	120	15.26

Table 2-2. The meteorological condition during cropping season in 1997.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Jul.1	24.8	25.8	24.0	90	13	1.76
2	27.6	31.0	24.9	79	0	10.02
3	28.9	30.0	27.0	68	0	6.88
4	27.1	28.0	25.0	80	49.2	0.91
5	27.0	28.0	23.0	80	4.6	5.33
6	26.5	27.0	21.0	85	23	4.00
7	26.4	30.0	21.0	75	0	17.97
8	25.4	31.0	21.8	72	0	15.88
9	25.4	29.5	21.8	75	0	15.82
10	26.9	32.8	21.8	72	0	18.95
11	26.1	29.0	22.8	65	18.2	15.83
12	23.8	26.8	22.2	85	0	6.40
13	26.9	31.2	23.2	73	0	21.33
14	26.6	30.5	23.0	80	0	15.43
15	26.5	28.0	25.0	87	46.7	3.04
16	27.5	31.0	25.5	84	0	10.97
17	27.9	31.5	24.9	77	0	11.92
18	27.9	33.2	24.0	69	0	17.63
19	28.6	34.2	23.9	73	0	18.54
20	29.4	34.0	25.0	74	0	15.67
21	30.3	34.4	27.8	73	0	16.18
22	30.1	35.0	26.7	71	0	19.87
23	28.9	35.0	26.5	79	21.5	17.53
24	30.1	34.2	27.1	80	0	14.20
25	30.7	35.0	26.8	76	0	15.73
26	30.2	35.0	26.4	70	0	17.36
27	29.5	34.0	26.5	70	0	13.16
28	30.5	34.0	26.2	71	0	16.35
29	30.9	35.0	26.5	74	0	15.72
30	30.7	35.0	26.5	76	0	14.93
31	29.6	34.2	27.8	82	0	12.84

Table 2-3. The meteorological condition during cropping season in 1997.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Aug.1	30.8	36.0	27.2	74	0	15.26
2	30.4	34.8	27.4	69	0	16.39
3	28.1	33.2	25.0	86	0	7.58
4	24.9	26.0	24.2	91	140	0.20
5	27.4	31.9	23.8	79	0	21.38
6	27.5	33.0	23.2	74	0	15.97
7	28.3	32.2	23.5	80	0	13.60
8	31.2	35.5	29.0	74	6.2	14.81
9	29.8	32.8	28.0	81	0	20.38
10	27.6	30.8	25.0	79	0	11.96
11	28.2	32.0	25.0	76	0	17.89
12	28.7	32.8	25.0	72	0	15.77
13	28.0	32.5	23.2	71	0	17.51
14	27.9	31.5	25.0	67	0	20.24
15	27.8	32.4	22.8	63	0	20.01
16	27.3	31.8	22.5	65	0	17.65
17	27.8	33.5	22.1	68	0	21.80
18	29.1	33.8	26.8	73	17.2	11.60
19	29.5	32.0	27.8	77	0	6.37
20	31.4	34.9	28.0	68	0	14.55
21	28.7	32.0	23.0	76	5.4	6.23
22	26.1	31.2	22.0	72	0	19.40
23	26.4	32.0	21.2	74	0	16.08
24	27.5	32.2	23.0	75	0	17.33
25	27.9	33.5	23.8	70	0	13.59
26	27.7	32.8	25.0	76	0	11.46
27	27.8	32.5	24.0	74	0	16.54
28	27.9	33.5	23.7	71	0.1	15.25
29	27.3	32.2	23.8	79	0	9.68
30	27.9	32.0	26.0	83	2	7.78
31	28.9	32.5	26.0	84	10	12.77

Table 2-4. The meteorological condition during cropping season in 1997.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Sept.1	29.9	34.0	26.5	77	2.8	13.24
2	26.5	29.2	22.2	89	9	4.59
3	24.8	29.5	21.0	75	0	12.00
4	24.7	30.0	21.0	78	0	13.13
5	25.8	31.5	21.6	73	0	14.76
6	26.0	32.0	22.6	70	0	13.58
7	26.0	32.5	20.8	71	0	12.63
8	25.6	32.0	20.0	73	0	13.49
9	26.3	31.0	23.5	74	0	10.86
10	26.1	31.2	23.0	79	0	7.52
11	24.8	29.8	21.5	76	0	10.06
12	23.4	28.8	19.8	77	0	4.75
13	23.4	27.0	20.0	74	0	5.71
14	21.3	25.0	18.2	71	0	8.46
15	21.6	26.5	15.8	52	0	14.88
16	20.2	24.2	18.0	80	11.3	6.17
17	22.0	26.5	16.8	73	0	13.77
18	19.8	26.0	14.5	67	0	11.99
19	19.0	26.0	12.2	67	0	13.50
20	21.0	31.2	15.2	65	0	9.52
21	17.4	24.0	11.2	64	0	12.95
22	19.5	26.0	11.0	61	0	12.81
23	19.9	26.5	16.0	64	0	11.93
24	20.0	25.0	13.5	64	6	9.29
25	19.3	20.5	18.0	79	2	2.38

Table 3-1. The meteorological condition during cropping season in 1998.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
May.11	10.5	11.0	10.0	88.0	0	2.91
12	13.0	15.0	11.0	80.0	26.3	3.98
13	19.0	21.0	11.0	66.5	0	20.88
14	17.5	25.0	10.0	67.5	0	21.83
15	19.5	25.0	14.0	53.5	0	20.86
16	16.5	20.0	13.0	54.0	15.6	3.84
17	16.5	20.0	13.0	66.0	0	17.46
18	18.5	23.0	14.0	69.5	0	14.75
19	19.0	25.0	13.0	65.0	0	19.76
20	20.0	26.0	14.0	62.0	0	23.28
21	21.5	29.0	14.0	53.5	0	24.29
22	19.5	28.0	11.0	48.0	0	20.34
23	22.0	28.0	16.0	54.0	0	19.63
24	17.0	20.0	14.0	74.0	0	6.87
25	16.5	22.0	11.0	60.5	0	32.72
26	16.5	25.0	8.0	53.5	0	26.38
27	17.5	26.0	9.0	55.0	0	25.01
28	19.0	24.0	14.0	60.0	0	16.99
29	17.5	22.0	13.0	66.0	0	19.02
30	16.5	23.0	10.0	50.5	0	27.70
31	16.5	23.0	10.0	56.0	0	16.08

Table 3-2. The meteorological condition during cropping season in 1998.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Jun.1	16.5	20.0	13.0	56.0	0	8.20
2	15.5	17.0	14.0	80.5	0	3.25
3	15.5	17.0	14.0	77.5	9.9	7.01
4	16.5	19.0	14.0	74.5	0	8.50
5	14.5	16.0	13.0	79.0	13.8	2.85
6	16.5	20.0	13.0	69.5	0	12.29
7	17.5	24.0	11.0	61.0	0	26.21
8	16.5	19.0	14.0	69.5	0	11.34
9	19.5	25.0	14.0	61.5	0	22.41
10	21.5	27.0	16.0	62.5	0	26.25
11	21.5	27.0	16.0	61.5	0	21.98
12	21.5	27.0	16.0	62.0	0	16.73
13	19.0	21.0	17.0	63.5	14.4	4.73
14	18.5	22.0	15.0	69.0	22.1	14.79
15	18.5	24.0	13.0	63.5	0	24.62
16	20.0	25.0	15.0	66.0	0	15.31
17	22.5	28.0	17.0	61.0	0	20.54
18	22.0	25.0	19.0	69.0	0	14.53
19	21.0	25.0	17.0	73.0	0	9.42
20	22.0	27.0	17.0	62.0	13.2	21.64
21	22.5	26.0	19.0	64.0	0	17.91
22	22.5	28.0	17.0	59.0	0	27.75
23	21.0	26.0	16.0	57.0	0	27.80
24	22.0	26.0	18.0	64.5	0	16.91
25	20.5	22.0	19.0	82.5	75.8	3.37
26	20.5	22.0	19.0	79.5	0	6.58
27	20.5	24.0	17.0	75.5	0	5.68
28	23.0	26.0	20.0	70.0	0	11.43
29	25.0	29.0	21.0	59.0	0	17.36
30	25.0	28.0	22.0	61.5	0	5.92



Table 3-3. The meteorological condition during cropping season in 1998.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Jul.1	23.0	26.0	20.0	75.0	56.7	5.29
2	21.5	22.0	21.0	79.5	0	3.66
3	21.5	23.0	20.0	80.0	59.9	5.88
4	22.5	24.0	21.0	77.5	0	19.55
5	23.5	27.0	20.0	64.5	0	14.39
6	23.0	28.0	18.0	66.0	0	18.95
7	25.0	29.0	21.0	64.5	0	17.32
8	24.5	26.0	23.0	75.5	11.7	6.99
9	25.0	27.0	23.0	70.5	0	12.33
10	24.0	25.0	23.0	78.5	0	6.96
11	24.5	27.0	22.0	72.5	70	8.34
12	24.0	26.0	22.0	69.5	0	11.61
13	24.0	27.0	21.0	61.5	0	22.90
14	23.5	27.0	20.0	68.0	0	18.02
15	23.0	26.0	20.0	74.0	29.4	14.23
16	24.0	27.0	21.0	69.5	0	10.76
17	23.0	27.0	19.0	61.0	0	26.11
18	19.5	27.0	12.0	67.5	0	19.66
19	24.0	28.0	20.0	76.0	6.55	8.97
20	23.0	28.0	18.0	65.0	0	18.74
21	23.5	27.0	20.0	71.0	0	11.37
22	24.0	27.0	21.0	64.0	0	17.85
23	25.0	29.0	21.0	62.5	0	22.00
24	24.0	27.0	21.0	59.0	0	17.42
25	23.0	26.0	20.0	69.5	0	8.44
26	21.5	24.0	19.0	73.0	0	8.69
27	23.0	28.0	18.0	65.0	0	22.05
28	24.5	28.0	21.0	65.0	0	19.15
29	25.0	30.0	20.0	65.5	0	21.28
30	25.5	29.0	22.0	67.0	0	14.53
31	24.5	26.0	23.0	74.5	0	6.31

Table 3-4. The meteorological condition during cropping season in 1998.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Aug.1	24.5	27.0	22.0	71.5	47.6	12.32
2	24.5	28.0	21.0	72.0	0	11.57
3	26.0	29.0	23.0	75.5	0	10.52
4	26.0	29.0	23.0	70.5	32.5	14.03
5	26.0	29.0	23.0	71.0	0	13.20
6	24.0	26.0	22.0	80.5	61.7	4.56
7	27.5	31.0	24.0	68.5	0	15.28
8	26.0	28.0	24.0	77.5	15.7	8.65
9	24.5	27.0	22.0	75.0	40.3	6.58
10	24.5	27.0	22.0	76.0	10.4	8.11
11	24.5	27.0	22.0	79.5	28.1	6.14
12	24.0	25.0	23.0	78.5	11.9	2.27
13	24.5	27.0	22.0	75.0	0	11.09
14	25.0	27.0	23.0	73.5	0	8.19
15	24.0	25.0	23.0	79.5	75.1	4.64
16	24.0	27.0	21.0	73.0	31.2	7.84
17	24.5	27.0	22.0	71.5	0	12.57
18	23.0	25.0	21.0	76.5	0	8.45
19	23.0	27.0	19.0	67.0	0	18.79
20	23.5	28.0	19.0	62.0	0	18.14
21	23.0	28.0	18.0	62.0	0	20.58
22	23.5	28.0	19.0	65.5	0	17.04
23	23.0	25.0	21.0	67.0	16.4	4.92
24	23.0	26.0	20.0	66.5	0	14.10
25	22.5	26.0	19.0	63.0	0	17.20
26	22.5	26.0	19.0	65.5	0	12.53
27	22.5	27.0	18.0	65.0	0	9.34
28	22.0	27.0	17.0	63.5	0	16.29
29	22.5	28.0	17.0	62.5	0	18.40
30	22.5	27.0	18.0	67.0	0	16.03
31	22.0	27.0	17.0	66.5	0	19.52

Table 3-5. The meteorological condition during cropping season in 1998.

Date	Temperature (°C)			Average humidity (%)	Amount of rainfall (mm)	Solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> )
	Avg.	Max.	Min.			
Sept.1	21.5	26.0	17.0	66.0	11.5	15.36
2	21.5	26.0	17.0	60.5	0	16.46
3	21.5	27.0	16.0	59.0	0	15.01
4	21.5	27.0	16.0	63.5	0	18.63
5	22.0	27.0	17.0	60.0	0	17.18
6	22.5	28.0	17.0	63.0	0	17.70
7	22.5	27.0	18.0	64.5	13.7	10.03
8	22.5	30.2	20.8	70.0	0	11.32
9	25.0	30.5	19.5	52.5	0	14.97
10	24.8	29.5	20.0	56.0	0	15.78
11	24.0	30.0	18.0	57.5	0	11.96
12	24.8	29.5	20.0	64.9	0	14.40
13	23.2	28.0	18.4	77.9	0	16.43
14	18.9	23.3	14.5	63.0	0	15.39
15	17.9	24.0	11.8	59.0	0	9.72
16	19.8	25.8	13.8	63.5	0	19.60
17	20.8	26.5	15.0	56.0	0	19.51
18	20.4	23.8	17.0	57.0	0	18.25
19	24.7	29.4	20.0	64.9	0	15.29
20	16.8	20.0	13.5	66.0	0	11.22
21	17.7	22.0	13.3	63.0	0	4.76
22	20.3	26.7	15.0	69.0	0	15.9
23	20.0	24.8	14.0	59.0	0	10.9
24	20.3	25.8	16.3	77.0	0	13.2
25	20.6	26.1	16.0	75.0	0	12.5
26	22.1	27.4	18.4	75.0	0	9.5
27	21.4	27.0	17.3	76.0	0	9.6
28	20.7	23.3	18.0	72.0	0	5.0
29	17.5	20.2	15.6	91.0	0	2.4
30	17.8	18.5	17.3	92.0	0	1.0

Table 4-1-1. The record of soil temperature in lysimeter (1997).

Date	Soil depth (30cm)			Soil depth (50cm)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
May.27	19.59	17.71	18.51	19.47	17.50	18.33
28	19.62	18.17	18.83	19.40	17.93	18.62
29	19.43	18.00	18.57	19.33	17.73	18.39
30	19.42	18.50	18.83	19.34	18.36	18.69
31	20.32	17.48	18.51	20.22	17.16	18.34
Avg.	19.68	17.97	18.65	19.55	17.74	18.47
Jun. 1	20.31	18.91	19.63	20.20	18.79	19.51
2	19.91	17.99	18.88	19.82	17.80	18.31
3	20.10	18.03	19.03	19.97	17.71	18.80
4	20.65	18.55	19.51	20.53	18.32	19.31
5	20.66	18.81	19.54	20.56	18.67	19.39
6	20.73	17.76	18.74	20.62	17.53	18.56
7	22.46	19.77	20.75	22.50	19.64	20.66
8	22.50	21.27	21.76	22.55	21.27	21.75
9	23.07	21.26	21.89	23.12	21.22	21.89
10	22.95	21.25	22.08	22.99	21.23	22.13
11	23.23	20.92	21.97	23.22	20.83	21.95
12	23.73	21.61	22.60	23.81	21.54	22.56
13	24.13	21.78	22.91	24.11	21.79	22.90
14	24.77	22.39	23.47	24.76	22.31	23.44
15	24.92	22.83	23.88	24.97	22.81	23.86
16	25.45	23.33	24.34	25.41	23.35	24.32
17	25.81	23.89	24.83	25.82	23.86	24.79
18	25.93	23.82	24.89	25.85	23.79	24.80
19	25.94	24.51	25.17	25.84	24.36	25.04
20	25.00	24.17	24.77	25.39	24.05	24.63
21	25.38	24.01	24.63	25.25	23.94	24.47
22	25.40	24.18	24.68	25.33	23.98	24.52
23	25.30	23.67	24.27	25.16	23.44	24.10
24	25.63	24.28	24.92	25.47	24.01	24.74
25	25.56	23.67	24.60	25.41	23.40	24.43
26	23.65	23.12	23.33	23.34	22.92	23.11
27	23.67	23.17	23.43	23.38	22.99	23.19
28	24.20	23.12	23.54	23.99	22.89	23.31
29	24.71	23.15	23.80	24.42	22.91	23.59
30	24.94	24.16	24.59	24.60	23.94	24.30
Avg.	23.69	21.98	22.75	23.61	21.84	22.61

Table 4-1-2. Continued.

Date	Soil depth (30cm)			Soil depth (50cm)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
Jul. 1	24.88	23.37	24.00	24.54	23.11	23.73
2	24.29	23.24	23.50	23.98	22.99	23.24
3	24.99	24.38	24.57	24.71	24.14	24.32
4	24.97	24.22	24.50	24.68	23.97	24.26
5	24.20	23.29	23.78	23.92	23.03	23.56
6	23.21	22.01	22.55	22.99	21.65	22.28
7	22.40	21.34	21.72	22.07	21.01	21.41
8	22.94	22.10	22.45	22.54	21.83	22.11
9	23.01	22.27	22.66	22.65	22.01	22.32
10	23.89	22.53	23.03	23.56	22.18	22.68
11	23.97	23.41	23.64	23.63	23.12	23.35
12	23.31	22.22	22.59	22.99	21.97	22.31
13	23.33	22.30	22.61	22.93	21.95	22.24
14	23.72	22.91	23.24	23.44	22.64	22.94
15	23.89	23.52	23.70	23.63	23.30	23.46
16	24.24	23.55	23.75	23.98	23.36	23.53
17	24.52	24.07	24.29	24.25	23.89	24.04
18	24.95	23.96	24.38	24.58	23.74	24.11
19	25.44	24.46	24.84	25.12	24.19	24.55
20	26.25	25.09	25.53	25.76	24.78	25.18
21	26.30	25.75	26.07	25.89	25.46	25.69
22	26.79	25.84	26.25	26.46	25.56	25.91
23	26.77	26.08	26.43	26.51	25.75	26.14
24	26.84	26.35	26.57	26.58	26.02	26.26
25	27.41	26.67	26.93	27.11	26.42	26.65
26	27.51	26.97	27.31	27.19	26.73	27.01
27	27.47	26.75	27.08	27.09	26.48	26.76
28	27.16	26.51	26.81	26.79	26.16	26.44
29	27.40	26.92	27.10	27.12	26.58	26.75
30	27.63	27.00	27.29	27.35	26.73	27.01
31	27.65	27.26	27.47	27.48	27.01	27.24
Avg.	25.20	24.40	24.73	24.89	24.12	24.43

Table 4-1-3. Continued.

Date	Soil depth (30cm)			Soil depth (50cm)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
Aug.1	27.61	27.20	27.40	27.41	26.95	27.17
2	27.73	27.25	27.45	27.53	26.98	27.20
3	27.76	27.25	27.42	27.56	26.93	27.17
4	27.28	25.48	26.42	26.96	25.25	26.12
5	25.33	24.71	24.97	25.04	24.32	24.63
6	25.53	24.97	25.25	25.19	24.59	24.87
7	25.58	24.95	25.28	25.22	24.56	24.89
8	26.32	25.64	25.83	26.02	25.23	25.47
9	26.82	26.39	26.55	26.55	26.14	26.29
10	26.77	26.02	26.36	26.57	25.71	26.08
11	26.09	25.45	25.70	25.76	25.07	25.36
12	25.85	25.35	25.57	25.51	25.02	25.25
13	25.85	25.27	25.56	25.51	24.93	25.24
14	25.74	25.22	25.47	25.38	24.91	25.13
15	25.65	24.87	25.21	25.33	24.54	24.88
16	25.36	24.68	25.00	25.04	24.32	24.66
17	25.14	24.29	24.71	24.82	23.93	24.33
18	25.66	24.90	25.14	25.37	24.61	24.80
19	25.89	25.65	25.74	25.66	25.34	25.50
20	26.26	25.74	25.98	25.89	25.45	25.69
21	26.26	25.76	25.95	25.90	25.37	25.58
22	25.69	24.80	25.18	25.34	24.41	24.77
23	25.01	24.05	24.46	24.52	23.53	23.94
24	24.69	23.96	24.28	24.30	23.45	23.79
25	24.71	24.17	24.44	24.34	23.76	24.03
26	24.88	24.36	24.61	24.37	24.01	24.21
27	24.74	24.16	24.42	24.17	23.71	23.94
28	24.88	24.25	24.58	24.29	23.96	24.13
29	24.70	23.82	24.14	24.04	23.33	23.62
30	25.22	24.39	24.68	24.67	23.99	24.18
31	25.63	24.87	25.16	25.14	24.37	24.68
Avg.	25.83	25.16	25.45	25.46	24.80	25.08

Table 4-1-4. Continued.

Date	Soil depth (30cm)			Soil depth (50cm)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
Sept.1	25.97	25.28	25.58	25.42	24.86	25.13
2	25.99	25.57	25.81	25.53	25.06	25.40
3	25.31	24.09	24.47	24.92	23.70	24.06
4	24.14	23.22	23.54	23.70	22.80	23.06
5	23.43	22.84	23.15	22.87	22.23	22.57
6	23.66	23.06	23.30	23.04	22.45	22.72
7	23.70	23.09	23.44	23.11	22.57	22.87
8	23.68	22.81	23.22	23.04	22.33	22.67
9	23.26	22.66	22.98	22.63	22.04	22.34
10	23.27	22.89	23.14	22.79	22.35	22.58
11	23.23	22.73	23.02	22.70	22.23	22.43
12	22.82	21.81	22.13	22.17	21.16	21.50
13	22.04	21.53	21.73	21.51	21.03	21.22
14	21.65	20.40	20.91	21.16	19.87	20.44
15	20.24	19.23	19.69	19.76	18.83	19.20
16	19.83	18.67	19.09	19.39	18.04	18.55
17	19.55	18.54	18.97	18.97	18.01	18.41
18	19.55	18.80	19.18	18.97	18.28	18.59
19	19.06	17.93	18.41	18.47	17.34	17.78
20	18.48	17.59	18.11	17.76	17.05	17.43
21	18.39	17.33	17.75	17.68	16.69	17.07
22	17.44	16.27	16.89	16.79	15.71	16.26
23	17.79	16.84	17.30	17.24	16.31	16.75
24	17.71	16.84	17.29	17.19	16.41	16.80
25	17.61	17.09	17.23	17.02	16.62	16.75
26	17.20	16.88	17.02	16.75	16.47	16.58
27	17.30	16.51	16.93	16.74	16.05	16.42
28	17.34	16.67	17.05	16.77	16.16	16.53
29	17.24	16.31	16.87	16.73	15.86	16.36
30	17.24	16.15	16.74	16.73	15.76	16.22
Avg.	20.80	19.99	20.36	20.25	19.48	19.82
Oct.1	17.28	16.42	16.88	16.79	15.93	16.40
2	17.47	16.46	16.98	17.07	16.01	16.55
3	17.53	16.55	17.02	17.14	16.13	16.63
4	17.53	17.13	17.36	17.18	16.79	17.00
5	17.32	16.18	16.62	16.88	15.78	16.19
6	16.34	15.06	15.67	15.85	14.57	15.13
7	15.87	15.12	15.54	15.28	14.54	15.00
8	15.60	14.58	14.91	15.13	14.09	14.39
9	14.50	13.19	13.81	13.85	12.56	13.17
10	15.38	14.26	14.69	15.03	13.69	14.19
11	15.16	13.49	14.00	14.72	13.00	13.54
12	13.47	11.76	12.54	12.93	11.00	12.03
13	12.47	10.96	11.56	12.00	10.28	10.92
Avg.	15.84	14.70	15.20	15.37	14.18	14.70

Table 4-2-1. The record of soil temperature in lysimeter (1998).

Date	Soil depth (10cm)			Soil depth (30cm)			Soil depth (50cm)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
May 25	20.55	19.68	20.12	20.29	19.54	19.92	22.49	18.69	20.59
26	20.03	18.78	19.41	21.09	18.5	19.80	22.64	17.29	19.97
27	20.24	18.80	19.52	21.46	18.58	20.02	21.59	17.57	19.58
28	20.08	19.27	19.68	20.88	19.28	20.08	21.95	18.67	20.31
29	20.17	19.42	19.80	20.97	19.54	20.26	22.03	19.03	20.53
30	19.99	18.90	19.45	21.04	18.78	19.91	22.72	17.81	20.27
31	19.44	18.41	18.93	19.83	18.23	19.03	20.77	17.12	18.95
Avg.	20.07	19.04	19.55	20.79	18.92	19.86	22.03	18.03	20.03
Jun. 1	18.89	18.24	18.57	18.90	18.17	18.54	19.23	17.52	18.38
2	18.24	17.53	17.89	18.19	17.52	17.86	17.71	17.11	17.41
3	17.44	17.24	17.34	17.70	17.33	17.52	17.93	16.94	17.44
4	17.41	16.95	17.18	17.86	16.99	17.43	18.29	16.57	17.43
5	17.35	16.96	17.16	17.52	16.89	17.21	17.41	16.28	16.85
6	17.71	16.54	17.13	18.48	16.51	17.50	19.57	15.90	17.74
7	19.05	17.09	18.07	20.39	17.12	18.76	22.46	16.57	19.52
8	19.53	18.63	19.08	20.49	19.03	19.76	21.65	18.89	20.27
9	20.61	18.98	19.80	21.92	19.20	20.56	23.72	18.80	21.26
10	21.85	20.20	21.03	23.17	20.60	21.89	25.11	20.33	22.72
11	22.72	21.17	21.95	24.09	21.49	22.79	26.08	21.32	23.70
12	22.66	21.86	22.26	23.65	22.16	22.91	25.00	21.76	23.38
13	22.33	20.74	21.54	22.49	20.73	21.61	21.67	20.11	20.89
14	20.75	19.95	20.35	21.63	19.92	20.78	22.78	19.40	21.09
15	21.72	20.22	20.97	23.03	20.41	21.72	24.95	19.99	22.47
16	21.95	21.03	21.49	22.94	22.21	22.58	24.20	21.09	22.65
17	23.18	21.57	22.38	24.52	21.95	23.24	26.40	21.77	24.09
18	23.33	22.78	23.06	24.24	23.22	23.73	25.29	23.23	24.26
19	23.18	22.63	22.91	23.65	22.91	23.28	24.49	22.70	23.60
20	23.78	22.31	23.05	25.09	22.52	23.81	26.96	22.21	24.59
21	24.39	23.25	23.82	25.66	23.64	24.65	27.26	23.48	25.37
22	24.67	23.43	24.05	25.96	23.62	24.79	27.79	23.16	25.48
23	24.49	23.44	23.97	25.65	23.50	24.58	27.28	22.78	25.03
24	24.43	23.68	24.06	25.41	23.83	24.62	26.71	23.42	25.07
25	24.33	23.36	23.85	24.61	23.56	24.09	23.92	23.67	23.80
26	23.30	23.04	23.17	23.52	23.25	23.39	23.76	22.99	23.38
27	22.99	22.51	22.75	23.57	22.67	23.12	24.10	22.39	23.25
28	23.64	22.88	23.26	24.46	23.25	23.86	25.49	23.30	24.40
29	24.63	23.50	24.07	25.73	23.91	24.82	26.96	24.04	25.50
30	24.62	24.22	24.42	25.37	24.51	24.94	25.47	24.39	24.93
Avg.	21.84	20.86	21.35	22.66	21.09	21.88	23.65	20.74	22.20



Table 4-2-2. Continued.

Date	Soil depth (10cm)			Soil depth (30cm)			Soil depth (50cm)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
Jul.1	24.12	23.41	23.77	24.33	23.56	23.95	23.83	23.29	23.56
2	23.33	22.91	23.12	23.48	23.10	23.29	23.31	22.85	23.08
3	23.06	22.80	22.93	23.53	23.04	23.29	23.89	22.99	23.44
4	23.97	22.93	23.45	24.95	23.25	24.10	26.08	23.22	24.65
5	24.39	23.54	23.97	25.34	23.95	24.65	26.37	23.89	25.13
6	25.14	24.29	24.72	26.04	24.77	25.41	27.09	24.92	26.01
7	25.55	25.37	25.46	26.30	25.40	25.85	27.16	25.52	26.34
8	25.49	25.12	25.31	25.97	25.46	25.72	25.97	25.40	25.69
9	25.24	24.94	25.09	25.76	25.23	25.50	26.23	25.23	25.73
10	25.17	24.92	25.05	25.58	25.20	25.39	25.21	25.62	25.42
11	24.95	24.68	24.82	25.48	24.95	25.22	25.93	24.10	25.02
12	25.09	24.85	24.97	25.69	25.23	25.46	26.18	25.36	25.77
13	25.26	24.73	25.00	26.02	25.01	25.52	26.85	24.90	25.88
14	25.20	24.63	24.92	25.66	24.86	25.26	26.32	24.60	25.46
15	24.92	24.52	24.72	25.36	24.76	25.06	25.85	24.06	24.96
16	24.78	24.49	24.64	25.28	24.75	25.02	25.75	24.63	25.19
17	24.77	24.25	24.51	25.45	24.41	24.93	26.17	24.10	25.14
18	24.67	24.28	24.48	25.07	24.47	24.77	25.53	24.10	24.82
19	24.34	23.66	24.00	24.51	23.80	24.16	24.03	23.41	23.72
20	24.01	23.29	23.65	24.61	23.38	24.00	25.22	23.00	24.11
21	24.01	23.81	23.91	24.48	24.06	24.27	24.81	23.96	24.39
22	24.31	23.70	24.01	24.85	23.87	24.36	25.42	23.63	24.53
23	24.84	24.09	24.47	25.51	24.35	24.93	26.21	24.20	25.21
24	24.80	24.47	24.64	25.23	24.67	24.95	25.65	24.40	25.03
25	24.66	24.14	24.40	24.75	24.18	24.47	24.94	23.71	24.33
26	24.07	23.59	23.83	23.99	23.61	23.80	24.00	23.45	23.73
27	24.04	23.33	23.69	24.56	23.38	23.97	25.08	22.99	24.04
28	24.52	23.93	24.23	25.07	24.07	24.57	25.58	23.91	24.75
29	25.26	24.37	24.82	25.97	24.62	25.30	26.63	24.51	25.57
30	25.73	25.22	25.48	26.36	25.60	25.98	26.79	25.67	26.23
31	25.71	25.12	25.42	26.20	25.21	25.71	26.14	24.85	25.50
Avg.	24.69	24.17	24.43	25.21	24.39	24.80	25.62	24.21	24.91

Table 4-2-3. Continued.

Date	Soil depth (10cm)			Soil depth (30cm)			Soil depth (50cm)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
Aug.1	25.05	24.70	24.88	25.35	24.82	25.09	25.62	24.61	25.12
2	25.73	25.35	25.54	25.97	25.01	25.49	26.39	24.87	25.63
3	25.73	25.34	25.54	26.33	25.74	26.04	26.81	25.89	26.35
4	25.93	25.44	25.69	26.51	25.70	26.11	27.01	25.61	26.31
5	26.12	25.80	25.96	26.65	26.18	26.42	27.02	26.26	26.64
6	26.11	25.75	25.93	26.54	26.06	26.30	26.61	26.00	26.31
7	26.46	25.70	26.08	27.14	25.99	26.57	26.79	25.95	26.37
8	26.60	26.37	26.49	27.07	26.74	26.91	27.42	26.82	27.12
9	26.56	26.05	26.31	26.88	26.28	26.58	26.82	26.15	26.49
10	26.04	25.76	25.90	26.27	26.03	26.15	26.40	25.92	26.16
11	25.90	25.70	25.80	26.32	25.90	26.11	26.56	25.74	26.15
12	25.91	25.53	25.72	26.27	25.65	25.96	26.34	25.39	25.87
13	25.50	25.22	25.36	25.91	25.43	25.67	26.11	25.10	25.61
14	25.60	25.39	25.50	26.00	25.66	25.83	26.17	25.60	25.89
15	25.50	25.30	25.40	25.74	25.52	25.63	25.65	25.40	25.53
16	25.25	24.96	25.11	25.60	25.14	25.37	25.85	24.96	25.41
17	25.26	25.08	25.17	25.66	25.32	25.49	25.95	25.25	25.60
18	25.18	24.84	25.01	25.43	25.02	25.23	25.19	24.81	25.00
19	24.80	24.44	24.62	24.94	24.61	24.78	25.06	24.31	24.69
20	24.74	24.46	24.60	25.16	24.68	24.92	25.51	24.11	24.81
21	24.52	24.02	24.27	24.73	24.03	24.38	24.98	23.61	24.30
22	24.25	23.87	24.06	24.58	23.97	24.28	24.75	23.72	24.24
23	24.23	23.93	24.08	24.52	24.07	24.30	24.38	23.91	24.15
24	23.89	23.63	23.76	23.98	23.83	23.91	23.99	23.53	23.76
25	23.65	23.38	23.52	23.94	23.45	23.70	24.21	23.13	23.67
26	23.56	23.27	23.42	23.80	23.38	23.59	23.86	23.10	23.48
27	23.49	23.17	23.33	23.63	23.28	23.46	23.55	22.85	23.20
28	23.12	22.75	22.94	23.25	22.79	23.02	23.35	22.38	22.87
29	22.72	23.12	22.92	23.48	22.81	23.15	23.74	22.44	23.09
30	23.14	22.87	23.01	23.51	22.99	23.25	23.69	22.14	22.92
31	23.06	22.71	22.89	23.33	22.81	23.07	23.45	22.45	22.95
Avg.	24.95	24.64	24.80	25.31	24.80	25.05	25.46	24.58	25.02

Table 4-2-4. Continued.

Date	Soil depth (10cm)			Soil depth (30cm)			Soil depth (50cm)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
Sept.1	22.94	22.53	22.74	23.08	22.52	22.80	22.79	22.09	22.44
2	22.43	22.04	22.24	22.70	22.00	22.35	22.96	21.63	22.30
3	22.34	21.95	22.15	22.66	21.96	22.31	22.93	21.62	22.28
4	22.47	21.89	22.18	22.89	21.91	22.40	23.23	21.55	22.39
5	22.46	22.20	22.33	22.73	22.35	22.54	22.99	22.01	22.50
6	22.64	21.96	22.30	23.10	21.97	22.54	23.46	21.66	22.56
7	22.78	22.44	22.61	23.12	22.63	22.88	23.35	22.48	22.92
8	23.52	22.66	23.09	23.98	22.86	23.42	24.46	22.76	23.61
9	23.97	23.42	23.70	24.51	23.72	24.12	24.99	23.06	24.03
10	24.27	23.68	23.98	24.84	23.91	24.38	25.30	23.72	24.51
11	24.51	24.14	24.33	24.97	24.39	24.68	25.37	24.34	24.86
12	24.49	23.97	24.23	24.97	24.07	24.52	25.39	23.79	24.59
13	24.62	24.19	24.41	25.11	24.36	24.74	25.41	24.18	24.80
14	24.55	24.22	24.39	24.88	24.38	24.63	25.09	24.08	24.59
15	23.34	23.61	23.48	24.62	23.40	24.01	24.36	22.46	23.41
16	23.41	22.16	22.79	23.13	21.91	22.52	22.51	21.05	21.78
17	21.96	21.13	21.55	21.69	20.09	20.89	21.47	20.11	20.79
18	21.08	20.59	20.84	21.35	20.44	20.90	21.58	19.82	20.70
19	21.41	20.65	21.03	21.80	20.63	21.22	22.06	20.09	21.08
20	22.36	21.48	21.92	21.80	21.66	21.73	23.35	21.52	22.44
21	22.42	21.98	22.20	22.73	21.88	22.31	21.21	22.80	22.01
22	21.83	20.98	21.41	21.73	20.74	21.24	21.32	19.65	20.49
23	20.81	20.11	20.46	20.47	19.89	20.18	20.13	19.08	19.61
24	20.36	19.95	20.16	20.61	19.82	20.22	20.72	19.36	20.04
25	20.41	20.03	20.22	20.72	19.97	20.35	20.94	19.43	20.19
26	21.04	20.28	20.66	21.40	20.34	20.87	21.73	19.97	20.85
27	20.95	20.50	20.73	21.32	20.52	20.92	21.67	19.97	20.82
28	20.92	20.55	20.74	21.00	20.62	20.81	20.86	20.19	20.53
29	20.49	19.56	20.03	20.48	19.39	19.94	19.97	18.90	19.44
30	19.46	18.47	18.97	19.31	18.40	18.86	18.86	18.00	18.43
Avg.	22.34	21.78	22.06	22.59	21.76	22.17	22.68	21.38	22.03

Table 4-2-5. Continued.

Date	Soil depth (10cm)			Soil depth (30cm)			Soil depth (50cm)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
Oct.1	18.98	18.21	18.60	19.33	18.26	18.80	19.69	17.95	18.82
2	19.16	18.54	18.85	19.63	18.59	19.11	19.97	18.29	19.13
3	19.04	18.61	18.83	19.16	18.47	18.82	19.23	17.79	18.51
4	18.43	18.01	18.22	18.66	17.91	18.29	18.91	17.23	18.07
5	18.27	17.91	18.09	18.61	17.87	18.24	18.86	17.38	18.12
6	18.25	17.94	18.10	18.59	17.95	18.27	18.79	17.57	18.18
7	18.48	18.07	18.28	18.88	18.09	18.49	19.16	17.71	18.44
Avg.	18.66	18.18	18.42	18.98	18.16	18.57	19.23	17.70	18.47

Table 5-1. Amount of evapotranspiration (ml) in lysimeter condition (1996).

Nitrogen treatments	Observation date							
	Jun.19	Jul.1	Jul.2	Jul.6	Jul.7	Jul.26	Aug.17	Aug.24
N 0	-	-	-	3533	5400	8733	6708	6050
N 0.5	5690	-	-	4800	7167	11133	8350	7620
N 1	5240	7045	4710	8050	7500	12400	7980	8485

Table 5-2. Amount of evapotranspiration (ml) in lysimeter condition (1997).

Compost & Nitrogen treatments	Observation date								
	Jun.21	Jun.28	Jul.12	Jul.19	Jul.26	Aug.1	Aug.9	Aug.25	Sept.10
C0 N0	1353	3205	30 45	4156	7812	10586	2206	4290	2787
C0 N0.5	1624	4587	3887	4709	6633	7133	2872	5081	3172
C0 N1	792	3716	4066	4266	5812	6093	3751	5239	3672
C0 N1.5	1724	4637	3709	7472	5778	-1576	3490	-	5257
C0 N2	2124	3356	4016	-	4030	6884	5660	6660	-6934
C1 N0	2013	4627	4680	2872	8675	2081	4581	6424	1324
C1 N0.5	542	4077	3969	2578	3148	4396	290	3357	3172
C1 N1	1043	5609	4768	5093	5199	448	3712	6660	-6485
C1 N1.5	1163	6450	6912	6172	8990	6581	6687	-	8254
C1 N2	903	7210	5569	10939	7693	-591	7199	-	3739

Table 5-3 . Amount of evapotranspiration (ml) in lysimeter condition (1998).

Compost & Nitrogen treatments	Observation date									
	Jun.21	Jun.28	Jul.6	Jul.22	Jul.29	Aug.4	Aug.17	Aug.28	Sept.6	Sept.15
C0 N0	2600	6600	2100	2600	5000	6800	3700	400	3600	4100
C0 N0.5	5100	7100	4500	4000	6900	6800	4600	7400	6300	6000
C0 N1	5000	6800	2700	5000	7400	4200	3500	3300	3900	1800
C0 N1.5	5200	6400	2600	8900	9000	4600	1400	400	6000	3100
C0 N2	4800	7400	4500	6800	10700	5300	7700	1500	3200	3100
C1 N0	5200	7900	4600	500	10100	7900	5100	900	3100	4600
C1 N0.5	5200	6000	2200	3100	7100	5800	2600	3100	4500	1500
C1 N1	6200	5500	2700	7400	7900	6100	2800	2500	5300	5300
C1 N1.5	4600	6000	2400	8600	10100	6300	2900	4500	5600	5500
C1 N2	5200	7100	3300	7200	9700	7000	2800	4900	6500	3100

Table 6-1. Effect of nitrogen levels on pH of different soil depth in lysimeter condition(1996).

Nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date					
		May 23	Jun. 14	Jul. 1	Jul 18	Aug. 20	Oct. 10
0 N	10	6.1	6.0	5.5	5.5	5.2	5.7
	30	6.2	6.0	5.4	6.1	6.1	6.2
	70	6.5	6.3	5.8	6.2	6.2	6.3
0.5 N	10	-	6.0	5.7	5.5	5.6	5.5
	30	-	6.0	5.4	5.8	5.9	6.0
	70	-	6.1	5.8	6.2	6.1	6.3
1 N	10	-	6.1	5.8	5.5	5.4	5.6
	30	-	6.0	5.5	5.8	5.8	6.1
	70	-	6.4	5.8	6.3	6.2	6.2

Table 6-2. Effect of nitrogen levels on pH of different soil depth in lysimeter condition(1997).

Compost & Nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 23	Jul. 25	Oct. 11
C0N0	10	5.7	6.4	6.2	6.2
	30	5.8	6.5	6.1	6.1
	70	5.7	6.4	6.5	6.4
C0N0.5	10	-	5.9	5.4	5.6
	30	-	6.6	6.3	6.3
	70	-	6.5	6.0	6.0
C0N1	10	-	6.8	5.8	5.9
	30	-	6.2	6.1	6.0
	70	-	6.5	6.0	6.0
C0N1.5	10	-	6.1	5.9	5.9
	30	-	6.9	6.4	6.3
	70	-	6.3	6.3	6.2
C0N2	10	-	6.2	6.0	6.0
	30	-	6.5	6.0	6.0
	70	-	6.6	6.4	6.3
C1N0	10	5.8	6.6	6.4	6.4
	30	5.5	6.5	6.5	6.4
	70	5.6	6.8	6.4	6.2
C1N0.5	10	-	6.7	6.0	6.0
	30	-	5.9	5.7	5.7
	70	-	6.9	5.8	5.7
C1N1	10	-	6.2	6.1	6.1
	30	-	6.5	6.2	6.2
	70	-	6.2	5.9	5.7
C1N1.5	10	-	6.3	6.3	6.4
	30	-	6.5	5.9	5.9
	70	-	6.4	6.1	6.0
C1N2	10	-	6.4	5.8	5.8
	30	-	5.9	6.1	6.1
	70	-	6.6	6.0	5.9

Table 6-3. Effect of nitrogen levels on pH of different soil depth in lysimeter condition(1998).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 23	Jul. 25	Oct. 7
C0 N0	10	6.1	6.2	6.1	6.0
	30	6.0	5.8	5.8	5.9
	70	6.0	5.8	5.7	5.7
C0 N0.5	10	-	6.2	6.2	6.1
	30	-	6.0	6.1	6.0
	70	-	5.7	5.8	5.8
C0 N1	10	-	6.3	6.3	6.2
	30	-	5.9	6.0	5.8
	70	-	5.9	5.9	5.8
C0 N1.5	10	-	6.3	6.2	6.2
	30	-	6.0	6.1	6.0
	70	-	6.0	6.0	5.9
C0 N2	10	-	6.3	6.2	6.3
	30	-	6.1	6.0	6.0
	70	-	6.1	6.0	6.0
C1 N0	10	6.2	6.0	5.9	5.9
	30	6.1	6.0	6.0	5.8
	70	6.1	5.9	6.0	5.9
C1 N0.5	10	-	6.1	6.1	6.0
	30	-	5.8	5.9	5.9
	70	-	5.8	5.9	6.0
C1 N1	10	-	6.2	6.2	6.0
	30	-	6.0	6.1	5.9
	70	-	6.0	5.9	5.8
C1 N1.5	10	-	6.0	6.1	6.0
	30	-	5.8	5.9	5.9
	70	-	5.9	5.9	5.8
C1 N2	10	-	6.2	6.2	6.1
	30	-	6.0	6.0	5.9
	70	-	5.9	5.9	5.9

Table 7-1. Effect of nitrogen levels on  $\text{NO}_3^-$  content(ppm) of different soil depth in lysimeter condition (1996).

Nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date					
		May 23	Jun. 14	Jul. 1	Jul. 18	Aug. 20	Oct. 10
0 N	10	6.0	63.6	22.2	25.2	23.1	35.8
	30	5.4	68.0	22.2	25.0	24.1	34.5
	70	6.2	71.9	22.5	22.4	20.5	36.0
0.5 N	10	-	66.7	28.9	29.1	21.7	32.0
	30	-	69.4	24.9	23.6	22.9	27.8
	70	-	70.6	19.5	23.2	24.6	62.0
1 N	10	-	71.9	19.7	24.9	24.7	36.8
	30	-	75.0	25.2	20.5	23.1	34.7
	70	-	70.7	17.8	21.0	22.0	30.4

Table 7-2. Effect of nitrogen levels on  $\text{NO}_3^-$  content(ppm) of different soil depth in lysimeter condition (1997).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 23	Jul. 25	Oct. 11
C0 N0	10	21.1	41.3	38.1	69.8
	30	20.3	39.9	27.9	78.4
	70	19.6	43.4	35.8	53.5
C0 N0.5	10	-	50.9	43.2	67.8
	30	-	38.6	43.8	66.9
	70	-	35.5	35.7	68.8
C0 N1	10	-	39.8	33.6	64.2
	30	-	35.1	35.1	56.4
	70	-	45.0	42.8	69.2
C0 N1.5	10	-	35.6	48.3	75.0
	30	-	28.5	35.7	64.4
	70	-	46.0	36.3	71.4
C0 N2	10	-	38.0	41.3	76.7
	30	-	40.1	45.0	66.2
	70	-	49.9	43.2	75.5
C1 N0	10	24.3	37.1	38.8	82.8
	30	20.0	32.6	32.5	74.8
	70	22.4	36.3	34.3	71.4
C1 N0.5	10	-	42.8	46.0	76.0
	30	-	41.4	46.8	74.1
	70	-	39.6	41.2	74.6
C1 N1	10	-	65.8	38.2	79.3
	30	-	33.3	30.3	78.3
	70	-	43.9	29.2	72.9
C1 N1.5	10	-	42.6	34.9	75.8
	30	-	34.8	40.1	71.4
	70	-	36.5	45.4	68.8
C1 N2	10	-	39.4	35.0	89.0
	30	-	40.0	43.4	74.5
	70	-	37.9	38.0	73.3

Table 7-3. Effect of nitrogen levels on  $\text{NO}_3^-$  content(ppm) of different soil depth in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 9	Jul. 27	Oct. 7
C0 N0	10	18.7	36.9	37.4	70.2
	30	19.2	36.3	36.7	77.6
	70	20.3	38.8	35.4	52.7
C0 N0.5	10	-	37.6	42.5	67.9
	30	-	38.1	43.2	66.1
	70	-	36.2	36.3	69.3
C0 N1	10	-	38.6	37.8	63.8
	30	-	34.7	39.5	56.0
	70	-	42.7	43.5	68.7
C0 N1.5	10	-	39.2	45.3	73.9
	30	-	28.6	40.8	63.8
	70	-	40.8	41.5	71.1
C0 N2	10	-	42.4	40.7	76.5
	30	-	40.8	45.7	67.0
	70	-	45.8	42.5	72.9
C1 N0	10	23.8	36.8	38.1	82.2
	30	25.0	32.8	33.1	75.5
	70	21.6	35.5	33.8	67.3
C1 N0.5	10	-	43.7	45.2	75.6
	30	-	40.5	46.3	74.8
	70	-	40.2	40.4	69.5
C1 N1	10	-	36.5	37.6	78.5
	30	-	34.1	43.7	77.6
	70	-	43.1	43.1	72.1
C1 N1.5	10	-	42.1	38.3	75.3
	30	-	35.0	40.8	70.6
	70	-	35.7	44.5	74.1
C1 N2	10	-	43.8	36.5	88.2
	30	-	38.5	43.1	73.8
	70	-	38.1	44.1	75.4



Table 8-1. Effect of nitrogen levels on  $\text{NH}_4^+$  content(ppm) of different soil depth in lysimeter condition (1996).

Nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date					
		May 23	Jun. 14	Jul. 1	Jul. 18	Aug. 20	Oct. 10
0 N	10	13.9	15.0	78.0	42.8	45.5	2.8
	30	0.4	0.0	47.7	10.3	84.5	1.6
	70	0.0	0.0	17.9	8.8	8.8	1.2
0.5 N	10	-	37.1	77.8	57.3	90.6	11.8
	30	-	1.4	22.2	43.1	38.6	7.5
	70	-	0.0	28.1	29.0	23.4	2.0
1 N	10	-	81.8	36.9	58.7	68.4	2.7
	30	-	5.0	60.4	65.2	35.7	0.0
	70	-	0.0	52.5	23.3	16.8	3.1

Table 8-2. Effect of nitrogen levels on  $\text{NH}_4^+$  content(ppm) of different soil depth in lysimeter condition(1997).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 23	Jul. 25	Oct. 11
C0 N0	10	28.0	7.8	17.4	0.0
	30	8.8	0.0	3.5	0.0
	70	13.4	2.5	6.7	0.0
C0 N0.5	10	-	9.8	13.3	0.0
	30	-	3.4	4.8	0.0
	70	-	0.0	0.0	0.0
C0 N1	10	-	5.2	14.3	0.0
	30	-	8.5	1.7	0.0
	70	-	8.8	8.8	0.0
C0 N1.5	10	-	9.1	5.8	0.0
	30	-	2.0	6.5	0.0
	70	-	9.3	0.0	0.0
C0 N2	10	-	16.0	15.4	0.0
	30	-	16.2	5.7	0.6
	70	-	5.6	0.0	0.0
C1 N0	10	36.8	6.3	9.6	0.0
	30	22.9	3.6	0.1	0.0
	70	18.5	0.0	2.2	0.0
C1 N0.5	10	-	4.0	6.1	0.0
	30	-	0.0	7.0	0.0
	70	-	1.0	4.5	0.0
C1 N1	10	-	10.5	5.0	7.1
	30	-	4.7	29.6	0.0
	70	-	2.0	3.1	0.0
C1 N1.5	10	-	21.1	6.5	0.1
	30	-	4.5	0.7	0.0
	70	-	4.2	6.3	0.0
C1 N2	10	-	22.5	13.8	0.4
	30	-	5.0	6.4	0.0
	70	-	6.7	3.5	0.0

Table 8-3. Effect of nitrogen levels on  $\text{NH}_4^+$  content(ppm) of different soil depth in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 9	Jul. 27	Oct. 7
C0 N0	10	27.8	5.7	9.8	0.0
	30	17.4	1.1	3.7	0.1
	70	13.6	2.7	6.8	0.0
C0 N0.5	10	-	9.6	13.0	0.0
	30	-	3.6	4.5	0.0
	70	-	0.4	0.3	0.2
C0 N1	10	-	5.1	13.7	0.0
	30	-	8.4	2.0	0.0
	70	-	5.2	8.6	0.0
C0 N1.5	10	-	8.7	14.2	0.0
	30	-	10.2	6.3	0.0
	70	-	9.4	0.1	0.1
C0 N2	10	-	16.4	15.2	0.0
	30	-	10.7	6.9	0.0
	70	-	5.8	0.0	0.0
C1 N0	10	36.5	2.6	0.3	0.1
	30	23.6	1.2	0.8	0.0
	70	20.1	2.4	2.1	0.0
C1 N0.5	10	-	4.0	5.8	0.0
	30	-	2.3	6.9	0.0
	70	-	1.4	4.3	0.2
C1 N1	10	-	10.1	4.8	0.0
	30	-	4.8	8.3	0.0
	70	-	2.5	3.4	0.0
C1 N1.5	10	-	19.8	7.8	0.0
	30	-	4.4	2.4	0.1
	70	-	4.1	6.1	0.0
C1 N2	10	-	20.5	14.0	0.0
	30	-	5.1	7.2	0.0
	70	-	6.2	3.5	0.1

Table 9-1. Effect of nitrogen levels on T-N content (%) of different soil depth in lysimeter condition (1996).

Nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date					
		May 23	Jun. 14	Jul. 1	Jul. 18	Aug. 20	Oct. 10
0 N	10	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.07
	30	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.05
	70	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03
0.5 N	10	-	0.02	0.02	0.03	0.05	0.08
	30	-	0.01	0.01	0.03	0.01	0.04
	70	-	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03
1 N	10	-	0.04	0.10	0.03	0.02	0.08
	30	-	0.05	0.01	0.02	0.01	0.05
	70	-	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03

Table 9-2. Effect of nitrogen levels on T-N content (%) of different soil depth in lysimeter condition (1997).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 23	Jul. 25	Oct. 11
C0 N0	10	0.08	0.07	0.07	0.07
	30	0.05	0.05	0.04	0.05
	70	0.05	0.04	0.04	0.04
C0 N0.5	10	-	0.08	0.09	0.06
	30	-	0.05	0.06	0.05
	70	-	0.03	0.04	0.04
C0 N1	10	-	0.07	0.07	0.07
	30	-	0.07	0.04	0.04
	70	-	0.07	0.04	0.04
C0 N1.5	10	-	0.07	0.06	0.06
	30	-	0.06	0.04	0.04
	70	-	0.05	0.03	0.03
C0 N2	10	-	0.08	0.08	0.06
	30	-	0.06	0.04	0.04
	70	-	0.04	0.06	0.05
C1 N0	10	0.09	0.05	0.06	0.07
	30	0.07	0.04	0.04	0.06
	70	0.07	0.04	0.04	0.06
C1 N0.5	10	-	0.05	0.08	0.08
	30	-	0.05	0.06	0.05
	70	-	0.04	0.04	0.05
C1 N1	10	-	0.07	0.06	0.07
	30	-	0.05	0.04	0.06
	70	-	0.04	0.04	0.05
C1 N1.5	10	-	0.08	0.06	0.07
	30	-	0.04	0.05	0.05
	70	-	0.05	0.04	0.05
C1 N2	10	-	0.07	0.07	0.06
	30	-	0.04	0.04	0.05
	70	-	0.04	0.05	0.05

Table 9-3. Effect of nitrogen levels on T-N content (%) of different soil depth in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 9	Jul. 27	Oct. 7
C0 N0	10	0.07	0.06	0.06	0.06
	30	0.05	0.04	0.05	0.05
	70	0.04	0.03	0.04	0.03
C0 N0.5	10	-	0.08	0.07	0.05
	30	-	0.06	0.05	0.05
	70	-	0.04	0.04	0.04
C0 N1	10	-	0.08	0.06	0.07
	30	-	0.07	0.06	0.05
	70	-	0.06	0.05	0.03
C0 N1.5	10	-	0.05	0.04	0.07
	30	-	0.04	0.05	0.05
	70	-	0.05	0.04	0.02
C0 N2	10	-	0.06	0.07	0.07
	30	-	0.07	0.07	0.06
	70	-	0.04	0.06	0.03
C1 N0	10	0.08	0.06	0.06	0.05
	30	0.07	0.05	0.05	0.05
	70	0.07	0.04	0.03	0.04
C1 N0.5	10	-	0.06	0.07	0.07
	30	-	0.04	0.05	0.05
	70	-	0.04	0.04	0.04
C1 N1	10	-	0.06	0.07	0.06
	30	-	0.05	0.05	0.05
	70	-	0.04	0.03	0.04
C1 N1.5	10	-	0.07	0.06	0.07
	30	-	0.06	0.04	0.05
	70	-	0.04	0.03	0.04
C1 N2	10	-	0.06	0.06	0.07
	30	-	0.06	0.05	0.06
	70	-	0.05	0.05	0.05

Table 10-1. Effect of nitrogen levels on T-C content (%) of different soil depth in lysimeter condition(1996).

Nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date					
		May 23	Jun. 14	Jul. 1	Jul. 18	Aug. 20	Oct. 10
0 N	10	3.3	4.1	4.2	4.3	4.1	4.0
	30	2.6	2.7	3.2	3.0	3.6	3.5
	70	3.5	3.2	3.6	2.1	2.6	2.7
0.5 N	10	-	5.4	5.3	5.3	4.8	4.7
	30	-	4.2	2.2	3.5	2.7	3.0
	70	-	3.9	2.0	2.5	1.9	2.1
1 N	10	-	4.7	4.3	3.9	4.8	4.7
	30	-	3.6	3.4	2.8	3.2	3.1
	70	-	2.1	2.5	1.8	2.8	2.6

Table 10-2. Effect of nitrogen levels on T-C content (%) of different soil depth in lysimeter condition (1997).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 23	Jul. 25	Oct. 11
C0 N0	10	3.4	3.6	3.9	3.9
	30	3.2	2.9	2.6	3.3
	70	3.4	3.0	1.6	3.2
C0 N0.5	10	-	3.5	3.1	3.7
	30	-	3.1	5.0	3.0
	70	-	2.6	3.3	2.9
C0 N1	10	-	3.3	2.4	3.9
	30	-	2.7	1.0	3.1
	70	-	3.3	3.2	3.6
C0 N1.5	10	-	3.1	2.9	3.9
	30	-	3.2	3.3	3.8
	70	-	3.5	3.2	3.7
C0 N2	10	-	3.4	2.3	4.2
	30	-	2.9	3.6	3.3
	70	-	2.9	3.0	3.0
C1 N0	10	3.7	3.5	2.5	4.2
	30	3.6	2.3	2.9	4.2
	70	3.1	3.0	3.4	3.8
C1 N0.5	10	-	2.6	3.2	4.3
	30	-	3.3	3.1	4.0
	70	-	3.3	2.7	3.5
C1 N1	10	-	3.2	2.5	3.8
	30	-	3.1	1.6	3.3
	70	-	3.1	2.8	3.3
C1 N1.5	10	-	4.1	3.9	3.1
	30	-	2.8	2.2	4.2
	70	-	3.1	2.0	3.5
C1 N2	10	-	3.2	3.7	4.1
	30	-	3.3	2.8	3.7
	70	-	3.2	2.4	3.7

Table 10-3. Effect of nitrogen levels on T-C content (%) of different soil depth in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 9	Jul. 27	Oct. 7
C0 N0	10	3.0	3.5	3.8	3.8
	30	2.8	2.8	3.0	3.5
	70	3.0	3.1	3.6	3.8
C0 N0.5	10	-	3.4	3.2	3.6
	30	-	3.1	3.0	3.2
	70	-	3.0	3.4	3.0
C0 N1	10	-	3.2	2.5	3.7
	30	-	2.9	3.0	3.0
	70	-	3.0	3.1	3.5
C0 N1.5	10	-	3.2	3.0	4.0
	30	-	3.2	3.2	3.8
	70	-	3.0	3.2	3.5
C0 N2	10	-	3.4	3.6	4.1
	30	-	3.2	3.5	3.3
	70	-	3.0	3.1	3.1
C1 N0	10	3.6	3.6	3.9	4.3
	30	3.4	2.5	2.8	4.0
	70	3.0	3.1	3.2	3.9
C1 N0.5	10	-	2.7	3.2	4.2
	30	-	3.1	3.8	4.1
	70	-	3.0	3.4	3.5
C1 N1	10	-	3.3	3.5	3.7
	30	-	3.1	3.2	3.3
	70	-	3.1	3.0	3.4
C1 N1.5	10	-	4.2	3.8	4.0
	30	-	3.0	3.2	4.1
	70	-	3.1	2.8	3.6
C1 N2	10	-	3.3	3.6	3.8
	30	-	3.3	3.3	3.7
	70	-	3.0	3.4	3.6

Table 11-1. Amount of leaching water(ℓ) in lysimeter condition (1996).

Nitrogen treatments	Observation date												
	May			Jun.									
	25	26	27	28	29	31	7	8	9	10	11	12	14
N0	5.3	3.0	3.2	2.9	3.6	5.1	15.2	3.1	1.9	1.8	1.8	1.9	3.5
N0.5	5.1	3.3	3.4	3.0	3.7	5.0	12.0	2.6	1.7	1.8	1.5	1.6	3.1
N1	5.0	2.6	3.3	2.7	3.4	4.7	12.0	2.4	1.7	1.6	1.5	1.5	3.0

Nitrogen treatments	Observation date												
	Jun.		Jul.					Aug.					
	21	28	5	12	19	26	27	28	29	2	9	16	23
N0	12.7	10.6	11.5	10.2	15.2	2.5	1.9	1.7	1.7	6.1	8.2	7.8	6.6
N0.5	11.0	10.6	12.0	12.7	13.5	18.1	2.6	2.2	2.1	8.8	8.8	7.0	8.0
N1	11.0	8.6	9.4	10.5	13.2	1.9	7.4	2.5	3.5	17.3	12.9	16.6	15.8

Nitrogen treatments	Observation date												Total	
	Aug.		Sept.											
	30	6	13											
N0	10.0	8.9	8.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	175.5
N0.5	8.7	8.7	9.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	175.9
N1	15.9	15.3	15.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	222.6

Table 11-2 . Amount of leaching water( ℓ ) in lysimeter condition (1997).

Compost & nitrogen treatments	Observation date												
	May.				Jun.					Jul.			
	28	29	30	31	7	10	11	12	13	15	21	28	5
C0 N0	16.8	4.8	3.3	3.2	17.4	6.3	1.7	1.9	2.0	3.3	8.8	9.5	12.1
C0 N0.5	14.1	3.9	3.2	2.9	18.1	6.8	1.9	2.1	2.2	3.7	10.0	10.6	12.9
C0 N1	12.9	4.8	3.5	3.0	16.6	6.1	1.8	1.9	1.8	3.3	8.4	10.2	10.8
C0 N1.5	14.7	3.4	2.7	2.3	14.6	5.5	1.5	1.6	1.6	2.9	7.1	8.4	8.9
C0 N2	15.3	3.6	2.8	2.1	12.5	5.1	1.4	1.6	1.7	2.9	7.0	8.2	7.5
C1 N0	9.4	2.6	2.1	1.8	14.3	4.8	1.5	1.7	1.7	3.0	7.3	8.5	9.6
C1 N0.5	11.6	3.0	2.8	2.2	17.5	5.6	1.8	2.0	2.1	3.6	8.1	11.4	11.9
C1 N1	12.3	3.3	2.7	2.2	14.1	5.7	2.1	1.9	1.9	3.2	7.3	9.0	8.4
C1 N1.5	13.9	3.6	2.9	2.4	13.9	5.5	1.6	1.8	1.8	3.0	7.9	9.4	9.9
C1 N2	12.1	2.9	2.6	2.0	13.1	4.4	1.4	1.6	1.6	2.9	7.3	8.5	6.5

Compost & nitrogen treatments	Observation date												
	Jul.				Aug.					Sept.			
	12	19	26	31	1	2	3	9	16	23	30	6	13
C0 N0	14.3	15.7	29.9	27.2	7.6	11.5	5.8	36.8	29.8	25.0	32.0	24.8	30.7
C0 N0.5	17.4	19.5	32.9	31.6	7.4	12.8	6.7	50.1	40.1	45.5	100.8	83.0	83.1
C0 N1	14.5	13.5	34.5	35.9	14.6	15.8	7.4	67.8	64.8	48.0	100.8	67.6	85.4
C0 N1.5	17.3	17.0	23.2	32.9	11.9	12.3	5.6	56.3	54.5	37.5	99.2	76.0	100.0
C0 N2	13.5	16.5	30.0	35.8	11.3	12.3	6.0	49.3	46.0	38.1	82.8	68.0	93.5
C1 N0	15.1	14.4	40.0	45.5	11.7	15.5	8.1	58.3	42.3	39.5	75.3	71.3	73.5
C1 N0.5	17.5	17.0	38.3	30.7	8.4	16.4	8.9	46.5	34.8	33.1	56.6	63.5	72.3
C1 N1	12.3	9.0	34.5	32.4	9.7	11.5	7.0	42.0	30.0	33.6	60.4	69.8	77.5
C1 N1.5	17.0	17.1	39.7	32.1	8.9	12.2	8.0	45.5	38.5	37.3	73.7	66.0	53.1
C1 N2	7.3	6.9	34.5	38.9	11.6	13.3	5.6	46.5	32.3	46.0	41.2	42.8	50.9

Compost & nitrogen treatments	Observation date													Total
	Sept.													
	20													
C0 N0	25.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	407.2
C0 N0.5	41.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	664.7
C0 N1	41.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	696.4
C0 N1.5	38.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	656.7
C0 N2	42.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	616.8
C1 N0	30.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	608.9
C1 N0.5	38.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	566.1
C1 N1	34.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	537.6
C1 N1.5	31.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	557.7
C1 N2	31.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	475.7



Table 11-3-1. Amount of leaching water (ℓ) in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Observation date												
	May					Jun.							
	27	28	29	30	31	1	2	5	6	8	9	10	11
C0 N0	10.1	6.6	6.7	4.7	6.1	5.3	5.7	12.5	6.6	11.9	6.8	6.5	6.2
C0 N0.5	6.9	3.9	4.5	3.4	4.0	3.5	3.7	9.5	3.7	6.4	3.7	3.6	3.4
C0 N1	10.8	7.4	8.2	5.1	6.3	5.8	6.4	3.9	3.3	4.3	3.6	2.9	4.6
C0 N1.5	7.3	5.3	5.5	4.1	5.0	4.2	4.2	9.8	3.3	6.2	3.7	3.5	3.4
C0 N2	8.0	5.1	5.8	4.7	4.9	4.9	5.0	12.5	3.9	7.5	4.1	3.8	3.3
C1 N0	7.5	6.9	6.2	3.9	5.5	5.1	6.1	16.6	6.9	11.7	6.7	6.2	5.7
C1 N0.5	13.4	9.4	8.9	8.4	8.2	5.8	6.1	16.3	7.2	12.4	7.3	6.9	8.3
C1 N1	12.0	8.7	8.4	6.1	5.2	3.9	4.1	10.3	4.7	8.1	4.7	3.9	3.7
C1 N1.5	13.8	8.7	9.0	6.0	6.2	5.2	5.4	13.0	4.5	7.8	4.4	3.7	6.7
C1 N2	9.0	6.4	7.2	5.8	6.1	5.1	5.8	15.2	5.0	10.2	5.9	5.7	4.5

Compost & nitrogen treatments	Observation date												
	Jun.												
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
C0 N0	5.5	4.8	4.4	6.1	4.9	5.2	5.4	4.4	6.0	5.5	8.9	5.1	4.0
C0 N0.5	2.9	2.8	2.6	3.6	2.9	3.2	3.0	2.5	3.0	3.0	5.6	2.8	2.9
C0 N1	3.6	2.9	3.5	4.7	3.9	2.9	3.8	3.3	3.3	3.2	6.7	3.2	3.1
C0 N1.5	2.8	3.9	3.4	4.4	3.5	3.8	4.1	3.2	4.3	4.0	6.6	3.2	3.1
C0 N2	2.9	2.8	3.0	3.6	2.5	2.8	3.2	2.5	2.8	2.5	5.1	2.6	2.7
C1 N0	4.7	4.7	4.3	6.0	5.0	5.1	4.6	3.9	3.5	3.5	7.2	2.9	2.5
C1 N0.5	5.0	4.3	3.8	5.5	4.8	4.9	4.8	4.2	4.4	4.3	8.4	3.9	3.7
C1 N1	6.3	4.6	3.7	5.2	4.5	6.4	4.7	4.1	4.2	3.7	7.1	4.8	4.0
C1 N1.5	5.4	4.3	3.5	5.1	4.1	4.4	4.3	3.6	3.7	3.5	7.1	3.9	3.8
C1 N2	4.5	3.6	3.1	4.5	4.2	3.8	4.3	3.5	3.7	3.3	6.4	3.2	3.1

Compost & nitrogen treatments	Observation date												
	Jun.					Jul.							
	25	26	27	28	29	1	2	5	6	7	8	9	10
C0 N0	3.8	3.6	4.4	6.0	4.5	7.4	3.8	11.4	4.5	4.8	3.0	3.4	2.8
C0 N0.5	2.5	2.5	3.0	2.7	3.6	5.0	2.8	7.7	2.1	2.5	2.0	2.2	2.0
C0 N1	3.0	3.0	3.3	3.2	3.2	5.8	3.3	9.0	2.8	2.6	2.1	2.2	1.9
C0 N1.5	2.8	3.2	3.1	3.0	3.1	5.6	3.1	8.5	2.3	2.2	1.8	2.1	1.4
C0 N2	2.2	2.6	2.4	2.5	3.1	5.2	3.0	8.6	2.3	2.3	2.0	2.4	1.7
C1 N0	2.2	2.5	2.1	1.9	2.0	2.7	1.2	5.3	1.1	0.9	0.8	0.7	1.7
C1 N0.5	3.8	4.1	4.0	3.7	4.0	6.9	3.9	10.3	2.8	2.8	2.4	2.3	1.9
C1 N1	4.1	4.2	4.5	4.1	4.2	7.2	4.4	11.8	3.2	2.9	2.1	2.3	2.2
C1 N1.5	3.6	4.7	4.0	4.0	3.3	7.6	4.6	12.8	3.7	3.4	2.6	2.9	2.3
C1 N2	2.7	3.0	3.0	2.9	3.5	5.8	3.6	9.5	2.4	2.2	1.6	1.8	1.7

Table 11-3-2. Amount of leaching water (ℓ) in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Observation date												
	Jul.												
	11	12	13	14	18	19	20	21	27	28	29	30	31
C0 N0	2.8	2.7	4.5	4.9	13.5	2.4	2.6	3.1	20.6	7.0	7.2	6.4	5.4
C0 N0.5	2.4	2.2	2.2	2.2	5.8	1.4	1.1	2.1	11.1	2.2	2.5	2.4	2.5
C0 N1	2.6	2.7	2.6	2.7	9.6	1.9	2.2	2.5	14.6	3.2	3.8	4.0	3.8
C0 N1.5	2.9	3.1	2.4	2.0	6.6	1.2	1.4	1.9	9.2	3.9	4.4	4.5	4.3
C0 N2	2.8	2.7	3.0	5.3	11.9	2.3	2.7	2.9	16.4	4.7	4.7	6.2	6.7
C1 N0	2.0	1.7	1.9	1.9	8.2	1.8	2.2	2.2	9.7	2.3	2.5	2.4	2.4
C1 N0.5	3.1	2.8	2.0	2.7	9.2	1.9	2.1	2.2	11.4	2.2	2.4	2.4	2.2
C1 N1	2.8	3.6	2.5	2.8	9.3	1.8	2.2	2.5	8.5	2.2	2.5	2.4	2.2
C1 N1.5	3.1	2.7	3.2	3.3	10.9	2.0	2.0	2.6	11.6	2.2	2.5	2.4	2.6
C1 N2	2.0	2.7	1.9	2.5	8.5	1.7	1.9	2.2	10.2	1.8	2.3	2.3	2.2

Compost & nitrogen treatments	Observation date												
	Aug.												
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15
C0 N0	3.2	4.5	7.6	12.8	4.4	5.0	7.6	7.6	4.2	8.8	3.4	5.2	2.2
C0 N0.5	2.1	3.2	2.7	6.7	3.4	3.6	2.4	3.6	3.1	7.6	3.4	4.8	3.8
C0 N1	3.5	6.4	6.0	15.0	9.4	12.0	10.3	14.2	12.4	26.3	11.6	13.3	9.3
C0 N1.5	3.9	6.3	6.5	15.4	8.9	9.4	7.6	10.5	9.1	19.5	10.0	11.6	7.7
C0 N2	7.2	6.6	7.1	16.2	7.6	11.0	7.0	11.2	9.8	21.0	8.2	9.2	4.5
C1 N0	2.0	3.3	3.2	6.5	2.6	3.5	2.0	3.9	3.1	7.4	3.8	4.8	2.5
C1 N0.5	2.5	3.5	3.6	9.8	5.2	5.8	4.4	6.8	7.4	15.3	5.9	8.6	5.5
C1 N1	2.2	3.1	3.0	6.8	4.1	4.1	3.5	4.7	4.6	11.2	4.9	7.2	3.7
C1 N1.5	2.7	3.5	4.5	10.0	5.0	6.1	5.8	7.3	7.3	16.9	7.5	10.3	7.6
C1 N2	1.9	3.5	3.3	7.8	3.8	4.4	3.4	5.4	4.9	12.5	5.8	8.5	5.8

Compost & nitrogen treatments	Observation date												
	Aug.												
	16	17	18	19	20	21	22	24	25	26	27	28	29
C0 N0	3.0	8.4	7.4	4.1	7.3	2.8	6.8	18.1	7.5	7.6	9.0	4.1	4.8
C0 N0.5	3.3	5.9	4.7	4.3	6.4	5.1	4.7	17.0	5.3	6.0	11.1	8.1	8.2
C0 N1	14.9	14.1	14.1	11.9	14.0	9.6	9.3	24.8	17.3	15.5	20.0	16.0	18.3
C0 N1.5	15.7	15.8	13.6	10.8	16.1	11.6	12.3	27.1	18.3	14.4	20.0	18.3	19.8
C0 N2	8.2	12.4	12.4	10.7	14.6	8.2	11.6	25.2	13.2	12.3	16.2	13.0	12.3
C1 N0	2.9	6.5	4.3	4.5	5.3	3.0	4.5	11.7	4.8	5.0	6.7	5.3	5.7
C1 N0.5	7.8	13.1	9.1	8.6	11.2	5.1	7.7	17.9	10.8	10.2	12.9	10.3	13.7
C1 N1	6.1	9.9	7.6	27.2	10.4	6.7	7.9	19.9	11.5	10.3	13.8	10.9	11.8
C1 N1.5	10.1	12.8	9.7	10.3	13.9	7.7	11.0	21.6	13.4	11.1	17.0	11.7	12.9
C1 N2	6.3	10.8	8.7	7.6	10.0	5.6	7.4	21.9	12.4	10.7	16.6	12.5	13.4

Table 11-3-3. Amount of leaching water (ℓ) in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Observation date												
	Aug.		Sept.										
	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C0 N0	7.8	4.4	8.8	4.7	7.8	8.3	4.2	7.2	8.4	5.9	5.5	8.4	5.5
C0 N0.5	9.6	8.5	10.1	9.8	8.8	9.9	9.2	12.2	7.9	10.1	11.3	9.6	11.2
C0 N1	15.1	14.7	19.5	17.9	15.7	13.0	15.5	15.9	15.8	13.9	15.6	15.1	14.2
C0 N1.5	16.6	12.0	15.5	15.7	14.7	14.2	17.3	19.9	17.6	12.5	16.0	12.8	14.2
C0 N2	13.4	11.3	11.3	14.1	14.0	13.0	12.5	14.0	12.8	12.3	13.4	13.2	13.5
C1 N0	6.5	5.3	6.6	6.6	8.0	7.3	7.9	8.7	5.7	8.4	8.3	8.2	9.9
C1 N0.5	14.4	11.6	13.5	12.4	15.7	14.5	16.5	17.1	11.6	16.0	17.0	17.3	16.7
C1 N1	13.4	11.0	13.2	13.9	13.8	13.5	14.5	16.4	12.6	14.5	14.9	14.7	14.5
C1 N1.5	13.9	10.9	15.5	15.5	15.3	14.0	15.4	16.8	13.0	15.1	16.2	14.5	14.6
C1 N2	12.2	9.7	12.2	12.9	12.4	13.8	15.2	15.6	11.4	13.4	15.9	15.1	14.6

Compost & nitrogen treatments	Observation date												Total	
	Sept.													
	12	13	14	15	16	17	18							
C0 N0	5.6	10.9	5.1	7.7	5.6	9.3	10.4	-	-	-	-	-	-	619.9
C0 N0.5	10.8	13.4	9.7	12.2	10.6	13.2	12.5	-	-	-	-	-	-	531.2
C0 N1	15.1	17.1	17.4	13.7	12.8	14.6	13.6	-	-	-	-	-	-	877.0
C0 N1.5	15.2	16.8	14.6	14.6	17.5	17.5	14.3	-	-	-	-	-	-	855.5
C0 N2	12.5	14.4	11.6	12.7	11.5	12.1	12.3	-	-	-	-	-	-	777.7
C1 N0	8.5	9.3	7.7	8.8	7.8	8.8	7.9	-	-	-	-	-	-	494.3
C1 N0.5	17.7	20.1	15.1	17.3	16.8	16.9	15.8	-	-	-	-	-	-	815.8
C1 N1	14.0	16.2	13.7	14.8	13.8	14.3	13.4	-	-	-	-	-	-	747.9
C1 N1.5	14.1	15.5	14.7	13.7	14.0	13.1	12.6	-	-	-	-	-	-	807.7
C1 N2	15.3	16.1	14.9	15.7	12.8	13.9	13.3	-	-	-	-	-	-	720.0

Table 12-1. Effect of nitrogen levels on  $\text{NO}_3^-$  content(ppm) of leaching water in lysimeter condition (1996).

Nitrogen treatments	Observation date											
	May								Jun.			
	23	24	25	26	27	28	29	31	7	8	9	10
N 0	12.67	10.33	15.31	15.38	11.54	13.79	7.79	13.00	7.85	9.14	7.00	5.86
N 0.5	12.33	15.00	12.57	13.31	10.07	12.07	5.77	14.11	6.54	6.21	7.00	4.57
N 1	13.00	13.33	12.77	12.79	10.36	12.07	7.93	9.40	6.43	9.14	9.71	7.36

Nitrogen treatments	Observation date											
	Jun.						Jul.					
	11	12	14	21	28	5	12	19	26	27	28	29
N 0	4.43	8.83	6.29	7.08	3.50	2.67	1.20	1.00	0.79	0.89	0.55	0.58
N 0.5	3.86	6.50	4.64	6.33	3.08	1.40	1.10	1.00	0.69	0.77	0.51	0.47
N 1	8.29	8.29	5.79	7.33	5.08	2.50	1.80	1.00	0.68	0.72	0.58	0.49

Nitrogen treatments	Observation date											
	Aug.				Sept.					Oct.		
	2	9	16	23	30	6	13	20	29	4		
N 0	0.71	0.71	1.03	1.30	0.83	0.71	1.50	1.51	0.63	0.51	-	-
N 0.5	0.66	0.70	1.11	1.29	0.83	0.71	1.43	1.57	0.76	0.48	-	-
N 1	0.65	0.69	1.11	1.34	0.83	0.75	1.43	1.48	0.81	0.76	-	-

Table 12-2. Effect of nitrogen levels on NO<sub>3</sub><sup>-</sup> content(ppm) of leaching water in lysimeter condition (1997).

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	May				Jun.						
	28	29	30	31	7	10	11	12	13	15	21
C0 N0	1.31	1.19	1.49	1.44	2.17	1.49	1.17	1.39	1.57	1.51	1.87
C0 N0.5	1.49	1.19	1.64	1.49	1.92	1.62	1.17	1.41	1.63	1.51	1.84
C0 N1	1.52	1.22	1.82	1.43	1.79	1.74	1.17	1.43	1.42	1.47	1.86
C0 N1.5	1.36	1.35	1.34	1.53	1.78	1.33	1.44	1.83	1.76	1.53	4.24
C0 N2	1.44	1.34	1.98	1.41	1.45	1.17	2.00	1.48	1.98	1.45	2.35
C1 N0	1.33	1.27	1.82	1.44	1.82	2.38	1.31	1.50	1.64	1.89	1.70
C1 N0.5	1.57	1.16	1.64	1.34	1.63	1.99	1.17	1.03	1.43	1.93	1.89
C1 N1	1.58	1.41	1.75	1.22	1.74	1.68	1.38	0.94	1.40	1.83	1.71
C1 N1.5	1.36	1.29	1.66	1.38	1.98	1.63	1.29	1.03	1.50	2.05	1.80
C1 N2	1.35	1.46	1.80	1.37	1.83	1.70	1.32	1.63	1.48	1.61	1.63

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Jun.		Jul.				Aug.				
	28	5	12	19	26	31	1	2	3	9	16
C0 N0	3.43	1.24	1.41	2.08	1.22	1.66	3.39	2.04	1.89	2.06	2.89
C0 N0.5	1.64	1.54	1.06	1.77	1.32	1.64	2.68	2.04	2.32	1.79	3.14
C0 N1	1.69	1.15	1.43	2.23	1.17	1.80	3.05	2.19	1.88	1.86	2.98
C0 N1.5	1.77	1.25	1.16	2.13	1.53	1.82	3.17	2.09	1.46	2.05	2.83
C0 N2	1.82	1.21	1.05	2.13	1.25	2.10	3.67	2.92	1.97	2.14	3.25
C1 N0	1.68	1.21	1.27	1.57	1.15	1.94	3.01	1.84	2.14	2.05	2.98
C1 N0.5	1.64	1.38	0.99	1.70	1.32	1.63	2.87	1.77	1.88	2.04	2.79
C1 N1	1.68	1.50	1.21	2.10	1.09	1.81	2.79	2.08	1.87	2.01	2.98
C1 N1.5	1.57	1.22	1.21	1.91	1.85	1.69	2.67	2.33	2.09	2.28	2.88
C1 N2	1.61	1.37	1.23	1.64	1.39	1.83	2.97	2.10	2.01	1.99	2.85

Compost & nitrogen treatments	Observation date									
	Aug.		Sept.							
	23	30	6	13	20					
C0 N0	1.89	3.05	5.18	2.93	2.70	-	-	-	-	-
C0 N0.5	2.06	3.27	4.62	2.77	2.37	-	-	-	-	-
C0 N1	1.89	3.05	4.38	3.13	2.08	-	-	-	-	-
C0 N1.5	2.27	3.30	6.31	2.77	2.53	-	-	-	-	-
C0 N2	2.04	2.96	4.85	3.01	2.92	-	-	-	-	-
C1 N0	2.15	2.89	4.84	2.98	2.66	-	-	-	-	-
C1 N0.5	2.20	3.06	4.49	4.23	2.56	-	-	-	-	-
C1 N1	2.22	3.01	5.70	2.98	2.70	-	-	-	-	-
C1 N1.5	2.13	2.87	4.99	3.05	2.85	-	-	-	-	-
C1 N2	2.25	3.03	4.89	3.38	2.94	-	-	-	-	-

Table 12-3. Effect of nitrogen levels on NO<sub>3</sub><sup>-</sup> content(ppm) of leaching water in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	May				Jun.						
	27	28	29	30	2	9	10	11	12	13	18
C0 N0	6.27	5.42	4.87	4.87	5.04	5.91	5.31	4.77	4.54	5.72	2.46
C0 N0.5	5.56	5.09	4.70	4.31	4.49	4.49	4.65	4.69	4.54	5.28	2.53
C0 N1	6.74	5.40	4.80	4.69	4.87	5.37	4.96	4.53	4.42	5.23	2.96
C0 N1.5	5.80	5.13	5.21	4.69	4.61	6.03	5.66	5.14	4.78	5.64	2.53
C0 N2	6.89	5.93	4.82	4.78	4.92	4.83	4.42	4.78	4.78	5.23	2.45
C1 N0	4.78	4.72	4.37	4.28	4.81	4.93	5.01	4.91	4.87	5.61	2.40
C1 N0.5	6.22	5.53	5.09	4.65	4.94	4.85	4.65	4.93	5.09	5.78	2.48
C1 N1	5.55	5.66	5.58	4.78	5.04	4.93	4.78	4.59	5.13	5.61	2.45
C1 N1.5	4.87	4.78	4.93	4.78	4.94	5.20	5.04	4.92	4.87	4.95	2.70
C1 N2	5.98	4.96	4.74	4.78	4.67	5.11	4.60	4.67	4.51	4.92	2.53

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Jun.		Jul.				Aug.				
	23	30	7	14	21	28	29	30	31	1	5
C0 N0	2.47	2.71	2.80	3.73	3.10	3.00	2.94	2.95	2.98	3.00	3.04
C0 N0.5	2.59	2.73	2.81	3.68	3.27	3.11	4.05	3.75	3.54	3.23	3.13
C0 N1	2.97	3.11	3.15	3.80	3.18	2.91	4.30	3.83	3.25	2.96	2.89
C0 N1.5	2.46	2.65	2.95	3.72	3.27	3.03	4.57	4.08	3.63	3.24	3.46
C0 N2	2.46	2.81	3.10	3.73	3.25	2.88	4.55	4.04	3.66	3.02	2.96
C1 N0	2.32	2.61	3.04	3.79	3.45	3.07	2.71	2.61	2.39	2.43	2.96
C1 N0.5	2.53	2.75	3.03	3.67	3.22	2.89	3.88	3.46	3.30	3.11	2.89
C1 N1	2.38	2.63	3.05	3.57	3.12	2.83	3.98	3.35	3.13	2.96	3.09
C1 N1.5	2.63	2.88	3.24	3.84	3.29	3.00	4.34	4.04	3.70	3.47	3.68
C1 N2	2.45	2.78	2.96	3.50	3.02	2.84	4.47	4.20	3.60	3.37	3.19

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Aug.			Sept.							
	12	19	26	2	9	16	23	29			
C0 N0	3.47	3.26	3.38	3.24	3.19	3.22	3.23	3.13	-	-	-
C0 N0.5	3.01	3.03	3.12	3.10	3.13	3.13	3.06	3.09	-	-	-
C0 N1	3.19	3.09	3.17	2.89	2.93	2.91	2.94	2.87	-	-	-
C0 N1.5	3.43	3.36	3.39	3.44	3.50	3.48	3.42	3.44	-	-	-
C0 N2	2.90	2.69	2.72	2.80	2.78	2.82	2.93	2.89	-	-	-
C1 N0	2.88	2.65	2.79	2.68	2.83	2.92	2.88	2.79	-	-	-
C1 N0.5	2.69	2.75	2.83	2.79	2.82	2.72	2.80	2.81	-	-	-
C1 N1	2.81	2.75	2.88	2.96	3.01	2.85	2.93	2.90	-	-	-
C1 N1.5	3.27	3.41	3.39	3.44	3.35	3.40	3.42	3.38	-	-	-
C1 N2	3.11	3.14	3.17	3.06	3.09	3.16	3.21	3.19	-	-	-

Table 13-1. Effect of nitrogen levels on NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content(mg) of leaching water in lysimeter condition (1996).

Nitrogen treatments	Observation date										
	May						Jun.				
	25	26	27	28	29	31	7	8	9	10	11
N0	17.86	9.67	7.52	8.45	6.17	15.34	25.54	5.87	3.10	2.48	1.80
N0.5	16.31	11.16	8.42	8.86	4.88	18.82	17.66	3.72	2.73	1.84	1.34
N1	13.85	7.28	7.37	7.31	5.81	9.95	14.89	4.19	3.52	2.44	2.61

Nitrogen treatments	Observation date										
	Jun.				Jul.						
	12	14	21	28	5	12	19	26	27	28	29
N0	3.50	4.79	19.42	8.12	6.00	2.73	3.43	0.31	0.31	0.19	0.20
N0.5	2.30	3.26	16.42	7.58	3.85	3.12	3.05	0.28	0.50	0.24	0.21
N1	2.40	3.86	17.88	8.59	5.21	3.91	2.97	0.29	1.16	0.32	0.38

Nitrogen treatments	Observation date										
	Aug.					Sept.				Oct.	
	2	9	16	23	30	6	13	20	29	4	
N0	0.93	1.29	1.74	1.92	1.88	1.43	2.56	3.69	0.65	1.45	-
N0.5	1.25	1.36	1.54	2.24	1.60	1.35	2.97	3.06	0.58	1.00	-
N1	2.53	1.94	4.18	4.85	2.99	2.58	5.14	4.34	0.42	0.97	-

Nitrogen treatments					Total (mg)	Total (kg/10a)	Leaching/N Application (%)
N0	-	-	-	-	170.37	0.370	2.8
N0.5	-	-	-	-	153.52	0.333	12.6
N1	-	-	-	-	156.11	0.339	2.6

Table 13-2. Effect of nitrogen levels on NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content(mg) of leaching water in lysimeter condition (1997).

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	May				Jun.						
	28	29	30	31	7	10	11	12	13	15	21
C0 N0	5.00	1.30	1.12	1.03	1.21	0.72	0.41	0.60	0.70	0.56	0.37
C0 N0.5	4.75	1.05	1.20	0.95	1.12	0.82	0.50	0.66	0.80	0.63	0.43
C0 N1	5.81	1.33	1.46	0.96	0.97	0.78	0.47	0.64	0.57	0.55	0.50
C0 N1.5	4.50	0.99	0.82	0.82	0.82	0.42	0.46	0.64	0.64	0.49	0.93
C0 N2	5.17	1.04	1.32	0.67	0.59	0.44	0.61	0.53	0.74	0.47	0.54
C1 N0	2.87	0.55	0.82	0.51	0.80	0.82	0.46	0.59	0.60	0.63	0.41
C1 N0.5	4.25	0.78	0.96	0.68	0.95	0.87	0.48	0.47	0.68	0.78	0.52
C1 N1	4.19	1.05	1.02	0.59	2.06	0.73	0.64	0.36	0.60	0.66	0.40
C1 N1.5	4.40	1.01	1.12	0.74	0.92	0.67	0.45	0.42	0.62	0.69	0.45
C1 N2	3.70	0.99	1.06	0.60	2.46	0.56	0.42	0.54	0.52	0.52	0.38

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Jun.	Jul.	Aug.								
	28	5	12	19	26	31	1	2	3	9	16
C0 N0	1.04	0.49	0.76	1.09	1.20	1.43	6.28	5.26	2.45	2.77	2.74
C0 N0.5	0.53	0.63	0.56	0.84	1.37	1.72	4.53	5.97	3.44	3.28	4.21
C0 N1	0.56	0.40	0.71	1.08	1.27	2.13	9.96	7.75	3.12	4.78	6.20
C0 N1.5	0.53	0.36	0.65	1.15	0.94	1.96	8.90	5.97	1.23	4.35	4.96
C0 N2	0.53	1.16	0.46	1.18	1.29	2.28	10.32	9.04	2.74	4.30	4.99
C1 N0	0.49	0.38	0.62	0.75	1.49	2.79	7.74	6.53	3.80	4.56	4.02
C1 N0.5	0.52	0.52	0.55	0.75	1.60	1.59	5.30	6.54	3.80	3.43	3.08
C1 N1	0.51	0.42	0.58	0.62	1.21	2.03	6.13	5.21	2.89	3.24	2.84
C1 N1.5	0.44	0.39	0.67	1.10	2.37	2.93	5.37	6.32	3.71	3.77	3.57
C1 N2	0.48	0.28	0.25	0.37	1.46	2.49	11.96	6.30	2.57	3.53	2.99

Compost & nitrogen treatments	Observation date					Total (mg)	Total (kg/10a)	Leaching /Nitrogen Application(%)
	Aug.	Sept.						
	23	30	6	13	20			
C0 N0	1.51	2.96	3.97	2.73	2.35	52.05	0.113	0.9
C0 N0.5	3.06	10.74	12.45	7.54	3.17	76.96	0.167	1.3
C0 N1	2.92	9.50	9.54	8.54	2.74	85.24	0.185	1.4
C0 N1.5	2.62	9.94	16.25	6.17	3.18	80.68	0.175	1.3
C0 N2	2.54	7.42	10.36	9.11	4.02	83.87	0.182	1.4
C1 N0	1.89	6.87	11.08	7.16	2.50	71.73	0.156	1.2
C1 N0.5	2.37	5.58	9.03	10.73	3.16	69.95	0.152	1.2
C1 N1	2.43	8.35	13.08	7.48	2.74	72.06	0.156	1.2
C1 N1.5	2.56	6.89	10.42	2.58	2.92	67.49	0.147	1.1
C1 N2	3.42	3.76	6.61	6.12	3.21	67.55	0.147	1.1



Table 13-3. Effect of nitrogen levels on NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content(mg) of leaching water in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	May				Jun.						
	27	28	29	30	2	9	10	11	12	13	18
C0 N0	13.33	7.80	7.17	5.15	18.81	51.48	7.79	6.73	5.70	6.07	14.31
C0 N0.5	7.64	4.58	4.72	3.33	11.41	23.25	3.72	3.56	2.99	3.36	8.68
C0 N1	14.52	8.03	7.30	4.49	17.19	16.13	2.75	4.05	2.89	3.08	10.00
C0 N1.5	8.90	6.06	6.57	4.46	14.42	30.69	4.17	4.01	3.06	4.79	10.70
C0 N2	12.28	6.80	6.19	4.99	16.96	30.84	3.78	3.55	3.21	3.31	8.33
C1 N0	8.27	7.52	6.26	3.67	18.50	46.23	7.07	6.34	5.02	6.14	13.61
C1 N0.5	17.60	10.96	10.49	9.01	22.30	48.11	7.33	9.11	5.70	5.59	13.12
C1 N1	14.86	10.97	10.41	6.51	15.51	31.70	4.41	4.06	6.97	5.28	13.36
C1 N1.5	14.91	9.66	10.05	6.54	18.94	34.19	4.13	7.64	5.86	4.95	13.87
C1 N2	12.15	7.19	7.74	6.28	17.78	42.56	5.98	4.71	4.70	3.91	11.41

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Jun.		Jul.				Aug.				
	23	30	7	14	21	28	29	30	31	1	5
C0 N0	16.63	15.89	20.21	20.07	14.71	18.39	4.76	4.06	3.65	2.10	16.14
C0 N0.5	9.85	10.61	12.64	12.68	7.74	9.30	2.25	2.00	1.97	1.51	8.75
C0 N1	10.53	10.64	13.84	11.97	9.57	9.63	2.99	2.82	2.28	1.83	13.66
C0 N1.5	11.48	10.75	14.48	13.04	8.24	8.91	4.53	4.04	3.33	2.73	20.53
C0 N2	8.45	9.83	15.16	16.75	14.44	13.84	4.86	5.65	5.26	4.64	18.90
C1 N0	11.37	7.93	7.61	9.03	10.96	8.32	1.52	1.43	1.29	1.11	8.65
C1 N0.5	14.23	14.31	18.04	14.12	11.15	8.89	2.06	1.90	1.64	1.70	11.03
C1 N1	13.10	14.92	20.37	14.93	11.14	6.87	2.19	1.78	1.58	1.50	9.02
C1 N1.5	13.53	15.57	23.88	17.56	12.82	9.19	2.46	2.14	2.17	2.08	13.94
C1 N2	11.22	11.32	15.76	11.26	9.81	7.63	2.34	2.11	1.76	1.47	10.49

Compost & nitrogen treatments	Observation date								Total (mg)	Total (kg /10a)	Leaching /Nitrogen Appli.(%)
	Aug.		Sept.								
	12	19	26	2	9	6	23	29			
C0 N0	29.41	25.06	38.30	31.69	34.43	35.41	20.40	15.92	511.54	1.111	8.5
C0 N0.5	15.92	20.38	31.01	45.02	48.04	54.29	23.43	20.65	415.27	0.902	6.9
C0 N1	46.18	47.42	49.11	78.57	69.78	69.25	25.82	21.17	587.56	1.276	9.8
C0 N1.5	48.10	63.99	76.11	90.79	88.41	82.47	31.03	21.55	702.35	1.525	11.7
C0 N2	44.65	39.90	51.97	57.85	57.70	57.75	22.35	21.75	571.94	1.242	9.6
C1 N0	14.55	17.67	21.21	25.64	34.02	39.56	13.12	11.27	374.92	0.814	6.3
C1 N0.5	27.00	36.56	40.15	55.65	69.11	74.48	26.55	19.89	607.77	1.320	10.2
C1 N1	20.32	41.22	43.12	58.64	68.55	66.02	23.25	16.82	559.40	1.215	9.3
C1 N1.5	33.74	50.57	58.92	75.27	79.93	79.56	26.75	22.54	673.35	1.462	11.2
C1 N2	23.43	37.71	49.10	62.34	69.17	74.45	25.12	18.90	569.80	1.237	9.5

Table 14-1. Effect of nitrogen levels on Organic-N content(%) of different soil depth in lysimeter condition (1996).

Nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date					
		May 23	Jun. 14	Jul. 1	Jul. 18	Aug. 20	Oct. 10
0 N	10	0.037	0.021	0.025	0.011	0.014	0.014
	30	0.015	0.018	0.031	0.016	0.019	0.018
	70	0.008	0.006	0.005	0.002	0.011	0.011
0.5 N	10	-	0.018	0.012	0.026	0.027	0.025
	30	-	0.011	0.009	0.022	0.007	0.005
	70	-	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
1 N	10	-	0.029	0.015	0.021	0.015	0.012
	30	-	0.040	0.011	0.010	0.010	0.008
	70	-	0.006	0.012	0.030	0.008	0.005

Table 14-2. Effect of nitrogen levels on Organic-N content(%) of different soil depth in lysimeter condition (1997)

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May. 26	Jun. 23	Jul. 25	Oct. 11
C0 N0	10	0.075	0.072	0.068	0.066
	30	0.045	0.051	0.042	0.047
	70	0.048	0.042	0.038	0.036
C0 N0.5	10	-	0.076	0.085	0.058
	30	-	0.051	0.056	0.046
	70	-	0.033	0.037	0.040
C0 N1	10	-	0.068	0.067	0.065
	30	-	0.066	0.042	0.041
	70	-	0.074	0.041	0.040
C0 N1.5	10	-	0.068	0.060	0.058
	30	-	0.055	0.041	0.044
	70	-	0.045	0.025	0.033
C0 N2	10	-	0.083	0.076	0.064
	30	-	0.055	0.040	0.040
	70	-	0.044	0.059	0.047
C1 N0	10	0.084	0.052	0.056	0.065
	30	0.065	0.037	0.042	0.060
	70	0.065	0.041	0.041	0.056
C1 N0.5	10	-	0.046	0.080	0.075
	30	-	0.048	0.062	0.051
	70	-	0.039	0.042	0.046
C1 N1	10	-	0.070	0.063	0.068
	30	-	0.046	0.037	0.056
	70	-	0.039	0.040	0.049
C1 N1.5	10	-	0.077	0.060	0.071
	30	-	0.036	0.055	0.054
	70	-	0.045	0.041	0.053
C1 N2	10	-	0.065	0.071	0.063
	30	-	0.042	0.040	0.048
	70	-	0.038	0.050	0.049

Table 14-3. Effect of nitrogen levels on Organic-N content(%) of different soil depth in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 9	Jul. 27	Oct. 7
C0 N0	10	0.067	0.059	0.058	0.058
	30	0.048	0.039	0.049	0.048
	70	0.038	0.029	0.039	0.029
C0 N0.5	10	-	0.078	0.068	0.048
	30	-	0.059	0.049	0.049
	70	-	0.039	0.039	0.038
C0 N1	10	-	0.078	0.058	0.069
	30	-	0.068	0.059	0.049
	70	-	0.059	0.048	0.028
C0 N1.5	10	-	0.048	0.038	0.068
	30	-	0.038	0.048	0.049
	70	-	0.048	0.039	0.018
C0 N2	10	-	0.057	0.068	0.068
	30	-	0.068	0.068	0.058
	70	-	0.038	0.059	0.028
C1 N0	10	0.076	0.059	0.059	0.048
	30	0.067	0.049	0.049	0.048
	70	0.067	0.039	0.029	0.038
C1 N0.5	10	-	0.059	0.068	0.068
	30	-	0.039	0.048	0.048
	70	-	0.039	0.039	0.038
C1 N1	10	-	0.058	0.069	0.058
	30	-	0.049	0.048	0.048
	70	-	0.039	0.029	0.038
C1 N1.5	10	-	0.067	0.058	0.068
	30	-	0.059	0.039	0.048
	70	-	0.039	0.028	0.038
C1 N2	10	-	0.057	0.058	0.068
	30	-	0.059	0.048	0.058
	70	-	0.049	0.049	0.048

Table 15-1. Effect of nitrogen levels on Urea-N(ppm) of different soil depth in lysimeter condition (1996).

Nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date					
		May 23	Jun. 14	Jul. 1	Jul. 18	Aug. 20	Oct. 10
0 N	10	6.4	6.0	3.7	6.8	4.9	26.2
	30	4.9	3.6	6.2	7.0	5.7	15.3
	70	10.2	5.9	6.4	4.5	5.7	35.5
0.5 N	10	-	7.7	6.9	3.0	5.9	12.4
	30	-	7.9	10.3	4.7	4.9	15.4
	70	-	5.9	7.0	3.8	9.6	22.1
1 N	10	-	17.8	11.4	8.2	7.0	38.1
	30	-	7.7	3.8	7.8	6.5	44.0
	70	-	7.8	5.5	6.1	7.5	15.7

Table 15-2. Effect of nitrogen levels on Urea-N(ppm) of different soil depth in lysimeter condition (1997).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 23	Jul. 25	Oct. 11
C0 N0	10	1.19	0.00	0.00	0.00
	30	1.59	0.18	0.35	0.00
	70	1.29	0.00	0.00	0.00
C0 N0.5	10	-	0.00	1.30	0.00
	30	-	0.78	0.00	0.00
	70	-	0.17	0.00	0.00
C0 N1	10	-	3.99	0.00	0.31
	30	-	0.00	0.00	0.66
	70	-	0.00	0.00	0.60
C0 N1.5	10	-	0.00	0.00	0.82
	30	-	0.00	0.00	0.46
	70	-	0.00	0.00	0.94
C0 N2	10	-	0.00	0.00	0.00
	30	-	1.36	0.00	0.00
	70	-	2.13	0.00	0.00
C1 N0	10	2.82	3.17	0.00	1.27
	30	1.58	6.25	0.00	1.91
	70	2.82	0.00	0.00	1.88
C1 N0.5	10	-	0.00	0.00	1.47
	30	-	0.77	0.00	1.80
	70	-	0.55	0.00	1.03
C1 N1	10	-	0.00	2.19	1.47
	30	-	0.50	0.00	1.30
	70	-	0.00	2.75	1.07
C1 N1.5	10	-	2.88	0.00	1.64
	30	-	2.43	0.00	0.70
	70	-	0.00	0.00	1.32
C1 N2	10	-	0.00	0.00	0.86
	30	-	3.87	0.00	1.52
	70	-	0.00	0.00	1.12

Table 15-3. Effect of nitrogen levels on Urea-N(ppm) of different soil depth in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 9	Jul. 27	Oct. 7
C0 N0	10	1.20	0.03	0.03	0.00
	30	1.80	0.45	0.32	0.00
	70	1.75	0.12	0.00	0.00
C0 N0.5	10	-	0.45	0.50	0.00
	30	-	0.15	0.00	0.00
	70	-	0.28	0.00	0.00
C0 N1	10	-	2.50	0.00	0.00
	30	-	0.00	0.00	0.00
	70	-	0.00	0.00	0.00
C0 N1.5	10	-	0.10	0.00	0.00
	30	-	0.32	0.10	0.00
	70	-	0.45	0.00	0.00
C0 N2	10	-	0.12	0.00	0.00
	30	-	1.85	0.00	0.00
	70	-	1.34	0.00	0.00
C1 N0	10	1.75	2.23	0.00	1.10
	30	1.32	3.17	0.00	1.57
	70	1.07	0.20	0.00	1.32
C1 N0.5	10	-	0.00	0.00	1.45
	30	-	0.00	0.00	1.32
	70	-	0.52	0.40	1.10
C1 N1	10	-	0.12	0.00	1.40
	30	-	0.45	0.00	1.29
	70	-	1.20	0.00	0.97
C1 N1.5	10	-	1.07	2.00	1.50
	30	-	0.54	0.00	1.10
	70	-	0.04	0.00	0.81
C1 N2	10	-	0.00	0.00	0.75
	30	-	0.00	0.00	0.87
	70	-	0.12	0.00	1.10

Table16-1. Effect of nitrogen levels on EC content(mS/cm) of different soil depth in lysimeter conditon (1996).

Nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date					
		May 23	Jun. 14	Jul. 1	Jul. 18	Aug. 20	Oct. 10
0 N	10	0.35	0.35	0.35	0.36	0.38	0.06
	30	0.21	0.20	0.43	0.24	0.23	0.03
	70	0.21	0.15	0.30	0.34	0.20	0.03
0.5 N	10	-	0.30	0.30	0.32	0.34	0.06
	30	-	0.25	0.32	0.21	0.25	0.04
	70	-	0.20	0.33	0.22	0.21	0.03
1 N	10	-	0.40	0.33	0.28	0.38	0.07
	30	-	0.25	0.52	0.27	0.28	0.04
	70	-	0.20	0.28	0.23	0.16	0.03

Table 16-2. Effect of nitrogen levels on EC content(mS/cm) of different soil depth in lysimeter condition (1997).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 23	Jul. 25	Oct. 11
C0 N0	10	0.08	0.04	0.06	0.06
	30	0.06	0.04	0.04	0.04
	70	0.06	0.03	0.04	0.04
C0 N0.5	10	-	0.04	0.06	0.06
	30	-	0.04	0.03	0.03
	70	-	0.03	0.04	0.03
C0 N1	10	-	0.05	0.05	0.05
	30	-	0.04	0.04	0.03
	70	-	0.04	0.04	0.03
C0 N1.5	10	-	0.04	0.05	0.06
	30	-	0.03	0.04	0.04
	70	-	0.04	0.04	0.04
C0 N2	10	-	0.05	0.06	0.06
	30	-	0.03	0.04	0.03
	70	-	0.04	0.03	0.03
C1 N0	10	0.10	0.05	0.04	0.05
	30	0.08	0.03	0.03	0.03
	70	0.07	0.04	0.04	0.04
C1 N0.5	10	-	0.04	0.05	0.05
	30	-	0.05	0.04	0.04
	70	-	0.04	0.04	0.04
C1 N1	10	-	0.04	0.03	0.04
	30	-	0.03	0.03	0.03
	70	-	0.04	0.03	0.03
C1 N1.5	10	-	0.06	0.04	0.04
	30	-	0.04	0.04	0.03
	70	-	0.04	0.04	0.03
C1 N2	10	-	0.07	0.06	0.06
	30	-	0.04	0.04	0.03
	70	-	0.04	0.05	0.04

Table 16-3. Effect of nitrogen levels on EC content(mS/cm) of different soil depth in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Soil depth (cm)	Observation date			
		May 26	Jun. 23	Jul. 25	Oct. 7
C0 N0	10	0.07	0.05	0.05	0.04
	30	0.06	0.06	0.04	0.04
	70	0.05	0.04	0.04	0.04
C0 N0.5	10	-	0.05	0.05	0.04
	30	-	0.04	0.03	0.03
	70	-	0.03	0.03	0.03
C0 N1	10	-	0.05	0.05	0.05
	30	-	0.04	0.04	0.03
	70	-	0.04	0.04	0.03
C0 N1.5	10	-	0.06	0.05	0.04
	30	-	0.04	0.04	0.04
	70	-	0.04	0.04	0.03
C0 N2	10	-	0.05	0.05	0.05
	30	-	0.04	0.04	0.03
	70	-	0.04	0.03	0.03
C1 N0	10	0.09	0.05	0.04	0.03
	30	0.07	0.04	0.03	0.03
	70	0.05	0.04	0.03	0.02
C1 N0.5	10	-	0.05	0.05	0.05
	30	-	0.05	0.04	0.03
	70	-	0.04	0.04	0.03
C1 N1	10	-	0.06	0.05	0.04
	30	-	0.04	0.03	0.03
	70	-	0.04	0.03	0.03
C1 N1.5	10	-	0.06	0.05	0.04
	30	-	0.04	0.04	0.03
	70	-	0.03	0.04	0.03
C1 N2	10	-	0.07	0.06	0.05
	30	-	0.06	0.05	0.03
	70	-	0.05	0.05	0.04

Table 17-1. Effect of nitrogen levels on T-N content(%) of rice plant in lysimeter condition (1996).

Nitrogen treatments	Plant part	Observation date					
		May. 23	Jun. 14	Jul. 1	Jul. 18	Aug. 20	Oct. 10
N0	Leaf	0.645	1.448	0.95	0.475	0.198	0.59
	Stem	-	1.393	0.31	0.21	0.12	0.259
	Root	-	0.608	0.303	0.22	0.443	0.477
	Grain	-					0.908
N0.5	Leaf	0.645	1.578	0.7	0.6	0.276	0.545
	Stem	-	0.803	0.435	0.643	0.16	0.276
	Root	-	1.223	0.703	0.27	0.248	0.488
	Grain	-					0.902
N1	Leaf	0.645	1.533	2.45	0.568	0.425	0.568
	Stem	-	1.226	0.543	0.233	0.415	0.297
	Root	-	0.51	1.23	0.198	0.215	0.485
	Grain	-					0.875



Table 17-2. Effect of nitrogen levels on T-N content(%) of rice plant in lysimeter condition (1997).

Compost & nitrogen treatments	Plant part	Observation date				
		May 26	Jun. 23	Jul. 25	Aug. 23	Oct. 11
C0 N0	Leaf	2.30	3.64	1.58	1.34	0.47
	Stem	-	1.38	0.54	0.10	0.38
	Root	-	1.16	0.14	0.25	0.25
	Grain	-	-	-	-	0.94
C0 N0.5	Leaf	-	3.98	2.19	2.00	0.31
	Stem	-	1.58	0.32	0.65	0.39
	Root	-	0.20	0.20	0.47	0.23
	Grain	-	-	-	-	0.98
C0 N1	Leaf	-	4.43	2.33	2.31	0.62
	Stem	-	4.37	0.27	0.70	0.38
	Root	-	1.79	0.09	0.46	0.33
	Grain	-	-	-	-	1.04
C0 N1.5	Leaf	-	5.50	3.01	2.45	0.62
	Stem	-	3.12	0.63	0.81	0.47
	Root	-	1.25	0.13	0.80	0.34
	Grain	-	-	-	-	1.10
C0 N2	Leaf	-	7.76	3.48	2.46	0.63
	Stem	-	1.22	1.16	0.60	0.43
	Root	-	0.45	0.65	0.68	0.36
	Grain	-	-	-	-	1.11
C1 N0	Leaf	2.30	3.85	1.68	1.64	0.66
	Stem	-	1.670	0.730	0.430	0.41
	Root	-	0.230	0.130	0.460	0.26
	Grain	-	-	-	-	1.00
C1 N0.5	Leaf	-	4.19	1.83	1.82	0.59
	Stem	-	1.49	0.63	0.55	0.57
	Root	-	0.72	0.13	0.8	0.32
	Grain	-	-	-	-	0.95
C1 N1	Leaf	-	4.59	2.29	2.05	0.74
	Stem	-	3.32	0.39	0.59	0.49
	Root	-	0.13	0.5	0.7	0.33
	Grain	-	-	-	-	1.05
C1 N1.5	Leaf	-	5.9	3.25	2.05	0.71
	Stem	-	3.26	0.84	0.68	0.37
	Root	-	0.11	0.47	0.58	0.34
	Grain	-	-	-	-	1.05
C1 N2	Leaf	-	6.67	3.68	2.87	0.74
	Stem	-	3.42	0.88	0.81	0.50
	Root	-	1.61	0.84	0.66	0.37
	Grain	-	-	-	-	1.12

Table 17-3. Effect of nitrogen levels on T-N content(%) of rice plant in lysimeter condition(1998).

Compost & nitrogen treatments	Plant part	Observation date				
		May 26	Jun. 23	Jul. 25	Aug. 23	Oct. 7
C0 N0	Leaf	2.22	2.15	1.47	0.97	0.56
	Stem	-	1.56	0.62	0.46	0.41
	Root	-	0.92	0.45	0.36	0.31
	Grain	-	-	-	-	0.92
C0 N0.5	Leaf	-	3.95	2.26	1.98	0.68
	Stem	-	1.62	0.65	0.57	0.49
	Root	-	1.02	0.22	0.35	0.28
	Grain	-	-	-	-	0.99
C0 N1	Leaf	-	4.32	2.59	2.15	0.72
	Stem	-	2.25	0.72	0.50	0.42
	Root	-	2.15	0.86	0.42	0.31
	Grain	-	-	-	-	1.05
C0 N1.5	Leaf	-	5.44	2.85	2.53	0.72
	Stem	-	3.08	1.28	0.89	0.71
	Root	-	1.33	0.47	0.42	0.38
	Grain	-	-	-	-	1.15
C0 N2	Leaf	-	7.59	3.51	2.59	0.97
	Stem	-	1.42	1.35	0.77	0.64
	Root	-	1.32	0.56	0.54	0.44
	Grain	-	-	-	-	1.18
C1 N0	Leaf	2.27	3.65	2.11	1.98	0.59
	Stem	-	1.42	0.81	0.65	0.42
	Root	-	0.21	0.26	0.30	0.24
	Grain	-	-	-	-	0.75
C1 N0.5	Leaf	-	4.55	2.44	2.35	0.68
	Stem	-	1.63	0.86	0.75	0.57
	Root	-	0.32	0.24	0.22	0.21
	Grain	-	-	-	-	0.92
C1 N1	Leaf	-	4.15	2.56	2.31	0.74
	Stem	-	2.73	0.59	0.49	0.38
	Root	-	0.47	0.44	0.38	0.24
	Grain	-	-	-	-	1.02
C1 N1.5	Leaf	-	5.43	3.10	2.84	0.81
	Stem	-	3.59	0.95	0.86	0.46
	Root	-	0.52	0.35	0.34	0.25
	Grain	-	-	-	-	1.09
C1 N2	Leaf	-	6.51	4.11	3.84	0.84
	Stem	-	3.57	0.76	0.59	0.48
	Root	-	1.40	0.68	0.47	0.34
	Grain	-	-	-	-	1.10

Table. 18-1. Amount of irrigation water(ℓ) in lysimeter condition (1996).

Nitrogen		Observation date									
treatments	May		Jun.				Jul.				
	28	30	1	3	6	15	3	5	9	10	11
N1	10.0	9.6	1.9	19.3	10.0	10.0	20.0	20.0	15.0	3.0	24.0
N0.5	10.0	10.4	2.2	17.9	10.0	10.0	20.0	20.0	18.0	2.0	24.0
N0	10.0	10.0	2.3	19.3	10.0	10.0	20.0	20.0	14.0	0.0	21.0

Nitrogen		Observation date									
treatments	Jul.										
	12	16	18	19	20	25	26	29	30	31	Aug. 2
N1	9.0	20.0	5.0	5.0	20.0	5.0	20.0	7.5	17.5	20.0	8.8
N0.5	10.0	20.0	2.5	2.5	20.0	5.0	20.0	7.5	17.5	20.0	0.0
N0	8.0	20.0	0.0	0.0	20.0	3.8	20.0	2.5	16.3	20.0	0.0

Nitrogen		Observation date									
treatments	Aug.										
	3	5	6	8	9	12	14	16	19	20	21
N1	12.5	6.3	11.3	22.5	15.0	13.8	27.5	27.5	21.3	5.0	25.0
N0.5	10.0	2.5	7.5	20.0	11.3	12.5	26.3	20.0	10.0	5.0	13.3
N0	3.8	0.0	3.8	20.0	10.0	7.5	26.3	16.3	3.8	0.0	13.3

Nitrogen		Observation date									
treatments	Aug.					Sept.					
	22	23	25	29	30	31	1	2	3	4	5
N1	18.3	16.7	20.0	20.0	16.7	18.3	21.7	16.7	13.3	13.3	26.7
N0.5	5.0	13.3	5.0	5.0	5.0	5.0	15.0	3.3	3.3	3.3	21.7
N0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	10.0

Nitrogen		Observation date								Total	
treatments	Sept.										
	6	7	10	12							
N1	20.0	20.0	26.7	20.0	-	-	-	-	-	-	756.4
N0.5	5.0	5.0	21.7	5.0	-	-	-	-	-	-	529.5
N0	0.0	0.0	20.0	0.0	-	-	-	-	-	-	403.3

Table 18-2-1. Amount of irrigation water(ℓ) in Lysimeter (1997).

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Jun						Jul.				
	8	10	12	16	19	22	9	10	14	18	21
C0 N0	2.5	18.0	11.3	20.0	19.5	2.5	2.5	8.8	8.8	5.0	27.5
C0 N0.5	0.0	15.3	10.0	20.0	20.0	0.0	2.5	10.0	12.5	2.5	25.0
C0 N1	0.0	15.8	10.0	20.0	20.0	0.0	0.0	10.0	12.5	10.0	30.0
C0 N1.5	0.0	10.5	11.3	20.0	20.0	0.0	2.5	18.8	22.5	5.0	30.0
C0 N2	0.0	10.0	10.0	20.0	20.0	0.0	0.0	11.3	13.8	7.5	27.5
C1 N0	0.0	11.0	8.8	17.5	18.8	0.0	2.5	8.8	11.3	0.0	27.5
C1 N0.5	0.0	15.0	10.0	20.0	20.0	0.0	0.0	12.5	13.8	2.5	27.5
C1 N1	0.0	15.3	10.0	18.8	20.0	2.5	0.0	11.3	13.8	5.0	30.0
C1 N1.5	0.0	13.5	10.0	17.5	17.5	0.0	0.0	11.3	17.5	12.5	25.0
C1 N2	0.0	13.5	10.0	20.0	19.5	0.0	0.0	8.8	10.0	2.5	30.0

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Jul.										
	23	24	25	26	28	29	30	31	1	6	7
C0 N0	20.0	5.0	11.3	18.8	17.5	11.3	13.3	13.8	21.3	20.0	17.5
C0 N0.5	20.0	0.0	7.5	17.5	17.5	12.8	11.8	11.3	22.5	12.5	17.5
C0 N1	20.0	15.0	17.5	25.0	25.0	19.8	18.8	21.3	27.5	25.0	22.5
C0 N1.5	20.0	0.0	13.8	18.8	21.3	15.5	11.3	18.8	20.0	12.5	22.5
C0 N2	20.0	10.0	15.0	25.0	25.0	16.3	18.8	17.5	22.5	15.0	22.5
C1 N0	20.0	7.5	21.3	25.0	25.0	17.0	18.8	20.0	22.5	22.5	15.0
C1 N0.5	20.0	0.0	20.0	17.5	22.5	12.5	15.0	19.3	15.0	15.0	13.8
C1 N1	20.0	7.5	11.3	20.0	20.0	12.5	16.3	16.3	18.8	16.3	11.3
C1 N1.5	20.0	2.5	16.3	20.5	16.8	15.0	16.3	15.8	22.5	16.3	18.8
C1 N2	20.0	7.5	18.8	22.5	22.5	16.3	21.3	16.3	23.8	15.0	18.8

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Aug.										
	8	9	11	14	15	16	17	18	19	20	21
C0 N0	18.8	12.5	17.5	10.0	11.3	7.5	18.8	15.0	2.5	12.8	18.8
C0 N0.5	16.3	12.5	23.8	10.0	12.5	13.8	25.0	12.5	2.5	25.3	18.8
C0 N1	25.0	22.5	26.3	10.0	12.5	25.0	26.3	26.3	22.5	24.3	17.5
C0 N1.5	18.8	21.3	25.0	12.5	14.5	22.5	25.0	17.5	12.5	26.3	20.0
C0 N2	21.3	15.0	27.5	10.0	18.0	17.5	27.5	18.8	12.5	26.3	21.3
C1 N0	15.0	12.5	22.5	10.0	9.3	7.5	19.3	12.5	0.0	15.8	13.8
C1 N0.5	16.3	8.8	18.8	10.0	11.3	12.5	23.0	12.5	0.0	20.0	17.5
C1 N1	18.8	7.5	22.5	12.5	13.8	13.8	18.8	13.8	0.0	21.8	16.3
C1 N1.5	17.5	11.3	20.0	12.5	14.5	16.3	22.8	17.5	0.0	26.3	21.3
C1 N2	21.3	12.5	21.3	12.5	18.8	16.3	25.0	20.0	0.0	23.8	21.3

Table 18-2-2. Amount of irrigation water(ℓ) in Lysimeter condition (1997).

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Aug.							Sept.			
	22	23	25	26	27	28	29	1	3	4	5
C0 N0	18.8	6.3	12.5	10.0	5.0	11.3	8.8	11.3	5.0	6.3	6.3
C0 N0.5	22.5	17.5	26.3	22.5	12.5	13.8	12.5	28.8	20.0	17.5	18.8
C0 N1	16.3	16.3	21.3	22.5	17.5	22.5	22.5	22.5	17.5	17.5	21.3
C0 N1.5	18.8	18.8	25.0	25.0	13.8	22.5	15.0	30.0	20.0	21.3	20.0
C0 N2	18.8	20.0	22.5	22.5	13.8	17.5	12.5	25.0	17.5	20.0	21.3
C1 N0	13.8	8.8	20.0	13.8	5.0	20.0	13.8	15.0	11.3	15.0	13.8
C1 N0.5	18.8	20.0	23.8	15.0	7.5	17.5	13.8	22.5	15.0	16.3	12.5
C1 N1	20.0	17.5	20.0	17.5	2.5	20.0	16.3	23.8	13.8	21.3	15.0
C1 N1.5	21.3	17.5	20.0	13.8	0.0	17.5	13.8	18.8	7.5	20.0	8.8
C1 N2	21.3	23.8	18.8	15.0	2.5	17.5	12.5	17.5	7.5	12.5	10.0

Compost & nitrogen treatments	Observation date										Total
	Sept.										
	6	8	9	10	11	12	13	14	15		
C0 N0	8.8	15.0	3.8	8.8	8.8	5.0	10.0	11.3	17.5	-	631.0
C0 N0.5	16.3	30.0	17.5	18.8	23.8	17.5	17.5	17.5	30.0	-	842.5
C0 N1	22.5	27.5	22.5	21.3	23.8	21.3	23.8	21.3	27.5	-	1032.3
C0 N1.5	22.5	25.0	20.0	22.5	22.5	20.0	18.8	17.5	22.5	-	951.8
C0 N2	22.5	27.5	25.0	27.5	27.5	22.5	27.5	22.5	27.5	-	984.3
C1 N0	15.0	25.0	10.0	13.8	15.0	6.3	15.0	16.3	15.0	-	739.8
C1 N0.5	15.0	27.5	12.5	18.8	20.0	15.0	18.8	22.5	25.0	-	799.8
C1 N1	21.3	30.0	17.5	21.3	22.5	12.5	20.0	22.5	25.0	-	835.8
C1 N1.5	13.8	25.0	8.8	11.3	16.3	10.0	17.5	13.8	15.0	-	775.0
C1 N2	12.5	27.5	10.0	11.3	22.5	10.0	21.3	16.3	22.5	-	821.8

Table 18-3-1. Amount of irrigation water(ℓ) in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	May					Jun.					
	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	8
C0 N0	12.5	10.0	12.5	5.0	10.0	12.5	0.0	0.0	5.0	13.8	10.0
C0 N0.5	10.0	8.8	12.5	5.0	10.0	7.5	0.0	0.0	2.5	10.0	0.0
C0 N1	10.0	10.0	15.0	7.5	10.0	15.0	2.5	0.0	2.5	8.8	0.0
C0 N1.5	11.0	8.0	12.0	3.0	12.0	10.0	8.0	0.0	6.0	9.0	4.0
C0 N2	12.0	9.0	12.0	6.0	12.0	14.0	6.0	2.0	6.0	11.0	6.0
C1 N0	16.7	13.3	13.3	13.3	16.7	13.3	6.7	10.0	3.3	10.0	3.3
C1 N0.5	15.0	15.0	17.5	10.0	17.5	12.5	7.5	7.5	2.5	10.0	5.0
C1 N1	14.0	14.0	18.0	9.0	15.0	10.0	6.0	2.0	4.0	8.0	8.0
C1 N1.5	16.0	16.0	18.0	12.0	20.0	10.0	10.0	2.0	4.0	10.0	6.0
C1 N2	14.0	12.0	18.0	8.0	12.0	12.0	10.0	4.0	4.0	10.0	12.0

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Jun.										
	9	10	11	12	15	16	17	18	20	21	23
C0 N0	10.0	8.8	11.3	10.0	0.0	2.5	8.8	1.3	7.5	8.8	6.3
C0 N0.5	7.5	6.3	5.0	11.3	0.0	0.0	6.3	0.0	5.0	3.8	7.5
C0 N1	5.0	7.5	0.0	10.0	0.0	1.3	7.5	5.0	2.5	5.0	7.5
C0 N1.5	2.0	10.0	0.0	12.0	0.0	2.0	8.0	4.0	4.0	4.0	5.0
C0 N2	8.0	4.0	6.0	9.0	0.0	0.0	7.0	1.0	4.0	4.0	9.0
C1 N0	13.3	6.7	6.7	11.7	0.0	3.3	16.7	0.0	6.7	8.3	10.0
C1 N0.5	17.5	1.3	13.8	10.0	0.0	3.8	12.5	2.5	7.5	10.0	10.0
C1 N1	2.0	10.0	3.0	13.0	4.0	5.0	8.0	3.0	8.0	5.0	8.0
C1 N1.5	4.0	10.0	7.0	11.0	1.0	2.0	14.0	0.0	4.0	6.0	11.0
C1 N2	6.0	8.0	3.0	10.0	0.0	0.0	10.0	2.0	2.0	8.0	10.0

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Jun.					Jul.					
	24	27	28	29	30	5	6	7	8	9	13
C0 N0	7.5	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	1.3	2.5	0.0	0.0	0.0
C0 N0.5	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
C0 N1	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C0 N1.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C0 N2	4.0	0.0	2.0	2.0	2.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
C1 N0	3.3	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C1 N0.5	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C1 N1	10.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	2.0	6.0	0.0	0.0	0.0
C1 N1.5	6.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	5.0	0.0	4.0	0.0
C1 N2	6.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0

Table 18-3-2. Amount of irrigation water( ℓ ) in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Jul. 14	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27
C0 N0	2.5	2.5	2.5	5.0	2.5	2.5	10.0	5.0	2.5	10.0	21.3
C0 N0.5	0.0	0.0	0.0	2.5	5.0	3.8	5.0	5.0	0.0	12.5	21.3
C0 N1	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	6.3	10.0	7.5	0.0	15.0	22.5
C0 N1.5	0.0	0.0	2.0	6.0	6.0	8.0	10.0	0.0	10.0	8.0	26.0
C0 N2	4.0	4.0	11.0	12.0	8.0	6.0	8.0	12.0	10.0	12.0	24.0
C1 N0	0.0	0.0	0.0	3.3	3.3	0.0	3.3	6.7	0.0	3.3	10.0
C1 N0.5	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	0.0	12.5	2.5	5.0	12.5	17.5
C1 N1	0.0	0.0	6.0	6.0	6.0	1.0	12.0	2.0	10.0	8.0	17.0
C1 N1.5	0.0	0.0	5.0	14.0	2.0	1.0	16.0	6.0	10.0	8.0	17.0
C1 N2	0.0	0.0	3.0	10.0	4.0	4.0	14.0	8.0	10.0	6.0	20.0

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Jul. 28	29	30	31	Aug. 2	4	5	7	8	10	12
C0 N0	7.5	5.0	5.0	2.5	0.0	2.5	5.0	0.0	2.5	0.0	0.0
C0 N0.5	0.0	5.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C0 N1	5.0	10.0	2.5	2.5	2.5	0.0	2.5	0.0	2.5	7.5	5.0
C0 N1.5	4.0	14.0	2.0	2.0	4.0	0.0	6.0	2.0	2.0	4.0	2.0
C0 N2	8.0	12.0	6.0	5.0	6.0	2.0	4.0	0.0	2.0	4.0	0.0
C1 N0	6.7	6.7	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C1 N0.5	0.0	2.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C1 N1	0.0	10.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C1 N1.5	4.0	10.0	4.0	4.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C1 N2	4.0	8.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	13	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
C0 N0	0.0	0.0	2.5	5.0	5.0	12.5	2.5	12.5	0.0	15.0	9.2
C0 N0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	12.5	5.0	10.0	0.0	20.0	13.8
C0 N1	7.5	2.5	10.0	10.0	22.5	17.5	12.5	15.0	0.0	23.8	23.8
C0 N1.5	4.0	2.0	12.0	16.0	20.0	18.0	16.0	18.0	0.0	29.0	25.0
C0 N2	12.0	0.0	2.0	10.0	22.0	20.0	10.0	20.0	0.0	28.0	20.7
C1 N0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	6.7	3.3	10.0	0.0	16.7	6.1
C1 N0.5	0.0	0.0	0.0	2.5	15.0	15.0	10.0	15.0	0.0	26.3	16.3
C1 N1	0.0	0.0	0.0	4.0	14.0	14.0	10.0	12.0	0.0	25.0	19.0
C1 N1.5	4.0	0.0	0.0	10.0	18.0	18.0	12.0	16.0	0.0	26.0	19.0
C1 N2	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	20.0	10.0	12.0	0.0	25.0	20.3

Table 18-3-3. Amount of irrigation water(ℓ) in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Aug.						Sept.				
	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5
C0 N0	13.8	10.0	3.8	7.5	12.5	10.0	12.5	0.0	10.0	16.3	5.0
C0 N0.5	20.0	5.0	16.3	12.5	15.0	15.0	12.5	7.5	10.0	20.0	10.0
C0 N1	26.3	12.5	32.5	15.0	17.5	25.0	17.5	15.0	15.0	27.5	12.5
C0 N1.5	29.0	16.0	30.0	18.0	20.0	26.0	18.0	16.0	16.0	28.0	18.0
C0 N2	26.0	14.0	22.0	16.0	16.0	22.0	14.0	14.0	14.0	25.0	14.0
C1 N0	10.0	0.0	8.3	6.7	13.3	10.0	10.0	6.7	6.7	18.3	3.3
C1 N0.5	21.3	11.3	16.3	12.5	20.0	22.5	12.5	12.5	17.5	27.5	15.0
C1 N1	27.0	10.0	20.0	12.0	18.0	22.0	14.0	10.0	14.0	24.0	14.0
C1 N1.5	26.0	14.0	17.0	16.0	20.0	22.0	14.0	14.0	14.0	30.0	16.0
C1 N2	26.0	15.0	20.0	18.0	18.0	20.0	18.0	8.0	16.0	24.0	18.0

Compost & nitrogen treatments	Observation date										
	Sept.										
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
C0 N0	3.8	3.8	10.0	7.5	10.0	10.0	6.3	11.3	8.8	11.3	7.5
C0 N0.5	7.5	7.5	15.0	12.5	15.0	16.3	16.3	18.8	15.0	13.8	13.8
C0 N1	18.8	22.5	16.3	17.5	20.0	18.8	16.3	30.0	17.5	16.3	16.3
C0 N1.5	24.0	15.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	24.0	18.0	18.0	19.0
C0 N2	15.0	15.0	17.0	15.0	19.0	17.0	18.0	21.0	17.0	15.0	15.0
C1 N0	5.0	10.0	10.0	11.7	11.7	10.0	13.3	10.0	16.7	8.3	8.3
C1 N0.5	16.3	15.0	18.8	20.0	20.0	17.5	20.0	26.3	17.5	20.0	16.3
C1 N1	19.0	15.0	19.0	18.0	17.0	17.0	18.0	24.0	16.0	18.0	17.0
C1 N1.5	21.0	18.0	16.0	19.0	19.0	16.0	18.0	24.0	19.0	17.0	16.0
C1 N2	20.0	15.0	18.0	18.0	19.0	20.0	19.0	27.0	17.0	18.0	18.0

Compost & nitrogen treatments	Observation date										Total
	Sept.										
	17	18									
C0 N0	13.8	12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	381.7
C0 N0.5	15.0	11.3	-	-	-	-	-	-	-	-	455.0
C0 N1	15.0	13.8	-	-	-	-	-	-	-	-	711.3
C0 N1.5	18.0	18.0	-	-	-	-	-	-	-	-	762.0
C0 N2	17.0	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	727.7
C1 N0	13.3	13.3	-	-	-	-	-	-	-	-	334.4
C1 N0.5	18.8	17.5	-	-	-	-	-	-	-	-	595.0
C1 N1	18.0	18.0	--	-	-	-	-	-	-	-	605.0
C1 N1.5	17.0	17.0	-	-	-	-	-	-	-	-	675.0
C1 N2	18.0	19.0	-	-	-	-	-	-	-	-	649.3



Table 19-1. Effect of nitrogen levels on rice plant height(cm) in lysimeter condition(1996).

Nitrogen treatments	Observation date										
	May.		Jun.			Jul.					Aug.
	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	
N0	16	21.5	33.1	39.3	43.6	48.5	51.9	55.8	61.6	66.5	
N0.5	17	21.9	36.2	42.4	47.3	53.5	56.7	59.4	66.5	72.0	
N1	17	22.8	37.2	44.4	49.2	56.8	60.2	64.1	71.1	77.2	
F value	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	
LSD.05	1.00	1.11	1.84	1.65	1.66	2.32	1.85	2.36	3.63	2.91	

Nitrogen treatments	Observation date									
	Sept.					Oct.				
	9	16	23	30	6	13	20	27	4	10
N0	72.1	77.7	84.5	88.3	89.2	89.2	89.2	89.2	89.2	89.2
N0.5	79.5	85.0	92.7	94.1	94.8	94.8	94.8	94.8	94.8	94.8
N1	85.6	91.7	99.8	102.2	102.8	102.9	102.9	102.9	102.9	102.9
F value	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
LSD.05	4.23	3.88	4.89	4.16	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45

Table 19-2. Effect of nitrogen levels on rice plant height(cm) in lysimeter condition (1997).

Compost & nitrogen treatments	Observation date									
	Jun.					Jul.				
	2	9	16	23	30	7	14	21	28	
C0 N0	15.6	26.6	31.8	35.2	46.6	56.8	62.5	65.6	68.8	
C0 N0.5	17.8	28.1	33.6	39.8	51.6	62.3	68.6	72.6	76.7	
C0 N1	18.2	28.2	33.7	41.6	56.8	68.4	73.3	77.3	81.6	
C0 N1.5	19.0	29.4	34.5	42.1	58.6	69.9	76.7	82.2	87.9	
C0 N2	18.1	28.4	34.0	40.9	57.7	69.5	77.8	82.4	87.1	
C1 N0	16.6	27.7	33.5	36.8	51.8	64.1	73.5	77.3	82.3	
C1 N0.5	17.3	28.3	33.9	40.4	56.0	68.6	75.3	80.0	85.3	
C1 N1	17.8	28.4	34.3	41.8	57.8	71.3	78.8	82.6	86.9	
C1 N1.5	17.5	27.5	34.7	42.5	61.2	74.0	80.1	84.7	89.4	
C1 N2	17.5	27.2	33.5	40.9	59.7	71.2	79.4	84.0	88.7	
F value										
Compost(C)	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	
Nitrogen(N)	**	ns	*	**	**	**	**	**	**	
(C) x (N)	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	**	**	
LSD.05 (C)										
(N)	0.80		1.04	1.57	1.85	1.17	1.27	1.56	1.69	1.98

Compost & nitrogen treatments	Observation date								
	Aug.				Sept.				
	1/4	11	18	25	1	8	15	22	29
C0 N0	72.4	75.7	81.5	88.6	89.4	90.0	90.0	90.0	90.0
C0 N0.5	81.9	86.6	94.1	102.5	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0
C0 N1	86.2	91.7	99.4	107.9	108.8	108.8	108.8	108.8	108.8
C0 N1.5	91.5	95.2	104.0	113.6	112.6	112.6	112.6	112.6	112.6
C0 N2	93.6	98.8	106.9	115.8	117.1	117.1	117.1	117.1	117.1
C1 N0	86.3	89.1	97.5	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7
C1 N0.5	90.0	94.4	102.7	111.8	113.5	113.5	113.5	113.5	113.5
C1 N1	92.9	96.4	104.3	113.0	117.0	117.0	117.0	117.0	117.0
C1 N1.5	95.0	98.2	106.5	115.5	117.6	117.6	117.6	117.6	117.6
C1 N2	93.4	98.5	106.8	116.0	118.2	118.2	118.2	118.2	118.2
F value									
Compost(C)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Nitrogen(N)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
(C) x (N)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
LSD.05 (C)									
(N)	2.03	2.02	2.18	2.5	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47

Table 19-3. Effect of nitrogen levels on rice plant height(cm) in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Observation date								
	Jun.					Jul.			
	1	8	15	22	29	6	13	20	27
C0 N0	13.2	19.4	23.4	28.7	36.2	46.7	53.3	59.2	64.2
C0 N0.5	13.5	19.2	23.7	31.7	39.8	53.6	60.3	65.9	70.3
C0 N1	13.8	19.4	24.5	32.8	43.1	58.8	68.9	74.7	77.4
C0 N1.5	15.3	20.6	26.8	35.0	43.4	61.0	71.1	76.6	80.2
C0 N2	13.6	18.7	24.5	33.4	42.9	61.0	73.2	80.9	83.4
C1 N0	13.2	18.7	24.3	31.1	39.8	52.8	61.9	68.8	73.7
C1 N0.5	14.4	18.8	25.3	33.6	41.0	55.0	65.0	72.9	76.4
C1 N1	13.8	19.6	25.6	34.7	42.9	61.4	72.0	78.0	80.5
C1 N1.5	12.6	17.1	23.6	33.4	43.4	62.4	73.4	79.2	83.3
C1 N2	13.8	17.7	24.5	33.3	43.3	63.0	74.3	80.6	82.5
F value									
Compost(C)	**	ns	**	ns	ns	ns	**	**	**
Nitrogen(N)	**	ns	ns	ns	**	**	**	**	**
(C) x (N)	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	**
LSD.05 (C)	0.35		0.93				1.35	1.49	1.42
(N)	0.92				1.50	1.83	2.14	2.36	2.25

Compost & nitrogen treatments	Observation date								
	Aug.					Sept.			
	3	10	17	24	31	7	14	21	28
C0 N0	67.5	68.8	75.3	85.8	89.7	89.7	89.7	89.7	89.7
C0 N0.5	73.8	77.4	85.2	97.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
C0 N1	80.6	84.0	95.1	108.6	112.2	112.2	112.2	112.2	112.2
C0 N1.5	81.8	88.0	100.5	113.9	118.7	118.7	118.7	118.7	118.7
C0 N2	85.6	90.4	100.5	113.8	121.3	121.3	121.3	121.3	121.3
C1 N0	75.4	78.3	81.9	94.3	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2
C1 N0.5	79.7	82.9	90.7	104.3	108.4	108.4	108.4	108.4	108.4
C1 N1	82.9	87.8	98.8	88.0	117.4	117.4	117.4	117.4	117.4
C1 N1.5	86.4	91.5	102.5	115.7	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9
C1 N2	86.4	93.6	104.7	118.6	125.2	125.2	125.2	125.2	125.2
F value									
Compost(C)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Nitrogen(N)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
(C) x (N)	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD.05 (C)	1.62	1.77	1.83	2.17	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05
(N)	2.56	2.79	2.89	3.44	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25

Table 20-1. Effect of nitrogen levels on number of tillers/hill in lysimeter condition (1996).

Nitrogen treatments	Observation date									
	May. 31	Jun. 7	14	21	28	Jul. 5	12	19	26	Aug. 2
N0	0	6.6	13.0	16.1	18.7	19.2	19.7	20.4	17.8	17.0
N0.5	0	6.9	14.9	22.6	26.0	28.3	29.5	29.2	25.4	23.8
N1	0	7.1	16.4	23.9	29.9	32.2	34.6	35.1	29.8	28.0
F value		ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*
LSD.05					6.82	7.19	7.83	7.65	5.70	5.85

Nitrogen treatments	Observation date									
	Aug. 9	16	23	30	Sept. 6	13	20	27	Oct. 4	10
N0	16.0	15.3	15.1	15.0	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9
N0.5	22.0	20.5	19.4	19.3	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1
N1	25.3	23.6	22.9	23.0	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
F value	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
LSD.05	5.18	4.54	4.52	4.43	4.14	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98

Table 20-2. Effect of nitrogen levels on number of tillers/hill in lysimeter condition (1997).

Compost & Nitrogen treatments	Observation date								
	Jun. 2	9	16	23	30	Jul. 7	14	21	28
C0 N0	0	6.2	13.3	21.1	23.3	22.3	21.6	20.8	18.9
C0 N0.5	0	6.6	15.9	28.9	32.8	32.6	31.4	28.2	24.9
C0 N1	0	6.3	15.2	30.9	37.3	36.2	35.9	33.3	31.7
C0 N1.5	0	7.2	17.9	34.0	40.4	39.1	38.9	34.6	30.9
C0 N2	0	6.3	15.6	32.8	41.6	39.1	39.0	36.5	34.2
C1 N0	0	6.5	15.2	26.4	28.9	28.2	27.1	25.4	24.2
C1 N0.5	0	6.5	16.4	30.2	33.4	31.5	30.1	28.0	26.3
C1 N1	0	7.7	18.0	33.7	39.3	37.9	36.0	32.3	29.1
C1 N1.5	0	7.5	18.9	35.1	43.0	40.1	38.8	35.1	32.3
C1 N2	0	7.5	16.5	32.6	42.0	40.0	39.4	37.0	35.3
F value									
Compost(C)		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Nitrogen(N)		ns	*	**	**	**	**	**	**
(C) x (N)		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD.05 (C)									
(N)			2.25		3.16	3.12	2.95	2.51	2.88

Compost & nitrogen treatments	Observation date								
	Aug. 1/4	11	18	25	Sept. 1	8	15	22	29
C0 N0	16.5	14.5	14.1	13.3	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2
C0 N0.5	22.9	19.1	18.6	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3
C0 N1	26.1	25.2	23.6	22.0	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3
C0 N1.5	28.3	26.2	24.4	23.3	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4
C0 N2	31.0	28.8	27.0	25.1	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4
C1 N0	23.9	20.3	20.1	19.8	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
C1 N0.5	23.4	22.2	21.3	20.7	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4
C1 N1	27.4	26.3	24.4	22.2	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3
C1 N1.5	30.9	27.8	25.8	24.3	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
C1 N2	32.7	28.8	26.7	25.3	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
F value									
Compost(C)	*	*	**	**	**	**	**	**	**
Nitrogen(N)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
(C) x (N)	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*
LSD.05 (C)									
(N)	2.08	1.80	1.45	1.29	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26

Table 20-3 . Effect of nitrogen levels on number of tillers/hill in lysimeter condition (1998).

Compost & nitrogen treatments	Observation date							
	Jun.			Jul.				Aug.
	15	22	29	6	13	20	27	3
C0 N0	6.1	11.8	14.3	14.1	13.6	13.1	12.6	11.9
C0 N0.5	6.5	15.9	22.9	21.7	21.1	20.1	18.5	18.1
C0 N1	7.3	16.6	24.4	28.3	29.8	25.7	23.2	21.0
C0 N1.5	6.6	15.7	27.3	30.0	29.8	28.3	25.8	23.9
C0 N2	6.1	14.6	26.3	30.3	31.3	28.8	25.2	23.9
C1 N0	6.4	14.1	19.0	19.5	19.9	19.8	18.2	17.3
C1 N0.5	7.9	17.4	24.8	24.9	24.1	23.0	21.3	19.0
C1 N1	8.6	17.3	29.5	30.4	29.0	26.6	24.2	23.3
C1 N1.5	6.9	15.4	27.6	30.6	31.5	29.7	27.3	25.6
C1 N2	6.4	14.4	26.4	30.6	32.0	31.1	28.3	26.9
F value								
Compost(C)	*	*	*	**	**	**	**	**
Nitrogen(N)	**	**	**	**	**	**	**	**
(C) x (N)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD.05								
(C)	0.56	1.22	2.08	1.69	1.58	1.51	1.34	1.34
(N)	0.89	1.93	3.28	2.67	2.50	2.38	2.11	2.12

Compost & nitrogen treatments	Observation date							
	Aug.				Sept.			
	10	17	24	31	7	14	21	28
C0 N0	11.8	11.4	11.3	11.3	11.1	11.1	11.1	11.1
C0 N0.5	17.7	16.3	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
C0 N1	20.0	17.9	17.4	17.4	17.2	17.2	17.2	17.2
C0 N1.5	23.3	22.0	20.4	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6
C0 N2	22.6	21.3	20.8	20.7	20.6	20.6	20.6	20.6
C1 N0	17.0	16.5	15.9	15.8	15.7	15.7	15.7	15.7
C1 N0.5	18.5	17.8	17.5	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
C1 N1	22.3	21.2	20.7	20.0	19.8	19.8	19.8	19.8
C1 N1.5	24.5	23.4	22.4	21.6	20.9	20.6	20.6	20.6
C1 N2	25.8	24.8	24.0	23.1	22.2	21.9	21.7	21.7
F value								
Compost(C)	**	**	**	**	**	**	**	**
Nitrogen(N)	**	**	**	**	**	**	**	**
(C) x (N)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD.05								
(C)	1.23	1.13	0.96	0.93	0.90	0.90	0.90	0.90
(N)	1.95	1.79	1.52	1.48	1.42	1.42	1.42	1.42

Table 21-1-1. Effect of nitrogen levels on rice growth in lysimeter condition at early tillering stage (96.6.14)

Nitrogen treatments	Fresh weight(g/hill)				Dry weight(g/hill)				Root length (m/hill)	LAI
	leaf	stem	top	root	leaf	stem	top	root		
N0	1.9	7.9	9.8	2.8	0.3	0.6	0.9	0.4	2.9	0.4
N0.5	2.4	10.4	12.8	3.2	0.4	1.1	1.5	0.5	3.7	0.4
N1	2.5	13.1	15.6	4.8	0.4	1.2	1.6	0.7	5.6	0.4
F value	*	**	**	*	ns	**	**	**	**	ns
LSD.05	0.45	1.95	2.27	1.58		0.16	0.23	0.18	1.29	

Table 21-1-2. Effect of nitrogen levels on rice growth in lysimeter condition at active tillering stage (96.7.2).

Nitrogen treatments	Fresh weight(g/hill)				Dry weight(g/hill)				Root length (m/hill)	LAI
	leaf	stem	top	root	leaf	stem	top	root		
N0	9.8	44.0	53.8	16.0	2.0	5.6	7.5	3.2	18.0	1.7
N0.5	15.1	59.4	74.4	19.1	3.0	8.0	11.0	3.8	23.4	2.5
N1	18.7	64.8	83.5	18.6	3.7	9.2	12.9	3.7	22.3	3.1
F value	**	**	**	**	**	**	**	ns	*	**
LSD.05	2.00	5.30	7.29	1.27	0.22	0.51	0.91		3.69	0.29

Table 21-1-3. Effect of nitrogen levels on rice growth in lysimeter condition at panicle formation stage(96.7.18).

Nitrogen treatments	Fresh weight(g/hill)				Dry weight(g/hill)				Root length (m/hill)	LAI
	leaf	stem	top	root	leaf	stem	top	root		
	(soil depth : 10, 20, 30cm)									
N0	12.9	76.1	89.0	26, 3.3, 0.5	3.3	11.6	14.9	7.8	19.3	2.1
N0.5	26.1	139.9	166.0	39.0, 4.2, 1.2	8.0	29.5	37.5	13.7	32.0	3.8
N1	30.2	160.0	190.1	53.5, 4.3 1.0	9.5	31.9	41.4	18.5	33.2	4.1
F value	**	**	**	*†	**	**	**	**	**	**
LSD.05	2.00	5.29	7.29	1.27†	0.22	0.51	5.00	3.61	8.64	0.40

† : F value and LSD of total fresh root weight of different soil depth.

Table 21-1-4. Effect of nitrogen levels on rice growth in lysimeter condition at heading stage(96.8.20)

Nitrogen treatments	Fresh weight(g/hill)				Dry weight(g/hill)				Root length (m/hill)	LAI
	leaf	stem	top	root	leaf	stem	top	root		
	(soil depth: 10, 20, 30cm)									
N0	16.5	146.0	162.5	28.2, 6.4, 3.3	4.1	26.4	30.4	9.2	46.4	2.7
N0.5	34.5	261.9	296.3	45.9, 9.3, 4.3	8.8	51.8	60.6	15.2	71.3	4.9
N1	42.5	345.7	388.2	60.5, 17.7, 4.0	12.2	76.2	88.3	23.7	101.1	5.6
F value	**	*	*	*†	**	*	**	**	**	**
LSD.05	6.23	120.4	125.8	31.22†	2.07	28.32	18.58	5.82	24.12	0.69

† : F value and LSD of total fresh root weight of different soil depth.

Table 21-2-1. Effect of nitrogen levels on rice growth in lysimeter condition at tillering stage (97.6.23)

Compost & nitrogen treatments	Fresh weight(g/hill)				Dry weight(g/hill)				No. of leaves /hill	Root length (m/hill)	LAI
	leaf	stem	top	root	leaf	stem	top	root			
C0 N0	4.0	7.0	11.0	6.0	1.0	1.0	2.0	0.8	61.0	16.0	0.5
C0 N0.5	9.0	15.3	24.3	9.4	2.0	1.8	3.8	1.3	111.5	25.1	1.6
C0 N1	12.3	19.0	31.3	9.2	3.1	2.2	5.3	1.2	112.5	24.5	2.4
C0 N1.5	10.0	20.5	30.5	5.1	2.9	2.4	5.3	0.6	120.5	13.6	1.6
C0 N2	10.5	19.3	29.8	4.4	2.8	2.2	5.0	0.6	118.5	11.9	1.9
C1 N0	6.5	11.8	18.3	6.8	1.5	1.5	3.0	0.9	92.5	18.2	0.9
C1 N0.5	7.0	13.8	20.8	10.3	1.8	1.8	3.6	1.5	91.0	27.3	1.1
C1 N1	12.3	21.2	33.5	7.5	3.3	2.5	5.8	1.0	125.5	20.0	2.5
C1 N1.5	10.5	18.3	28.8	5.0	2.7	2.0	4.7	0.6	99.0	13.2	2.2
C1 N2	11.0	16.8	27.8	4.3	2.6	2.1	4.7	0.5	96.5	11.4	2.3
F value											
Compost(C)	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Nitrogen(N)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
(C) x (N)	**	**	**	**	ns	ns	*	ns	*	ns	*
LSD.05 (C)	17.32	22.69									2.20
(N)	27.39	35.87	1.04	21.03	18.08	9.17	0.49	6.39	395.43	92.81	0.32

Table 21-2-2. Effect of nitrogen levels on rice growth in lysimeter condition at panicle formation stage (97.7.25).

Compost & Nitrogen Treatment	Fresh weight(g/hill)				Dry weight(g/hill)				No. of leaves /hill	Root length (m/hill) (soil depth: 10,30,70cm)	LAI
	Leaf	Stem	Top	root (soil depth: 10, 30, 70cm)	leaf	stem	Top	root			
C0 N0	18.0	41.3	59.3	12.0, 8.3, 0.9	5.0	7.3	12.3	2.6	83.5	12.9, 8.9, 1.0	1.6
C0 N0.5	39.0	74.0	113.0	20.5, 14.2, 1.6	10.6	13.0	23.6	4.5	146.5	22, 15.2, 1.7	3.3
C0 N1	47.5	81.5	129.0	19.5, 13.5, 1.5	12.8	13.9	26.7	4.4	181.0	20.9, 14.5, 1.6	5.0
C0 N1.5	57.0	91.5	148.5	17.5, 12.1, 1.4	14.8	15.6	30.4	3.9	204.0	18.8, 13, 1.5	6.0
C0 N2	59.0	95.5	154.5	16.5, 11.4, 1.3	16.2	16.9	33.1	3.6	227.0	17.7, 12.2, 1.4	6.7
C1 N0	25.3	56.0	81.3	14.0, 9.7, 1.1	6.8	9.1	15.9	3.2	118.5	15.0, 10.4, 1.2	2.3
C1 N0.5	39.3	65.3	104.6	23.0, 15.9, 1.8	10.7	11.3	22.0	5.3	129.0	24.7, 17.1, 1.9	4.0
C1 N1	55.5	89.5	145.0	21.5, 14.9, 1.7	14.6	15.2	29.8	4.9	213.0	23.1, 16, 1.8	5.2
C1 N1.5	59.5	96.0	155.5	21.0, 14.5, 1.6	16.1	16.8	32.9	4.6	229.0	22.5, 15.1, 1.7	6.1
C1 N2	74.5	108.5	183.0	18.5, 12.8, 1.4	19.6	18.7	38.3	4.3	237.5	19.8, 13.7, 1.5	7.1
F value											
Compost(C)	**	**	**	** †	**	**	**	*	*	** †	ns
Nitrogen(N)	**	**	**	** †	**	**	**	**	**	** †	**
(C) x (N)	**	**	**	ns †	**	**	**	ns	ns	ns †	ns
LSD.05 (C)	43.26	52.52	1.80	25.98 †	11.64	8.55	0.40	3.10	307.18	45.19 †	
(N)	68.40	83.04	2.85	41.07 †	18.41	13.51	0.64	4.90	485.70	71.45 †	1.04

† : F value and LSD of total fresh root weight

‡ : F value and LSD of total root length



Table 21-2-3. Effect of nitrogen levels on rice growth in lysimeter condition at heading stage (97.8.21).

Compost & Nitrogen treatments	Fresh weight(g/hill)				Dry weight(g/hill)				No.of leaves /hill	Root length (m/hill) (soil depth: 10,30,70cm)	LAI
	leaf	stem	top	root	leaf	root	top	root			
C0 N0	21.4	71.1	92.5	21.8,13.9,3.3	5.4	18.5	23.9	7.1	74.0	47.7,30.4,7.2	3.8
C0 N0.5	55.8	180.5	236.3	26.1,6.7,5.1	14.1	44.2	58.3	8.7	139.0	57.1,36.5,11.1	6.3
C0 N1	56.8	186.5	243.3	25.9,15.6,4.1	14.4	46.8	61.2	8.4	145.8	56.6,34.1,8.9	6.9
C0 N1.5	61.3	206.5	267.8	25.6,15.5,4.0	15.7	48.1	63.8	8.3	151.3	55.9,33.9,8.7	7.2
C0 N2	67.6	218.1	285.7	23.2,14.4,3.6	16.8	56.4	73.2	7.5	159.0	50.7,31.5,7.9	8.0
C1 N0	27.9	97.0	124.9	22.8,14.3,3.5	7.1	24.8	31.9	7.4	88.3	49.8,31.3,7.7	4.3
C1 N0.5	56.5	183.4	239.9	27.2,16.3,4.3	14.3	45.5	59.8	9.0	145.9	59.5,35.6,9.4	6.7
C1 N1	61.3	202.5	263.8	27.1,16.1,4.3	15.4	47.8	63.2	8.7	155.0	59.2,35.2,9.4	7.5
C1 N1.5	68.0	207.3	275.3	26.8,16.0,4.2	17.1	49.5	66.6	8.5	160.4	58.6,34.9,9.2	7.6
C1 N2	82.6	240.4	323.0	24.7,15.2,3.8	20.8	60.8	81.6	8.1	170.0	53.9,33.2,8.3	8.9
F value											
Compost(C)	**	**	**	** †	**	**	**	ns	ns	ns †	ns
Nitrogen(N)	**	**	**	** †	**	**	**	ns	**	** †	**
(C) x (N)	**	**	*	ns †	ns	ns	*	ns	ns	ns †	ns
LSD.05 (C)	43.26	52.52	7.27	25.98 †	21.5	54.7	1.81				
(N)	68.4	83.04	11.50	41.07 †	34	86.5	2.86		708.17	114.8 †	121.5 7

† : F value and LSD of total fresh root weight

‡ : F value and LSD of total root length

## 부록 2. 수질환경기준 및 규제기준

- 우리 나라는 수역별, 항목별로 수질환경기준이 설정되어 있으며 수역별로는 하천, 호소로 구분하고 항목별로는 생활환경 기준인 pH(수소이온농도), BOD(생물학적 산소요구량), COD(화학적 산소요구량), SS(부유물질량), DO(용존산소량), 대장균군수, T-N(총질소), T-P(총인) 등 8개 항목과 사람의 건강 보호기준인 Cd(카드뮴), As(비소), CN(시안), Hg(수은), 유기인, Pb(납), Cr<sup>6+</sup>(크롬), PCB(폴리염화비페닐), ABS(음이온계면활성제) 등 9개 항목으로 구분함.
- 등급별로는 하천·호소에 5개 등급(I~V)으로 구분하여 각각 기준을 달리 설정하고 있음.

부표 2-1. 하천의 수질환경기준

구 분	등급	이용목적별 적용대상	기 준				
			pH	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	DO (mg/l)	대장균군수 (MPN/100ml)
생활환경	I	상수원수1급 자원환경보전	6.5-8.5	1이하	25이하	7.5이상	50이하
	II	상수원수2급 수산용수1급 수계용수	6.5-8.5	3이하	25이하	5이상	1,000이하
	III	상수원수3급 수산용수2급 공업용수1급	6.5-8.5	6이하	25이하	5이상	5,000이하
	IV	공업용수2급 농업용수	6.0-8.5	8이하	100이하	2이상	-
	V	공업용수3급 생활환경보전	6.0-8.5	10이하	쓰레기 등이 떠있지 않을 것	2이상	-
사람의 건강보호	전 수 역	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Cd(카드뮴) : 0.01mg/l 이하</li> <li>· As(비소) : 0.05mg/l 이하</li> <li>· CN(시안), Hg(수은), 유기인 : 검출되어서는 안됨</li> <li>· PCB(Polychlorinated biphenyl, 폴리염화비페닐) : 검출되어서는 안됨</li> <li>· Pb(납) : 0.1mg/l 이하</li> <li>· Cr+6(6가크롬) : 0.05mg/l 이하</li> <li>· ABS(Alkyl benzene sulfonate, 음이온계면활성제) : 0.5mg/l 이하</li> </ul>					
주) 1. 수산용수1급 : 빈부수성 수역의 수산 생물용 2. 수산용수2급 : 중부수성 수역의 수산 생물용 3. 자연환경보전 : 자연경관 등의 환경보전 4. 상수원수1급 : 여과등에 의한 간이 정수 처리후 사용 5. 상수원수2급 : 침전여과 등에 의한 일반적 정수 처리후 사용 6. 상수원수3급 : 전처리 등을 거친 고도의 정수 처리후 사용 7. 공업용수1급 : 침전 등에 의한 통상의 정수 처리후 사용 8. 공업용수2급 : 약품처리 등 고도의 정수처리후 사용 9. 공업용수3급 : 특수한 정수 처리후 사용 10. 생활환경보전 : 국민의 일상 생활에 불쾌감을 주지 아니할 정도							

자료 : 환경정책기본법, 1997.

부표 2-2. 호소의 수질환경기준

구분	등급	이용목적별 적용대상	기 준						
			pH	COD (mg/l)	SS (mg/l)	DO (mg/l)	대장균군수 (MPN /100ml)	총인 (mg/l)	총질소 (mg/l)
생활환경	I	상수원수1급 자연환경보전	6.5-8.5	1이하	1이하	7.5이상	50이하	0.01이하	0.20이하
	II	상수원수2급 수산용수1급 수계용수	6.5-8.5	3이하	5이하	5이상	1,000이하	0.03이하	0.40이하
	III	상수원수3급 수산용수2급 공업용수1급	6.5-8.5	6이하	15이하	5이상	5,000이하	0.05이하	0.60이하
	IV	공업용수2급 농업용수	6.0-8.5	8이하	15이하	2이상	-	0.10이하	1.00이하
	V	공업용수3급 생활환경보전	6.0-8.5	10이하	쓰레기 등이 떠있지 않을것	2이상	-	0.15이하	1.50이하
사람 의 건강 보호	전 수 역	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Cd(카드뮴) : 0.01mg/l 이하</li> <li>· As(비소) : 0.05mg/l 이하</li> <li>· CN(시안), Hg(수은), 유기인 : 검출되어서는 안됨</li> <li>· PCB(Polychlorinated biphenyl, 폴리염화비페닐) : 검출되어서는 안됨</li> <li>· Pb(납) : 0.1mg/l 이하</li> <li>· Cr+6(6가크롬) : 0.05mg/l 이하</li> <li>· ABS(Alkyl benzene sulfonate, 음이온계면활성제) : 0.5mg/l 이하</li> </ul>							
<p>주) 1. 총인, 총질소의 경우 총인에 대한 총질소의 농도비율이 7미만일 경우에는 총인의 기준은 적용하지 아니하며 그 비율이 16이상일 경우에는 총질소의 기준을 적용하지 아니함.</p> <p>2. 수산용수1급 : 빈부수성 수역의 수산 생물용</p> <p>3. 수산용수2급 : 중부수성 수역의 수산 생물용</p> <p>4. 자연환경보전 : 자연경관 등의 환경보전</p> <p>5. 상수원수1급 : 여과등에 의한 간이 정수 처리후 사용</p> <p>6. 상수원수2급 : 침전여과 등에 의한 일반적 정수 처리후 사용</p> <p>7. 상수원수3급 : 전처리 등을 거친 고도의 정수 처리후 사용</p> <p>8. 공업용수1급 : 침전 등에 의한 통상의 정수 처리후 사용</p> <p>9. 공업용수2급 : 약품처리 등 고도의 정수처리후 사용</p> <p>10. 공업용수3급 : 특수한 정수 처리후 사용</p> <p>11. 생활환경보전 : 국민의 일상 생활에 불쾌감을 주지 아니할 정도</p>									

자료 : 환경정책기본법, 1997.

부표 2-3. 수질 보호의 경제적 효과

연구	평가 대상	경제적 효과(WTP)
Caudill, 1992 Caudill and Hoehn, 1992	농약 및 질산염으로부터 지하수 보호	농촌 : \$43-\$46/호/년 도시 : \$34-\$69/호/년
Crutchfield, 1997	질산염으로부터 음용수 보호	최소 안전기준 유지: \$45-60/호/년 질산염 완전 제거: \$45-\$70/호/년
Powell, 1991	독성 화학물 및 디젤유로부터 지하수 보호	평균 : \$61.55/호/년 오염 경험자 : \$81.66/호/년 오염 무경험자 : \$55.79/호/년
McClelland et al., 1992	지하수 보호	\$84/호/년
Shultz, 1989 Shultz and Lindsay, 1993	지하수 보호	평균 : \$129/호/년
Jordan and Elnagheeb, 1993	질산염으로부터 음용수 보호	공공급수 : \$146/호/년 개인 우물 : \$169/호/년
Poe, 1993 Poe and Bishop, 1992	질산염으로부터 음용수 보호	\$168-\$708/호/년
Edwards, 1988	질산염 및 농약으로부터 지하수 보호	\$285-\$1,130/호/년
Sun, 1990 Sun, Bergstrom, and Dorfman, 1992	농용 비료, 질산염, 농약으로부터 지하수 보호	평균 : \$641/호/년(\$165-\$1,452/호/년)

자료 : Crutchfield, Stephen R. 1997. Benefits of Safter Drinking Water: The Value of Nitrate Ruduction. AER-752. USDA/ERS.

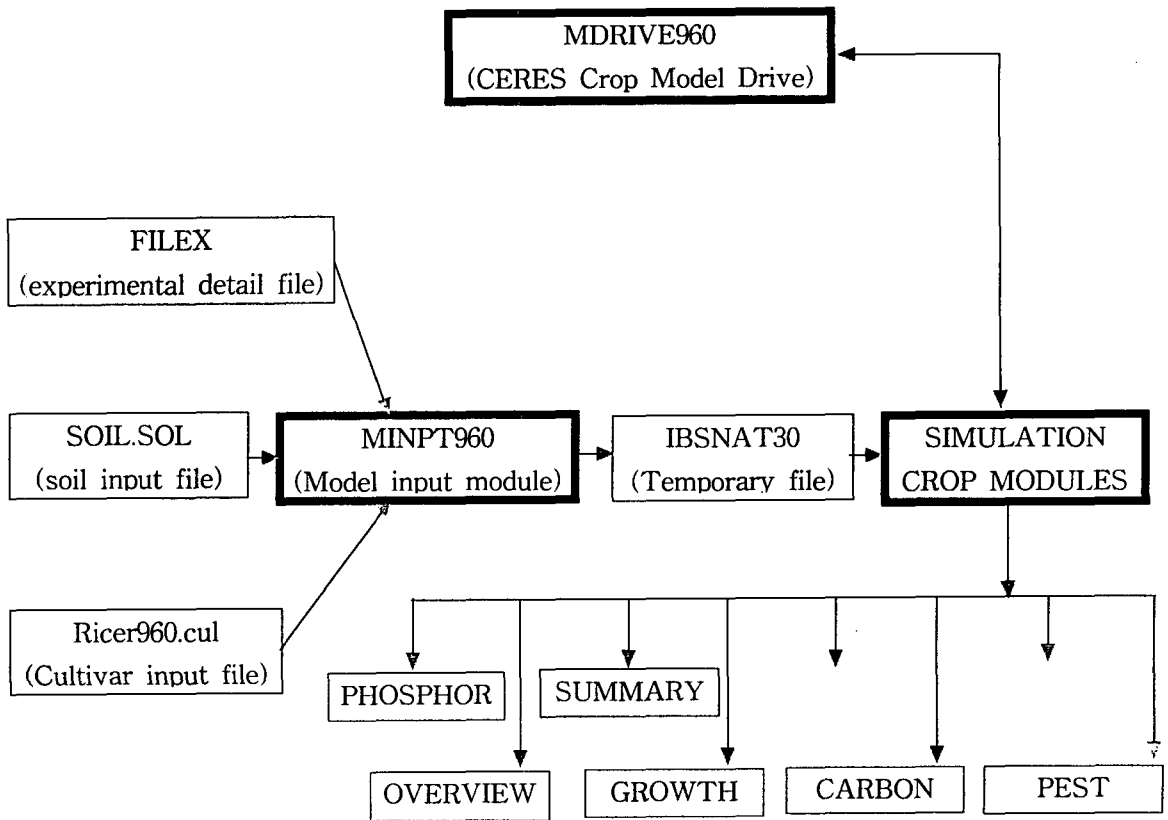
부표 2-4. 시비 시기 조절에 의한 질소 비료의 이용 변화

단위 : kg/ha

날짜	용탈량		곡실		줄기+잎		Mnlcc		Mnupc	
	조정후	조정전	조정후	조정전	조정후	조정전	조정후	조정전	조정후	조정전
145	2.53	2.53	0	0	1.5	1.5	0.2	0.2	0.1	0.1
146	2.55	2.55	0	0	1.6	1.6	0.2	0.2	0	0
151	2.57	2.57	0	0	1.6	1.6	0.4	0.4	0.1	0.1
156	2.61	2.61	0	0	1.7	1.7	1.6	1.6	0.1	0.1
161	2.77	2.77	0	0	1.8	1.8	2.5	2.6	0.3	0.3
166	3.02	3.03	0	0	2.1	2.1	5.3	5.2	0.8	0.8
171	3.55	3.55	0	0	2.9	2.9	26.8	26.3	6.5	6.5
176	6.23	6.18	0	0	9.4	9.4	17.7	20	9.8	9.8
181	8.00	8.18	0	0	19.2	19.2	16	19.2	16.5	16.5
186	9.60	10.10	0	0	35.7	35.7	2.5	3.2	26.1	26.2
191	9.85	10.42	0	0	61.8	61.9	4.4	5.4	36.3	35.8
196	10.29	10.96	0	0	98.1	97.7	1	1.2	25.3	23.3
201	10.39	11.08	0	0	123.4	121	0.1	0	8.8	7.4
206	10.40	11.08	0	0	132.2	128.4	0	0	2.7	2.1
211	10.40	11.08	0	0	134.9	130.5	1.3	1.4	23.3	22.4
216	10.53	11.22	0	0	158.2	152.9	1.3	1.3	4.9	4.6
221	10.66	11.35	0	0	163.1	157.5	1.8	2	2.1	2.1
226	10.84	11.55	0	0	165.2	159.6	0.5	0.4	1.8	1.7
231	10.89	11.59	0	0	167	161.3	0	0	0.9	1.8
236	10.89	11.59	0	0	167.9	163.1	0	0	0.7	0.6
241	10.89	11.59	0	0	168.6	163.7	0	0	-0.2	-0.2
246	10.89	11.59	0	0	168.4	163.5	0	0	-0.2	-0.1
251	10.89	11.59	43	42.6	125.2	120.8	0	0	-0.2	-0.2
256	10.89	11.59	43.3	42.9	124.7	120.3	0	0	-0.2	-0.3
261	10.89	11.59	43.3	42.9	124.5	120	0	0	-0.3	-0.2
266	10.89	11.59	48.3	47.9	119.2	114.8	0	0	-0.2	-0.3
271	10.89	11.59	56.8	56.3	110.5	106.1	5.2	5.2	-0.3	-0.2
276	11.41	12.11	64.9	64.4	102.1	97.8	0.8	0.8	-0.2	-0.2
281	11.49	12.19	73.3	72.8	93.5	89.2	0	0	0	-0.1

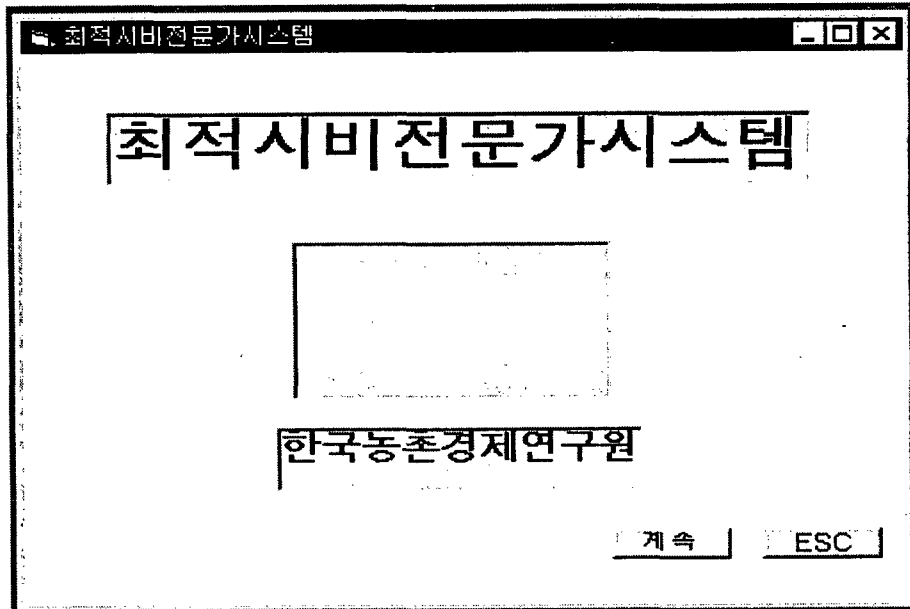
주 : 날짜는 Julian day(1월 1일을 1로 표시하고, 매일 1씩 증가하여 평년의 12월 31일을 365로 표기).

### 부록 3. DSSAT 모델의 체계도

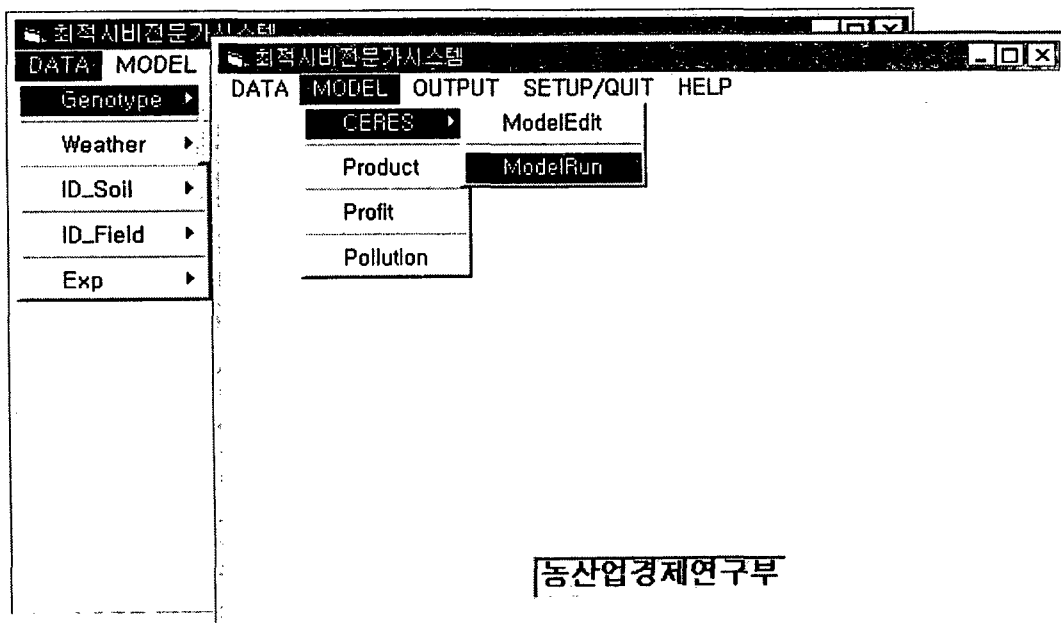


## 부록 4. 최적 시비 전문가 시스템 S/W

### 1. 초기 화면



### 2. 사용자 입력 및 CERES 모델 화면





3. 품종특성 입력 화면

품종입력

Code	CH0001	P20	13.0
Name	추청	G1	80.0
ECO#	IB0001	G2	.027
P1	420.0	G3	1.10
P2R	120.0	G4	1.00
P5	482.0		1/0

4. 기후 입력화면

기후입력

지역

- 천안
- 군산
- 익산
- 서울
- 수원
- 산주
- 청주
- 대전

기후

	DATE	SRAD	TMAX	TMIN ▲
▶	96001	9.8	3.5	-10
	96002	8.3	7	-9
	96003	8.4	5.4	-8
	96004	9.5	.9	-12
	96005	2.3	2.3	-7
	96006	1.9	5.4	0
	96007	1.2	3.9	-1
	96008	7.4	1.4	-7
	96009	8.5	-1.5	-11
	96010	10.5	2.1	-10
	96011	9.8	3.4	11
	96012	10	9.1	-8
	96013	7.2	0.5	-5

5. 토양특성 입력화면

Soil.sol	
SITE	Chonan
COUNTRY	Korea
LAT	36.8
LONG	127.2
FAMILY	-99
SCDM	BN
SALB	0.13
SLUI	9.5
SLDR	0.40
SLRO	76.0
SLNF	1.0
SLPF	1.0
SMHB	IB0001
SMPH	IB0001
SMKE	IB0001

불러오기    수정  
저장    ESC

6. CERES 모델 결과 출력 형태

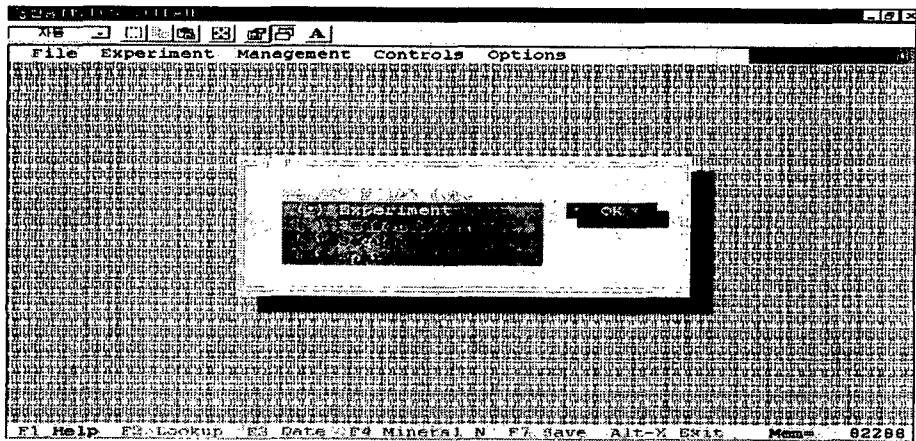
최적치비전문가시스템

DATA MODEL OUTPUT SETUP/QUIT HELP

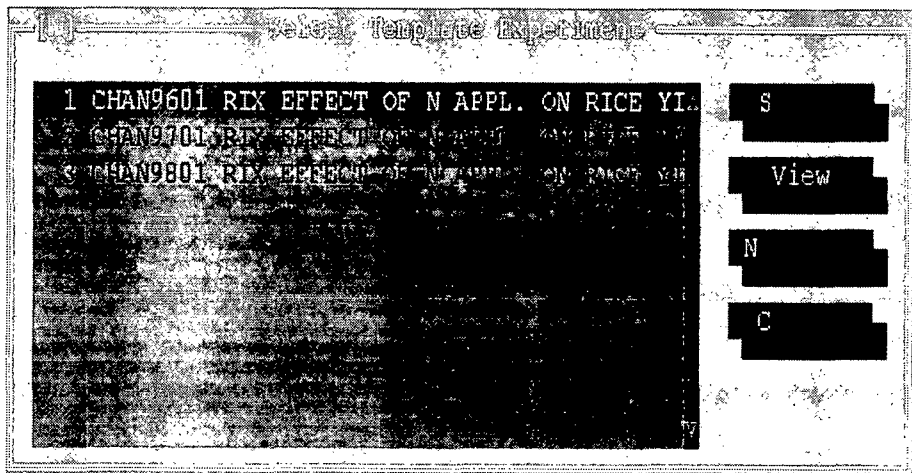
- Optimize
- Graphic
- DataOut
  - Growth
  - Water
  - Nitrogen

농산업경제연구부

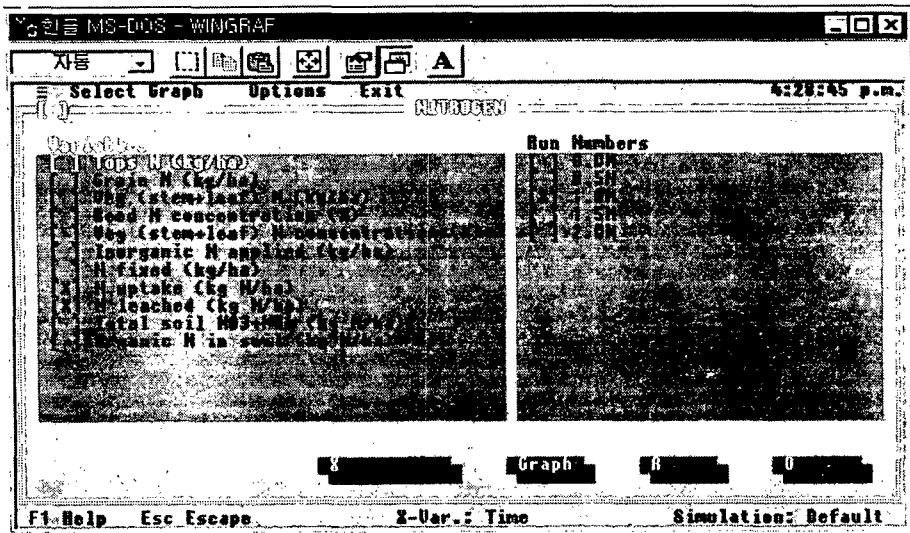
## 7. 실험데이터 입력 화면



## 8. 실험데이터 목록 화면



9. SERES모델 결과 Graph 출력



## 부록 5. 시비수준별 질소질 비료 수지 시뮬레이션 결과('98. 1.0N)

\*RUN 3 : 1.0N  
MODEL : RICER960 - RICE  
EXPERIMENT : CHAN9801 RI EFFECT OF N APPL. ON RICE YIELD AND YIELD COMPO  
TREATMENT 3 : 1.0N  
  
CROP : RICE CULTIVAR : CHUCHEONG  
STARTING DATE : MAY 1 1998  
PLANTING DATE : MAY 25 1998 PLANTS/m<sup>2</sup> : 26.0 ROW SPACING : 30.cm  
WEATHER : CHAN 1998  
SOIL : CHAN980001 TEXTURE : SALO - ACHON SERIES  
SOIL INITIAL C : DEPTH: 70cm EXTR. H<sub>2</sub>O: 37.3mm NO<sub>3</sub>: 63.0kg/ha NH<sub>4</sub>: 23.1kg/ha  
WATER BALANCE : IRRIGATE ON REPORTED DATE(S)  
IRRIGATION : 794 mm IN 74 APPLICATIONS  
NITROGEN BAL. : SOIL-N & N-UPTAKE SIMULATION: NO N-FIXATION  
N-FERTILIZER : 150 kg/ha IN 3 APPLICATIONS  
RESIDUE/MANURE : INITIAL : 1000 kg/ha ; 10 kg/ha IN 1 APPLICATIONS  
ENVIRONM. OPT. : DAYL= .00 SRAD= .00 TMAX= .00 TMIN= .00  
RAIN= .00 CO<sub>2</sub> = R330.00 DEW = .00 WIND= .00  
SIMULATION OPT : WATER :Y NITROGEN:Y N-FIX:N PESTS :N PHOTO :C ET :R  
MANAGEMENT OPT : PLANTING:R IRRIG :R FERT :R RESIDUE:R HARVEST:M WTH:M

## 참 고

CDAY : crop age(days from planting)  
CNAD : Tops N (kg / ha)  
GNAD : Grain N (kg / ha)  
VNAD : Veg (stem + leaf) N (kg / ha)  
GN%D : Grain N concentration ( % )  
VN%D : Veg (stem + leaf) N concentration ( % )  
NAPC : Inorganic N applied (kg / ha)  
NFXC : N fixed (kg / ha)  
NUPC : N uptake (kg / ha)  
NLCC : N leached (kg / ha)  
NIAD : Total soil NO<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub> (kg N/ha)  
NOAD : Organic N in soil (kg N/ha)

!YR	Days	Nitrogen			Nitrogen		Inorg Fert		Up-	leach	Soil	Soil
! and	After	Crop	Grain	Veg.	Grain	Veg.	N Fert	take		Inorg	Org	
! DOY	Plant	?	Kg/Ha	-->³	?-- % -->³	?-----	kg/ha	----->³				
@DATE:	CDAY	CNAD	GNAD	VNAD	GN%D	VN%D	NAPC	NFXC	NUPC	NLCC	NIAD	NOAD
98121	0	.0	.0	.0	.00	2.20	0	.0	.0	0	90.4	16870
98126	0	.0	.0	.0	.00	2.20	0	.0	.0	.18	93.9	16864
98131	0	.0	.0	.0	.00	2.20	0	.0	.0	1.06	90.3	16859
98136	0	.0	.0	.0	.00	2.20	0	.0	.0	1.81	87.7	16854
98141	0	.0	.0	.0	.00	2.20	0	.0	.0	2.34	87.8	16849
98145	0	1.5	.0	1.5	.00	4.06	75	.0	1.5	2.53	113.3	16844
98146	1	1.6	.0	1.6	.00	4.21	75	.0	1.6	2.55	118.9	16843
98151	6	1.6	.0	1.6	.00	4.39	75	.0	1.6	2.57	140.8	16837
98156	11	1.7	.0	1.7	.00	4.36	75	.0	1.7	2.61	158.7	16832
98161	16	1.8	.0	1.8	.00	4.40	120	.0	1.8	2.77	171.9	16827
98166	21	2.1	.0	2.1	.00	4.40	120	.0	2.1	3.03	193.7	16822
98171	26	2.9	.0	2.9	.00	4.26	120	.0	2.9	3.55	194.0	16816
98176	31	9.4	.0	9.4	.00	4.19	120	.0	9.4	6.18	167.0	16810
98181	36	19.2	.0	19.2	.00	4.18	120	.0	19.2	8.18	142.0	16804
98186	41	35.7	.0	35.7	.00	4.16	120	.0	35.7	10.10	111.2	16798
98191	46	61.9	.0	61.9	.00	4.31	120	.0	61.9	10.42	87.2	16793
98196	51	97.7	.0	97.7	.00	4.14	120	.0	97.7	10.96	50.5	16787
98201	56	121.0	.0	121.0	.00	3.45	120	.0	121.0	11.08	29.6	16782
98206	61	128.4	.0	128.4	.00	2.94	120	.0	128.4	11.08	24.4	16780
98211	66	130.5	.0	130.5	.00	2.66	150	.0	130.5	11.08	43.7	16778
98216	71	152.9	.0	152.9	.00	2.78	150	.0	152.9	11.22	23.5	16775
98221	76	157.5	.0	157.5	.00	2.57	150	.0	157.5	11.35	19.6	16773
98226	81	159.6	.0	159.6	.00	2.36	150	.0	159.6	11.55	17.6	16771
98231	86	161.3	.0	161.3	.00	2.11	150	.0	161.3	11.59	17.4	16769
98236	91	163.1	.0	163.1	.00	1.86	150	.0	163.1	11.59	17.2	16766
98241	96	163.7	.0	163.7	.00	1.68	150	.0	163.7	11.59	18.2	16764
98246	101	163.5	.0	163.5	.00	1.61	150	.0	163.5	11.59	19.2	16763
98251	106	163.4	42.6	120.8	2.64	1.52	150	.0	163.4	11.59	19.9	16763
98256	111	163.1	42.9	120.3	2.61	1.48	150	.0	163.1	11.59	20.5	16762
98261	116	162.9	42.9	120.0	2.61	1.48	150	.0	162.9	11.59	21.1	16762
98266	121	162.7	47.9	114.8	2.42	1.47	150	.0	162.7	11.59	22.1	16761
98271	126	162.4	56.3	106.1	2.19	1.39	150	.0	162.4	11.59	23.3	16759
98276	131	162.2	64.4	97.8	2.14	1.30	150	.0	162.2	12.11	19.9	16757
98281	136	162.0	72.8	89.2	2.13	1.18	150	.0	162.0	12.19	20.7	16756
98284	139	161.9	74.4	87.5	1.93	1.15	150	.0	161.9	12.19	21.7	16755

## 부록 6. 질소 시비수준별 쌀 생육시물레이션 결과('98. 1.0N)

**\*SUMMARY OF SOIL AND GENETIC INPUT PARAMETERS**

SOIL DEPTH		LOWER LIMIT	UPPER LIMIT	SAT SW	EXTR SW	INIT SW	ROOT DIST	BULK DENS	pH	NO3	NH4	ORG C	
cm	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	cm	g/cm <sup>3</sup>		ugN/g	ugN/g	%	
0-	5	.156	.205	.282	.049	.205	.75	1.60	6.10	6.00	13.90	1.60	
5-	15	.152	.205	.281	.053	.205	.63	1.55	6.15	5.70	7.15	1.60	
15-	30	.148	.204	.280	.056	.204	.50	1.50	6.20	5.40	.40	1.60	
30-	45	.145	.198	.275	.053	.198	.50	1.50	6.50	6.20	.00	1.60	
45-	58	.145	.198	.275	.053	.198	.50	1.50	6.50	6.20	.00	1.60	
58-	70	.145	.198	.275	.053	.198	.50	1.50	6.50	6.20	.00	1.60	
TOT- 70		10.3	14.1	19.4	3.7	14.1	<--cm	-	kg/ha-->	63.0	23.1	169600	
SOIL ALBEDO		: .13			EVAPORATION LIMIT				: 9.50	MIN. FACTOR			: 1.00
RUNOFF CURVE #		: 76.00			DRAINAGE RATE				: .40	FERT. FACTOR			: 1.00

RICE            CULTIVAR : CH0001-CHUCHEONG            ECOTYPE : -  
P1        : 420.0   P2R        : 120.0   P5        : 482.0   P20        : 13.0  
G1        : 80.0     G2        : .0270   G3        : 1.10   G4        : 1.00

**\*SIMULATED CROP AND SOIL STATUS AT MAIN DEVELOPMENT STAGES**

RUN NO.    3        1.0N

DATE	CROP AGE	GROWTH STAGE	BIOMASS kg/ha	LAI	LEAF NUM.	ET mm	RAIN mm	IRRIG mm	FLOOD mm	CROP kg/ha	N %	STRESS H2O N
1 MAY	0	Start Sim	1	.01	0	2	0	0	37	0	4.4	.00 .00
25 MAY	0	Transplant	37	.07	2	35	93	0	37	2	4.1	.00 .00
23 JUN	29	End Juveni	163	.31	6	78	177	0	39	7	4.2	.22 .00
20 JUL	56	Pan Init	3506	5.77	11	172	576	0	39	121	3.4	.04 .00
25 AUG	92	Heading	9028	5.99	19	295	1053	0	27	163	1.8	.09 .19
5 SEP	103	Beg Gr Fil	10265	3.90	19	322	1054	0	1	163	1.6	.57 .00
7 OCT	135	End Mn Fil	11620	1.51	19	367	1282	0	32	162	1.4	.45 .00
10 OCT	138	End Ti Fil	11620	1.48	19	373	1282	0	26	162	1.4	.00 .00
11 OCT	139	Maturity	11620	1.48	19	375	1282	0	24	162	1.4	.00 .00
11 OCT	139	Harvest	11620	1.48	19	375	1282	0	24	162	1.4	.00 .00



\*MAIN GROWTH AND DEVELOPMENT VARIABLES

@	VARIABLE	PREDICTED	MEASURED
	FLOWERING DATE	92	163
	PHYSIOL. MATURITY	139	195
	GRAIN YIELD (kg/ha) AT 14% H2O	4487	6425
	WT. PER GRAIN (g)	.027	0.023
	GRAIN NUMBER (GRAIN/m2)	14291	17171
	PANICLE NUMBER (PANICLE/m2)	695.25	344
	MAXIMUM LAI (m2/m2)	6.22	-99
	BIOMASS (kg/ha) AT ANTHESIS	8785	-99
	BIOMASS N (kg N/ha) AT ANTHESIS	163	-99
	BIOMASS (kg/ha) AT HARVEST MAT.	11620	8523
	STALK (kg/ha) AT HARVEST MAT.	7762	4060
	HARVEST INDEX (kg/kg)	.332	-99
	FINAL LEAF NUMBER	19	-99
	GRAIN N (kg N/ha)	74	-99
	BIOMASS N (kg N/ha)	162	-99
	STALK N (kg N/ha)	88	-99
	SEED N (%)	1.93	-99

\*ENVIRONMENTAL AND STRESS FACTORS

	ENVIRONMENT					STRESS			
!-DEVELOPMENT PHASE--!	TIME-!	WEATHER-----!			!-WATER--!	!-NITROGEN-!			
	DURA	TEMP	TEMP	SOLAR	PHOTOP	PHOTO	GROWTH	PHOTO	GROWTH
	TION	MAX	MIN	RAD	[day]	SYNTH		SYNTH	
	days	oC	oC	MJ/m2	hr				
Emergence-End Juvenile	53	24.91	14.65	16.16	14.15	.084	.121	.000	.008
End Juvenil-Panickl Init	27	28.13	21.73	12.71	14.38	.011	.042	.000	.028
Panickl Init-End Lf Grow	36	29.79	22.57	12.43	13.66	.065	.093	.194	.342
End Lf Grth-Beg Grn Fil	11	28.93	18.67	15.88	12.85	.380	.488	.000	.000
Grain Filling Phase	35	27.24	16.76	12.82	11.95	.431	.439	.000	.000

(0.0 = Minimum Stress  
1.0 = Maximum Stress)

RICE YIELD : 4487 kg/ha [ 67.0 bu/acre ]