

최 중
연구보고서

질소 이용효율 향상을 위한 벼 생산기술 및 품종개발
Establishment of Production Technology and Breeding Varieties
for Improving Nitrogen-Use Efficiency in Rice

질소 이용효율이 높은 벼 품종육성 및 선발지표 확립
Establishment of Selection Criteria and Breeding Varieties for High Physiological
Nitrogen-use Efficiency in Rice

담수조건에서 질소동태와 질소이용을 향상을 위한 시비법 확립
Establishment of N-fertilization Method for Improving Nitrogen -use Efficiency in
Wet Direct-seeding Rice Culture

건답조건에서 질소동태와 질소이용을 향상을 위한 시비법 확립
Establishment of N-fertilization Method for Improving Nitrogen -use Efficiency in
Dry Direct-seeding Rice Culture

연구기관
서울대학교

농림부



최 종 보 고 서

1996년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 결소 이용효율 향상을 위한 벼 생산기술 및 품종개발에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종보고서 10부

2. 최종보고서 디스켓 1매

2001 년 12 월 29 일

주관연구기관 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 고 회 종 (인)

주관연구기관장 : 서울대학교 총장

직 인

농 립 부 장 관 귀 하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “질소 이용효율 향상을 위한 벼 생산기술 및 품종개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001 년 12 월 일

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 고 회 종

세부과제책임자 : 이 호 진

세부과제책임자 : 이 변 우

연 구 원 : 이 광 회

연 구 원 : 조 영 일

연 구 원 : 서 준 한

연 구 원 : 이 정 삼

요 약 문

I. 제 목

질소 이용효율 향상을 위한 벼 생산기술 및 품종 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 연구개발의 최종 목표

가. 질소 이용효율이 높은 벼 품종 육성 및 선발지표 확립 : 질소 단위흡수량 당 수량을 많이 낼 수 있는 생리적 질소이용효율이 높은 품종을 육성하고, 그러한 품종을 육성하기 위한 작물학적·육종학적 지표를 탐색한다.

나. 이앙재배, 담수직파, 건답직파 재배체계에서 질소이용효율을 극대화하는 질소비료 시용 체계 확립 : 시비되는 질소의 벼 식물체에 의한 회수율을 최대화하기 위하여 재배양식별로 최적 시비체계를 확립한다.

2. 연구개발의 중요성

가. 연구개발의 필요성

(1) 질소의 시비는 작물생육에 필수불가결한 것이지만 과다시용으로 인해 수질, 토양 및 대기오염을 유발시키는 부작용이 초래되고 있어서 이에 대한 대책이 시급하다. 지금까지의 벼품종 육성은 다비조건에서 증수되는 내비성품종 위주로 진행되어 온 결과 다비를 전제로한 생산기술이 발전되어 질소질 비료의 과다시용이 조장되어 왔기에, 환경친화적 저투입 지속농업을 추구하기 위해서는 비료이용효율 극대화 품종으로 육종전략을 수정하여야 한다. 재배방식 또한 질소질비료의 이용 효율성이 낮은 직파재배체계로 전환되고 있어서 환경오염 부하

가 급속히 증대될 우려가 있다. 따라서 시비된 질소 동태의 정확한 파악이 시급하며 또 환경부하를 경감하고 동시에 생산성을 유지 향상시키기 위하여는 질소의 이용 효율을 제고하기 위한 시비체계가 개발되어야 한다.

(2) 질소이용효율을 극대화한 재배법과 품종을 벼 생산체계에 공여함으로써 오염원이 되는 질소의 절대량을 감소시켜 수질 및 대기오염을 경감시키고 지속농업을 위해 토양을 보전해야 한다. WTO 체제 출범에 따라 쌀의 국제경쟁력 강화는 우리나라 쌀농사의 지상과제이며, 질소비료사용의 절감을 통하여 생산비를 줄이고 또한 쌀의 품질을 향상시키는 것은 경쟁력 강화 측면에서도 바람직하다. 또한 벼농사의 환경에 대한 역기능을 줄이고 공익적 기능을 확대시켜 전통적인 도작문화를 발전적으로 계승함으로써 벼농사에 대한 국민의 지지기반을 확대하여야 한다.

나. 국내외 관련기술의 현황과 문제점

(1) 관개수와 질소시비를 통하여 논에 공급되는 질소의 약 30% 정도는 지표로 유출되거나 지하로 침투되어 그중 일부가 지하수의 오염의 원인이 되고 있어서 문제이다. 특히 토성별로 질소비료의 최적사용량이 다름에도 불구하고 획일적인 시비에 의한 벼 재배로 지하수오염과 동시에 질소비료가 비효율적으로 이용되고 있으며, 이는 작물재배시 사용되는 질소비료 총소요량의 약 50%가 도작에 소요되고 있음을 감안하면 시급히 재검토되어야 할 문제이다. 재배방식 또한 질소질비료의 이용 효율성이 낮은 직파재배체제로 전환되고 있어서 (직파재배시 이앙재배보다 질소비료를 2~3kg/10a 더 많이 사용) 환경오염 부하가 급속히 증대될 우려가 있다.

(2) 지금까지 논토양의 질소동태에 관한 연구와 논에 시비한 질소의 환경오염 부하에 대한 연구가 매우 미흡한 실정이다. 또한 지금까지 논에서 질소 시비 체계는 다수확을 위한 질소 시비량 및 분시방법에 근거하여 이루어져 왔으며, 질소 이용 효율성, 다수성 및 환경오염부하를 동시에 고려한 질소 시비체계

의 연구는 전무한 실정이다.

(3) 최근 초다수성벼의 증수효과를 통하여 생산량 증대를 도모코자 시도하고 있는데, 이는 과거 통일형품종을 개량한 것으로서 다비조건에서 증수효과가 두드러져 고생산성을 실현키 위해서는 다비재배가 필수적이며, 따라서 질소시비에 의한 수질오염 문제가 더 심각하게 제기될 가능성이 있다.

(4) 일본, 미국, 유럽 등지에서는 양분종합관리, 정밀농업, 저투입 지속농업 등의 실현을 위한 토양진단, 비료의 제형 개발, 합리적인 시비체계 개발, 탈질억제제 개발 등의 연구에 역점을 두고 있다. IRRI를 중심으로는 질소이용효율의 품종간 차이에 관한 연구가 진행되고 있는데 기존품종 중 저질소재배에서도 수량감소가 적은 적응형품종들에 대한 예비 선발이 이루어지고 있는 정도이며 적극적으로 질소이용효율이 높은 품종을 육성하는 프로그램은 없는 실정이다.

(5) 장차 정밀토양검정(토성 및 양분함량 등)을 토대로는 필지별 적정시비량이 결정됨으로써 지금보다는 과잉질소에 의한 수질오염 우려가 다소 적어지겠지만 현재의 재배방식과 품종으로는 지표로 유출되거나 지하로 침투되는 비율이 변하지 않기 때문에 여전히 문제가 될 것이므로 질소비료의 시비법 개선 및 질소이용효율이 높은 품종 요구도는 증대될 것이다. 저투입 지속성농업을 위해 농업생태계가 현재의 개방형에서 폐쇄형으로 전환되어야 하는데 에너지 절약형 농법이 구체적으로 모색될 것이며 동시에 저투입 조건에서 생산성 향상을 도모하기 위한 품종적 재배적 연구가 가속화될 것이다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 제1세부과제 : 질소 이용효율이 높은 벼 품종육성 및 선발지표

확립

(1) 질소 이용효율이 높은 품종형 탐색

총 질소시비량에 대한 수량의 비율, 즉, 생리적 질소이용효율이 높은 품

종은 육성되어 있지 않으며, 질소이용효율이 높은 계통을 선발하기 위한 연구도 제한되어 있는 실정이다. 이 연구는 초형과 기원이 다양한 벼 유전자원의 생리적 질소이용효율을 평가하고, 질소이용효율과 작물학적 특성간의 관계를 구명하며, 질소시비수준에 따른 질소이용효율을 검토함으로써 생리적 질소이용효율이 높은 벼 품종을 육성하기 위한 유전자원을 확보하고, 품종의 생리적질소이용효율에 관련된 기초 자료를 확보하고자 하였다.

(2) 질소 보비 및 무시용 조건에서 생산성 관련 형질의 유전분석

질소이용효율이 다른 인디카, 통일계, 자포니카 및 NPT(new plant type : 열대 자포니카와 인디카의 교배후대에서 얻은 계통)의 다양한 품종간 교배한 후대들을 사용하여 질소 무시용 재배조건에서 수량관련형질의 유전분석을 수행하였다. 생리적질소이용효율 관련형질의 양적형질유전자좌(QTL) 분석을 통하여 유전적 선발지표를 탐색하고자 하였다. 또한 다양한 품종간에 교배한 F₁을 질소 보비 및 무비 재배조건에 재배하여 건물생산 및 수량관련형질의 잡종강세 양상을 조사하고 RAPD 분석으로 추정된 교배친의 유전적거리와의 관련성을 분석함으로써 잡종강세 예측 가능성을 검토하고자 실시하였다.

(3) 질소이용효율 및 관련 형질의 유전분리, 형질간 상호관련성 및 선발효과

질소이용효율이 높은 품종을 육성하기 위해서는 질소이용효율과 관련 형질들의 유전에 관한 정보가 아쉽다. 아직껏 생리적 질소이용효율의 유전분리에 관한 보고는 없는 실정이고, 그의 선발효과에 관한 정보도 없다. 이 연구는 생리적 질소이용효율이 다른 품종간에 교배한 잡종 초기세대(F₂-F₄)에서 질소이용효율 및 관련형질의 유전분리와 선발효과를 구명하여 생리적 질소이용효율이 높은 품종 육성을 위한 기초정보를 얻고자 수행하였다.

(4) 질소 이용효율이 높은 품종 육성

질소이용효율과 수량성이 동시에 높은 계통육성을 위하여 다수의 조합 후대의 계통들에 대해 선발과 세대진전을 하였다. 그 중 다산벼/TR22183, 밀양

23호/TR22183, 일품벼/밀양23호, 다산벼/IR SR-2 등의 조합들로부터 선발된 16개의 유망계통들을 2001년에 질소보비구(10kgN/10a)와 소비구(5kgN/10a)에 재배하면서 생산력 검정예비시험을 실시하였다.

2. 제2세부과제 : 담수조건에서 질소동태와 질소 이용을 향상을 위한

시비법 확립

(1) 논에서 유기태비료의 분해과정과 질소의 방출 및 작물 이용

논에서 유기물 공급원으로 이용할 수 있는 유기물 자원 중 벧짚은 수확과 동시에 논으로 환원할 수 있어 가장 쉽게 이용할 수 있는 자원이다. 이러한 이점 때문에 토양 유기물 관리차원에서 벧짚의 토양 환원의 중요성이 대두되고 있으나 이들의 분해특성과 양분 방출에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 헤어리베치(*Vicia villosa* Roth)는 150여 종의 *Vicia*속 중에서 내한성, 내산성, 내습성이 가장 높고, 녹비로 투입시 질소 공급능력이 큰 작물로 알려져 있다. 또한 헤어리베치는 기존 논 녹비작물인 자운영에 비해 질소 공급능력이 크기 때문에 자운영을 대체할 녹비작물로서의 가능성이 검토되고 있다. 본 연구에서는 벧짚과 헤어리베치를 논에 투입했을 시의 분해 양상과 질소 방출 및 방출된 질소의 벧 이용을 조사하여 이들의 효율적인 이용방안에 대한 기초 자료를 얻고자 하였다.

(2) 무기태 및 유기태 질소비료의 상호작용에 관한연구

토양에 유입된 유기물은 토양 질소 및 시비 질소를 유기화시키고, 유기물 질소가 무기화 되기도 하며, 용탈, 탈질, 휘산, 생물학적 질소 고정 등에 영향하여 토양 환경 내 질소 동태에 영향을 미친다. 본 연구에서는 벧짚과 헤어리베치의 투입이 시비 질소(^{15}N urea)의 벧 흡수율, 토양 잔류량과 토양 환경내 질산태 질소와 인산 용탈에 미치는 영향을 알아보기 위해 포트 실험을 수행하였다.

(3) 담수직파재배에서 질소 이용효율 개선을 위한 최적 시비법 도출

저투입 지속형 재배기술은 종래의 과도한 비료투입량을 최소화하려는

노력이지만 작물수량의 감수가 초래되고 절감정도에 대한 한계가 아직 미흡한 실정이다. 최근 환경친화적이고 경제적으로도 유리하며 시급한 식량증산을 저해하지 않는 종합적 식물영양 관리체계의 확립이 적극 추진되고 있다. 이 방식은 식물영양에서 균형있는 적정 시비량을 유기물과 화학비료로써 공급하려는 시도이며, 작물생산의 지속성을 확보하는데 중요하게 여겨지고 있다. 본 연구는 기존의 이양재배에 비하여 노력절감효과가 커면서도 수량성도 유지되었던 담수직파재배를 중점적으로 실시하여 5엽기추비중점시비방식을 통한 시비량 절감 시험, 질소유실억제제를 통한 질소이용효율 증대 시험을 통하여 환경친화적 벼 재배기술을 확립하고자 실시되었다

(4) 담수직파재배에서 질소 비중별 질소 흡수 효율성과 벼 수량 반응

본 연구는 담수직파재배시 속효성 질소비료의 손실을 줄이면서도 작물에 의한 이요효율을 높이기 위한 방법으로 연구되고 있는 완효성 비료와 요소와 함께 요소가수분해억제제로서 NBPT 또는 질산화억제제로서 DCD를 처리하였을 때의 시비질소의 손실과 흡수량의 차이에 의한 질소이용효율과 수량성을 비교하였다.

(5) 무기·유기태 질소비료 시비법 확립 및 실증시험

벼짚과 헤어리베치 투입에 의한 시비량 절감 및 수량 안정성에 대해 검토하기 위해 서울대학교 실험포장에서 벼짚과 헤어리베치의 논 투입에 따른 벼의 생육 및 수량 반응을 조사하였다. 다른 한편 다년간의 벼짚 연용과 저투입이 벼의 생육 및 수량에 미치는 영향을 알아보하고자 1995년부터 1998년까지 4년간 경기도 수원시 권선구 탑동 소재 농민의 논 4.6a를 실험답으로 실험을 실시하였다.

3. 제3세부과제 : 건답조건에서 질소동태와 질소이용을 향상을 위한

시비법 확립

(1) 건답직파재배에서 시비체계에 따른 질소이용효율

건답직파재배는 최근 생력화재배의 일환으로 1990년대 이후에 들어서야 비교적 과학적으로 연구되어져 오고 있다. 건답직파재배는 이앙재배와는 달리 육묘와 이앙작업이 생략되는 장점과 아울러 많은 문제점을 안고 있으나 그 중에서도 질소이용효율이 낮은 단점이 있다. 따라서 타 재배법보다 질소시비량을 10-50%를 증비하고 있으며, 이로 인해 환경문제를 야기시킨다. 따라서 이 연구는 먼저 이앙재배와 건답직파재배간의 질소이용효율을 상호비교하고, 건답직파재배에서 기비·분얼비·수비 질소의 이용효율을 살펴 작물의 질소요구도를 정확히 파악하고자 하였다. 그 결과로 적절한 시비체계를 세움으로써 질소이용효율을 높이고 이로 인해 경제적인 이득과 아울러 환경부하를 경감시키고자 하였다.

(2) 건답직파재배에서 분시방법 및 시비시기에 따른 질소이용효율

건답직파재배에서 기존의 시비체계는 기비:분얼비:수비=40-30-30의 분시체계이다. 그러나 건답직파재배에서 기비의 이용효율을 5%안팎으로 매우 낮고, 또한 분얼비를 시비하는 4엽기에도 흡비력은 낮은 상태이다. 따라서 추비질소의 이용효율을 높이고자 다양한 시비량 조건에서 추비시기와 추비회수를 4엽기 1회 시비에서 4엽기와 6엽기 등의 2회 시비로 달리하여 식물체 질소이용효율과 토양내 질소동태를 파악하였다. 더욱이 건답직파재배에서는 관개수의 지하침투량이 많기 때문에 추비시용시 용탈이 심하게 일어날 수 밖에 없다. 따라서 담수전에 분얼비를 시비한 것과 담수직전 및 직후 및 완전담수후에 분얼비를 시비했을 때의 식물체 질소이용효율과 토양내 질소동태를 정략적으로 파악하였다.

(3) 건답직파재배에서 비료제형 및 질산화억제제 처리에 따른 질소이용효율

현재 대부분의 질소질비료원은 요소가 쓰이고 있으나 요소는 방습이 필요한 단점과 토양교질에 강하게 흡착되지 않아 용탈이나 휘산 등이 발생하기 쉬운 단점이 있다. 건답직파재배에서 작업에 용이하고 비료를 절약할 뿐만 아니라

노동력을 줄이며 작물의 질소요구도에 맞게 질소를 공급하기 위해서 다양한 완효성비료가 검토되어져 왔다. 따라서 완효성비료인 LCU를 전량기비와 전량분얼비로 사용하고 시비시기도 달리하여 질소이용효율을 비교 검토하였다. 또한 시용된 요소의 이용효율을 높이고자 암모니아태질소가 질산태질소로 산화되는 과정을 억제하는 것으로 알려져 있는 DCD(dicyandiamide)를 요소의 기비처리와 추비시용시 혼합처리하여 질소의 이용 및 손실정도를 살펴보았다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 제1세부과제 : 질소 이용효율이 높은 벼 품종육성 및 선발지표 확립

(1) 질소이용효율이 높은 품종형 탐색

① 벼품종들의 생리적질소이용효율(정조수량/총질대질소흡수량)은 품종간에 차이가 컸으며, 다수확품종이 재래종에 비하여 더 높게 나타났다. 품종형간에는 생리적질소이용효율에 차이가 없었다.

② 생리적질소이용효율은 1수립수, 수확지수, 수량과는 유의한 정의 상관을 나타냈으며, 질질소함량과는 부의 상관을 보였다. 수량과 수량구성요소간에 경로계수 분석 결과 1수립수와 주당 수수가 수량에 크게 기여하는 것으로 나타났다. 경로계수 분석 결과 질소보비조건에서는 수확지수가 질소이용효율에 가장 크게 기여하는 것으로 나타났고, 무비조건에서는 이삭건물중이 질소이용효율에 크게 기여하는 것으로 나타났다.

③ 질소시비수준을 6개 처리로 한 실험에서, 시비수준이 높을수록 질소이용효율은 낮아졌다. 질소이용효율이 높은 품종들은 낮은품종들에 비해 모든 시비수준에서 조사형질중 임실율, 1000립중, 수확지수가 높았다.

(2) 질소 보비 및 무시용 조건에서 생산성 관련 형질의 유전분석

① 모든 형질에서 GCA 및 SCA 분산의 유의성이 인정되었으며, 초장, 수장 및 임실율의 GCA분산 및 SCA분산은 질소 무비조건에서 더 높게 나타났고, 기타 형질은 보비조건에서 더 높게 나타났다. 질소 무비 및 보비조건에서 모든 형질의 GCA분산이 SCA분산 보다 더 크게 나타났다.

② 건물 및 수량관련형질의 GCA평균효과는 보비조건에 비해 무비조건에서 더 낮게 나타났다. 다산벼와 Guichow품종의 건물생산성과 수량의 GCA효과는 질소 무비 및 보비조건에서 모두 높게 나타나서 질소 저 투입 적응성 품종육성에 있어서 훌륭한 교배친으로 판단되었다.

③ 질소 무비 및 보비조건에서 교배친 자체의 성적과 GCA효과와는 대부분의 형질에서 유의한 정의 상관관계가 인정되어 친의 특성이 우수할수록 F1의 특성도 평균적으로 우수한 것으로 나타났지만, SCA효과와는 유의한 상관관계가 없었다.

④ 건물중, 초장, 분얼수, 수장 및 수량은 질소 무비조건에서 완전우성애 가까운 초우성을 나타냈고, 간장은 완전우성으로, 주당수수는 부분우성으로 나타났다.

⑤ 분얼수와 간장의 협의유전력은 질소 무비조건에 비해 보비조건에서 더 크게 나타났는데 건물중, 초장, 수장 및 주당수수의 협의유전력은 무비조건에서 더 크게 나타났다.

⑥ 질소 무비조건에서 수량의 잡종강세정도는 MPH 11.6%로 가장 높게 나타났으며 그 다음은 간장, 수장, 수당영화수 순이었다. 질소 보비조건에서도 수량이 가장 높은 잡종강세정도 (60.44%)를 보였고 그 다음은 주당수수, 간장 순이었으며 임실율은 부의 방향으로 잡종강세정도를 나타냈다. 또한 질소 무비조건에 비해 보비조건에서 임실율과 수당영화수를 제외한 기타 형질에서 잡종강세정도가 현저히 높았다.

⑦ RAPD 분석에 의한 9개 교배친간 유전적거리를 기초로 한 군집분석결

과는 작물학적 분류와 일치하는 경향이였다. 교배친간 유전적거리와 질소 무비 조건에서 조사된 F1의 모든 형질의 잠종강세와는 유의성이 인정되지 않았으나, 보비조건에서는 건물중, CGR, 수장, 수량과 유의한 정의 상관을 보였다. 임실율은 무비 및 보비조건에서 모두 유의한 부의 상관을 보였다.

⑧ 다산벼와 TR22183간 교배한 F8 100개의 RIL 계통의 형질조사를 완료하였다. 모본간 다형성을 보이는 microsatellite marker를 탐색한 결과, 총 158개의 microsatellite marker에서 모본에서 다형성을 보였다. 현재 Cornell Univ.에 서 보다 많은 marker를 이용하여 QTLs 분석 중이다.

(3) 질소이용효율 및 관련 형질의 유전분리, 형질간 상호관련성 및 선발효과

① 수량 및 생리적 질소이용효율과 관련된 형질들은 연속변이를 보여 다수의 유전자가 관여하는 양적 유전 양상을 나타내었고 모두 초월분리를 보였다.

② 잠종초기세대에서 생리적 질소이용효율은 질소 무시용조건에서 더 크게 나타났고, 두 질소조건에서 모두 수확지수 및 수량과 높은 상관을 보였으나 지상부 질소보유량과는 상관이 없거나 매우 낮았다.

③ 초기세대의 생리적질소이용효율의 유전력은 조합과 질소시비조건별로 편차가 심하였고, 수량의 유전력은 질소 무비조건에서 그리고 세대가 진전될 수록 더 높게 나타났다.

④ 잠종초기세대에서 수량에 대한 직접선발효과는 질소 보비조건에 비해 무비조건에서 더 큰 선발효과를 보였으며 그 정도는 조합에 따라 약간 차이가 있었다. 생리적 질소이용효율은 양 조건에서 모두 선발효과가 있는 것으로 나타났다. 수량과 질소이용효율의 유전적진전은 모두 질소 보비조건에 비해 무비 조건에서 더 크게 나타났다.

⑤ 초기세대에서 고수량방향으로 선발된 계통중에서 수량이 높으면서 생리적질소이용효율이 높은 계통은 질소보비 조건에 비해 무비조건에서 더 많

이 출현되었고, 교배친 보다 우수한 계통들이 무비조건에서 더 많이 출현되었다.

(4) 질소이용효율이 높은 품종의 육성

① 생산력검정예비시험결과 수량성과 생리적질소이용효율을 기준으로 선발 육성된 F5-F6 계통들의 정조수량은 질소 보비(10kg/10a)조건에서 899 ~ 1237kg/10a 이었고, 생리적질소이용효율은 37.2~52.6이었다. 질소 소비(5kg/10a)조건에서 육성계통들의 정조수량은 628 ~ 1050kg/10a 이었고, 생리적질소이용효율은 37.5~67.3이었다. 대조품종인 다산벼보다 수량과 질소이용효율이 동시에 높은 다수의 유망계통들을 선발하였다.

② 유망계통들은 특히 질소 소비조건에서 수량의 감소정도가 적었고, 생리적질소이용효율도 높아서 질소저투입 재배조건에 적응할 것으로 판단되었다.

2. 제2세부과제 : 담수조건에서 질소동태와 질소 이용을 향상을 위한

시비법 확립

(1) 논 투입 볏짚과 헤어리베치의 분해와 질소방출이 벼 수량에 미치는 영향

이앙기에 투입된 볏짚은 투입후 1개월동안 가장 빠르게 분해되었고 50%가 분해되는 시점은 투입후 2개월 정도였다. 벼 재배기간동안 70-75% 정도가 분해되었고 2년이 경과한 후에는 90%이상 분해되었으며 잔존하는 10%정도는 부식의 형태를 보여 볏짚이 논에서 완전히 분해되기 위해서는 2년정도 소요되었다. 벼 재배기간 동안 볏짚의 분해로 65%정도의 질소가 방출되었으며 이 중 10-15%의 질소가 벼에 의해 흡수 이용되었다. 또 볏짚의 투입은 시비 초기의 토양내 질소 용탈량을 줄였고 시비 질소의 토양잔류량을 증대시켜 질소의 손실량을 감소시키는 효과가 있었다. 농가포장에서 볏짚을 연용하고 관행 질소량의

50%로 줄이고 추비 중심으로 사용한 결과 단위면적당 이삭수에서 있어서는 관행구에 비해 5-19%적었지만 등숙률과 천립중의 증가로 최종 수량은 비등하였다. 벧짚연용구의 수량은 관행재배구에 비해 벧짚 투입첫해에는 4% 감소하였으나 2년째는 3%, 3년째는 4% 증가하였으며 4년째는 동일하여 벧짚연용으로 수량 안정성을 확보하면서 시비량을 절감할 수 있었다. 벧짚의 투입은 벧 생육초기에는 요소단용구에 비해 토양 무기태 질소 공급량을 감소시키지만 생육 중·후기로 갈수록 요소단용구에 증가시키므로, 생육 초기에 많은 양의 질소를 흡수하여 이삭수를 증가시켜야하는 수수형 품종보다는 수중형 품종의 재배가 유리할 것으로 판단되었다.

헤어리베치는 벧짚에 비해 매우 빠른 속도로 분해되었다. 이양조건에서 매물 깊이에 따라 투입 1개월만에 72-81%가 분해되었고 이후의 분해는 완만하였으며 5개월 동안의 벧 재배기간동안에는 86-90%가 분해되었다. 분해에 따른 질소의 방출도 매우 빨라 1개월만에 투입 질소량의 90%가 방출되었다. 방출된 질소의 벧 흡수 이용율을 ^{15}N 추적자법으로 조사한 결과 30% 이상의 이용율 보여 투입 당해연도에도 기비 질소를 대체할 수 있을 것으로 나타났다. 또한 헤어리베치 질소의 토양잔류량은 40%정도로 요소비료에 비해 2배 가량 높아 질소의 손실량을 줄일 수 있었다. 포장 실증실험에서 기비 질소를 헤어리베치 질소로 대체한 결과 $400\text{개}/\text{m}^2$ 이상의 이삭수를 확보하여 요소 시비구와 수량이 비등하였다. 또한 분얼비와 수비를 사용하지 않은 헤어리베치 투입의 경우에도 유효분얼기 경까지 분해 헤어리베치로부터 질소 공급이 양호하여 $400\text{개}/\text{m}^2$ 의 이삭수를 확보하였으나 이삭당 영화수의 감소로 인해 수량이 $600\text{kg}/10\text{a}$ 이하로 떨어졌다. 따라서 헤어리베치 투입으로 기비질소 뿐만아니라 분얼비도 절감할 수 있을 것으로 판단되었으며 수량 안정성을 확보하기 위해서는 생육 상황에 따라 수비가 필요할 것으로 판단되었다.

(2) 담수직파재배에서의 최적 시비법

며 담수직파재배시 5엽기추비중점시비방식은 관행재배에 비해 상당히 질소이용효율이 개선된 시비방식으로 평가되었고 영농에너지이용효율도 높은 시비방식으로 평가되었다.

주요 수량성립시기별 엽록도와 수량관련 형질간의 상관관계를 조사한 결과, 유효분얼기의 엽록도와 이삭수간에는 높은 정의상관관계를 보였고, 감수분열기 지엽의 엽록도와 수당영화수간에는 $y = -19.7947 + 3.0414x$ 의 높은 정의상관 관계를 보였으며, 유숙기 지엽의 엽록도와 등숙율간에도 $y = 74.6610 + 0.5664x$ 의 높은 정의상관 관계를 보였다.

5엽기추비중점시비방식은 주요 수량성립시기의 엽중질소함량을 적정 수준으로 유지하는데 효과적이어서 증수보다는 시비량 절감을 통해 질소이용효율을 개선하는 것으로 평가되었다.

시비질소이용효율은 다음의 식과 같이 두 가지 요소에 의해 결정되는데,

$$\text{Fertiliser N Use Efficiency} = \frac{\text{Plant N Uptake}}{\text{Fertilised N}} \times \frac{\text{Yield}}{\text{Plant N Uptake}}$$

5엽기추비중점시비방식은 생육 전반기에 걸쳐서는 식물체회수율이 다소 낮게 나타났으나, 흡수된 시비질소가 수량에 기여하는 비율이 높아서 시비질소이용효율을 증대시키므로 안정수량을 확보하는데는 관행시비량의 70~80%수준으로도 가능하다고 판단되었다. 질소유실경감제의 처리는 유료생육과정에서는 식물체가 시비질소를 이용할 수 있는 기간을 다소 연장시키는 효과가 인정되었지만, 생육 전반기에 걸쳐서는 식물체회수율 및 흡수된 시비질소가 수량에 기여하는 비율을 크게 향상시키는 효과는 없는 것으로 여겨졌다. 완효성비료의 사용은 생육 전반기에 걸쳐 엽중질소농도를 높게 유지시킴으로써 식물체회수율을 현저히 높이지만, 이에 따른 시비질소이용효율은 그다지 높지 않은 사실로 판단할 때 안정수량에 필요한 임계질소농도이상으로 과도하게 질소영양상태를 높이는 것을 알 수 있으며, 따라서, 완효성비료 사용을 통한 시비량 및 분시횟수 절감에 대한 연구가 추후 계속 되어야 할 것이며, 우리 나라의 담수직파재배에 적합한 완효성비

료의 개발과 토성에 따른 비효지속기간에 대한 체계적 연구가 시급히 요망되었다. 결론적으로 관행시비량의 20~30%를 절감한 5엽기추비중점 시비방식이 안정된 수량을 확보하면서도 환경의 부영양을 경감시키는 저투입 지속형 질소시비 체계에 가장 적합한 시비방식으로 판단되었다.

3. 제3세부과제 : 건답조건에서 질소동태와 질소이용을 향상을 위한 시비법 확립

(1) 건답직파재배에서 시비체계에 따른 질소이용효율

건답직파재배에서 기비질소의 이용효율은 97-98년에 결친 실험에서 2.5-3.2%, 99년의 실험에서는 5.5%로서 매우 낮은 것으로 나타났다. 반면 분얼비는 40-55%, 수비는 50-70%의 회수율을 보였다. 기비질소의 이용효율이 이처럼 낮은 이유는 파종후 약 한달동안 건답상태에 놓여 있어 강우 등에 의한 용탈과 탈질이 반복되기 때문이고, 또한 식물체가 매우 어려 질소흡수량이 매우 적기 때문이다. 이와 같은 결과를 토대로 기존의 시비체계인 기비:분얼비(4엽기):수비=40:30:30의 분시체계를 개량하여 기비를 생략한 기비:분얼비(4엽기):수비=0:70:30, 혹은 기비를 생략하고 4엽기와 6엽기에 분시하는 기비:분얼비1(4엽기):분얼비2(6엽기):수비=0:40:30:30의 분시체계가 질소이용효율과 수량이 높음을 확인하였다.

(2) 건답직파재배에서 분시방법 및 시비시기에 따른 질소이용효율

건답직파재배에서는 이앙재배법에 비해 적게는 10~20%, 많게는 40~50%를 증비하여 왔다. 즉, 이앙재배의 표준 질소시비량이 12~15kg인 것을 감안하면, 건답직파재배에서는 15-20kg/10a의 질소질 비료를 시비하였는데, 분시체계를 기존의 기비중점시용에서 분얼비중점시용으로 바꿈으로써 이앙재배의 시비량인 12-15kg/10a으로도 건답직파재배가 가능하게 되었다. 또한 기존의 3엽기에 담수하고 4엽기에 분얼비를 주었던 시비체계에 비하여 관개직전에 시비하는

것이 질소의 이용효율과 수량을 더 높일 수 있을 뿐만아니라 또한 건답상태에서 시비할 수 있어 생력적인 것으로 판단되었다.

(3) 건답직파재배에서 비료제형 및 질산화억제제 처리에 따른 질소이용효율 기존의 시비체계에서 질소질비료는 거의 대부분 요소를 사용하여 왔으며, 벼의 시비체계는 요소를 기비, 분얼비, 수비로 세 번 주는 방법이 주류를 이뤄왔다. 완효성비료인 LCU(latex coated urea)를 가지고 2년에 걸쳐 실험한 결과 요소와 동일한 시비량을 전량 기비시용시나 전량 분얼비시용시 시비질소 회수율과 수량은 실험년도에 따라서 현저한 차이가 있어서 요소를 분기한 경우와 상대적인 우열을 판단할 수 없었으며, 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 요소의 기비와 분얼비 시용시 질산화억제제인 DCD(dicyandiamide)를 혼합처리하는 경우 시비질소 이용효율과 수량이 다소 향상되었다.

4. 활용에 대한 건의

가. 질소 이용효율이 높은 벼 품종육성 및 선발지표 확립

(1) 생리적질소이용효율이 높은 품종 육성 가능성 : 조합별로 재배조건별로 유전력과 선발반응에 차이가 있었지만 품종간 차이가 확연한 것을 보면 교배육종에 의해서도 생리적질소이용효율이 높은 품종을 육성할 수 있을 것으로 판단되었다. 육종시에는 수확지수를 선발기준으로 하는 것이 가장 효율적이며, 재배조건은 크게 차이는 없으나 육성품종은 질소 저투입조건에서 재배될 것이므로 질소 소비 내지는 무비수준에서 행하는 것이 타당할 것이다.

(2) 육성계통의 활용 : 육성계통들 중 생산력검정예비시험결과 수량성과 생리적질소이용효율이 동시에 높았던 계통들 중 17005(=17200), 17006(=17201), 17009(=17204), 500(=17220) 계통들은 다산벼에 비해 10% 이상의 증수효과가 있고, 질소이용효율이 높아서 질소 저투입 적응형 품종으로 직접 또는 간접 이용

할 수 있을 것이다.

나. 담수조건에서 질소동태와 질소 이용을 향상을 위한 시비법 확립

(1) 담수직파재배에서 5엽기 추비중점 시비방식은 유묘 생육과정에서 식물체 회수율을 높이지만, 생육전반기에 걸쳐서는 식물체 회수율이 다소 낮게 나타났다. 그러나 흡수된 시비 질소가 수량에 기여하는 비율이 높아서 시비질소이용효율을 증대시키므로 안정수량을 확보 할 수 있었다. 따라서 기비를 생략하여 관행시비량의 20-30%를 절감한 5엽기 추비중점 시비방식은 안정된 수량을 확보 하면서도 환경부하를 줄이는 저투입 지속형 질소시비체계로 평가되었다.

다. 건답조건에서 질소동태와 질소이용을 향상을 위한 시비법 확립

(1) 건답직파에서의 시비량, 분시법 및 시비시기 등에 대한 종합적 검토가 이루어져 환경부하를 줄이고 질소이용효율을 높일 수 있는 시비방법을 제시하였다.

(2) 건답직파재배에서 기비질소는 이용효율이 매우 낮고 용탈에 의한 지하수 오염의 위험성이 매우 크다는 것이 확인되었다. 따라서 기비를 생략하는 추비중점시비방법이 제안되었으며, 이 경우 관행시비량인 15-18kg/10a와 일반재배농가들의 20kg/10a가 넘는 질소시비를 수량에는 큰 영향을 주지 않으면서도 환경부하를 줄일 수 있는 시비량인 12-15kg/10a로 낮출 수 있었다. 또한 분얼비를 시용하는데 있어서 담수직전에 시비함으로써 시비효율도 높이고 생력화에 기여할 수 있는 방법이 개발되었다.

(3) 따라서 본 연구에서 개발된 분얼비 중점시비체계 및 담수직전 분얼비 시용 방법을 질소시비량 절감 및 환경부하 감소를 위해서 농가에 적극 권장할 필요가 있다.

5. 논문 및 인력배출

가. 인력배출

- 조영일. 1999. 벼에서 질소이용효율의 품종간 변이. 서울대학교 석사학위논문.
- 이재홍. 1999. 벼 답수직파재배에서 완효성비료, 요소가수분해억제제 및 질산화억제제의 시비질소 손실경감 효과
- 김민호. 2000. 벼 건답직파재배에서 기비, 분얼비 및 수비질소의 이용효율. 서울대학교 석사학위논문.
- 남택수. 1999. 건답직파재배에서 요소비료 시용시 벼의 질소 흡수이용과 손실. 서울대학교 박사학위논문.
- 박종택. 2000. 질소 무시용 재배조건에서 벼 수량관련형질의 유전과 선발효과. 서울대학교 박사학위논문.
- 이정삼. 2001. 논 투입 벧짚과 헤어리베치의 분해 및 질소방출이 벼 생육에 미치는 영향

나. 학회지 논문 및 학회발표

- 박종택, 조영일, 고희중. 2000. 질소 무시용 조건에서 벼 F1의 잡종강세와 교배친의 유전적 거리와의 관계. 한국육종학회지 32(3): 253-259
- 박종택, 조영일, 고희중. 2001. 벼에서 생리적질소이용효율의 유전과 관련형질간의 상호관계. 한국육종학회지 33(4): (인쇄중)
- Lee, H.J., J.H. Seo, J.S. Lee, Y.S. Jung, and F.E. Below. 1998. Nitrogen management with split application of urea for direct-seeding rice in wet paddy. Korean J. of Crop Sci. 43(1)
- Lee, J.H., H.J. Lee, and B.W. Lee. 1999. Effects of urease inhibitor, nitrification inhibitor, and slow-release fertilizer on nitrogen fertilizer

- loss in direct-seeding rice. Korean J. of Crop Sci. 44(3)
- 고희중 외 1명. 1997. Varietal variation of nitrogen use efficiency in rice. Agronomy Abstracts, 1997 ASA-CSSA-SSSA Annual Meetings, Oct. 26-31, Anaheim, California, USA, p.68
- 박종택, 고희중. 1998. 질소수준에 따른 수도품종의 건물생산의 조합능력. 한국작물학회지 43(별책1호):29-30
- 박종택, 고희중. 1999. 질소 보비 및 무비 재배조건에서 벼품종간 유전적 거리와 잠중강세와의 관계. 한국육종학회지 31(별책1호): 26-27
- 조영일, 고희중. 1999. 벼에서 질소이용효율의 품종간 변이. 한국작물학회지 44(별책1호): 14-15
- 차건완, 고희중. 1999. 벼 후기녹체성 돌연변이계통의 광합성 특성. 한국작물학회지 44(별책1호): 12-13
- 박종택, 조영일, 고희중 2000. 무질소 재배조건에서 벼 수량관련형질의 선발효과. 한국육종학회지 32(별책1): 72-73
- 고희중, 박종택 2000. Selection for high physiological nitrogen-use efficiency in rice. The 3rd Intern. Crop Sci. Conf., Hamberg, Germany, 2000.8.17-20.
- 서준한, 이호진. 1998. 담수직파재배벼의 분시방법에 따른 수량 및 질소이용효율. 한국작물학회지 제43권 별책1호 : 91-92
- 이재홍, 이호진. 1999. 벼 담수직파재배에서 완효성비료, 요소가수분해억제제 및 질산화억제제의 시비질소 손실경감 효과. 한국작물학회지 제44권 별책1호 : 73-74.
- Lee, H.J. and J.S. Lee. 2000. Decomposition and N release of rice straw and hairy vetch in paddy soil. 3rd International Crop Science Congress 2000. p.156.
- Lee, H.J. and J.H. Seo. 2000. Nitrogen management monitored by chlorophyll meter for sustainable rice production. 3rd International Crop Science Congress 2000. p.156.

- 이호진, 이정삼. 2001. 논 투입 벧짚과 헤어리베치의 분해와 질소의 행방. 한국 작물학회지 제46권 별책1호 : 46-47
- Lee, H.J., J.S. Lee, J.H. Seo, A.R. Chun. 2001. Decomposition process and N-15 fate of rices straw and hairy vetch incorporated into rice paddy. 2001 Annual Meetings. American Society of Agronomy p.363.
- 이변우, 남택수. 1997. 건답직파에서 시비방법에 따른 생육, 수량과 토양 중 질소동태. 한국작물학회지. 42(별책2):100-101.
- 이변우, 남택수. 1998. 벧 건답직파재배에서 질소비료의 분시방법과 질산화억제제처리가 생육 및 수량에 미치는 영향. 한국작물학회지 43(별책1):93-94.
- Lee, B.W., and T.S. Nam. 2000. Plant uptake and loss of nitrogen in urea-applied paddy field under direct dry-seeding rice culture, Book of Abstract of the 3rd International Crop Science Congress 2000. pp.156-156. European Society of Agronomy.
- 이변우, 김민호. 2000. 건답직파에서 기비, 분얼비, 수비 질소의 이용효율. 한국작물학회지 45(별책1호):318-319.
- 이변우, 김민호. 2001. 벧 건답직파에서 LCU의 시비시기에 따른 생육 및 수량. 한국작물학회지 46(별책1호):124-125.
- 이변우, 김민호. 2001. 벧 건답직파에서 시비량, 분시방법에 따른 생육 및 수량. 한국작물학회지 46(별책1호):126-127.
- 이변우, 김민호. 2001. 벧 건답직파에서 담수전후 질소시비 시기에 따른 생육 및 수량. 한국작물학회지 40(별책 1호):128-129.

SUMMARY

1. Establishment of selection criteria and breeding varieties for high physiological nitrogen-use efficiency in rice.

(1) Selection of high nitrogen-use efficiency germplasms in rice

① There were significant differences among rice cultivars in physiological nitrogen-use efficiency (PNUE : rough rice yield/total amount of absorbed nitrogen), and high-yielding varieties (HYVs) showed higher PNUE than land varieties. There was no difference in PNUE between subspecies, *indica* and *japonica*.

② The PNUE showed significantly positive correlation with number of grains per panicle (GP), harvest index (HI) and grain yield, while negative correlation was found between PNUE and nitrogen content of straw. Path analyses revealed that GP and number of panicles per plant were major contributors to increase grain yield. Path analyses of characters to PNUE revealed that HI showed the highest effect to PNUE in ordinary N-fertilizer plot while the dry weight of panicles was the highest contributor to PNUE in N-unfertilized plot.

③ A study on PNUE with different levels of N-fertilizer applications revealed that the heavier the applications of N-fertilizer, the lower the PNUE in both higher and lower PNUE varieties. The higher PNUE varieties showed higher grain fertility, 1000 grains weight, and HI compared with the lower PNUE varieties in all levels of N-fertilizer.

(2) Genetic analysis of agronomic characters related to grain yield under N-fertilized and N-unfertilized conditions

① The variances of general combining ability (GCA) and specific

combining ability (SCA) for all characters tested were significant. The variances of GCA for plant height, panicle length and grain fertility were higher under N-unfertilized condition than under N-fertilized condition, whereas the other characters were higher under N-fertilized condition. The variances of GCA were larger than those of SCA in all characters under both N-fertilized and N-unfertilized conditions.

② Mean effects of GCA for characters related to dry matter and grain yield were higher under N-fertilized condition than under N-unfertilized condition. GCA effects of Dasanbyeon and Guichow for dry weight per plant and grain yield were higher than those of other parents, indicating that they should be promising parents for breeding varieties suitable to low N-input cultivation.

③ Positively significant correlations between parental performance and GCA effect in most characters related to dry matter and grain yield were found, indicating that varieties having higher parental performance produced better F₁s, however there was no significant correlations between parental performance and SCA effects, under both N-fertilized and N-unfertilized conditions.

④ Under N-unfertilized condition, dry weight per plant (DWP), plant height, number of tillers per plant, panicle length and grain yield were governed by a overdominance gene action. Complete dominance was observed in culm length, while partial dominance was observed in number of panicles per plant.

⑤ Narrow-sense heritabilities for number of tillers per plant and culm length were higher under N-fertilized condition than under N-unfertilized

condition, whereas narrow-sense heritabilities for dry weight per plant, plant height, panicle length, and number of panicles per plant were rather higher under N-unfertilized condition than under N-fertilized condition.

⑥ Heteroses for grain yield were the highest among characters under N-unfertilized condition (MPH: 11.6%) as well as under N-fertilized condition (MPH: 60.4%). Grain fertility showed negative heterosis in both N conditions. Heteroses were generally higher under N-fertilized condition than under N-unfertilized condition except grain fertility and number of spikelets per panicle.

⑦ Varietal classification through genetic distance based on RAPD analysis agreed to the previous varietal grouping. Genetic distances between parents were not correlated with heteroses in all characters studied under N-unfertilized condition, however, under N-fertilized condition, genetic distances were positively correlated with heteroses in dry weight per plant, CGR, panicle length and grain yield under N-fertilized condition. Heterosis of grain fertility was negatively correlated with genetic distance under both N-unfertilized and -fertilized conditions.

⑧ Agronomic characters were measured in 100 F8 RILs from a cross between Dasanbyeo and TR22183. The 158 polymorphic microsatellite markers between Dasanbeyo and TR22183 were screened for QTL mapping. The QTL analysis is underway by a member of this research group with selected markers and additional ones at Cornell Univ. in USA.

(3) Genetic segregation of PNUE and its associated characters, interrelationship among characters and response to selection

① Grain yield, PNUE and its associated characters showed a

continuous variation in F₂ populations and was inherited in a quantitative fashion in which polygenes were involved. Transgressive segregations toward both negative and positive side were found.

② PNUE was higher in N-unfertilized condition than in N-fertilized conditions, and was significantly correlated with HI and grain yield in both N-fertilizer conditions, however was not or less correlated with the total nitrogen content of shoot.

③ Heritabilities of PNUE in early generations varied greatly according to the cross combinations and N-fertilizer conditions, and heritabilities of grain yield were higher in N-unfertilized condition and in advanced generations as well.

④ Direct selection for grain yield in early generation was more effective under N-unfertilized condition than under N-fertilized condition with some variations along cross combinations. Direct selection for PNUE was effective in both N-fertilizer conditions. Genetic advances through selection for grain yield and PNUE were higher in N-unfertilized condition than N-fertilized condition.

⑤ Promising lines having both high yield and PNUE out of selected lines toward high grain yield in early generations appeared more in N-unfertilized condition than in N-fertilized condition. Elite lines compared to parents were generated more in N-unfertilized condition

(4) Breeding lines of high PNUE

① The rough rice yields of breeding lines of F₅-F₆ generations selected for both high yield and PNUE were 899~1237kg/10a in preliminary yield trial under ordinary N-fertilization (10kgN/10a), and PNUE of the lines

were 37.2~52.6. The rough rice yields of those lines were 628~1050kg/10a under low N-fertilization (5kgN/10a), and PNUE of the lines were 37.5~67.3. Several lines, which exhibited both higher grain yield and higher PNUE than a check cultivar, Dasanbyeon, were selected.

② The elite lines selected showed less reduction of grain yield and high PNUE, and thus were expected to be adaptable to low N-input cultivation.

2. Establishment of N-fertilization method for improving nitrogen-use efficiency in wet direct-seeding rice culture

(1) Decomposition and nitrogen release of rice straw and hairy vetch and their effects on rice growth in paddy field

For the efficient use of rice straw and hairy vetch, we investigated the decomposition and N release of the rice straw and hairy vetch and their effect on rice growth in paddy field.

Decomposition of rice straw followed the exponential decay. The straw incorporated at transplanting date showed an initial weight loss of about 50%, 70% and 90% after 2 months, 5 months and 2 years, respectively, soil incorporation. N amounts released from the straw and the vetch during 5 months were about 67% and 94% of initial N, while more than 60% and 90% of those was released during first month after soil incorporation, respectively. Rice plants recoveries of rice straw-¹⁵N released from the decomposition were 10-15% as affected by N fertilization levels. Soil incorporation of rice straw decreased nitrate leaching and loss of urea-¹⁵N by increasing soil recovery of recoveries of urea-¹⁵N. In farmer's field trial, we investigated

the effects of long term application of rice straw on rice yield for four years. The rate of application of fresh rice straw was 5-6kg straw-N/10a with combination of 6kgN/10a of chemical N fertilizer. The yield in the plot with successive rice straw application increased gradually year to year, which showed the possibility of reducing the application rate of chemical N fertilizer.

Hairy vetch decomposed more rapidly than rice straw and showed an initial weight loss of 72-81% as affected by depth after the first month soil incorporation. After 5 months, the vetch had lost 86-90% of its weight as affected by incorporation depth. N amounts released from the vetch during 5 months were about 94% of initial N, while more than 90% of that was released during first month after soil incorporation. Rice plants recoveries of ^{15}N released from the ^{15}N -labeled vetch decomposition were above 30% under different N fertilization levels. Soil recovery of the vetch- ^{15}N was about 40%, which was about two fold of that of urea. Therefore, the loss of hairy vetch-N was smaller than that of urea-N. Grain yield of the transplanted paddy rice cultured using hairy vetch as starter N was compared with that cultured applying urea as starter N in field experiment. Hairy vetch residue incorporated as starter N maintained NH_4^+ -N concentration of soil water of plow layer until effective tillering stage. Grain yield in the plot with hairy vetch was not significantly different from that in the plot with urea. Hairy vetch incorporation could substitute starter N fertilization and showed possibility to reduce N amount of top-dressing.

- (2) Nitrogen application method to improve nitrogen use efficiency for direct-seeding rice in wet paddy

Topdressing at 5-leaf stage method had a high potential to improve agronomic efficiency in direct seeding on wet paddy. We should notice the greater nitrogen use efficiency was obtained with topdressing at 70% rate of the conventional N fertilization at 5-leaf stage.

Leaf N Content had a high linear correlation with chlorophyll meter readings. Each yield component was significantly correlated with chlorophyll meter readings at each yield determinant stage. The relationship between the meter reading of active tillering stage and the number of panicle showed the good regression, $y = -13.6568 + 0.4395x$ ($R^2 = 0.9477$), the relationship between that of panicle development stage and the number of spikelets per panicle, $y = -19.7947 + 3.0414x$ ($R^2 = 0.9204$), and the relationship between that of active ripening stage and ripened grains percentage, $y = 74.6610 + 0.5664x$ ($R^2 = 0.9006$).

The improved nitrogen use efficiency of our elaborate nitrogen topdressing management was probably caused by the enhanced leaf N content of rice plant. The enhanced nitrogen use efficiency was accomplished not by the yield increment, but by the decrement of fertilizer.

There are two primary components of N use efficiency: 1) the efficiency of absorption (uptake), and 2) the efficiency with which the N absorbed is utilized to produce grain. Considering these components, topdressing at 5-leaf stage was the effective method to improve utilization efficiency significantly.

Therefore, we concluded that the topdressing at 5-leaf stage method was the most effective method to improve agronomic efficiency in direct seeding on wet paddy, and its optimal fertilization rate was about 70-80 percent of the conventional N fertilization.

3. Establishment of N-fertilization method for improving nitrogen-use efficiency in dry direct-seeding rice culture

In dry direct seeding rice culture, basal nitrogen fertilizer(BNF) applied with urea just before sowing was recovered 2.5% to 5.5% by rice plant. Basal nitrogen was lost mostly during dry paddy period due to leaching and denitrification. Tillering nitrogen fertilizer(TNF) top-dressed at 4 leaf stage was recovered 40% to 55%. Panicle nitrogen fertilizer(PNF) was recovered 50% to 70%. Nitrogen use efficiency evaluated by plant recovery was lowest in BNF, followed by TNF and PNF. Based on the results, the split application method of BNF:TNF:PNF=0-70-30% and BNF-TNF1(4-LeafStage)-TNF2 (6-LS)-PNF=0-40-30-30% were proposed and proved to be higher in nitrogen use efficiency and grain yield.

Due to higher leaching loss, dry direct seeding rice culture have applied more fertilizer by 10~50% than transplanting rice culture. With application of 12~15kg/10a corresponding to the amount of N fertilizer in transplanting rice culture, grain yield comparable to the conventional N fertilizer application in dry direct seeding rice culture could be achieved by substituting the conventional N spilt method with the proposed methods.

Furthermore, additional improvement of nitrogen use efficiency and labor-saving could be achieved by changing the timing of N topdressing in relation to permanent flooding at 4-leaf stage. Conventionally, nitrogen fertilizer for tillering has been top-dressed after permanent irrigation at 4-leaf stage. However, it was found that N topdressing just prior to permanent flooding was more effective in decreasing N loss and thereby

improving grain yield than the conventional N topdressing after permanent flooding.

LCU(latex coated urea, N 41-43%) applied as BNF(sowing) and TNF(4-LS) was compared with urea in relation to nitrogen recovery and grain yield in dry direct seeding rice culture for two years. Plant recoveries of N applied as TNF and LCU were very different between experimental years. Thus, it could not be discernable whether LCU is effective in preventing N loss and improving grain yield as compared to urea spilt application. In this respect, further experiments are needed for practical use of slow releasing fertilizer in dry direct seeding rice culture. DCD(dicyandiamide), a nitrification inhibitor added to BNF and TNF of urea decreased N loss by 7-8% and slightly enhanced grain yield.

CONTENTS

Summary in English	21
General Introduction	36
Subtitle 1. Establishment of selection criteria and breeding varieties for high physiological nitrogen-use efficiency in rice	46
Ch.1. Introduction	46
Ch.2. Selection of high nitrogen-use efficiency germplasms in rice	49
Sec.1 Introduction	49
Sec.2. Physiological nitrogen-use efficiency (PNUE) of rice germplasms	49
Sec.3. Variation of physiological nitrogen-use efficiency by application doses of N-fertilizer	59
Sec.4. Summary	64
Ch.3. Genetic analysis of agronomic characters related to grain yield under N-fertilized and N-unfertilized conditions	65
Sec.1 Introduction	65
Sec.2. Genetic analysis of grain-yield and its associated characters in a diallel-cross set	67
Sec.3. Relationship between heterosis for yield-associated characters and genetic distance among parents	90
Sec.4. Detection of QTLs for yield-associated characters	97
Sec.4. Summary	101
Ch.4. Genetic segregation of PNUE and its associated characters, interrelationship among characters and response to selection	103
Sec.1 Introduction	103
Sec.2. Genetic segregation of PNUE and its associated characters, and their interrelationship	103
Sec.3. Response to selection of grain yield and PNUE in early hybrid generations	112
Sec.4. Summary	120

Ch.5. Breeding lines of high P NUE	121
Sec.1. Introduction	121
Sec.2. Agronomic characteristics of breeding lines	121
Sec.4. Summary	126
References	126
Subtitle 2. Establishment of N-fertilization method for improving	
nitrogen-use efficiency in wet direct-seeding rice culture	132
Ch.1. Introduction	132
Ch.2. Decomposition, N release and rice uptake of released N of	
organic materials in transplanted paddy rice	133
Sec.1. Materials and methods	133
Sec.2. Results and discussion	136
Ch.3. Effects of organic material incorporation on fates of inorganic	
fertilizer N in transplanted paddy rice	151
Sec.1. Materials and methods	151
Sec.2. Results and discussion	153
Ch.4. Development of N fertilization method for improving nitrogen	
use efficiency in direct-seeding rice in wet paddy	160
Sec.1. Materials and methods	160
Sec.2. Results and discussion	163
Ch.5. Comparative effects of N fertilizers on nitrogen use efficiency	
and yield in direct-seeding rice in wet paddy	177
Sec.1. Materials and methods	177
Sec.2. Results and discussion	178
Ch.6. Effects of organic material application on rice yield at	
experimental and farmer's fields	183
Sec.1. Materials and methods	183
Sec.2. Results and discussion	186

Ch.7. Summary and conclusions	194
References	198
Subtitle 3. Establishment of N-fertilization method for improving	
nitrogen-use efficiency in dry direct-seeding rice culture	204
Ch.1. Introduction	204
Ch.2. Nitrogen recovery as affected by application method in dry	
direct seeding rice culture	204
Sec.1. Introduction	204
Sec.2. Differences in Nitrogen recovery between transplanting and dry	
direct seeding rice culture	206
Sec.3. Recovery of N applied at different growth stages	210
Sec.4. Summary	238
Ch.3. Nitrogen use efficiency as affected by split method and timing in	
dry direct seeding rice culture	239
Sec.1. Introduction	239
Sec.2. Nitrogen recovery in different split methods	241
Sec.3. Nitrogen recovery in different amounts and spilt methods of N	
fertilizer	261
Sec.4. Effects of nitrogen top-dressing timing around permanent flooding	
on growth and yield	266
Sec.5. Summary	273
Ch.4. Nitrogen recovery as affected by N fertilizer form and	
DCD(nitrification inhibitor)	275
Sec.1. Introduction	275
Sec.2. Comparison of N recovery between LCU and urea	276
Sec.3. Effect of DCD(dicyandiamide) on nitrogen recovery	289
Sec.4. Summary	301
References	302

목 차

제출문	1
요약문	2
영문요약문	21
영문목차	30
목차	33
본문	36
종합서설	36
제1세부과제 : 질소 이용효율이 높은 벼 품종육성 및 선발	
지표 확립	46
제1장 서설	46
제2장 질소 이용효율이 높은 품종형 탐색	49
제1절 서설	49
제2절 주요 유전자원 품종들의 질소이용효율	49
제3절 질소시비수준에 따른 질소이용효율의 품종간 변이	59
제4절 적요	64
제3장 질소 보비 및 무시용 조건에서 생산성 관련 형질의 유전분석	65
제1절 서설	65
제2절 이면교배 F1 에서의 수량관련 형질의 유전분석	67
제3절 질소 무시용 재배조건에서 수량관련형질의 잡종강세와 교배친의 유전적 거리와의 관계	90
제4절 수량관련형질의 유전자좌 분석	97
제5절 적요	101
제4장 질소이용효율 및 관련 형질의 유전분리, 형질간 상호 관련성 및 선발효과	103

제1절 서설	103
제2절 생리적 질소이용효율 및 관련형질의 유전분리와 상호관련성.....	103
제3절 초기세대에서의 생리적 질소이용효율 및 수량에 대한 선발 효과	112
제4절 적요	120
제5장 질소 이용효율이 높은 품종 육성	121
제1절 서설	121
제2절 육성계통의 농업적 특성	121
제3절 적요	126
참고문헌	126
제2세부과제 : 담수조건에서 질소동태와 질소 이용을 향상을 위한 시비법 확립	132
제1장 서설	132
제2장 논에서 유기태비료의 분해과정과 질소의 방출 및 작물 이용	133
제1절 재료 및 방법	133
제2절 결과 및 고찰	136
제3장 무기태 및 유기태 질소비료의 상호작용에 관한 연구	151
제1절 재료 및 방법	151
제2절 결과 및 고찰	153
제4장 담수직파재배에서 질소이용효율 개선을 위한 최적 시비법 도출	160
제1절 재료 및 방법	160
제2절 결과 및 고찰	163
제5장 담수직파재배에서 질소 비종별 질소 흡수 효율성과 비 수량반응	177
제1절 재료 및 방법	177

제2절 결과 및 고찰	178
제6장 무기·유기태 질소비료 시비법 확립 및 실증시험	183
제1절 재료 및 방법	183
제2절 결과 및 고찰	186
제7장 요약 및 결론	194
참고문헌	198
제3세부과제 : 건답조건에서 질소동태와 질소이용을 향상을 위한	
시비법 확립	204
제1장 서설	204
제2장 건답직파재배에서 시비체계에 따른 질소이용효율	204
제1절 서설	204
제2절 건답직파재배와 이앙재배의 질소이용효율 비교	206
제3절 건답직파재배에서 기비, 분얼비 및 수비질소의 이용효율	210
제4절 적요	238
제3장 건답직파재배에서 분시방법 및 시비시기에 따른 질소	
이용효율	239
제1절 서설	239
제2절 질소분시방법에 따른 질소이용효율	241
제3절 시비량 및 분시에 따른 질소이용효율	261
제4절 담수직전 분얼비시비시기에 따른 질소이용효율	266
제5절 적요	273
제4장 건답직파재배에서 비료제형 및 질산화억제제 처리에 따른	
질소이용효율	275
제1절 서설	275
제2절 비료제형에 따른 질소이용효율	276
제3절 질산화억제제 처리시 질소이용효율	289
제4절 적요	301
참고문헌	302

종합서설

1. 연구개발의 필요성

가. 연구개발의 필요성

1) 기술적 측면

질소의 시비는 작물의 생육에 꼭 필요한 부분이지만 최근에는 대기, 수질 및 토양을 오염시키는 원인중 하나로서 문제시되고 있다. 질소가 환경에 미치는 영향은 수질의 측면에서 질산태질소와 암모니아태질소에 의한 지하수와 지표수의 오염 및 NO₂(Nitrous oxide) 등과 같은 질소 화합물들에 의한 산성비, 광화학적 스모그 및 오존(O₃)층의 파괴와 같은 문제가 발생하고 있다. 특히 우리나라의 작물재배시 화학비료 사용량은 세계최고수준이어서 (한국: 424kg/ha ('93), 일본: 413kg/ha('91), 미국: 84.5kg/ha('88), 태국: 38.6kg/ha('88)) 화학비료의 과용으로 인한 수질오염과 토질악화 경감대책이 시급한 실정이다. 재배방식 또한 질소질비료의 이용 효율성이 낮은 직파재배체계로 전환되고 있어서 환경오염 부하가 급속히 증대될 우려가 있다. 따라서 시비된 질소 동태의 정확한 파악이 시급하며 또 환경부하를 경감하고 동시에 생산성을 유지 향상시키기 위하여는 질소의 이용 효율을 제고하기 위한 시비체계가 개발되어야 한다.

지금까지 우리나라 벼품종의 육성이 다비조건에서 증수되는 내비성품종 위주로 진행되어 온 결과 다비를 전제로한 생산기술이 발전되어 질소질 비료의 과다 사용이 조장되어 왔는데(논벼생산시 질소비료 투입: '85년 148kg/ha, '94년 160kg/ha), 급후 환경친화적 저투입 지속농업을 추구하면서 동시에 생산성을 향상시키기 위해서는 비료이용효율 극대화 품종으로 육종전략을 수정하여야 할 것이다. 질소질비료의 시용 절감으로 환경을 보전하고 동시에 증수효과를 달성하기 위해서는 각 재배체계에서 합리적 시비를 통해 질소 이용효율을 극대화하고 그에 적응하는 품종을 육성하는 것이 필수적이다.

2) 경제, 산업적 측면

최근 전세계 식량재고가 사상 최저수준을 기록하면서 곡물가격이 폭등하고 있어 식량안보에 대한 경각심이 높아지고 있으며 최소한 국민의 기초식량인 쌀 만이라도 자급을 달성 유지키 위해 노력해야 하는 시점이다. WTO 체제 출범에 따라 쌀의 국제경쟁력 강화는 우리나라 쌀농사의 지상과제인데 질소비료사용('93년 성분량으로 477천톤)의 절감을 통하여 생산비를 줄이고 또한 쌀의 품질을 향상시키는 것은 경쟁력 강화 측면에서도 바람직하다.

3) 사회·문화적 측면

국내외적으로 그 동안의 작물생산에서 화학비료 및 농약의 과용으로 자연 생태계와 인간의 생활환경 및 농업생산환경이 파괴되어 온 바, 작물생산은 환경친화적인 저투입 지속농업 체계로 전환되어야 한다. 또 벼농사의 환경에 대한 역기능을 줄이고 공익적 기능을 확대시켜 전통적인 도작문화를 발전적으로 계승함으로써 벼농사에 대한 국민의 지지기반을 확대하여야 할 것이다.

나. 국내외 관련기술의 현황과 문제점

1) 국내

벼의 재배면적의 급격한 감소('90:1,244 천ha -->'95:1,056 천ha)와 생력을 위한 조방적 재배법의 급속한 전파로 인하여 쌀의 생산량이 떨어져 자급율이 급격히 저하되고 있어서('90:108% -->'94:88%) 쌀의 생산기반지지 필요가 절실하다. 논은 벼재배를 통한 쌀생산 기능 이외에 홍수조절, 토양유실 방지, 지하수의 유지, 공기정화 등 여러 공익적 기능을 가지고 있는 반면 관개수와 질소시비를 통하여 논에 공급되는 질소의 약 30% 정도는 지표로 유출되거나 지하로 침투되어 그중 일부가 지하수의 오염의 원인이 되고 있어서 문제이다. 특히 토성별로 질소비료의 최적사용량이 다름에도 불구하고 획일적인 시비에 의한 벼재배로 지하수오염과 동시에 질소비료가 비효율적으로 이용되고 있으며, 이는 작

물재배시 사용되는 질소비료 총소요량의 약 50%가 도작에 소요되고 있음을 감안하면 시급히 재검토되어야 할 문제이다. 재배방식 또한 질소질비료의 이용 효율성이 낮은 직파재배체계로 전환되고 있어서 (직파재배시 이앙재배보다 질소비료를 2~3kg/10a 더 많이 사용) 환경오염 부하가 급속히 증대될 우려가 있다. 지금까지 논토양의 질소동태에 관한 연구와 논에 시비한 질소의 환경오염 부하에 대한 연구가 매우 미흡한 실정이다. 또한 지금까지 논에서 질소 시비 체계는 다수확을 위한 질소 시비량 및 분시방법에 근거하여 이루어져 왔으며, 질소 이용 효율성, 다수성 및 환경오염부하를 동시에 고려한 질소 시비체계의 연구는 전무한 실정이다.

최근 초다수성벼의 증수효과를 통하여 생산량 증대를 도모코자 시도하고 있는데, 이는 과거 통일형품종을 개량한 것으로서 다비조건에서 증수효과가 두드러져 고생산성을 실현키 위해서는 다비재배가 필수적이며, 따라서 질소시비에 의한 수질오염 문제가 더 심각하게 제기될 가능성이 있다. 벼품종의 질소 요구도와 이용효율은 자포니카벼와 통일형(인디카형)벼 간에는 차이가 크며 동일품종형내 품종간에도 차이가 있는데, 그 경향은 토성에 따라서도 변화되는 것으로 알려져 있다. 지금까지의 질소시비와 관련된 벼 육종은 증산의 필요와 더불어 다비조건에서 증수되는 즉 내비성품종을 육성하는데 주력하여 왔으며, 질소이용 효율을 극대화하기 위한 측면에서의 품종육성연구는 없는 실정이다.

세계적인 추세로 환경친화적인 저투입 지속성농업을 모색코자 다각도로 검토되고 있는 현실에서 작물재배시 질소 과잉투여에 대한 우려는 있으나 현실적인 대안이 없는 실정인 우리나라에서 가장 중요한 도작에서의 질소이용을 극대화하기 위한 재배생리적·품종적 연구는 선행과제이다.

2) 국외

일본의 경우 벼재배시 질소비료의 시용량은 다소 줄어들고 있는 추세인데 철저한 토양조사를 통한 합리적인 시비방법을 작부체계, 토질 및 토성, 생산물

의 품질, 경영측면 등을 고려하여 종합적으로 검토하고자 시도하고 있다. 미국의 경우 지속성농업 추진의 일환으로 토양의 비옥도를 유지·개량하고 또한 수질오염을 경감하기 위하여 화학비료의 사용을 적극 감소시키고 있으며 정확한 토양진단에 의해 최적 질소시비량을 산출하는 연구가 진행되고 있으며 또한 시비 질소의 용탈, 탈질, 암모니아 휘산 등에 의한 손실과 환경 부하 경감을 위하여, 토양중 시비 질소의 동태 및 예측기술에 대한 연구, 시비 방법, 비료 제형, 탈질 억제제 등의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 독일, 영국, 네델란드 등 서구에서는 질소시비 및 가축분뇨에 의한 심각한 수질오염을 방지하기 위해 법적으로 질소시비량 상한선을 규제하고 있는 실정이며 한편 근권내 존재하는 가급적 질소를 분석하여 목표치 부족분만을 시비하는 토양 진단법인 N_{min} method가 개발되어 수질오염 방지 및 수량성 향상을 위한 시비 적정화에 활용되고 있다.

근래 IRRI를 중심으로 질소이용효율의 품종간 차이에 관한 연구가 진행되고 있는데 기존품종 중 저질소재배에서도 수량감소가 적은 적응형품종들에 대한 예비 선발이 이루어지고 있는 정도이고 적극적으로 질소이용효율이 높은 품종을 육성하는 프로그램은 없는 실정이다.

다. 앞으로 전망

장차 정밀토양검정(토성 및 양분함량 등)을 토대로는 필지별 적정시비량이 결정됨으로써 지금보다는 과잉질소에 의한 수질오염 우려가 다소 적어지겠지만 현재의 재배방식과 품종으로는 지표로 유출되거나 지하로 침투되는 비율이 변하지 않기 때문에 여전히 문제가 될 것이므로 질소비료의 시비법 개선 및 질소이용효율이 높은 품종 요구도는 증대될 것이다. 환경친화적인 농업을 위한 다각도의 현실성있는 방안이 집중 모색될 것이며 그 중 수질 및 토양보전 차원에서 질소비료를 최소로 사용하는 재배법과 그에 적응하는 품종개발이 활발해질

것이다. 저투입 지속성농업을 위해 농업생태계가 현재의 개방형에서 폐쇄형으로 전환되어야 하는데 에너지 절약형 농법이 구체적으로 모색될 것이며 동시에 저투입 조건에서 생산성 향상을 도모하기 위한 품종적 재배적 연구가 가속화될 것이다.

2. 연구개발의 목표 및 내용

가. 연구개발의 최종목표

1) 질소 이용효율이 높은 벼 품종 육성 및 선발지표 확립 : 질소 단위흡수량 당 수량을 많이 낼 수 있는 생리적 질소이용효율이 높은 품종을 육성하고, 그러한 품종을 육성하기 위한 작물학적·육종학적 지표를 탐색한다.

2) 이앙재배, 답수직파, 건답직파 재배체계에서 질소이용효율을 극대화하는 질소비료 시용 체계 확립 : 시비되는 질소의 벼 식물체에 의한 회수율을 최대화하기 위하여 재배양식별로 최적 시비체계를 확립한다.

나. 연구개발의 내용 및 범위

1) 제1세부과제 : 질소 이용효율이 높은 벼 품종육성 및 선발지표 확립

(1) 질소 이용효율이 높은 품종형 탐색

총 질소시비량에 대한 수량의 비율, 즉, 생리적 질소이용효율이 높은 품종은 육성되어 있지 않으며, 질소이용효율이 높은 계통을 선발하기 위한 연구도 제한되어 있는 실정이다. 이 연구는 초형과 기원이 다양한 벼 유전자원의 생리적 질소이용효율을 평가하고, 질소이용효율과 작물학적 특성간의 관계를 구명하며, 질소시비수준에 따른 질소이용효율을 검토함으로써 생리적 질소이용효율이 높은 벼 품종을 육성하기 위한 유전자원을 확보하고, 품종의 생리적질소이용

효율에 관련된 기초 자료를 확보하고자 하였다.

(2) 질소 보비 및 무시용 조건에서 생산성 관련 형질의 유전분석

질소이용효율이 다른 인디카, 통일계, 자포니카 및 NPT(new plant type : 열대 자포니카와 인디카의 교배후대에서 얻은 계통)의 다양한 품종간 교배한 후대들을 사용하여 질소 무시용 재배조건에서 수량관련형질의 유전분석을 수행하였다. 생리적질소이용효율 관련형질의 양적형질유전자좌(QTL) 분석을 통하여 유전적 선발지표를 탐색하고자 하였다. 또한 다양한 품종간에 교배한 F₁을 질소 보비 및 무비 재배조건에 재배하여 건물생산 및 수량관련형질의 잡종강세 양상을 조사하고 RAPD 분석으로 추정된 교배친의 유전적거리와의 관련성을 분석함으로써 잡종강세 예측 가능성을 검토하고자 실시하였다.

(3) 질소이용효율 및 관련 형질의 유전분리, 형질간 상호관련성 및 선발 효과

질소이용효율이 높은 품종을 육성하기 위해서는 질소이용효율과 관련 형질들의 유전에 관한 정보가 아쉽다. 아직껏 생리적 질소이용효율의 유전분리에 관한 보고는 없는 실정이고, 그의 선발효과에 관한 정보도 없다. 이 연구는 생리적 질소이용효율이 다른 품종간에 교배한 잡종 초기세대(F₂-F₄)에서 질소이용효율 및 관련형질의 유전분리와 선발효과를 구명하여 생리적 질소이용효율이 높은 품종 육성을 위한 기초정보를 얻고자 수행하였다.

(4) 질소 이용효율이 높은 품종 육성

질소이용효율과 수량성이 동시에 높은 계통육성을 위하여 다수의 조합 후대의 계통들에 대해 선발과 세대진전을 하였다. 그 중 다산벼/TR22183, 밀양 23호/TR22183, 일품벼/밀양23호, 다산벼/IR SR-2 등의 조합들로부터 선발된 16개의 유망계통들을 2001년에 질소보비구(10kgN/10a)와 소비구(5kgN/10a)에 재배하면서 생산력 검정예비시험을 실시하였다.

2) 제2세부과제 : 담수조건에서 질소동태와 질소 이용을 향상을 위한 시비법 확립

(1) 논에서 유기태비료의 분해과정과 질소의 방출 및 작물 이용

논에서 유기물 공급원으로 이용할 수 있는 유기물 자원 중 벧짚은 수확과 동시에 논으로 환원할 수 있어 가장 쉽게 이용할 수 있는 자원이다. 이러한 이점 때문에 토양 유기물 관리차원에서 벧짚의 토양 환원의 중요성이 대두되고 있으나 이들의 분해특성과 양분 방출에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 헤어리베치(*Vicia villosa* Roth)는 150여 종의 *Vicia*속 중에서 내한성, 내산성, 내습성이 가장 높고, 녹비로 투입시 질소 공급능력이 큰 작물로 알려져 있다. 또한 헤어리베치는 기존 논 녹비작물인 자운영에 비해 질소 공급능력이 크기 때문에 자운영을 대체할 녹비작물로서의 가능성이 검토되고 있다. 본 연구에서는 벧짚과 헤어리베치를 논에 투입했을 시의 분해 양상과 질소 방출 및 방출된 질소의 벧 이용율을 조사하여 이들의 효율적인 이용방안에 대한 기초 자료를 얻고자 하였다.

(2) 무기태 및 유기태 질소비료의 상호작용에 관한연구

토양에 유입된 유기물은 토양 질소 및 시비 질소를 유기화시키고, 유기물 질소가 무기화 되기도 하며, 용탈, 탈질, 휘산, 생물학적 질소 고정 등에 영향하여 토양 환경 내 질소 동태에 영향을 미친다. 본 연구에서는 벧짚과 헤어리베치의 투입이 시비 질소(^{15}N urea)의 벧 흡수율, 토양 잔류량과 토양 환경내 질산태 질소와 인산 용탈에 미치는 영향을 알아보기 위해 포트 실험을 수행하였다.

(3) 담수직파재배에서 질소 이용효율 개선을 위한 최적 시비법 도출

저투입 지속형 재배기술은 종래의 과다한 비료투입량을 최소화하려는 노력이지만 작물수량의 감수가 초래되고 절감정도에 대한 한계가 아직 미흡한 실정이다. 최근 환경친화적이고 경제적으로도 유리하며 시급한 식량증산을 저해

하지 않는 종합적 식물영양 관리체계의 확립이 적극 추진되고 있다. 이 방식은 식물영양에서 균형있는 적정 시비량을 유기물과 화학비료로써 공급하려는 시도이며, 작물생산의 지속성을 확보하는데 중요하게 여겨지고 있다. 본 연구는 기존의 이양재배에 비하여 노력절감효과가 커면서도 수량성도 유지되었던 담수직파재배를 중점적으로 실시하여 5엽기추비중점시비방식을 통한 시비량 절감 시험, 질소유실억제제를 통한 질소이용효율 증대 시험을 통하여 환경친화적 벼 재배기술을 확립하고자 실시되었다

(4) 담수직파재배에서 질소 비종별 질소 흡수 효율성과 벼 수량 반응

본 연구는 담수직파재배시 속효성 질소비료의 손실을 줄이면서도 작물에 의한 이요효율을 높이기 위한 방법으로 연구되고 있는 완효성 비료와 요소와 함께 요소가수분해억제제로서 NBPT 또는 질산화억제제로서 DCD를 처리하였을 때의 시비질소의 손실과 흡수량의 차이에 의한 질소이용효율과 수량성을 비교하였다.

(5) 무기·유기태 질소비료 시비법 확립 및 실증시험

벼짚과 헤어리베치 투입에 의한 시비량 절감 및 수량 안정성에 대해 검토하기 위해 서울대학교 실험포장에서 벼짚과 헤어리베치의 논 투입에 따른 벼의 생육 및 수량 반응을 조사하였다. 다른 한편 다년간의 벼짚 연용과 저투입이 벼의 생육 및 수량에 미치는 영향을 알아보려고 1995년부터 1998년까지 4년간 경기도 수원시 권선구 탑동 소재 농민의 논 4.6a를 실험답으로 실험을 실시하였다.

3) 제3세부과제 : 건답조건에서 질소동태와 질소이용을 향상을 위한

시비법 확립

(1) 건답직파재배에서 시비체계에 따른 질소이용효율

건답직파재배는 최근 생력화재배의 일환으로 1990년대 이후에 들어서야

비교적 과학적으로 연구되어져 오고 있다. 건답직파재배는 이앙재배와는 달리 옥묘와 이앙작업이 생략되는 장점과 아울러 많은 문제점을 안고 있으나 그 중에서도 질소이용효율이 낮은 단점이 있다. 따라서 타 재배법보다 질소시비량을 10-50%를 증비하고 있으며, 이로 인해 환경문제를 야기시킨다. 따라서 이 연구는 먼저 이앙재배와 건답직파재배간의 질소이용효율을 상호비교하고, 건답직파재배에서 기비·분얼비·수비 질소의 이용효율을 살펴 작물의 질소요구도를 정확히 파악하고자 하였다. 그 결과로 적절한 시비체계를 세움으로써 질소이용효율을 높이고 이로 인해 경제적인 이득과 아울러 환경부하를 경감시키고자 하였다.

(2) 건답직파재배에서 분시방법 및 시비시기에 따른 질소이용효율

건답직파재배에서 기존의 시비체계는 기비:분얼비:수비=40-30-30의 분시체계이다. 그러나 건답직파재배에서 기비의 이용효율을 5%안팎으로 매우 낮고, 또한 분얼비를 시비하는 4엽기에도 흡비력은 낮은 상태이다. 따라서 추비질소의 이용효율을 높이고자 다양한 시비량 조건에서 추비시기와 추비회수를 4엽기 1회 시비에서 4엽기와 6엽기 등의 2회 시비로 달리하여 식물체 질소이용효율과 토양내 질소동태를 파악하였다. 더욱이 건답직파재배에서는 관개수의 지하침투량이 많기 때문에 추비시용시 용탈이 심하게 일어날 수 밖에 없다. 따라서 담수전에 분얼비를 시비한 것과 담수직전 및 직후 및 완전담수후에 분얼비를 시비했을 때의 식물체 질소이용효율과 토양내 질소동태를 정략적으로 파악하였다.

(3) 건답직파재배에서 비료제형 및 질산화억제제 처리에 따른 질소이용효율

현재 대부분의 질소질비료원은 요소가 쓰이고 있으나 요소는 방습이 필요한 단점과 토양교질에 강하게 흡착되지 않아 용탈이나 휘산 등이 발생하기 쉬운 단점이 있다. 건답직파재배에서 작업에 용이하고 비료를 절약할 뿐만 아니라 노동력을 줄이며 작물의 질소요구도에 맞게 질소를 공급하기 위해서 다양한 완

효성비료가 검토되어져 왔다. 따라서 완효성비료인 LCU를 전량기비와 전량분얼 비로 시용하고 시비시기도 달리하여 질소이용효율을 비교 검토하였다. 또한 시용된 요소의 이용효율을 높이고자 암모니아태질소가 질산태질소로 산화되는 과정을 억제하는 것으로 알려져 있는 DCD(dicyandiamide)를 요소의 기비처리와 추비시용시 혼합처리하여 질소의 이용 및 손실정도를 살펴보았다.

제1세부과제

질소 이용효율이 높은 벼 품종육성 및 선발 지표 확립

제1장 서설

농업이 갖는 환경보전의 기능이 지대하면서도 수량증대와 병해충 및 잡초방제 등의 목적으로 화학비료, 살충제 및 제초제 등 화학농약을 과다 사용한 결과 대기 및 수질오염, 토양의 황폐화가 초래되고, 식품안전성이 위협받는 등의 부작용이 초래되고 있다. 이를 극복할 방안으로 수량감소를 최소화하면서 환경을 보전하는 원래의 기능을 회복시키고, 장기적인 작물생산이 가능하며 노동력절감의 의미를 가지고 있는 저투입지속농업(Low Input Sustainable Agriculture : LISA)을 기본으로 하는 환경친화형농업으로 전환 및 이에 적응하는 저 투입 적응성 품종개발이 최근 중요하게 다루어지고 있다.

벼 생산에 있어서 질소는 가장 중요한 영양원이다. 지금까지의 벼 생산은 질소 투입량의 증가로 획기적인 수량증대를 이루었고, 품종개량도 단간, 내도복 및 내비성위주로 개량되어 왔다. 그러나 토양에 과다사용된 질소비료성분 중 일부(30-40%)만이 벼에 흡수 이용되고, 이용되지 못한 대부분의 질소성분은 빗물과 함께 유실되거나 용탈, 침식, 유출되어 토양, 하천 및 대기를 오염시키고 있어 농토환경이 악화되고 있다(Chamura 등, 1972 : 윤와 유, 1993). 또한 현재 전체 수도생산 비용중 질소비료가 차지하는 비중이 가장 커 (Prasad and Datta, 1979), 질소비료 투입량이 증가함에 따라 벼 생산비용도 따라 증가하여 수도생산 경제적 수익성도 악화되고 있다. 따라서 수도생산에서 질소비료 사용량을 어느 정도 절감하여도 수량이 감소되지 않으며, 토양, 대기 및 수질오염을 경감

시킬 수 있고 생산비를 절감할 수 있는 질소 저 투입 적응성품종(환경친화형품종) 개발연구가 최근 중요시하게 대두되고 있다.

수도의 관행 재배조건에서의 질소회수율에 관한 유전 및 육종학적 연구는 (장 등, 1978 ; Li 등, 1975 ; 곽 등, 1986) 이루어졌지만 생리적 질소이용효율이 높은 저 투입적응성 품종육성을 위한 정보는 현재 매우 빈약하다. Wu 등(1995), Reddy and Patrick (1977)은 수도의 품종군간 질소에 대한 이용효율은 현저한 차이가 있다고 보고하였다. Gotoh & Osanai (1957)도 벼에서 수량의 유전력은 소비조건에서 가장 높았으며, 소비조건에서 다수성계통의 출현이 많았고, 이것들은 여러 시비조건에 잘 적응하였다고 보고하였으며. 양 등 (1980)은 벼에서 다비 및 밀식재배에서 수량과 수확지수와의 상관관계가 감소하는 경향이 나타났다고 보고한 바 있다. 이렇듯 재배환경에 따라 형질의 유전양상과 선발효과가 다르게 나타나므로, 질소이용효율이 높은 저 투입 적응성품종을 효율적으로 선발하기 위하여 이에 대한 유전분석과 선발효과를 평가하는 것은 선결과제가 될 것이다.

본 연구는 다음과 같은 단계로 추진되었다.

1. 초형과 기원이 다양한 32개 품종의 생리적 질소이용효율을 평가하고, 질소이용효율과 작물학적 특성간의 관계를 구명하며, 질소시비수준에 따른 질소이용효율을 검토함으로써 생리적 질소이용효율이 높은 유전자원을 선발하고 그 작물학적 특성을 분석하고자 수행하였다.

2. 생리적 질소이용효율이 다른 인디카, 통일계, 자포니카 및 NPT(new plant type : 열대 자포니카와 인디카의 교배후대에서 얻은 계통) 간에 교배한 잡종 후대를 대상으로 질소 저투입 적응성품종육성에 있어서 관련형질의 유전양상을 분석하였다. 질소 무비 및 보비 재배조건에서 생육기의 건물생산 및 수량관련형질의 유전성과 이들 형질간의 상호관련성 및 잡종강세정도와 유전적거리와의 관

계를 검정 비교하였고, 수량성 및 질소이용효율 관련 양적형질유전자좌를 찾고자 하였다.

3. 초기세대에서 평가된 조합능력이나, 유전분산성분, 상관 및 유전력이 후기계통선발에 이르기까지 얼마나 얼마만큼 효율적으로 이용할 수 있으며, 후대계통선발 과정에서 무질소 재배조건과 관행 재배조건에서의 품종선발과 유전에 어떤 차이점이 있는가를 파악하고, 초기 세대에서 수량 및 질소이용효율에 대한 직접선발효과와 간접선발효과가 질소 시비수준에 따라 어떻게 변동하는가를 알아보하고자 F_1 - F_4 세대 이르기까지 비교 실험을 수행하였다.

4. 생리적 질소이용효율과 수량을 토대로 육성한 고세대계통들의 특성을 질소 저비와 보비 수준에서 재배하여 평가하였다.

제2장 질소이용효율이 높은 품종형 탐색

제1절 서설

벼 재배시 일반적으로 질소를 과다 시용하게 되면, 기상 및 토양 조건, 재배방법의 차이에 따라 대부분 품종에서 간장과 기부절간 신장을 촉진하고 줄기부의 좌절저항력을 감소시킬 뿐만 아니라, 엽신, 엽장 등의 성장량을 증가시키기 때문에 도복이 증가하여 결과적으로 수량의 감소를 초래하게 된다. 반면, 질소의 결핍은 줄기의 발육이 나빠지고, 분얼수가 감소되어 뿌리신장이 나빠지게 되어 결국 수확량이 감소하는 결과를 가져오게 된다. 즉, 적정 질소시용이 이루어져야 비로소 벼의 수량 증대를 꾀할 수 있게 된다.

관행적인 질소비료의 과다시용은 토양의 산성화와 지하수의 오염을 유발함으로써 토양환경오염의 주요한 원인으로 인식되고 있다. 최근 지속가능 농업에 부합하여 환경오염을 최소화하면서 수량 감소가 심하지 않은 품종의 육성이 절실하게 요구되고 있다. 그러나, 총 질소시비량에 대한 수량의 비율, 즉, 생리적 질소이용효율이 높은 품종은 육성되어 있지 않으며, 질소이용효율이 높은 계통을 선발하기 위한 연구도 제한되어 있는 실정이다.

본 연구는 초형이 다양한 32개 품종의 생리적 질소이용효율을 평가하고, 질소이용효율과 작물학적 특성간의 관계를 구명하며, 질소시비수준에 따른 질소이용효율을 검토함으로써 생리적 질소이용효율이 높은 벼 품종을 육성하기 위한 기초 자료를 확보하고자 수행되었다.

제2절 주요 유전자원 품종들의 질소이용효율

1. 재료 및 방법

본 실험은 서울대학교 농업생명과학대학 식물육종실험실 및 부속농장 실험포장에서 수행되었다. (표 1-1)에서 보는 바와 같이 1997년에 공시한 32품종들을 각각 무비구(질소시비량 0 kgN/10a)와 보비구(10kgN/10a)의 두 처리로 나누어 재배하였고, 이중 질소이용효율이 높은 품종 2개, 낮은 품종 2개를 각각 선발하여 1998년에 무비구(0N), 반비구(6N), 표준비구(12N), 1.5배비구(18N), 2배비구(24N), 2.5배비구(30N)의 6개 처리구에서 재배하였다. 공시재료의 파종시기는 1997년 4월 26일, 1998년 4월 25일이었고, 이앙시기는 1997년 6월 1일, 1998년 5월 30일이었다. 재식밀도는 30×15cm이었고, 재식본수는 1주 1본식이었다. 시비량과 방법이외의 기타 재배관리는 부속농장 관행법에 준하였다.

조사항목으로 크게 농업적 형질과 식물체질소함량의 두 부분으로 나눌 수 있는데, 농업적 형질은 간장, 수장, 수수, 수당, 영화수, 임실율, 천립중, 정조수량, 수확지수 등이었고, 식물체질소함량은 짙질소함량, 이삭질소함량으로 나누어 측정하였다. 생리적 질소이용효율을 구하기 위하여 정조수량을 전식물체 질소흡수량으로 나누어 단위흡수질소량당 정조수량으로 계산하였다. 또, 질소이용효율과 작물학적 특성의 연관 정도를 알기 위하여, 시비량의 차이에 따른 각 조사항목의 변이와 각 형질간의 상관, 품종형에 따른 짙 및 이삭의 질소함량 차이를 계산하였다. 또, 각 수량구성요소의 수량에 대한 기여도, 각 수량구성요소의 질소이용효율에 대한 기여도를 경도계수분석의 방법으로 질소시비수준간, 품종간, 상호작용간 유의성검정을 수행하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 질소이용효율과 농업형질의 품종간 변이

보비재배(10kgN/10a)에서 공시품종들간의 작물학적 특성(표 1-2)을 살펴보면, 간장(66.0~148.3cm), 수장(18.4~30.7cm), 임실율(68.2%~91.4%), 수당립수(72.2~257.8), 1000립중(17.9~33.6g), 수확지수(0.28~0.56), 주당 수수(7.1~22.2), 짚건물중(370~1029kg/10a), 이삭건물중(240~940kg/10a) 등에서 공시품종들간에 다양한 변이를 보였다. 또한, 짚질소함량(2.9~7.1kg/10a), 총절대질소함량(8.1~15.3kg/10a)에서도 다양한 변이를 보였는데, 다산벼와 Guichow에서 각각 14.1kg/10a, 15.3kg/10a로 다른 공시품종들에 비해 총절대질소함량에서 높았으나, 쌀벼와 Yawa에서는 9.4kg/10a, 8.1kg/10a로 낮았다. 생리적 질소이용효율도 24.5~64.4 범위의 다양한 변이를 보였는데, IRRI SR-2와 남천벼는 각각 62.9, 64.4로 매우 높았으나, Bandoja와 쌀벼에서는 각각 24.5, 30.4로 매우 낮았다.

부비재배(0kg/10a)에서의 작물학적 특성들간의 변이(표 1-3)는 임실율이 84.5%~96.9%로 비교적 다양하였고, 보비재배에서의 임실율보다 높게 나타났다. 수당립수(71.3~236.3), 1000립중(16.4~25.3g), 간장(59.2~103.9cm), 수장(17.9~27.5cm), 주당수수(4.2~13.3), 수확지수(0.32~0.58), 건물중(199~484kg/10a), 이삭건물중(206~590kg/10a)도 품종들간에 다양한 변이를 보였다. 이삭건물중에서는 다산벼와 Guichow가 각각 590kg/10a, 581kg/10a로 높게 나타났고, Bandoja와 TR22183은 각각 206kg/10a, 241kg/10a로 낮았다. 또한, 총절대질소흡수량의 품종간 변이는 4.3~9.0kg/10a로 다산벼와 Guichow가 각각 9.0kg/10a, 7.5kg/10a으로 높았고, TR22183와 Yawa가 각각 4.3kg/10a, 4.4kg/10a로 낮았다. 질소이용효율의 품종간 변이는 IRRI SR-1와 Guichow가 각각 84.0, 77.8로 높게 나타났고, Bandoja와 쌀벼가 각각 40.6, 47.6으로 낮게 나타났다. 전체적으로 질소이용효율은 보비구에서보다 높았다. 부비구와 무비구

에서 모두 생리적 질소이용효율이 품종간에 큰 변이가 있는 것을 보면 선발육종에 의해 그 효율이 증진된 품종 육성이 가능할 수 있을 것으로 보인다. 또한 근래 육성된 품종에 비해 재래종들의 생리적 질소이용효율이 대체로 낮은 것을 알 수 있었다.

(그림 1-1)은 질소 보비와 무비 수준에서의 생리적 질소이용효율간 상관을 보여주는 것으로, $r=0.706$ 으로 고도의 상관을 보여 주었다. 즉, 질소 보비와 무비 조건 모두에서 품종의 차이에 따른 생리적 질소이용효율의 차이가 분명하며, 보비 조건에서 질소이용효율이 높은 품종은 대체로 무비 조건에서도 질소이용효율이 높게 나타난 것이다.

(그림 1-2)는 질소 보비와 무비 수준에서 수량과 생리적 질소이용효율간의 상관을 나타낸 그림이다. 위쪽의 그림은 질소 보비 수준의 것으로 $r=0.832$ 로 고도의 상관을 보였다. 아래쪽은 질소 무비 수준의 것으로 $r=0.702$ 로 역시 고도의 상관을 보였다. 이것은 두 질소조건 모두에서 수량이 높은 품종일수록 생리적 질소이용효율이 높음을 의미한다.

(표 1-4)는 1997년도 실험한 공시품종들(표 1-1)을 3가지 품종군(Indica, Japonica, 열대 japonica)으로 구분하고 질소수준별 이삭질소함량평균과 낱질소함량평균을 비교한 결과이다. 보비재배에서의 Indica품종군(6.1mg/g)과 Japonica품종군(7.1mg/g)간에서 낱질소함량에서만 두 품종군간에 유의한 차이를 나타냈으나 보비재배의 이삭질소함량, 무비재배에서의 낱질소함량과 이삭질소함량에서는 유의한 차이가 없었다. 즉 품종형간에 뚜렷한 차이가 없음을 알 수 있었다.

나. 질소이용효율과 작물학적 특성과의 관계

(표 1-5)는 질소수준과 품종별로 조사형질들에 대한 분산분석 결과이다. 모

든 형질들에서 질소수준별로 유의성이 나타났으며, 품종들간에도 유의성이 나타났다. 질소수준과 품종들간의 상호작용에서도 수당 립수를 제외한 모든 조사형질에서 유의성이 있었는데 이는 품종별로 질소반응이 다르다는 것을 의미한다.

(표 1-6)과 (표 1-7)은 1997년 공시품종들의 질소수준별 각 작물학적 특성들간의 상관분석을 한 결과이다. 보비조건(10kg/10a)에서의 작물학적 특성들간의 상관분석한 결과(표 1-6)를 살펴보면, 정조수량은 임실율, 총질소절대흡수량, 수확지수간에는 정의 상관을 보였고, 짙질소함량과는 부의 상관을 보였다. 또한 생리적 질소이용효율은 임실율, 수당 립수, 수확지수, 정조수량간에는 정의 상관을 나타냈지만, 짙질소함량과는 부의 상관을 나타냈다. 무비조건(0kg/10a)에서의 작물학적 특성들간의 상관분석한 결과(표 1-7)를 보면, 정조수량은 수당 립수, 총질소절대흡수량, 수확지수간에는 정의 상관을 보였지만, 간장간에는 부의 상관을 보였다. 또한, 생리적 질소이용효율은 수당 립수, 수확지수, 정조수량간에는 정의 상관을 보였지만, 짙질소함량간에는 부의 상관을 보였다. 두 조건 모두에서 질소이용효율과 수확지수 및 수량과는 유의한 정의 상관을 보여 수확지수가 큰 품종일수록 효율이 높음을 알 수 있었다.

표 1-1. 질소이용효율을 평가하기 위해 공시된 유전자원

Indica	Japonica	Tropical japonica
Dasanbyeo	Seosan 2	IRRI Super Rice-1
Namcheonbyeo	TR 34104	IRRI Super Rice-2
Akenohoshi	TR 22183	M.Sinaguing
Guichow	Stay green	IRAT 104
IR 36	Hwacheongchal	Zenith
IR 57107	Ipumbyeo	M 203
CI 9013	Hapcheon 1	Donado *
Milyang 23	Samanbyeo	Bandoja *
Naengdo *	Monggeunchalnarak *	
Gyeongsan *	Nado *	
Sozado *	Ssalbyeo *	
Samjoje *	Yawa *	

* Land races

표 1-2. 보비구에서 각 품종에 따른 각 농업형질과 질소이용효율의 변이 (10kgN/10a)

Variety	CL	PL	TGW	F	GP	PH	NCS	TN (A)	SW	GW (B)	HI	NUE (B/A)
Dasanbyeo	78.2	25.7	25.4	85.0	207.3	12.5	4.4	14.1	763	865	0.53	61.5
Namcheonbyeo	80.5	22.0	22.7	86.6	144.3	16.0	3.8	12.6	674	813	0.55	64.4
IRRI SR-1	78.6	24.8	25.2	74.7	234.2	9.4	6.2	12.2	753	527	0.41	43.2
IRRI SR-2	80.0	24.9	25.0	82.0	249.5	7.6	3.3	10.5	602	658	0.52	62.9
Akenohoshi	85.6	22.3	22.8	85.4	150.2	12.2	3.7	9.9	659	593	0.47	59.9
Guichow	88.4	22.8	25.6	83.8	186.2	12.8	3.8	15.3	765	940	0.55	61.3
Seosan 2	92.8	23.6	25.6	76.7	257.8	5.5	2.9	9.6	474	541	0.53	56.3
Monggeunchalnarak	112.1	23.1	22.5	86.5	160.7	14.5	4.0	11.6	809	668	0.45	57.8
Nado	108.8	25.4	26.1	80.0	134.5	11.2	4.6	10.8	631	513	0.45	47.4
Naengdo	122.5	24.2	26.3	76.2	132.3	10.7	7.7	13.7	1001	518	0.34	37.8
Ssalbyeo	114.6	22.7	17.9	79.8	122.9	11.3	5.9	9.4	728	285	0.28	30.4
Gyeongsan 1	112.3	23.8	22.4	86.4	72.2	22.2	4.2	13.6	669	671	0.50	49.3
Yawa	84.3	23.6	27.0	76.8	107.7	10.7	3.2	8.1	484	406	0.46	49.9
Donado	133.9	28.9	30.4	79.1	106.2	7.1	5.2	11.7	963	427	0.31	36.6
Bandoja	105.5	22.0	20.7	79.4	118.3	9.6	7.1	9.8	686	240	0.26	24.5
Sozado	131.7	30.7	26.2	88.5	178.5	9.3	3.6	13.6	654	724	0.53	53.3
Samjoje	115.3	30.0	30.6	84.4	101.6	10.2	3.6	12.3	565	582	0.51	47.1
TR 34104	72.2	21.2	26.4	68.2	148.5	11.8	3.2	9.5	370	397	0.51	41.9
TR 22183	66.9	24.8	22.8	75.5	180.0	7.3	3.4	10.9	383	497	0.56	45.6
Stay green	93.0	19.7	22.0	90.5	119.7	14.2	6.1	12.1	832	537	0.39	44.4
Hwacheongchal	94.5	18.4	23.1	88.4	106.7	13.8	6.6	12.7	912	553	0.38	43.5
Ipumbyeo	77.0	22.4	23.0	84.6	130.7	14.2	4.5	12.1	689	667	0.49	55.2
Hapcheon 1	102.1	23.8	22.6	89.5	152.8	11.8	4.2	12.0	716	726	0.50	60.7
Samnambyeo	77.3	23.6	23.6	68.2	120.9	14.1	3.6	11.2	468	525	0.53	46.9
M.Sinagui.	148.3	25.5	33.6	90.5	126.5	9.2	4.4	12.6	1029	609	0.38	48.4
IRAT 104	108.6	24.8	29.2	89.0	125.7	7.6	3.5	10.0	606	549	0.48	54.8
Zenith	130.0	27.6	25.6	91.4	194.6	7.7	3.4	11.7	657	637	0.49	54.4
M 203	82.9	25.0	23.7	75.1	105.2	13.8	4.0	12.7	486	623	0.56	49.1
IR 36	66.0	23.4	22.0	77.2	150.8	18.1	4.6	15.1	680	697	0.51	46.3
IR 57107	107.9	23.7	25.2	81.7	146.3	9.8	4.0	12.0	621	566	0.48	47.3
CI 9013	126.7	25.2	20.9	83.0	151.2	12.2	4.7	13.2	888	736	0.45	55.7
Milyang 23	73.3	26.0	27.5	85.0	142.2	11.8	3.5	12.4	550	607	0.53	48.9
Mean	98.5	24.2	24.8	82.2	148.9	11.6	4.5	11.8	680	590	0.47	49.6
SD	21.7	2.6	3.2	6.1	42.8	3.4	0.2	1.7	164	147	0.08	9.1

* CL: Culm length(cm), PL: Panicle length(cm), TGW: 1000 grains weight(g), F: Fertility(%), GP: No. of grains per panicle, PH: No. of panicles per hill, NCS: Nitrogen content of straw(kgN/10a), TN: Total nitrogen content(kgN/10a), SW: Straw weight(g), GW: Grain weight(g), HI: Harvest Index, NUE: Nitrogen use efficiency

표 1-3. 무비구에서 각 품종에 따른 농업형질과 질소이용효율의 변이
(0kgN/10a)

Variety	CL	PL	TGW	F	GP	PH	NCS	TN (A)	SW	GW (B)	HI	NUE (B/A)
Dasanbyeo	70.4	24.6	23.5	90.9	177.6	9.2	2.1	9.0	453	590	0.57	65.3
Namcheonbyeo	66.0	21.7	20.6	89.7	148.5	9.2	1.5	7.0	391	533	0.58	76.5
IRRI SR-1	70.8	23.5	21.9	85.3	189.8	7.0	0.9	5.3	319	448	0.58	84.0
IRRI SR-2	69.9	23.5	19.8	84.5	236.3	5.0	1.7	5.6	368	398	0.52	71.7
Akenohoshi	70.7	22.5	20.2	89.3	175.1	6.4	1.7	6.6	402	517	0.56	78.9
Guichow	71.9	21.7	21.5	91.5	167.3	8.1	1.7	7.5	419	581	0.58	77.8
Seosan 2	78.0	22.2	21.1	89.5	225.6	5.1	1.4	5.9	307	405	0.56	68.7
Monggeunchalnarak	85.8	21.4	21.2	90.4	154.6	7.7	1.5	5.8	372	384	0.51	65.7
Nado	92.7	22.5	22.6	89.7	143.4	7.9	1.7	5.6	405	365	0.47	65.4
Naengdo	97.9	23.2	24.4	81.0	125.2	6.0	2.6	6.1	484	342	0.41	56.2
Ssalbyeo	97.0	21.9	16.4	90.8	116.2	8.4	2.1	5.3	441	254	0.37	47.6
Gyeongsan 1	87.3	21.9	20.0	90.9	71.3	13.3	2.1	6.4	411	353	0.45	55.6
Yawa	74.5	20.8	21.6	91.6	73.9	9.0	1.1	4.4	302	288	0.49	66.1
Donado	100.9	23.3	21.7	93.1	89.5	6.8	1.6	5.6	393	288	0.43	51.9
Bandoja	91.8	22.1	18.8	92.4	100.0	6.5	1.9	5.1	440	206	0.32	40.6
Sozado	99.5	25.9	20.0	96.9	150.6	7.0	1.9	5.9	395	358	0.46	61.1
Samjoje	101.1	27.5	21.4	96.9	115.3	7.2	1.8	7.1	356	446	0.56	63.1
TR 34104	68.2	22.1	20.6	90.5	121.0	5.9	1.2	5.0	230	273	0.54	55.2
TR 22183	60.6	21.0	19.9	86.2	140.2	4.9	1.2	4.3	199	241	0.55	55.8
Stay green	77.7	21.9	19.4	94.3	124.4	8.8	2.0	5.6	357	317	0.48	56.2
Hwacheongchal	79.0	17.9	17.7	91.8	98.0	10.0	1.4	5.1	290	322	0.53	63.7
Ilpumbyeo	68.9	20.2	21.0	93.6	112.0	9.0	1.5	5.8	367	398	0.52	69.1
Hapcheon 1	74.6	22.2	18.8	92.2	128.4	6.5	1.7	5.6	364	354	0.49	63.6
Samnambyeo	71.0	22.7	19.2	92.0	117.3	8.0	1.6	5.6	317	354	0.53	63.0
M.Sinagui.	98.9	23.5	22.3	90.4	110.8	6.7	1.4	4.9	448	312	0.42	64.1
IRAT 104	102.0	23.7	25.3	91.6	109.0	5.9	1.3	4.9	421	357	0.47	72.6
Zenith	103.9	25.3	21.3	93.9	155.0	4.2	1.2	4.5	353	337	0.49	75.0
M 203	85.3	24.2	19.5	93.5	125.7	6.3	1.4	5.0	292	353	0.54	70.7
IR 36	59.2	23.0	16.8	88.8	123.9	9.9	1.3	5.9	325	434	0.57	74.0
IR 57107	78.1	23.0	20.4	89.3	136.7	7.1	1.2	5.7	336	375	0.52	65.5
CI 9013	93.1	23.1	19.1	94.3	133.0	6.1	1.5	5.1	350	325	0.48	63.6
Milyang 23	76.6	25.0	20.2	90.0	127.0	6.3	1.9	6.5	408	406	0.49	62.5
Mean	82.0	22.8	20.6	90.8	135.1	7.4	1.6	5.7	366	372	0.50	64.7
SD	13.3	1.7	1.9	3.3	36.8		0.04		63	89		9.2
						1.8		1.0			0.06	

* CL: Culm length(cm), PL: Panicle length(cm), TGW: 1000 grains weight(g), F: Fertility(%), GP: No. of grains per panicle, PH: No. of panicles per hill, NCS: Nitrogen content of straw(kgN/10a), TN: Total nitrogen content(kgN/10a), SW: Straw weight(g), GW: Grain weight(g), HI: Harvest Index, NUE: Nitrogen use efficiency

표 1-4. 품종군(아종) 구분에 따른 질소함량의 차이

Varietal group	No. of cultivars	Nitrogen content (mg/g)			
		10 kg/10a N		0 kg/10a N	
		Straw	Panicle	Straw	Panicle
Indica	12	6.1	12.4	4.3	11.1
Japonica	12	7.1	12.4	4.2	11.1
Trop. japon.	8	6.5	12.7	4.4	11.8
Ind. vs Jap.		*	ns	ns	ns

표 1-5. 질소수준과 품종간 차이에 따른 각 조사형질들의 분산분석과 유의성 검정

S. V.	Culm length	Panicle length	Fertility	No. of grains /panicle	1000 grains weight	Panicle No./hill
Nitrogen(N) ¹⁾	13316***	104.13***	3649.6***	9363.25***	877.23***	104.13***
Variety(V) ²⁾	2271.5***	35.937***	111.73***	11132.6***	41.076***	35.937***
N x V	67.481***	1.056***	47.037**	76.2847**	8.2629***	1.056***

S. V.	NC of Straw	Total N	Straw wt.	Harvest index	Grain yield	PNUE
Nitrogen(N) ¹⁾	236.52***	1819.8***	4789960***	***	2277251***	***
Variety(V) ²⁾	5.5291***	9.3447***	82421.9***	***	87793.1***	***
N x V	2.1831***	2.7569***	19931.2***	***	12989.3***	***

1) Nitrogen fertilizer treatment : 0 and 10 kg/10a

2) Thirty-two varieties

* NC: nitrogen content, PNUE: physiological N use efficiency

표 1-6. 보비구(10kgN/10a)에서 10개의 농업형질에 대한 상관분석

	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)
(A) Culm length	0.45**	0.44*	-0.24	0.33	-0.26	-0.38*	0.08	0.58**	-0.49**	-0.10	-0.19
(B) Panicle length		0.09	0.13	0.55**	-0.41*	-0.34	0.17	-0.04	0.18	0.15	0.09
(C) Grain Fertility			-0.07	0.10	0.08	-0.62**	0.28	0.46**	-0.02	0.44*	0.40*
(D) No. of grains /pani				-0.01	-0.47**	-0.19	-0.00	-0.15	0.33	0.31	0.43*
(E) 1000 grs. wt.					-0.45**	-0.39*	0.03	0.09	0.09	0.05	0.10
(F) No. of pani. /hill						0.01	0.46**	0.09	0.16	0.34	0.10
(G) NC of Straw							-0.32	-0.37*	-0.28	-0.67**	-0.71**
(H) Total N								0.45**	0.24	0.73**	0.24
(I) Straw wt.									-0.61**	0.17	-0.11
(J) Harvest Index										0.65**	0.75**
(K) Grain yield											0.83**
(L) PNUE											

*NC : Nitrogen Content

표 1-7. 무비구(0kgN/10a)에서 10개의 농업형질에 대한 상관분석

	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)
(A) Culm length	0.43*	0.35	-0.30	0.29	-0.20	-0.16	-0.19	0.49**	-0.66**	-0.35*	-0.32
(B) Panicle length		0.21	0.21	0.29	-0.38*	-0.13	0.26	0.27	-0.01	0.21	0.10
(C) Grain Fertility			-0.37*	-0.21	0.16	0.01	0.01	-0.03	-0.09	-0.08	-0.15
(D) No. of grains /pani				0.12	-0.45**	-0.15	0.29	-0.04	0.48**	0.52**	0.53**
(E) 1000 grs. wt.					-0.23	-0.34	0.21	0.33	0.03	0.25	0.21
(F) No. of pani. /hill						0.08	0.36	0.16	0.05	0.22	-0.06
(G) NC of Straw							0.09	-0.23	-0.06	-0.26	-0.58**
(H) Total N								0.47**	0.36*	0.83**	0.19
(I) Straw wt.									-0.51**	0.27	-0.10
(J) Harvest Index										0.68**	0.70**
(K) Grain yield											0.72**
(L) PNUE											

* NC : Nitrogen content, PNUE: physiological N use efficiency

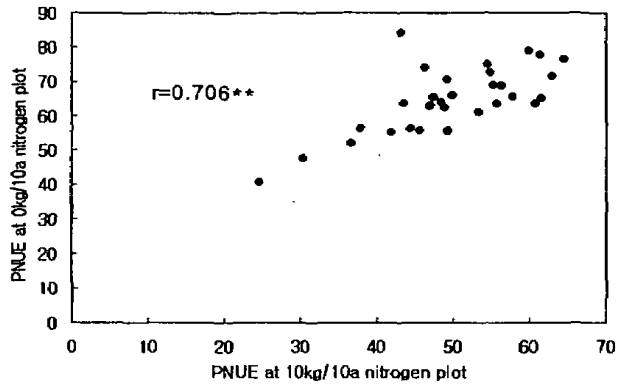


그림 1-1. 질소 보비(10kg/10a)와 무비 수준에서의 생리적 질소 이용효율간 상관 (P NUE: physiological N use efficiency)

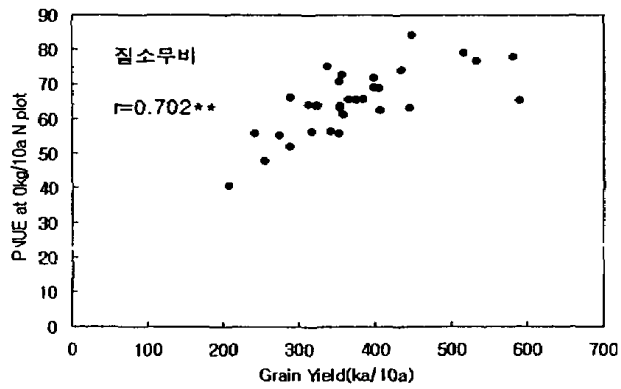
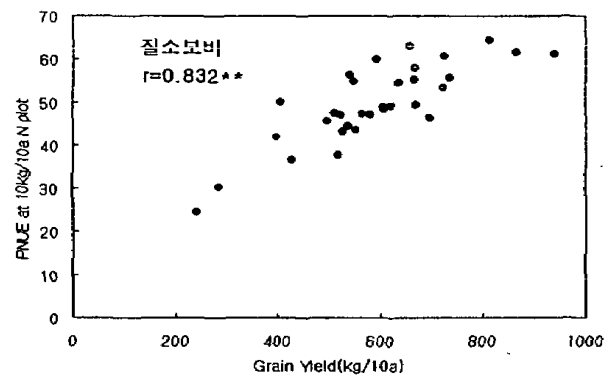


그림 1-2. 질소 보비와 무비 수준에서 수량과 질소이용효율간의 상관

제3절 질소시비수준에 따른 질소이용효율의 품종 간 변이

1. 재료 및 방법

질소시비수준에 따른 질소이용효율의 품종간 변이를 알아보기 위해 1997년 공시품종중 질소이용효율이 높았던 2품종(다산벼, IRRI Super Rice 2)과 질소이용효율이 낮았던 2품종 (Bandoja, 쌀벼)을 대상으로 질소수준을 아래와 같이 6 수준으로 시비하여 실험하였다.

0N구(N-P₂O₅-K₂O=0-0-0kg/10a),

6N구(N-P₂O₅-K₂O=6-4.5-4.5kg/10a),

12N구(N-P₂O₅-K₂O=12-9-9kg/10a),

18N구(N-P₂O₅-K₂O=18-13.5-13.5kg/10a)

24N구(N-P₂O₅-K₂O=24-18-18kg/10a),

30N구(N-P₂O₅-K₂O=30-22.5-22.5 kg/10a)

질소시비량은 기비 50%, 분얼비 25%, 추비로 25%씩 시용하였으며, 인산과 가리의 시용은 전량 기비로 하였다. 조사항목과 계산방법은 전술한 바와 같다.

질소시비량에 따른 식물체 생육상태와 질소비료의 식물체내 전이상태를 알아보기 위해 이양후 15일 간격으로 초장, 분얼수등 생육조사를 실시하였고, 이양 후 30일, 분얼기, 출수기, 수확기때 식물체와 토양을 채집하여 전질소함량을 micro-Kjeldal로 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

(표 1-8)는 조사형질들에 대해 질소시비수준과 품종별로 분산분석한 결과이다. 분얼기때 도체건물중을 제외한 모든 형질에서, 수확기때에는 수장과 입실을

을 제외한 모든 형질에서 유의성이 인정되었다. 즉 대부분의 형질들이 질소시비량에 따라 영향받는 것으로 볼 수 있으며, 품종간에도 물론 차이가 있는 것이다. 반면 질소(N)X품종(V)의 상호작용에서는 분얼기의 모든 형질에서 상호작용에 유의성이 없었는데 이는 초기 영양생장시 품종간 질소반응이 차이가 없음을 보여주는 것이다. 출수기 때에는 주당영화수와 낱질소농도에서 유의성이 있었다. 수확기 때에는 수장, 임실을, 천립중을 제외한 모든 형질에서 상호작용의 차이가 인정되었는데, 이것으로 보아 품종들의 질소반응 차이는 출수기 이후에 현저히 나타나는 것임을 추정할 수 있었다.

(그림 1-3)은 질소시비수준에 따른 질소이용효율의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 품종들은 질소수준이 0N에서 질소이용효율이 가장 높았으며, 질소시비량이 증가됨에 따라 질소이용효율이 점점 감소하는 경향을 나타냈다. 품종별로는 예상대로 IRRI Super Rice 2(평균 38.7)와 다산벼(평균 31.2)가 질소이용효율이 높게 나타났고, Bandoja(평균 23.4)와 쌀벼(평균 23.4)는 낮게 나타났다.

(그림 1-4)는 질소시비수준에 따른 조사형질들의 변이양상을 나타낸 그래프이다. 임실을, 1000립중, 수확지수는 질소이용효율과 같이 질소시비량을 증가시킬수록 감소하는 경향을 나타냈지만, 수장은 큰 변화가 없었고, 다른 조사형질들은 증가하였다. 이것으로 보아 질소이용효율을 높이기 위해서는 효율이 높은 품종을 가급적 수량이 크게 저하하지 않는 범위 내에서 질소 소비 수준에서 재배하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

표 1-8. 질소시비수준과 품종별 차이에 따른 농업형질의 분산분석

S. V.	Dry weight at 30 days after transplanting (g/hill)	Absorbed Total NC at 30days after trans. (gN/hill)	NC of hill at tilling stage (mgN/g)	Dry weight at tilling stage (g/hill)	Absorbed Total NC at tillering stage (gN/hill)
nitrogen(N)	4.8371**	0.00818**	146.781**	1143.4**	0.9824**
Variety(V)	0.4015*	0.00071*	53.6871**	16.6232 ^{NS}	0.0329*
N x V	0.1610 ^{NS}	0.00032 ^{NS}	4.1446 ^{NS}	20.7982 ^{NS}	0.0116 ^{NS}

S. V.	NC of grains at heading stage (mgN/g)	NC of straw at heading stage (mgN/g)	Total dry weight at heading stage (g/hill)	Absorbed Total NC at heading stage (gN/hill)
nitrogen(N)	34.3618**	55.679**	1426.6**	1.7921**
Variety(V)	96.0061**	15.036**	183.64*	0.4259**
N x V	6.81887**	3.6132**	60.765 ^{NS}	0.0735 ^{NS}

S. V.	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Panicle No./hill	No. of grains/ panicle	Ferility (%)	1000grains weight (g)	Total dry weight (g/hill)
nitrogen(N)	705.37**	3.441 ^{NS}	125.3**	3259.4**	98.58 ^{NS}	90.58**	3923.1**
Variety(V)	2620.2**	35.95**	73.61**	33847**	133.4*	342.4**	1387.5**
N x V	46.451**	3.713 ^{NS}	5.954**	1182.7**	62.39 ^{NS}	59.26 ^{NS}	121.72*

S. V.	NUE	Harvest index (%)	NC of straw (mgN/g)	NC of grains (mgN/g)	Total N (gN/hill)	NC of hill at 30 days after transplanting (mgN/g)
nitrogen(N)	423.8**	34.91*	38.54**	18.71**	0.915**	115.47**
Variety(V)	584.4**	752.3**	6.138**	20.09**	0.3016**	23.357**
N x V	70.23**	53.63**	1.771**	2.207**	0.032**	14.726**

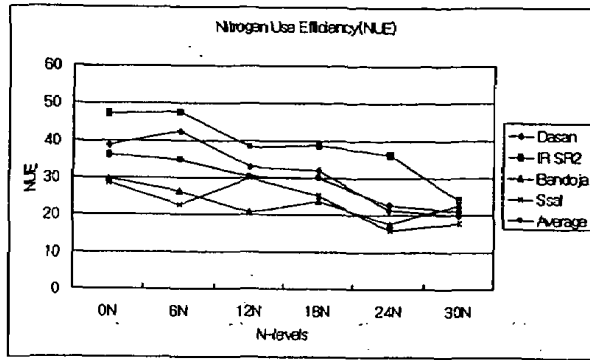
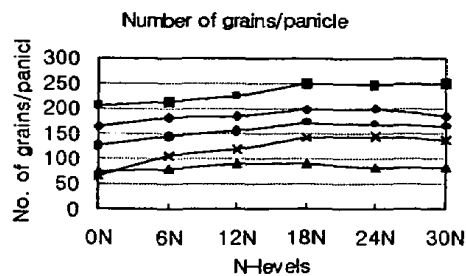
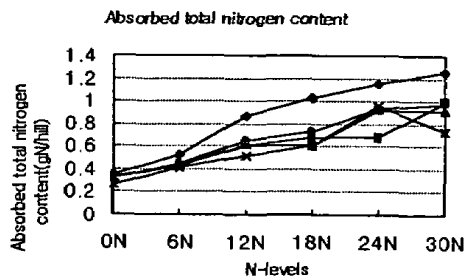
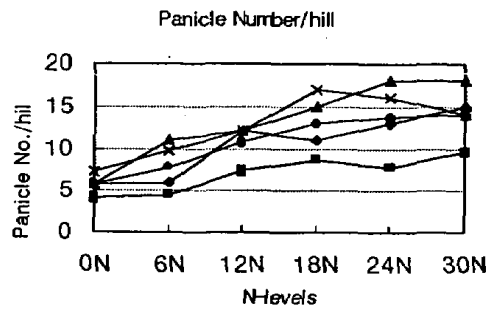
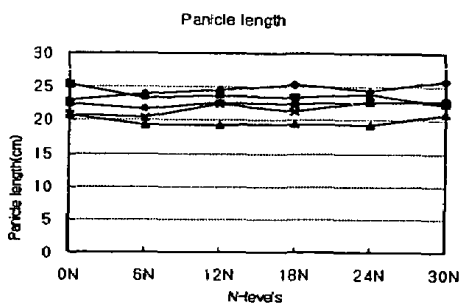
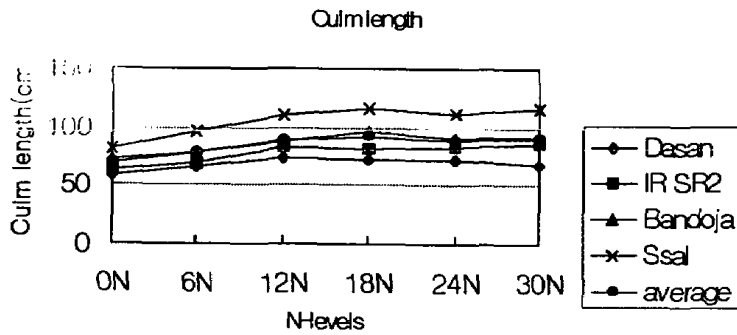
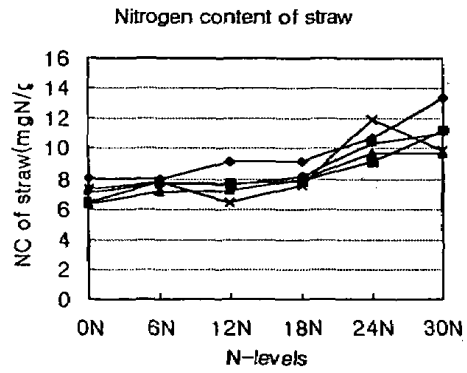
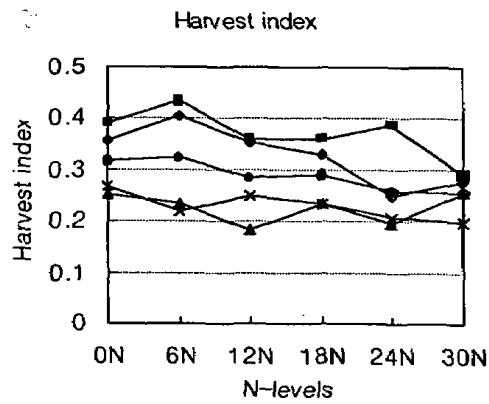
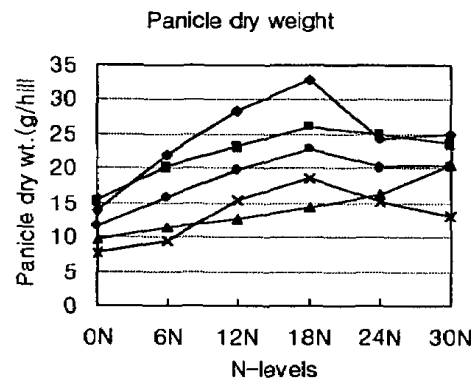
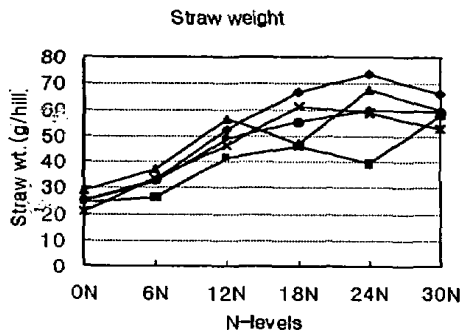
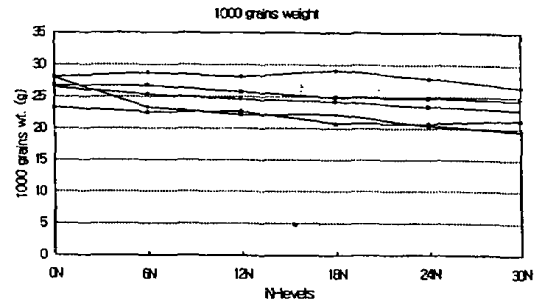
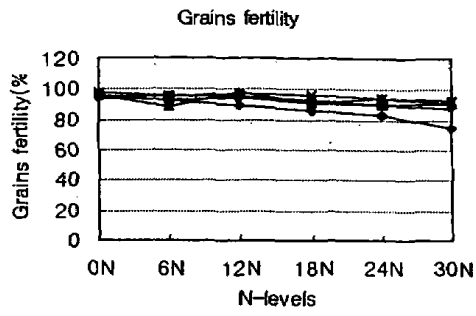


그림 1-3. 각 질소시비수준에 따른 질소이용효율의 변이





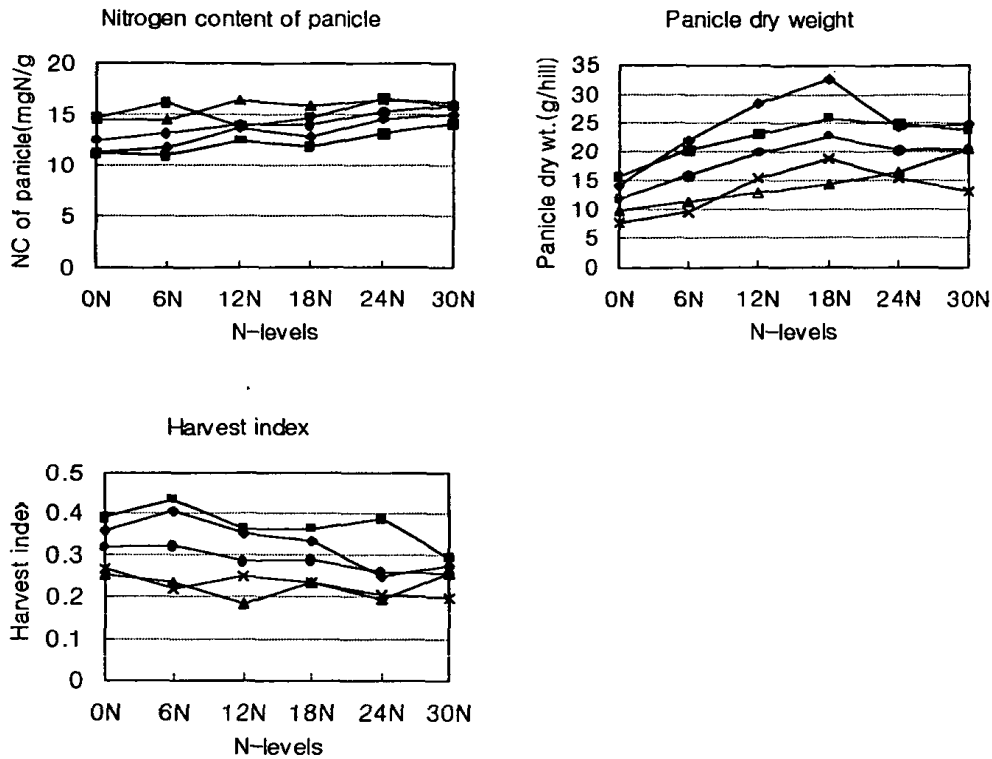


그림 1-4. 질소시비수준에 따른 주요 농업형질의 변이

제4절 적 요

1. 공시품종들의 질소이용효율은 24.5~84.0(정조수량/총절대질소흡수량)범위에 있었고, 질소이용효율이 높았던 품종들은 다산벼, IRRI Super Rice-2등이었으며, 낮았던 품종들은 Bandoja, 쌀벼 등이었다.

2. 질소이용효율은 다수확품종이 재래종에 비하여 더 높게 나타났다. 낱질소 함량은 보비구에서 Japonica 품종이 Indica 품종에 비하여 유의하게 높았으나 이삭질소함량은 품종군간에 차이가 없었다. 그리고 무비구에서는 품종군간에

차이가 없었다.

3. 질소이용효율은 1수립수, 수확지수, 수량과는 유의한 정의 상관을 나타냈으며, 짙질소함량과는 부의 상관을 보였다. 수량과 수량구성요소간에 경로계수는 1수립수와 주당 수수가 수량에 크게 기여하는 것으로 나타났다.

4. 질소이용효율과 그와 관련된 형질들의 경로계수를 구한 결과, 보비에서는 수확지수가 질소이용효율에 가장 크게 기여하는 것으로 나타났고, 무비에서는 이삭건물중이 질소이용효율에 크게 기여하는 것으로 나타났다.

5. 질소시비수준을 6개 처리로 한 실험에서, 시비수준이 높을수록 질소이용효율은 낮아지는 경향을 나타내었다. 질소이용효율이 높은 품종들은 모든 시비수준에서 조사형질중 임실을, 1000립중, 수확지수가 낮은 품종들에 비해 높았다.

제 3장 질소 보비 및 무시용 조건에서 생산성 관련 형질의 유전분석

제1절 서설

벼에서 질소이용효율이 높은 저 투입 적응성 품종육성을 위한 유전 및 육종연구에 관한 정보는 현재 매우 빈약하다. Wu & Tao(1995)은 수도의 품종군간 질소에 대한 이용효율은 현저한 차이가 있다고 보고하였다. Gotoh & Osanai (1959)도 벼에서 수량의 유전력은 소비조건에서 가장 높았으며, 소비조건에서 다수성계통의 출현이 많았고, 이것들은 여러 소비조건에 잘 적응하였다고 보고하였으며. Johnson & Frey (1967)는 귀리에서 인간의 증시에 따라 대체로 수량구성형

질의 유전력이 다소 증가하였고 질소비료의 증시에 따라 감소하는 경향이었다고 보고하였다. 따라서 재배환경에 따라 형질의 유전양상이 다르게 나타나므로, 질소이용효율이 높은 저 투입 적응성품종을 효율적으로 선발하기 위하여 이에 대한 유전정보 파악은 필수적이라고 생각된다.

한편 잡종 F1에서의 조합능력 및 잡종강세 예측은 잡종후대에서 조합의 조기 선발 및 잡종강세육종의 능률화에 매우 중요하다. Lin and Yuan (1980)과 Moll et al. (1962)은 잡종친의 유전적 거리를 이용하여 잡종강세 예측이 가능하다고 하였으며, Ahn et al (1998)은 RAPD 분석에 의한 유전전적거리는 자포니카벼 1 대잡종의 잡종강세 및 수량성의 예측에 지표로 이용할 수 있다고 보고하였다. Saghai-Marooof et al (1997)은 아종간 교잡에서 교배친의 유전적거리와 잡종강세정도는 높은 상관성이 나타났다고 보고하였으며, Xiao et al (1996)은 RAPD 와 SSR 마커를 이용하여 조사한 유전적거리와 F1의 수량성은 근연품종군 내에서는 유의한 상관을 보였지만 품종군 간에서는 상관성이 없었다고 보고한 바 있다. 대부분의 연구에서는 교배친간 유전적 거리가 멀수록 F1에서의 잡종강세가 큰 것으로 보고되고 있지만 재료에 따라 아닌 경우도 있기 때문에 교배친간 유전적거리를 측정하여 잡종강세 예측 지표를 활용하고자 할 때에는 주의가 요망된다. 작물재배시 화학비료 및 농약의 남용으로 인한 환경에의 역기능 때문에 최근 환경친화형 농업이 대두되었는 바 화학비료를 저투입하는 재배조건에서 잡종강세 발현 등에 대한 연구가 아쉽다. 잡종강세정도는 시비수준이나 재식밀도 등 재배 환경에 따라 다르게 나타날 수 있다고 보고되었지만 (Murayama et al 1974, Jennings 1967, Kawano et al 1969) 이에 대한 연구는 미흡하다. 저투입조건에서 잡종강세의 발현이 어느 정도이며 또 교배친의 유전적 거리로써 잡종강세를 예측 가능한지 등이 검토되어야 하겠다.

따라서 본 연구는 질소이용효율이 다른 인디카, 통일계, 자포니카 및 NPT(new plant type : 열대 자포니카와 인디카의 교배후대에서 얻은 계통)의 다

양한 품종을 이용하여 무질소 재배 조건에서 수량관련형질의 유전양상을 파악하고 질소이용효율이 높은 품종육성의 기초 자료로 활용하고자 실시하였다. 생리적질소이용효율 관련형질의 양적형질유전자좌(QTL) 분석을 통하여 유전적 선발지표를 탐색하고자 하였다. 또한 다양한 품종간에 교배한 F₁을 질소 보비 및 무비 재배조건에 재배하여 건물생산 및 수량관련형질의 잡종강세 양상을 조사하고 RAPD 분석으로 추정된 교배친의 유전적거리와의 관련성을 분석함으로써 잡종강세 예측 가능성을 검토하고자 실시하였다.

제2절 이면교배 F₁ 에서의 수량관련 형질의 유전 분석

1. 재료 및 방법

F₁에서 조합능력을 검정보기 위하여 인디카 또는 통일형 품종인 Guichow, 다산벼, 농안벼, 밀양23호 및 CP-SLO, 자포니카품종인 TR22183과 합천1호, NPT(new plant type : 열대 자포니카와 인디카의 교배후대에서 얻은 계통)계통인 IR66167-27-5과 IR66746-76-3 등 9 품종을 교배친으로 사용하여 이들간 36조합의 반이면교배를 실시하였고, 동기에 온실에서 일부조합의 F₂종자를 확보하였다. 수잉기 식물체의 질소농도와 건물중으로 지상부질소보유량(Shoot nitrogen content at booting stage : SNCB)을 산출하였으며, 두 차례의 건물중으로 작물생장을(Crop growth ratio : CGR)을 산출하였다.

$$\text{작물생장률(Crop Growth Rate : CGR)} = (1 / S) \times (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{지상부질소보유량(Soot Nitrogen content at booting stage : SNCB)}$$

$$= (1/S) \times CN \times W \quad (\text{Genshichi 등, 1990})$$

$$(S = \text{토지면적}, t = \text{시간(일)}, W = \text{지상부 건물중}, CN = \text{식물체 전질소농도})$$

조합능력검정은 Griffing (1956)의 Model I Method II 방법에 따라 일반조합능력(GCA)과 특정조합능력(SCA)에 대한 유의성 검정 및 유전효과에 대하여 검정하였다.

반이면교배 F_1 에 대한 각 형질별 유전모수 추정은 Hayman(1954), Jinks(1954) 등의 제시한 방법에 의하여 산출하였고 조합능력 검정은 Griffing(1956)의 Model I Method II 방법에 따라 일반조합능력(GCA)과 특정조합능력(SCA)에 대한 유의성 검정 및 그 효과에 대하여 검정하였으며, 유전적 상위성을 검정하기 위한 $(W_r - V_r)$ 의 분산분석은 Hayman(1954), Mather(1982)의 방법에 따라 반복별 $(W_r - V_r)$ 을 분산 분석을 하였으며, (V_r, W_r) 회기계수의 unit slope($b=1$) 또는 $b=0$ 에 대한 유의성 검정은 Johnson(1963)과 같은 방법으로 회기로부터의 편차의 표준오차에 근거한 t 검정에 의하여 실시하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 조합능력

(1) 조합능력에 대한 분산분석

질소 보비 및 무비 재배 조건에서 교배친에 대한 일반조합능력(general combining ability : GCA)과 F_1 의 특정조합능력(specific combining ability : SCA)에 대한 분산분석 결과를 표 1-9, 1-10에서 제시하였다. 양 조건 별 각 형질별 분산을 비교하여 보면 건물생산 관련 형질에서 최고분얼기의 건물중 및 분얼수, 수잉기의 건물중 및 분얼수, 농업 관련형질에서는 수량, 간장 및 수수형질이 질소 무비구에 비해 보비구에서 GCA와 SCA효과가 모두 크게 나타났으나 수잉기의 질소흡수량과 수당영화수는 질소 보비구에 비해 무비구에서 높게 나타났다. 최고분얼기의 질소함량, 수잉기의 초장, 수장, 임실율은 GCA효과는 질소 무비구에서 SCA분산은 보비구에서 높게 나타났다. 또 양 조건에서의 GCA분

산은 모두 유의성이 인정되었으며, SCA분산은 질소 보비구에서는 수수를 제외한 여타 형질이 유의성이 인정되었으며, 무비구에서는 최고분얼기의 분얼수, 수장, 수수 및 수당영화수를 제외한 여타 형질에서만 유의성이 인정되었다. 조합 능력별로는 건물생산 관련형질의 질소 보비 재배조건에서는 모두 GCA분산이 SCA 분산보다 높은 값을 나타내어 무비구에서도 같은 경향을 나타냈으며, 농업 관련 형질에서도 양 처리구에서 대체로 비슷한 경향이였다. 이와 같은 결과는 건물생산 및 농업 관련 형질 모두가 품종간 상가적 유전자작용에 의한 효과가 비상가적 유전자작용에 의한 효과보다 크게 기여하고 있음을 시사해 주며, 이것은 또 이런 형질은 선발에 의하여 고정 될 수 있다는 것을 시사해 준다. 이러한 결과는 장등(1978), 전등(1984), 전등(1985)이 보고한 수도의 양적 형질에 있어서 GCA값이 SCA값보다 크다는 결과와 일치하였다.

(2) 일반조합능력

각 처리별, 형질별 일반조합능력(GCA) 효과를 검토한바 그 결과는 표 1-11, 1-12와 같다. 9개 품종의 건물생산 관련형질의 평균효과는 질소 보비구에서 무비구에 비해 모두 높게 나타났으며, 농업관련 형질도 대체로 같은 경향을 나타냈다. 형질별로 살펴보면 질소 보비구에서 건물생산 관련형질의 초장, 수잉기의 건물중, 최고분얼기의 엽질소함량, CGR순으로 GCA 평균효과가 컸고, 수잉기의 질소흡수량이 제일 적었다. 농업관련 형질에서는 임실을, 간장, 수당 영화수 및 수량 순으로 평균효과가 컸다. 질소 무비구에서도 보비구와 같이 대체로 같은 경향을 나타냈다. 공시된 교배친 중에서 GCA효과가 큰 품종을 보면 질소 보비구에서 다산벼는 양 발육 시기의 건물중, 분얼수, 수잉기의 질소흡수량에서 GCA효과가 제일 높았으며, 초장은 CP-SLO가 긴 쪽으로, 최고분얼기 엽질소함량은 밀양23호가 높은 쪽으로 큰 효과를 보이고 있었으며, CGR효과는 Guichow가 높은 쪽으로 큰 효과를 보이고 있었다. 농업 관련 형질은 질소 보비구에서 CP-SLO는 간장과 임실을, 농안벼는 수장과 임실을, Guichow는 수수와 수량에서

GCA효과가 正의 방향으로 크게 나타났다. 질소 무비구에서는 Guichow는 건물중과 CGR, IR66167-27-5는 최고분얼기의 엽질소함량, CP-SLO는 초장, 밀양23은 분얼수와 질소흡수량에서 GCA효과가 正의 방향으로 크게 나타났다. 농업형질에서는 합천1호가 간장, TR22183은 수장, 농안벼가 수당영화수와 임실을, 다산벼가 수량 및 수수에서 GCA효과가 가장 크게 나타났다. 질소 수준에 따라 교배친의 GCA효과가 형질별 차이를 나타내고 있지만 그러나 다산벼와 Guichow의 건물중, CGR 및 수량, CP-SLO의 간장, 초장 및 임실을형질이 양조건에서 모두 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 이런 품종은 다양한 질소수준에서 적응범위가 넓다는 것을 시사해주며, 특히 다산벼와 Guichow품종을 교배 모본으로 하였을 때 질소 수준에 관계없이 초기 생육형질이 우수한 후대를 얻을 확율이 높을 것으로 판단되며 질소 저 투입 적응성 품종육성에 있어서 훌륭한 교배친이라고 판단된다. CP-SLO는 광친화성과 장간의 특성을 가지고있기 때문에 품종군간 이면교배에서 임실을, 간장 및 초장에서 질소수준 관계없이 GCA효과가 높은 것으로 나타난 것으로 추정된다.

(3) 특정조합능력

생육기의 건물생산 관련형질에서 수량에 기여도가 크다고 판된 몇 개 형질 즉 건물중, 질소흡수량 및 작물생장과 수량형질에 대하여 특수조합능력 분석을 실시하였다(표 1-13). 질소 보비구에서 건물관련 형질의 SCA효과는 최고 분얼기의 건물중은 농안벼/밀양23 조합에서 제일 높은 正의 SCA효과를 나타냈으며, Javanica (IR66167-27-5, IR66716-76-3, CP-SLO)품종과 Japonica 품종인 합천1호를 교배친으로 하였을 때 正의 방향으로 비교적 높은 SCA효과를 나타냈다. 수잉기의 건물중은 IR66167-27-5품종이 합천1호와 CP-SLO품종을 제외한 여타 품종과의 조합에서 높은 SCA효과를 나타냈으며 Japonica(합천1호, TR22183)품종군과 Indica(다산벼, 농안벼, 밀양23, Guichow)품종군간의 조합에서 正의 방향으로 높은 SCA효과를 나타냈다. CGR은 TR22183가 다산벼를 제외한 여타 품종 및

IR66167-27-5가 합천1호와 CP-SLO품종을 제외한 여타 품종과의 조합에서 높은 SCA 효과가 인정되었다. 질소흡수능력은 다산벼/Guichow, 농안벼/밀양23 조합에서 높은 SCA효과를 나타냈으며 수량은 CP-SLO와 농안벼, Guichow 및 합천1호의 조합과, IR66167-27-5/밀양23의 조합에서 SCA 효과가 4.03이상으로 크게 나타났다.

질소무비구에서는 최고분얼기의 건물중은 IR66167-27-5/다산벼 조합에서 제일 높은 SCA효과가 나타났으며 IR66167-27-5/밀양23 조합에서는 수잉기의 건물중과 CGR에서 높은 SCA효과를 나타내었다. 질소흡수량은 조합간에 차이가 있었지만 큰 차이는 인정되지 않았다. 수량에서는 IR66167-27-5 품종을 교배친으로 사용하였을 때 대체로 높은 SCA효과를 보였고, 밀양23/CP-SLO조합에서 제일 낮은 SCA효과를 보였다.

(4) 관련형질의 GCA, SCA효과와 모본평균치와의 상관

(가) 관련형질의 GCA, SCA효과와 모본 성적과의 상관

질소 보비 및 무비재배 조건에서 건물 및 농업 관련형질의 GCA 및 SCA효과와 모본 자체의 성적과의 관계를 表 1-14, 1-15에 제시하였다. 질소 보비구에서 작물생장과 잎질소함량 및 임실율을 제외한 여타 형질에서 GCA효과와 모본성적과 유의한 정의 상관을 보였으며 SCA효과는 모든 형질이 모본 생산성과 유의성이 인정되

않았다. 질소무비구에서는 수잉기건물중, 잎질소함량, 질소흡수량, 간장 및 임실율을 제외한 여타 형질에서 GCA효과와 모본 성적간 유의한 정의 상관을 보였으며 SCA효과와는 최고분얼기의 분얼수, 잎질소함량, 수잉기의 질소흡수량, 수수와 유의한 부의 상관을 었으며 초장과는 정의 상관을 기타 형질과는 유의성이 인정되지 않았다.

(나) 질소 보비 및 무비구의 조합능력간 상관

질소 보비구와 무비구의 조합능력간 관계를 알아 보기위하여 두 처리간 조합

능력간상관을 구한 것이 표1-16과 표1-17이다. 이 표에서 보다싶이 GCA효과는 건물중, 질소흡수량 및 간장을 제외한 여타형질에서 처리간 조합능력이 유의한 상관을 보였으며 SCA는 초장, 잎질소함량, 가장, 수장 및 수량에수 유의한 상관을 보였으며 여타형질은 유의성이 인정되지 않았다.

나. 유전자 작용분석

우성효과는 있고 비대립 유전자 사이의 상호작용이 없는 경우의 W_r+V_r 는 유의성이 있어야 하고, W_r-V_r 는 유의성이 없어야 한다. 표 1-18,1-19에서 보는 바와 같은 분산분석 결과 질소 보비구에서 간장, 수수, 임실율, 최고분얼기의 건물중, 초장, 분얼수, 수잉기의 건물중, 초장 및 질소흡수량은 W_r+V_r 이 유의성이 있고 W_r-V_r 는 유의성이 없으므로 비대립 유전자 사이의 상호작용 효과가 없다. 질소 무비구에서는 최고분얼기의 건물중, 초장 및 간장 만이 비대립유전자 사이의 상호작용 효과가 없는 것으로 나타났다. 여타 형질은 비대립유전자간에 상호작용이 있다고 판단된다.

각 친계열내 F_1 분산(V_r)과 친계열내의 F_1 과 비 공통친간 공분산(W_r)과의 회귀계수가 unit slope($b=1$)로부터 질소 보비구에서 최고분얼기의 엽질소함량, 수당영화수, 임실율 및 수량형질의 t검정 결과 유의성이 성립되기 때문에 우성적인 변이뿐만 아니라 비대립유전자간 상승적인 유전자 변이도 작용하고 있음이 인정되었다. 질소 무비구에서는 수잉기의 초장, 질소흡수량, 수장 및 수당영화수는 회귀계수 unit slope($b=1$)로부터 유의성이 인정되기 때문에 비대립유전자간 상호작용 효과가 있다는 것을 입증 할 수 있다. 결과적으로 W_r+V_r 이 행 사이에 유의성이 있고 W_r-V_r 이 행 사이에 유의성이 없고 또한 회귀계수가 unit slope($b=1$)로부터 유의성이 인정되지 않은 양 처리구에서 모두 부합되는 형질은 최고분얼기의 건물중, 초장, 분얼수, 수잉기의 건물중, 초장, 분얼수, 농업형질에서는 간장, 수장 및 수수 등이다. Hayman등(1954)의 발전시킨 이론에 따라

이 들은 비대립유전자간 상호작용이 없는 Additive-dominance model 에 적합한 형질로 판단된다.

다. 유전모수 분석

Additive-dominance model 에 적합하다고 판단된 형질에 대하여 유전성분치를 표 1-20, 1-21에서 나타내었다. 먼저 질소 보비구에서 수잉기의 분얼수는 상가적효과(D)는 유의성이 인정되었지만 우성효과(H_2 및 h^2)는 유의성이 없어 상가적효과가 우성효과보다 더 중요하게 작용한다는 것을 알 수있으며, 여타 형질의 상가적효과(D)와 우성효과(H_1 , H_2 및 h^2)가 유의성이 인정되어 상가적효과와 우성효과가 동시에 이들 형질에 아주 중요하게 작용하고 있다는 것으로 판단된다. 최고분얼기의 건물중, 분얼수, 수잉기의 검물중, 초장 및 수장형질의 D- H_1 치가 부이고 유의성이 인정되어 이런 형질은 우성적 유전효과가 상가적 유전효과 보다 더 크게 작용한다는 것으로 판단되며, 최고분얼기의 초장과 수수형질의 D- H_1 치가 정으로 나타났지만 유의성이 인정되지 않아 상가적 유전효과가 우성효과보다 다소 크게 작용한다는 것을 알 수 있다. 환경 효과(E)는 여기서 무시할 정도로 그 영향이 미미하다. 질소 무비구에서 최고분얼기의 분얼수, 수잉기의 건물중, 분얼수, 간장 및수수등 형질의 상가적 유전효과(D) 와 우성효과(H_1 , H_2 및 h^2)가 유의성이 인정되어 상가적효과와 우성효과가 동시에 이들 형질에 아주 중요하게 작용하고 있다는 것으로 판단된다. 반면에 최고분얼기의 건물중, 수잉기의 초장 및 수장의 상가적 유전효과(D)가 유의성이 없고 우성효과(H_1 , H_2)는 유의성이 인정되어 이런 형질에서는 우성효과가 중요하게 작용한다고 판단된다. 최고분얼기의 건물중, 수잉기의 건물중, 분얼수 및 수장은 D- H_1 치가 부로 나타나 이런 형질을 지배하는 우성유전자가 유의하게 상가적 유전자 수보다 많다는 것을 시사하며, 수수는 D- H_1 치가 정으로 유의성이 인정되어 상가적 유전자가 이런 형질을 지배한다는 것을 시사한다. 간장은 D- H_1 치가 0이지만

유의성이 인정되지않아 간장을 지배하는 상가성 유전자가 다소 우성유전자 보다 많다고 볼 수 있다. 기타 형질은 우성유전자가 다소 많은 것으로 나타났다. 유전성분 F의 기호와 크기는 친 품종집단 내에서 열성 대립인자에 대한 우성 대립인자의 상가적 빈도와 모든 좌위상의 우성수준에 있어서 변이를 결정하는 요소이다. 표에서 보다 싹이 질소 보비 및 무비 양 조건에서 모두 유전성분 F치가 모두 유의성이 인정 안되어 반이면교배된 친본집단에서 우성대립인자가 열성대립유전자 빈도와 같다는 것을 시사한다. 평균우성정도[SQR(H_1/D)]의 유전모수 추정 결과를 보면(표 23), 질소 보비구에서 최고분얼기의 건물중, 수잉기의 건물중, 초장 및 수장 그리고 무비구에서는 최고분얼기의 건물중, 수잉기의 분얼수 및 수장은 평균우성정도 SQR(H_1/D) 값이 1보다 훨씬 큰 초우성을 나타내었고, 질소 보비구의 최고분얼기의 초장, 수수와 질소 무비구에서는 최고분얼기의 분얼수 및 간장은 평균 우성정도가 1과같거나 비슷하여 완전우성을 판단되며, 여타 형질은 평균우성정도[SQR(H_1/D)]가 1보다 작은 부분우성을 나타내었다.

우성 열성유전자비율(K_d/K_r)을 보면 보비구에서 수잉기의 초장 및 간장 그리고 무비구에서는 수장만이 모두 0보다 작아 이 형질은 열성유전자수가 우성유전자수보다 더 많이 관여하며, 질소 보비구의 수장은 우열비율(K_d/K_r)치가 0과 가까워 열성유전자수와 우성유전자수가 동등하게 이 형질에 관여하며, 여타 형질은 우성유전자수가 더 많이 관여한다고 판단된다.

H_1 과 H_2 와 같은 경우에는 우성과 열성의 정. 부 대립유전자의 빈도가 같아 $H_2/4H_1$ 이 최대 0.25가 되어 우성과 열성유전자가 같은 분포를 가지게 된다. 질소 보비구에서 간장 및 수수는 正. 負 대립인자 비율($H_2/4H_1$)이 0.25에 가까워 우·열 유전자빈도가 서로 비슷한 분포를 가지고 있다는 것을 알 수 있으며 여타 조사 형질은 ($H_2/4H_1$) 값이 0.25보다 작아 우성과 열성인자 빈도에서 다소 차이가 있다는 것을 보여주고 있으며, 질소 무비구에서도 도 같은 경향을 나타냈다. 이면교배친의 형질평균치(Y_r)과 대응치(W_r+V_r)간의 상관계수의 正·負 방

향이 우성유전자 작용방향을 결정하는데(Hayman 1954) 表 1-22에서 제시한 바와 같이 질소 보비구에서의 초장, 간장 및 수장 그리고 질소 무비구에서는 수잉기의 초장과 간장이 유의한 負의 상관을 나타나 이들 형질의 우성유전자 작용방향은 길어지는(길어지는 쪽이 우성임) 쪽으로 작용하였으며, 기타 형질은 양 조건에서 상관계수가 유의성이 인정되지 않아 우성 방향은 양 방향으로 작용하는 것을 알 수 있으며 즉 교배친이 이들 형질에 대하여 작용 방향이 불분명하다.

유전력은 협의유전력이 질소구에서 0.31~0.73, 무비구에서는 0.24~0.64 범위의 변이를 나타나 양 재배조건에서 비슷한 경향을 나타냈으며 또한 질소 보비 및 무비 양 조건에서 모두 건물중 및 수장을 제외한 여타 형질의 협의 유전력이 (0.472~0.700) 높게 나타내어 초기 세대에서 선발이 어느 정도 가능하며, 수량등 유전력이 낮은 형질에 대한 간접 선발의 형질로 이용 될 수 있다고 판단된다.

각 형질에 대해 우성정도 및 교배친의 작용 방향을 알아보고자 각 처리별 형질별 Vr, Wr Graph의 분석을 실시한 결과는 그림 1-5, 1-6, 1-7, 1-8 과 같다. 먼저 질소 보비구에서 최고분얼기와 수잉기의 건물중과 작물생장을(CGR), 초장, 수장 및 수량의 회귀직선이 Wr 축의 원점 아래쪽으로 모두 통과하였지만 유의성이 없어(표 1-18, 1-19) 완전우성에 가까운 초우성으로 나타났고, 최고분얼기와 수잉기의 분얼수의 회귀직선이 Wr 축의 원점 상단 부분을 통과하고 유의성이 인정 되어 부분우성을 나타냈으며 여타 형질은 Wr축 원점 상단 부를 통과하였지만 유의성이 인정되지 않아 완전우성에 가까운 부분우성을 나타났다고 판단된다. 이 결과는 상술의 유전성분 분석결과와 같았다. 우성일수록 원점 가까운 쪽에 위치하며 열성일수록 원점에서 먼 쪽에 위치해 있는데(Hayman 1954) 질소 보비구에서 최고분얼기와 수잉기의 초장 과 간장에서는 모두 장간 품종인 CP-SLO가 원점의 가까운 곳에 위치해 있어 유전효과는 우성대에 위치해 있고 간장 및 초장이 증대하는 방향으로 우성을 보였고, 양 처리구의 분얼수는 합천1호

가 우성대에 , 최고분얼기의 건물중은 IR66167-27-5와 IR66746-76-3, 수잉기의 건물중과 CGR은 합천1호와 IR66746-76-3이, 수잉기의 질소흡수량과 수량 및 수당 영화수는 다산벼와 밀양23가 각각 원점에 가까이 위치해 있어 우성효과는 우성대에 위치해 있지만 양방향으로 우성을 보였으며. 수장은 CP-SLO와 농안벼가 수장이 긴 방향으로 우성을 보였으며, 수수는 CP-SLO 및 합천1호가 우성대에 위치해 있으나 양 방향의 우성을 보였다.

질소 무비구에서도 대체로 보비구와 비슷한 경향을 나타냈는데 최고분얼기의 건물중 ,수잉기의 건물중 및 분얼수, CGR, 수량의 회귀직선이 Wr축 원점 하단 부분을 통과하였으나 유의성이 없어 완전 우성에 가까운 초우성을 나타냈으며, 최고분얼기의 분얼수의 회귀직선이 원점 부근을 통과하므로 완전 우성을 나타냈으며, 여타 형질은 부분 우성으로 나타났다.

품종간의 우열관계를 보면 최고분얼기와 수잉기의 건물중은 농안벼와 IR66746-76-3이 양방향으로 우성 유전자를 많이 가지고 있으며, 최고분얼기의 초장은 농안벼와 합천1호, 분얼수는 합천1호와 TR22183, 수잉기의 초장은 IR66746-76-3이, 분얼수와 작물생장을(CGR)은 농안벼가 우성 유전자를 많이 가지고 있으나 모두 양방향으로 작용하고 있다. 수잉기의 질소흡수량은 IR66167-27-5이 우성유전자를 많이 가지고 있고 기타 품종은 열성유전자를, 최고분얼기의 엽질소함량은 IR66167-27-5가 열성유전자를 많이 가졌으며 기타 품종은 우성유전자를 많이 가지고 있음을 보여주어 두 형질이 모두 두 품종군으로 완전히 구분되었다. 최고분얼기의 초장은 다산벼, 밀양23, Guichow가 열성유전자를 많이 가지고 있는 반면 기타 품종은 우성유전자를 많이 가지고 있으며, 수장은 CP-SLO가 열성유전자를 많이 가지고 있으며 기타 품종은 우성유전자를 많이 가지고 있음을 보여주어 두 형질이 모두 길어지는 쪽이 우성이며 두 품종군으로 완전히 구분되었다. 간장은 CP-SLO와 합천1호가 우성유전자를 많이 가지고 있으며 간장이 긴 쪽이 우성이며, 질소흡수량은 IR66746-76-3, 농안벼,

Guichow가, 수수는 농안벼, 합천1호 및 Guichow가 임실율은 농안벼, IR66167-27-5 및 IR66746-76-3가 수량은 합천1호, Guichow 및 다산벼가 우성 유전자를 많이 가지고 있으며 양방향으로 우성 작용을 보였다. 질소 보비구와 무비구를 비교해보면 생육기의 건물생산 관련 중요한 형질인 건물중, 질소흡수량, 작물생장율(CGR) 및 수량의 우성정도는 재배환경에 관계없이 우성 관계는 같은 경향을 나타낸 반면 여타 형질은 다르게 나타났다. 이와같이 같은 형질이라도 환경에 따라 그 값이 다른 것은 Chung(1979), 장등(1978), Wu등(1968), 전등(1984)이 수도의 유전연구에서의 연구 결과와 같은 경향을 나타냈다.

표 1-9. 질소 보비 및 무비조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서의 건물생산관련 형질의 GCA 및 SCA 분산 분석

Level	Source	DF	maximum tillering stage				booting stage				SNCB	CGR
			Dry weig-ht plat ⁻¹	Plant height	NO .of tiller plant ⁻¹	Leaf N-con-tent	Dry weig-ht plat ⁻¹	Plant height	NO.of tiller plant ⁻¹			
N-fer-tlized plot	Cross	44	17.49	108.1	41.51	6.86	71.87	116.3	40.76	2.83	17.08	
	GCA	8	18.39**	192.3**	84.86**	8.78**	60.83**	188.6**	81.22**	3.03**	59.23**	
	SCA	36	6.60**	23.31**	6.55**	8.23**	30.40**	29.13**	6.86**	1.06**	70.61**	
	Error	44	1.06	4.26	1.99	0.16	3.44	6.04	3.08	0.39	12.36	
	GCA/SCA		2.79	8.25	12.95	1.07	2.00	6.48	11.84	2.86	0.84	
N-non fertiliz-ed plot	Cross	44	3.30	116.3	9.25	13.48	21.91	116.9	8.79	39.70	1.07	
	GCA	8	2.26**	187.8**	15.83**	9.77**	25.27**	224.7**	14.92**	47.39**	0.76**	
	SCA	36	1.51**	29.34**	2.13ns	6.07**	7.77**	21.50**	2.06*	13.73**	0.49**	
	Error	44	0.34	10.41	1.49	0.13	0.89	8.37	1.04	3.11	0.16	
	GCA/SCA		1.49	6.40	7.42	1.61	3.25	10.45	7.25	3.45	1.56	

*,** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level respectively

SNCB: shoot nitrogen concentration (mg/g)

CGR: crop growth rate (g/m²/days)

표 1-10. 질소 보비 및 무비조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서의 수량관련 형질의 GCA 및 SCA 분산 분석

Level	Source	DF	Clum length	Panicale length	NO.of panicle plabt ⁻¹	NO.of spikelets panicale ⁻¹	Gran fertile (%)	Gran yield plant ⁻¹
N-ferti-lized plot	Cross	44	345.3	6.91	9.78	2872.7	353.1	306.6
	GCA	8	622.5**	6.63**	15.17**	4916.6**	241.3**	174.8**
	SCA	36	72.73**	2.75**	2.61ns	663.0**	162.5**	148.5**
	Error	44	9.09	0.72	1.78	149.5	23.61	2.27
	GCA/SCA		8.56	2.41	5.81	7.42	1.48	1.18
N-non fertilized plot	Cross	44	131.9	6.63	5.11	4458.9	386.2	124.8
	GCA	8	231.3**	8.97**	9.59**	6362.5**	134.4**	102.9**
	SCA	36	29.18**	2.06ns	0.99ns	1311.0ns	206.2**	53.43**
	Error	44	6.48	1.25	0.48	895.6	15.93	0.91
	GCA/SCA		7.93	4.35	9.69	4.85	0.65	1.93

*,** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level respectively

표 1-11. 질소 보비 및 무비조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 친 품종들의 건물생산관련 형질에 대한 일반조합능력

Level	Parents	maximum tillering stage				booting stage				CGR
		Dry weight plat ⁻¹	Plant height	NO.of tiller plant ⁻¹	Leaf N-content	Dry weight plat ⁻¹	Plant height	NO.of tiller plant ⁻¹	NAB	
N-ferti-lized plot	IR5	-1.54	0.52	-2.32	0.32	-0.79	-3.28	-2.02	-0.73	1.28
	IR3	-1.29	3.67	-1.25	-0.54	-1.46	-1.17	-2.13	-0.62	-0.29
	DS	2.08	-2.54	3.41	0.61	3.99	-1.92	4.17	0.81	2.24
	NA	-0.46	-4.21	0.31	-0.29	-1.94	-2.87	1.44	-0.14	-2.51
	M23	0.18	-5.83	2.94	1.37	-1.49	-2.15	1.78	0.26	-2.81
	GC	1.55	-1.72	3.19	0.15	3.63	-1.42	2.64	0.64	3.51
	TR	-1.39	-0.33	-3.68	0.82	-2.37	-0.79	-2.77	-0.43	-1.66
	HC	0.53	2.94	0.62	-1.29	0.79	4.24	0.49	0.10	0.43
	CP	0.34	7.49	-3.22	-1.14	-0.36	9.37	-3.61	0.01	-1.19
	Mean effect	17.04	83.63	15.94	29.76	32.67	103.1	14.12	6.17	26.46
N-non fertilized plot	IR5	-0.48	0.09	-1.74	1.48	-1.63	-2.49	-1.84	-0.13	-1.94
	IR3	-0.39	3.69	-0.87	0.66	-1.81	0.13	-1.06	-0.42	-2.41
	DS	-0.29	-5.17	1.01	-0.38	-1.19	-6.83	1.01	-0.04	-1.55
	NA	-0.39	-3.73	0.19	-0.79	-0.15	-0.25	0.19	-0.15	0.42
	M23	-0.08	-6.10	1.69	0.46	0.49	-4.15	2.21	0.43	0.92
	GC	0.76	0.35	1.49	0.89	2.64	-2.37	1.66	0.31	3.18
	TR	0.63	2.67	-0.72	-1.21	0.30	5.58	-1.74	-0.13	-0.56
	HC	0.03	2.65	-0.03	-0.01	1.87	4.04	0.30	0.17	3.11
	CP	0.21	5.55	-1.03	-1.12	-0.49	6.34	-1.27	-0.06	-1.19
	Mean effect	5.65	66.84	7.36	25.66	14.64	86.94	7.42	4.14	15.22

IR5 : IR66167-27-5, IR3 : IR66746-76-3, DS : Dasanbyeo, NA : Nonganbyeo,
M23 : Milyang.23 GC : Guichow, TR : TR22183, HC : Hapocheon-1
CP : CP-SLO

표 1-12. 질소 보비 및 무비조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 친 품종들의 수량 관련 형질에 대한 일반조합능력

Level	Parents	Clum length (cm)	Panicale length (cm)	NO. of panicle hill ⁻¹	NO. of spikelets panicale ⁻¹	Gran fertile (%)	Gran yield hill ⁻¹ (g)
N-ferti-lized plot	IR5	-3.31	-0.81	-1.75	-2.91	31.67	-2.82
	IR3	-1.04	-0.09	-0.74	2.84	1.63	-1.04
	DS	-5.26	-0.41	0.87	-0.71	-22.87	4.50
	NA	-5.33	0.96	-0.66	7.14	2.24	-1.57
	M23	-6.44	0.76	1.23	2.86	-28.03	3.76
	GC	-1.33	-1.31	1.73	-6.62	11.35	5.70
	TR	-2.62	0.85	-0.59	-4.43	7.17	-5.01
	HC	10.01	-0.18	0.78	-3.21	-24.72	-4.72
	CP	15.31	0.22	-0.87	5.05	21.56	1.19
	Mean effect	90.79	28.28	10.11	81.63	288.21	43.22
N-non fertilized plot	IR5	-1.11	-0.93	-0.30	2.25	16.49	0.37
	IR3	-0.02	-0.48	-0.84	2.91	-2.95	-0.97
	DS	-3.25	-0.52	1.60	-1.63	-19.06	5.82
	NA	-1.96	1.03	-0.14	3.62	39.60	1.36
	M23	-3.94	0.62	0.65	1.87	-25.70	-1.33
	GC	-1.73	-1.10	0.93	-4.44	-5.08	3.28
	TR	-2.73	1.45	-0.81	-2.28	-14.08	-3.11
	HC	4.42	-0.45	0.39	-5.47	-21.74	-3.47
	CP	-10.35	0.41	-0.85	3.17	32.53	-1.95
	Mean effect	81.34	26.38	6.06	85.88	282.97	25.92

Refer to Table 1-11 for parental name.

표 1-13. 질소 보비 및 무비조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 각 조합들의 건물생산관련 형질 및 수량에 대한 특정조합능력

Cross	Maximum tillering stage		Booting stage				CGR		Yield	
	Dry weight plat ⁻¹		Dry weight plat ⁻¹		Absorbed N(g.m ⁻²)		N+	N-	N+	N-
	N+	N-	N+	N-	N+	N-				
IR5/IR3	2.15	2.07	4.37	0.02	1.55	0.25	3.76	-3.47	-1.11	2.19
IR5/DS	3.63	3.32	4.60	3.36	1.83	0.54	1.63	0.06	6.61	3.76
IR5/NA	0.72	0.03	4.68	1.38	-0.64	-0.32	6.70	2.27	3.05	-3.27
IR5/M23	1.76	0.25	5.15	4.95	-0.23	1.00	5.74	7.97	7.48	1.91
IR5/GC	-0.77	-0.79	7.846	-1.46	-0.11	-0.54	14.58	-1.13	-6.47	3.18
IR5/TR	1.03	-1.01	4.83	-0.25	0.34	-0.04	6.44	1.29	22.87	5.32
IR5/HC	2.50	-1.11	-0.88	-3.51	0.83	-0.87	-5.73	-4.07	8.07	2.43
IR5/CP	-2.39	-1.55	-4.62	-2.80	-1.29	-0.70	-3.78	-2.11	4.16	2.04
IR3/DS	-0.12	0.43	-4.59	1.94	-0.31	0.11	-7.57	2.56	8.07	-4.77
IR3/NA	0.16	0.48	0.97	2.14	-0.45	0.30	1.37	2.81	8.77	-0.30
IR3/M23	2.38	0.51	7.72	-2.61	1.17	-0.99	9.03	-5.27	-2.44	4.75
IR3/GC	0.12	-1.44	-3.56	-1.60	-0.24	-0.04	-6.23	-0.26	23.00	3.78
IR3/TR	2.53	0.37	5.51	-0.92	1.82	-0.46	5.04	-2.19	1.71	-3.72
IR3/HC	0.01	-1.16	-0.14	-1.59	0.17	-0.37	-0.24	-0.73	-4.96	2.03
IR3/CP	2.11	-1.44	-4.53	-2.24	0.58	-0.50	-11.23	-1.34	2.76	1.50
DS/NA	-0.83	-1.22	5.65	-2.21	-0.04	-0.65	10.97	-1.81	9.61	4.03
DS/M23	-0.29	-1.79	-5.56	-3.79	1.80	-1.10	-8.92	-3.38	0.65	-1.29
DS/GC	2.09	-0.56	5.39	-5.68	3.09	-0.81	5.58	-8.67	8.83	-2.27
DS/TR	0.53	-0.48	-2.51	-1.45	1.06	-0.27	-5.14	-1.65	2.92	2.74
DS/HC	3.53	-0.57	2.05	0.27	-2.01	0.02	-2.50	1.42	-12.75	-10.52
DS/CP	1.02	-1.08	7.03	-1.47	-0.07	-0.93	10.17	-0.65	-15.03	-5.54
NA/M23	3.69	0.38	-5.48	-1.05	4.00	0.43	-15.53	-2.42	-9.65	11.55
NA/GC	1.28	-0.44	-1.18	-0.03	0.11	0.20	-4.17	0.69	12.78	2.20
NA/TR	-0.35	-0.40	1.30	-1.18	-0.08	-0.02	2.78	-1.30	2.37	-1.92
NA/HC	0.26	-0.71	1.32	-1.66	0.09	-0.21	1.79	-1.61	2.45	-3.68
NA/CP	1.98	0.92	3.98	4.04	0.49	0.61	3.38	5.29	-0.96	-1.33
M23/GC	-1.46	-0.82	-0.36	-1.98	-0.94	-0.54	1.86	-1.96	1.82	1.63
M23/TR	1.47	1.10	2.68	1.59	0.99	1.09	2.05	0.83	1.79	1.01
M23/HC	-2.78	1.15	1.53	-0.89	-2.21	0.01	7.29	-3.45	1.24	-3.37
M23/CP	1.48	1.30	3.18	1.72	0.58	-0.03	2.89	0.71	12.58	-22.65
GC/TR	0.85	1.91	2.14	4.27	-0.13	0.36	2.19	3.99	-27.53	-16.09
GC/HC	1.92	0.71	0.21	1.05	1.84	0.51	-2.89	0.57	-10.20	-9.73
GC/CP	-4.33	0.34	3.01	3.82	-2.77	0.65	12.41	5.90	-2.73	1.75
TR/HC	-3.01	1.08	5.07	1.86	-1.84	0.24	13.69	1.33	3.76	12.27
TR/CP	1.13	1.37	3.75	2.27	0.85	1.14	4.45	1.52	21.98	9.76
HC/CP	1.95	0.37	-2.73	2.75	1.19	0.86	-7.93	4.03	3.19	1.75

IR5 = IR66167-27-5, IR3 = IR66746-76-3, DS = Dasanbyeo, NA = Nonganbyeo, M23 = Milyang 23, GC = Guichow, TR = TR22183, HC = Hapocheon-1, CP = CP-SLO, N+ = N-fertilized plot. N- = N-nonfertilized plot.

표 1-14. 질소 보비 및 무비 조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 건물생산 관련 형질의 GCA 및 SCA와 양친의 중간값과의 상관

Stage	Trait	Between GCA and Mid-parental value		Between SCA and Mid-parental value	
		N-fertiliz-ed plot	N-nonfertil-ized plot	N-fertiliz-ed plot	N-nonfertil-ize d plot
	Dry weight plant ⁻¹	0.893**	0.599	-0.250	-0.154
Maximum tillering stage	Plant height	0.947**	0.767**	-0.135	0.119
	NO of tiller plant ⁻¹	0.951**	0.901**	0.014	-0.404**
	Leaf N-content	0.056	0.644	-0.205	-0.408**
Botting stage	Dry weight plant ⁻¹	0.831**	0.726*	-0.240	-0.307
	Plant height	0.949**	0.943**	0.156	0.391*
	NO of tiller plant ⁻¹	0.926**	0.975**	-0.229	-0.039
	Obsorbed N(g·m ⁻²)	0.869**	0.511	0.001	-0.511
	CGR	0.436	0.729**	-0.128	-0.312

*,** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level respectively.

표 1-15. 질소 보비 및 무비 조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 수량 관련 형질의 GCA 및 SCA와 양친의 중간값과의 상관

Trait	Between GCA and Mid-parental value		Between SCA and Mid-parental value	
	N-fertilized plot	N-nonfertilized plot	N-fertilized plot	N-nonfertilized plot
Culm length	0.983**	-0.266	0.250	-0.033
Panicle length	0.952**	0.912**	-0.191	0.053
NO.of panicle plant ⁻¹	0.937**	0.932**	-0.009	-0.434**
Spikelets panicle ⁻¹	0.795**	0.947**	-0.174	0.289
Fertility ratio(%)	0.457	-0.319	0.012	0.231
Grain yield(g · m ²)	0.799**	0.807**	-0.077	-0.181

*,** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level respectively.

표 1-16. 질소 보비 및 무비 조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 건물생산 관련 형질의 GCA 및 SCA의 시비수준간 상관

Stage	Trait	GCA	SCA
Maximum tillering stage	Dry weight plant ⁻¹	0.257	0.222
	Plant height	0.912**	0.439**
	NO of tiller plant ⁻¹	0.911**	0.165
	Leaf N-content	0.173	0.395*
Botting stage	Dry weight plant ⁻¹	0.324	0.194
	Plant height	0.709**	0.442**
	NO of tiller plant ⁻¹	0.869**	-0.013
	Obsorbed N(g·m ⁻²)	0.165	0.091
	GCR	0.654**	-0.037

*,** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level respectively.

표 1-17. 질소 보비 및 무비 조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 수량 관련 형질의 GCA 및 SCA의 시비수준간 상관

Trait	GCA	SCA
Culm length	-0.207	0.629**
Panicle length	0.947**	0.460**
NO.of panicle plant ⁻¹	0.797**	-0.082
Spikelets panicle ⁻¹	0.698*	0.266
Fertility ratio(%)	0.818**	0.287
Grain yield(g · m ²)	0.691*	0.357*

*,** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level respectively.

표 1-18. 질소 보비 및 무비 조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 건물생산 관련 형질에 대한 Wr+Vr 또는 Wr-Vr의 유의성 검정 및 Vr과 Wr 간 회귀계수의 유의성 검정

Item	df	Level	maximum tillering stage				booting stage			NAB	CGR
			Dry weight plat ⁻¹	Plant height	NO.of tiller plant ⁻¹	Leaf N-content	Dry weight plat ⁻¹	Plant height	NO.of tiller plant ⁻¹		
Wr+Vr	8	N+	*	**	*	**	**	**	ns	*	ns
		N-	**	**	ns	**	**	**	ns	**	*
Wr-Vr	8	N+	ns	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns
		N-	ns	ns	ns	**	ns	*	ns	**	**
t=(0-b)/S _b	7	N+	*	**	**	ns	**	**	*	ns	ns
		N-	*	*	*	**	ns	**	**	ns	ns
t=(1-b)/S _b	7	N+	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
		N-	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	ns
t=(0-a)/S _a	7	N+	ns	ns	*	ns	ns	ns	**	ns	ns
		N-	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns

*** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level respectively.

NS : Not significant at 0.05 level.

N+ : N-fertilized plot. N- : N-nonfertilized plot.

표 1-19. 질소 보비 및 무비 조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 건물생산 관련 형질에 대한 Wr+Vr 또는 Wr-Vr의 유의성 검정 및 Vr과 Wr 간 회귀계수의 유의성 검정

Item	df	Level	Clum length	Panicale length	NO.of panicles hill ⁻¹	NO.of spikelets panicale ⁻¹	Gran fertile (%)	Gran yield hill ⁻¹
Wr+Vr	8	N+	**	ns	*	**	ns	**
		N-	*	ns	ns	**	ns	**
Wr-Vr	8	N+	ns	ns	ns	**	ns	**
		N-	ns	*	ns	**	ns	**
t=(0-b)/S _b	7	N+	**	**	**	ns	**	ns
		N-	**	ns	**	ns	ns	ns
t=(1-b)/S _b	7	N+	ns	ns	ns	**	**	**
		N-	ns	**	ns	**	*	ns
t=(0-a)/S _a	7	N+	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		N-	ns	*	ns	ns	ns	ns

Refer to Table 1-17 for abbreviations.

표 1-20. 질소 보비 및 무비 조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 형질들에 대한 유전분산 성분 추정치

Geneti- Level calcom- ponent	maximum tillering stage			booting stage			Clum length	Panicale length	NO.of panicles plant ⁻¹	
	Dry weight plat ⁻¹	Plant height	NO.of tiller plant ⁻¹	Dry weight plat ⁻¹	Plant height	NO.of tiller plant ⁻¹				
D	11.48**	73.99**	36.67**	37.53**	39.08**	49.73**	151.8**	2.41*	9.46**	
H ₁	22.88**	69.82**	23.66*	105.7**	88.77**	31.22*	209.3**	7.27**	8.82*	
H ₂	19.27**	59.85**	18.89*	88.51**	78.19**	19.33ns	193.6**	7.16**	6.96**	
h ²	51.74**	279.3**	36.95**	257.2**	308.9**	2.45ns	909.7**	33.44**	8.44**	
N+	F	8.96ns	13.77ns	11.30ns	33.40ns	-26.5ns	34.87*	-76.97ns	0.19ns	6.60*
	E	0.53ns	2.13ns	1.00ns	1.72ns	3.02ns	1.54ns	4.56ns	0.36ns	0.89ns
	D-H ₁	-11.40**	4.17ns	-13.01*	-68.13**	-49.69*	18.51ns	-57.54ns	-4.86**	0.65ns
D	0.98ns	58.22ns	7.65**	14.21*	28.37ns	4.39**	96.567**	1.68ns	7.15**	
H ₁	6.33**	182.3ns	8.93*	36.49*	86.71*	9.84**	88.333**	5.73*	4.25**	
H ₂	5.26**	131.9ns	6.61ns	26.40*	64.60*	4.97**	78.949**	5.367**	2.92**	
h ²	0.13ns	21.07ns	1.16ns	-0.11ns	41.17*	3.19*	302.17**	14.469**	0.16ns	
N-	F	1.12ns	31.55ns	4.39ns	14.53ns	-45.83ns	2.89ns	23.88ns	-1.44ns	5.63**
	E	0.17ns	30.96ns	1.02ns	0.45ns	4.18ns	0.52ns	3.24ns	0.63ns	0.24ns
	D-H ₁	-5.35**	-124.1ns	-1.28ns	-22.28*	-56.34ns	-5.45**	8.23ns	-4.06*	2.90*

N+ : N-fertilized plot, N- : N-nonfertilized plot.

*,** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level respectively

NS : Not significant at 0.05 level.

표 1-21. 질소 보비 및 무비 조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 형질들에 대한 유전도수 추정치

Level Estimatees	maximum tillering stage			booting stage			Clum length	Panicale length	NO.of panicle plant ⁻¹
	Dry weight plat ⁻¹	Plant height	NO.of tiller plant ⁻¹	Dry weight plat ⁻¹	Plant height	NO. of tiller plant ⁻¹			
N+ SQR(H1/D)	1.41	0.97	0.80	1.68	1.51	0.79	1.174	1.738	0.965
H2/4H1	0.21	0.22	0.10	0.21	0.22	0.16	0.231	0.246	0.197
KD/KR	1.76	1.21	1.48	1.72	0.63	2.59	0.645	1.047	2.133
H3/H2	2.69	4.67	1.96	2.91	3.95	0.13	4.698	4.672	1.212
H _N ²	0.36	0.67	0.73	0.31	0.63	0.68	0.698	0.351	0.472
H _B ²	0.94	0.96	0.95	0.95	0.95	0.92	0.974	0.891	0.822
r(Wr+Vr,Yr)	-0.265	-0.848**	0.109	-0.603	-0.801**	-0.104	-0.822**	-0.877**	-0.383
N- SQR(H1/D)	2.54	1.26	1.00	1.60	1.75	1.50	0.956	1.85	0.771
H2/4H1	0.21	0.15	0.19	0.18	0.19	0.13	0.223	0.234	0.172
KD/KR	1.58	1.86	1.78	1.94	0.37	1.56	1.297	0.621	3.093
H3/H2	0.02	0.67	0.13	-0.01	0.64	0.64	3.827	2.696	0.056
H _N ²	0.24	0.59	0.55	0.41	0.70	0.64	0.641	0.47	0.594
H _B ²	0.92	0.92	0.85	0.96	0.94	0.90	0.949	0.832	0.899
r(Wr+Vr,Yr)	0.269	0.058	-0.104	-0.334	-0.734**	0.345	-0.842**	-0.318	0.392

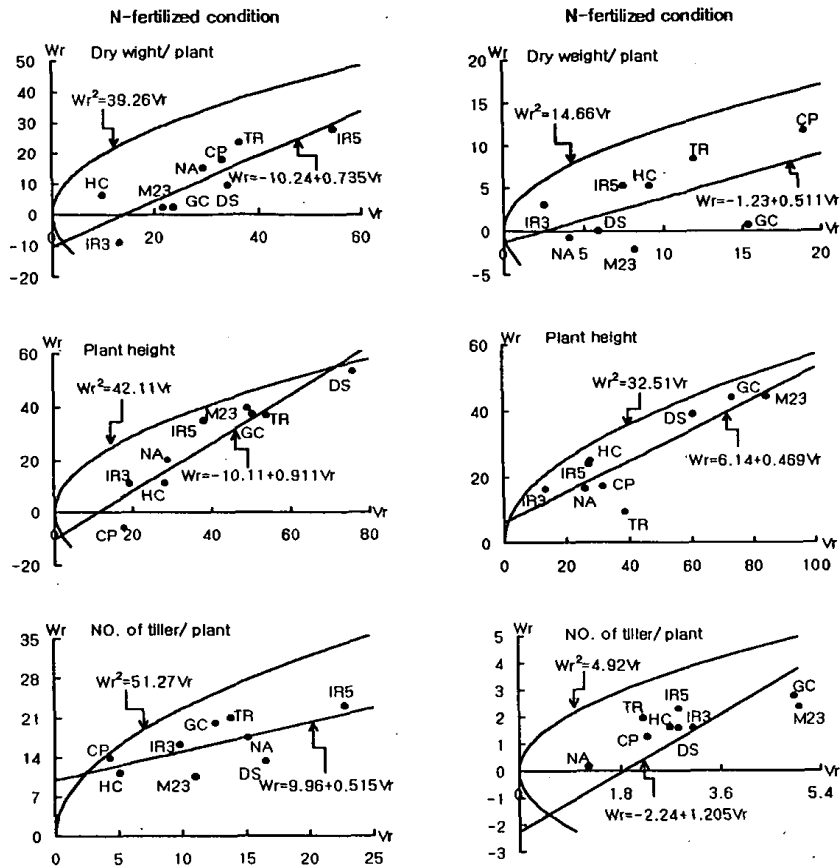
,** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level respectively.

NS : Not significant at 0.05 level.

H_N² = Heritability narrow.

H_B² = Heritability broad.

N+ : N-fertilized plot, N- : N-nonfertilized plot.



IR5 : IR66167-27-5 , IR3 : IR66746-76-3, DS : Dasanbyeo,
 NA : Nonganbyeo, M23 : Milyang.23, GC : Guichow,
 TR : TR22183, HC : Hapocheon-1, CP : CP-SLO.

그림 1-5. 질소 보비 및 무비 조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 형질들에 대한 Vr, Wr 그래프

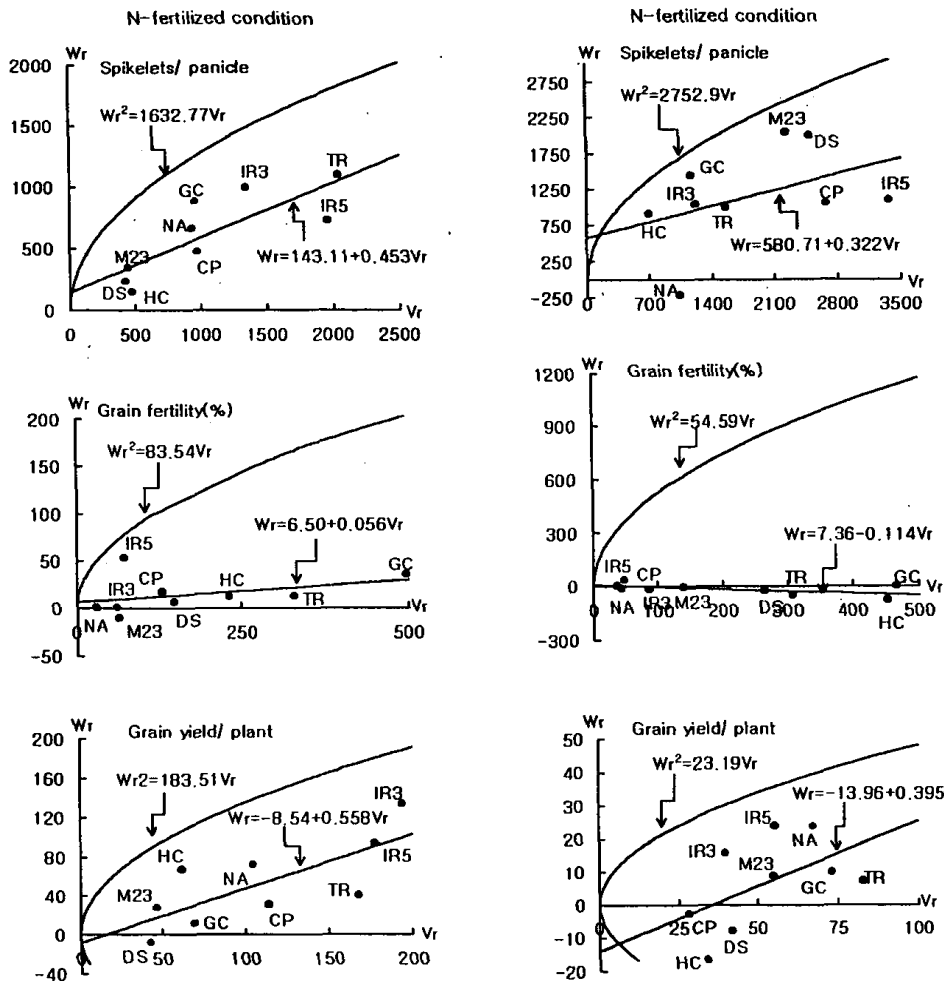


그림 1-8. 질소 보비 및 무비 조건에 재배한 9x9 이면교배 F1에서 수량관련형질에 대한 Vr, Wr 그래프 (Refer to Fig. 1-4. for parental name)

제3절 질소 무시용 재배조건에서 수량관련형질의 잡종 강세와 교배친의 유전적 거리와의 관계

1. 재료 및 방법

사용된 9개의 교배친(그림 1-9)의 종자를 온실에서 포트에 파종 후 본엽이 2-3개정도 나왔을 때 약 5g좌우의 전체 식물체를 채취하여 -20°C 이하의 냉장고에 보관하였다. 시료를 먼저 가위로 잘게 잘라서 유발에 넣고 적량의 액체질소를 첨가하여 급속 냉동시킨 상태에서 미세한 분말로 마쇄한 다음 시료가 녹지 않은 상태로 50ml의 원심분리 tube (Corning사제작)에 담았다. DNA extraction buffer(Tris-HCl pH8.0, 0.5M EDTA pH8.0, 20% SDS pH7.2, sodium bisulfite 0.38g/buffer 100ml)동량을 첨가한 상태로 65°C water bath에서 약30~60분 정도 넣어두고 반응 기간 중 약 5분 간격으로 천천히 흔들어 주었다.

반응이 끝난 시료에 chloroform : isoamyl alcohol (24:1) 혼합액을 약 15ml 넣어 30분간 shaking한 후 2600rpm, 15분간 원심분리하였다. 상등액만을 4겹의 Miracloth으로 여과하여 새 tube에 옮긴 후 ethanol (95%, -20°C)을 상등액의 2배를 첨가하여 DNA를 침전시킨 후 최소 1시간이상 -20°C 에 보관하였다.

침전된 DNA를 꺼내어 다른 Tube에 옮기고 여기에 -20°C 70% Ethanol를 넣고 진탕기에서 천천히 흔들어 2-3시간 세척한 후 2600rpm, 15분간 원심분리하였다. 상등액만 버리고 침전된 DNA를 완전히 말린 후 3ml TE buffer(tris-HCl pH8.0, 0.5M edta pH8.0)에 완전히 녹였다. DNA가 투명할 때까지 상기의 절차로 세척을 반복하였고, 최후에 3ml TE buffer (tris-HCl pH8.0, 0.5M edta pH8.0)에 완전히 녹였다. 불순물이 남아있는 경우에는 DNA가 녹아있는 용액에 3M sodium acetate를 1/10 volume을 첨가한 후 다시 -20°C 95% ethanol로 DNA를 침전시켰다. DNA를 건져내어 eppendorf tube에 넣고 70% ethanol를 첨가하여 12,000rpm에서 10분간 원심분리한 후 상등액을 버리고 완전히 말렸으며, DNA양에 따라 TE

buffer를 첨가하여 녹였다. 추출된 DNA용액은 λ -DNA대비시커 전기영동하여 농도를 측정하고 최종 20ng/ μ l 농도로 희석하여 실험에 사용하였다.

PCR (primer chain reaction)반응은 MgCl₂ 2 μ l, 10X Buffer 2.5 μ l, 2.5mM dNTP 2 μ l, Primer 1 μ l, 멸균 3차 증류수 10.74 μ l, Taq DNA polymerase 1U, template DNA를 20ng, 최종 반응액을 20 μ l로 하였다. 이 혼합한 반응액을 PCR Thermocycler (MJ Research, Co.)의 PTC100에서 full denaturation을 위에서 94 $^{\circ}$ C에서 4분간 반응시킨 후, 94 $^{\circ}$ C에서 1분간 denaturation, 37 $^{\circ}$ C에서 2분간 annealing, 72 $^{\circ}$ C에서 2분간 extension으로 44cycle 반응시킨 후 72 $^{\circ}$ C에서 10분을 두어 완전히 extension을 시킨 후, 이 PCR product를 4 $^{\circ}$ C에 저장하였다. 사용된 primer는 Operon사에서 생산된 제품으로 A~K 셀 220종류중 band가 잘 나타난 것으로 예비 선발된 55개만 골라서 사용하였다.

PCR반응 후 증폭된 DNA를 1.4% agarose gel에서 수평전기영동장치(Owl's standard' OWL Scientific)에서 90V에서 3시간 동안 전기영동하여 분리하였다. 전기영동을 끝낸 후 gel을 EtBr (ethidium bromide)에서 15분간 염색하고 증류수에서 약 15분간 destain 시킨 후에 UV trans-illuminator에서 band 존재 유무 여부를 관찰하고 Image analyser에서 촬영하여 분석하였다.

Primer에 의해 증폭된 DNA band의 존재 유무에 의해 유는 1, 무는 0의 값을 주었으며 품종간의 유전적거리(genetic distance : GD)는 다음 식 (Nei, 1987)에 의하여 계산하였다.

$$GD=1-[2N/(N_i+N_j)]$$

여기서는 N은 i와 j 품종에 공통으로 존재하는 band의 수이고 N_i 와 N_j는 각각 i와 j품종의 전체 밴드 수이다. Dendrogram을 만들기 위해 NTSYS-pc 프로그램으로 UPGMA(Unweighted pair group method)분석 방법을 이용하였다.

잡종강세정도는 조사된 건물생산관련 및 수량관련형질에 대하여 P₁, P₂, F₁을 이용하여 F₁자체의 형질평균값과 모본 평균값으로부터 아래 식으로 구하였다

(Briggle, 1963).

$$[\text{MPH : mid-parent heterosis}] = (F_1 - \frac{P_1 + P_2}{2}) / (\frac{P_1 + P_2}{2})$$

2. 결과 및 고찰

수량관련형질에 대한 F₁에서의 잡종강세정도는 (표 1-22)에서 보는 바와 같다. 질소 무비조건에서 수량의 잡종강세정도 (11.6%)가 가장 높게 나타났으며 그 다음은 간장, 수장, 수당영화수 순으로 높았다. 질소 보비조건에서도 수량이 가장 높은 잡종강세정도 (60.44%)를 나타냈고 그 다음은 주당수수, 간장 순으로 높게 나타났으며 임실율은 부의 방향으로 잡종강세정도를 나타냈다. 또한 질소 무비조건에 비해 보비조건에서 임실율과 수당영화수를 제외한 기타 형질에서 잡종강세정도가 현저히 높아 수잉기 건물관련형질의 잡종강세정도와 같은 경향이 있었다. 특히 질소 보비조건에서 수량의 잡종강세정도는 평균 60.44%로 나타나 무비조건 (11.66%)에 비해 5배이상 월등히 높았다.

조합별로 F₁에서 수량의 잡종강세정도가 가장 높은 조합은 질소 무비조건에서 Dasanbyeo/TR22183 조합 [잡종강세정도 (MPH) : 149.78%]이었고, 질소 보비 조건에서는 IR66746-76-3/TR22183조합 [잡종강세정도 (MPH) : 237.12%]에서 가장 높았다. 수량의 잡종강세정도가 가장 낮은 조합은 질소 무비조건에서 Dasanbyeo/IR66746 -76-3조합 (MPH: -36.6%)이었으며, 질소 보비조건에서는 Guichow/IR66746-76-3조합 (MPH : -9.23%)으로 부의 방향으로 잡종강세정도를 나타냈다. 한편, 몇몇 실험에서 잡종강세는 재배일노와 비료수준이나 토양의 비옥도에는 크게 영향을 받지 않는다고 보고하였고, 조사된 모든 형질이 질소 무비조건에서의 잡종강세정도가 보비조건에 비해 높게 나타났다는 보고와 본 연구결과와 일치하지 않았으며, 다른 실험에서 보고된 질소시비량이 증가함에 따라 잡종강세정도가 높아졌다는 결과와 일치하였다.

9개 교배친의 유전적거리의 범위는 0.138~0.411으로 나타났다. 교배친간 유

전적거리를 비교한 결과 가장 가까웠던 조합은 IR66167-27-5/IR66746-76-3 (유전적거리 GD : 0.138)이었고 가장 멀었던 조합은 다산벼/TR22183(유전적거리 GD : 0.411)이었다. 교배친간 유전적거리 값으로 UPGMA (Unweighted pair group method) 분석법에 의한 교배친간 유연관계를 Dendrogram으로 나타낸 것이 (그림 1-9)이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 크게 세 개 그룹으로 나누어진 것을 볼 수 있는데, 첫 번째 그룹에는 IRRI에서 도입한 자바니카와 인디카의 교배후대 계통인 NPT(New plant type)형인 IR66167-27-5과 IR66746-76-3 및 범친화성 계통인 CP-SLO가 포함되어 있었고, 두 번째 그룹에는 통일형인 Dasanbyeo, Milyang23, Nonganbyeo와 인디카형인 Guichow 품종이 포함되어 있었으며, 세 번째 그룹에는 자포니카 품종인 Hapocheon-1와 TR22183 품종이 포함되어 있었다. 이 결과는 기존에 알고 있던 작물학적분류와 즉 첫 번째 그룹은 열대자포니카군에 속하고, 두 번째 그룹은 인디카군에 속하며, 세 번째 그룹은 자포니카군에 속해 있다는 결과와 한 (1999)의 보고된 결과와 같은 경향으로 나타났다.

RAPD분석에 의해 추정된 교배친간 유전적거리와 36개 교잡종의 잡종강세정도 (Mid-parent heterosis) 및 평균치 (Performance)와의 상관을 나타낸 것이 (표 1-23)이다. 이 표에서 보는 바와 같이 잡종강세정도와 교배친간 유전적거리와의 관련에서 질소 보비조건인 경우 수잉기의 건물중 ($r=0.360$), 작물생장을 (CGR)($r=0.402$), 수장 ($r=0.473$) 및 수량 ($r=0.329$)은 교배친의 유전적거리와 유의한 정의 상관을 보였고, 반면 질소 무비조건에서는 모든 형질에서 유의성이 인정되지 않았다. 임실율은 질소 무비 및 보비조건에서 모두 유의한 부의 상관을 보여 유전적거리가 멀수록 임실율이 낮아지는 경향을 나타냈으며 재배환경의 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며 반대로 기타 형질은 질소시비 수준에 따라 유전적거리와 잡종강세정도와 관련성도 따라서 변화한다는 것을 시사해 준다.

교잡종 36 F₁조합을 3개 품종형으로 나누어 잡종강세정도와 교배친간 유전적거리와의 상관을 살펴 본 것이 (표 24)에서 나타났는데, 질소 보비조건에서

Japonica(III)/ Tropical japonica(II) 그룹에서만 교배친의 유전적거리와 수잉기의 건물중, 작물생장을 (CGR), 주당수수, 수당영화수 및 수량과 유의한 정적 상관 ($r=0.983$)을 보였으며 다른 그룹에서는 유의성이 인정되지 않았다. 질소 무비조건에서는 모든 그룹과 형질에서 유의한 상관이 나타나지 않았다.

표 1-22. 질소 보비구와 무비구에서 몇가지 수량관련형질에 대한 36개의 F1잡종의 잡종강세정도

Characters	N-level	Performance		Mid-parent heterosis	
		Mean	Range	Mean	Range
Culm length	10N	93.91	73.90~114.8	19.06	-4.19~30.41
	0N	83.08	69.9~96.43	11.54	-1.94~27.91
Panicle length	10N	28.86	25.43~31.27	11.19	0.78~0.78
	0N	26.76	23.07~30.73	7.70	-3.23~21.70
Panicles/plant	10N	10.41	6.21~14.51	20.47	-23.18~100.0
	0N	6.00	3.00~7.83	-0.67	-33.33~72.00
Spikelets/panicle	10N	287.7	228.2~386.3	-0.61	-22.61~28.96
	0N	286.0	208.8~432.8	6.04	-12.68~38.26
Grain fertility (%)	10N	80.30	29.88~95.41	-7.29	-64.67~16.68
	0N	84.64	96.67~39.79	-6.31	-56.60~19.69
Grain yield	10N	1067.9	1531~1029	60.44	3.39~262.12
	0N	641.2	864.0~424.6	11.60	-22.71~73.38

10N : N-fertilized condition (N-P₂O₅-K₂O = 10-8-8 kg/10a).

0N : N-unfertilized condition (N-P₂O₅-K₂O = 0-8-8 kg/10a).

표 1-23. RAPD분석에 의해 추정된 교배친간 유전적거리와 36개 교잡종의 잡종강세정도 (Mid-parent heterosis) 및 평균치 (Performance)와의 상관

Stage	Characters	10N		0N	
		Performance	Mid-parent heterosis	Performance	Mid-parent heterosis
Booting stage	Dry weight /plant	0.354*	0.360*	0.304	0.202
	Plant height	0.004	0.279	0.131	0.230
	Tillers/plant	0.192	0.122	-0.023	0.159
	SNCB	0.137	0.102	0.164	0.111
	CGR	0.356*	0.402**	0.225	0.126

(표1-23 계속)

Characters	10N		0N	
	Performance	Mid-parent heterosis	Performance	Mid-parent heterosis
Culm length	-0.005	0.164	-0.057	0.056
Panicle length	0.190	0.473**	0.138	0.319
Panicles/plant	0.043	0.087	0.078	-0.040
Spikelets/panicle	0.187	0.279	-0.050	0.178
Grain fertility (%)	-0.494**	-0.398*	-0.488**	-0.397*
Grain yield	0.492**	0.329*	0.150	0.014

*, ** : Significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively

10N : N-fertilized condition (N-P₂O₅-K₂O = 10-8-8 kg/10a)

0N : N-unfertilized condition (N-P₂O₅-K₂O = 0-8-8 kg/10a)

표 1-24. 교잡종 36 F₁조합을 3개 품종형으로 나누어 잡종강세정도와 교배 친간 유전적거리와의 상관

Stage	Characters	10N						0N					
		F1s between Indica and Japonica		F1s between Indica and NPT		F1s between NPT and Japonica		F1s between Indica and Japonica		F1s between Indica and NPT		F1s between NPT and Japonica	
		PF	MP	PF	MP	PF	MP	PF	MP	PF	MP	PF	MP
booting stage	Dry weight	0.28	-0.20	0.28	-0.20	0.82*	0.99**	0.38	0.16	-0.04	-0.32	-0.35	0.17
	Plant height	0.05	0.30	0.05	0.30	-0.56	-0.21	0.32	0.32	-0.49	-0.49	-0.24	-0.08
	Tillers/plant	0.30	0.70	0.30	0.70	-0.31	0.77	-0.06	-0.26	0.11	-0.07	-0.92**	0.22
	SNCB	0.54	0.30	0.54	0.30	-0.60	-0.60	0.09	-0.14	0.09	-0.23	-0.19	0.09
	CGR	0.41	0.01	0.41	0.01	0.83*	0.94**	0.20	0.09	-0.09	-0.39	-0.47	0.07

Characters	10N						0N					
	F1s between Indica and Japonica		F1s between Indica and NPT		F1s between NPT and Japonica		F1s between Indica and Japonica		F1s between Indica and NPT		F1s between NPT and Japonica	
	PF	MP	PF	MP	PF	MP	PF	MP	PF	MP	PF	MP
Culm length	-0.19	-0.59	-0.25	-0.21	-0.56	0.39	-0.16	-0.25	-0.31	-0.13	-0.51	0.18
Panicle length	-0.47	0.09	-0.60	0.03	0.88**	0.71	-0.29	0.04	-0.64	-0.02	0.71	-0.07
Panicles/plant	0.47	-0.15	-0.12	-0.18	-0.15	0.84*	0.43	-0.23	0.23	-0.12	0.95**	-0.29
Spikelets/panicle	0.40	0.77*	0.04	0.03	0.89*	0.77*	-0.15	0.41	-0.10	0.23	0.75	0.19
Grain fertility(%)	-0.66	-0.65	-0.42	-0.16	-0.07	0.60	-0.52	-0.49	0.01	0.16	0.01	0.09
Grain yield	0.75*	-0.06	0.59*	0.42	0.77	0.98**	0.44	-0.11	0.53	0.14	0.41	0.20

*, ** : Significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

10N : N-fertilized condition (N-P₂O₅-K₂O = 10-8-8 kg/10a).

0N : N-unfertilized condition (N-P₂O₅-K₂O = 0-8-8 kg/10a).

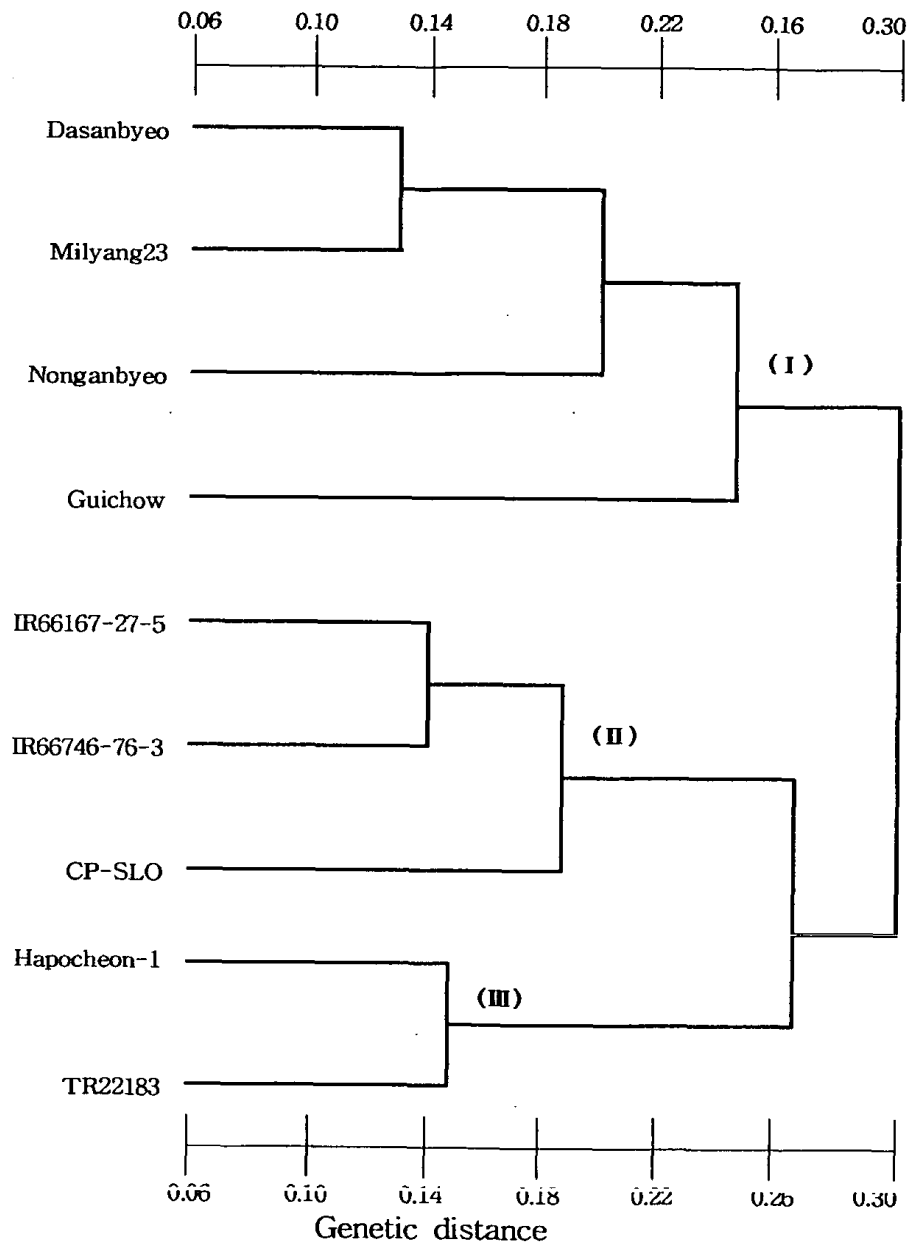


그림 1-9. 이 실험에 이용된 RAPD 분석법에 의해 추정된 9개 교배 모본간 유전적 거리

제4절 수량관련형질의 유전자좌 분석

1. 재료 및 방법

질소시비량의 차이에 따른 수량관련형질에 관여하는 양적형질의 유전자좌 (QTLs)를 분석하기 위하여 다산벼/TR22183 F7 및 F8 후대 RIL 계통을 육성하였다. 1997년에 다산벼와 TR22183간 교배하여 얻은 F2를 SSD(Single seed descendent) 방법으로 1립씩 세대진전시켜 RIL(Recombinant Inbred line)을 작성하였다. 포장에서의 재배방법은 전술한 바와 같으며, 생육 및 수량관련형질을 평가하였다. 생육성기에 식물체를 샘플링하여 DNA추출을 하였는데, 방법은 전술한 실험과 같다. 또, 각 개체별로 질소분석을 수행하기 위하여 micro-Kjeldahl 기기를 이용하였다.

QTL 분석을 수행하기 위하여 미국 코넬대학에서 발표한 microsatellite marker를 표지인자로 이용하였는데, 총 108개의 microsatellite marker를 두 모본인 다산벼와 TR22183에 대해서 다형성 검정을 수행하였다. microsatellite primer는 Perkins-Elmer사의 ABI377 DNA sequencer를 이용하기 위하여 각각 Ned, Hex, Fam의 세 가지 dye를 primer에 표지하여 세 가지 색으로 검출이 용이하도록 하였다. Microsatellite primer로 각 샘플의 DNA를 증폭하는 방법은 다음과 같았다.

PCR 용액의 조성은 100ng의 genomic DNA, buffer 0.2umol의 primer, 200umol의 dGTP, dATP, dTTP, dCTP, 50mM의 KCl, 10mM Tris-HCl pH 8.3, 0.01% gelatin, 1.5mM MgCl₂와 1unit의 Taq polymerase이었다. PCR 반응은 처음 94℃에서 5분간 incubation한 후, denaturation 94℃ 1분, annealing 55℃ 1분, extension 72℃ 2분의 35 cycles, 그리고, 72℃ 5분으로 final incubation을 하였다.

2. 결과 및 고찰

RIL 계통들의 양친품종 즉 다산벼와 TR22183 간 다형성을 보이는 microsatellite marker를 탐색한 결과는 (표 1-25)에서 보는 바와 같다. 총 158개의 microsatellite marker에서 모본에서 다형성을 보였다. 현재 연구원 1명이 미국 코넬대학에서 보다 많은 marker를 이용하여 다산벼/TR22183 F7 및 F8 후대에 대하여 QTLs 분석을 수행중이다 (그림 1-10). 100개의 RIL 계통에 대한 형질 조사는 완료하였으며, 질소분석이 진행중이다.

표 1-25. 다산벼와 TR22183에서 다형성을 보이는 microsatellite marker와 그 크기

마커	다산	TR221 83	마커	다산	TR221 83	마커	다산	TR221 83	마커	다산	TR221 83
RM1	111	86	RM135	116,123	128	RM246	116	104	RM335	101,152	92,113
RM5	116,128	116	RM136	104	101	RM247	135	155	RM336	195	156
RM7	181	176	RM142	236	240	RM248	106	85	RM338	183	180
RM9	136	181	RM144	238	253	RM249	125	144	RM340	162,188	162
RM10	158	168	RM146	335	346	RM250	154	174	RM341	172	136
RM16	183	167	RM147	97,151,214	97	RM251	148	118	RM346	157	138
RM17	185	158	RM151	211	214	RM253	140	134	RM348	133	141
RM19	243	214	RM153	204	201	RM255	144	150	RM350	201,203	203
RM20	237	214	RM154	166	183,269	RM257	148	172	RM400	264	258
RM21	149	141	RM157A	105,112	103,111	RM258	148	131	RM413	77	79
RM24	161	180	RM159	246	256	RM263	183	159	RM415	232	234
RM29	188	201	RM161	164	183	RM264	173	162	RM420	188	200
RM31	141	149	RM167	126	146	RM267	151	138	RM421	248	239
RM42	165	162	RM171	324	328	RM271	129	132	RM422	380	382
RM 50	200	193	RM182	331	352	RM273	198,212	202	RM434	149,204	154,210
RM51	127	129	RM184	206,217	217	RM276	98	123	RM435	165	169
RM53	194	194	RM187	108	108,158	RM277	120	116	RM437	285	282
RM72	198	162	RM201	155	143	RM278	141	131	RM438	128, 136	136
RM80	134	119	RM205	122	138	RM279	169	167	RM447	119	113
RM82	112	115	RM206	126	203	RM280	126,155,173	126,171	RM449	128	117
RM84	112	109	RM211	152	142	RM281	138,184	134,180	RM451	203	210
RM101	128	132	RM212	133	115	RM282	136	130	RM455	128	131
RM103	327	259	RM215	136,151	138,159	RM283	155	161	RM459	56,58,78	52,63,65
RM104	240	224	RM220	119	121	RM284	145	151	RM464A	231, 265	267
RM105	129	132	RM221	192	185	RM297	148	197	RM467	210	225
RM106	300	326,330	RM222	215	199	RM302	157	124	RM468	272	269
RM108	70	81	RM223	155	147	RM303	202	160	RM474	230	263
RM109	87	95	RM224	133	122	RM304	163	128	RM475	188, 198	239
RM110	160	156	RM225	133	144	RM307	151,157	139	RM477	221,229,236	224,235
RM112	116,123	115,126	RM226	216	196	RM310	111	107	RM478	204,208	206
RM116	278	280	RM226	169,328	169,272	RM314	118	115	RM481	116,151	115,186
RM117	209	207	RM228	107	113	RM315	135	141	RM483	323	263,294
RM118	161	156	RM229	117	129	RM316	197	163,199	RM484	294	298
RM119	173	167	RM231	168	193	RM317	150	143	RM486	109	105
RM122	227	231	RM232	159	156	RM320	156,246	124,237	RM488	190	175
RM124	273	280	RM234	153	133	RM323	249	245	RM489	238	279
RM125	114,150	114,125	RM235	131	97	RM328	181	189	RM510	118	120
RM131	133,209	215	RM240	134	109	RM332	169	164	RM517	263	263,267
RM132	80	83	RM242	226	197	RM333	179	200			
RM133	231	233	RM245	148	138	RM334	198	202			

* 표 안의 수는 마커의 size(=bp)를 의미함

제5절 적요

1. 모든 형질에서 GCA 및 SCA 분산의 유의성이 인정되었으며, 초장, 수장 및 임실율의 GCA분산 및 SCA분산은 질소 무비조건에서 더 높게 나타났고, 기타 형질은 보비조건에서 더 높게 나타났다. 질소 무비 및 보비조건에서 모든 형질이 GCA분산이 SCA분산 보다 더 크게 나타났다.

2. 건물 및 수량관련형질의 GCA평균효과는 보비조건에 비해 무비조건에서 더 낮게 나타났다. 다산벼와 Guichow품종의 건물생산성과 수량의 GCA효과는 질소 무비 및 보비조건에서 모두 높게 나타나서 질소 저 투입 적응성 품종육성에 있어서 훌륭한 교배친으로 판단되었다.

3. SCA효과는 CGR의 경우 질소보비에서 $-15.5 \sim -14.6 \text{ g/m}^2/\text{days}$, 무비에서 $-8.7 \sim -8.0 \text{ g/m}^2/\text{days}$, 수량은 질소보비에서 $-27.5 \sim -23.0 \text{ kg/10a}$, 무비에서 $-22.7 \sim -12.3 \text{ kg/10a}$ 의 변이를 보였다.

4. 질소 무비 및 보비조건에서 교배친 자체의 성적과 GCA효과와는 다수의 형질에서 유의한 정의 상관성이 인정되어 친의 특성이 우수할수록 F1의 특성도 평균적으로 우수한 것으로 나타났지만, SCA효과와는 유의한 상관성이 없었다.

5. 건물중, 초장, 분얼수, 수장 및 수량은 질소 무비조건에서 완전우성에 가까운 초우성을 나타냈고, 간장은 완전우성으로, 주당수수는 부분우성으로 나타났다.

6. 분얼수와 간장의 협의유전력은 질소 무비조건에 비해 보비조건에서 더 크게 나타났는데 건물중, 초장, 수장 및 주당수수의 협의유전력은 무비조건에서 더 크게 나타났다.

7. 잡종 F_1 과 품종에서 질소 무비조건의 경우 수량은 다만 분얼수와 유의한 정의 상관성을 보였지만, 보비조건에서는 수량은 건물중, 분얼수 및 수잉기 지상부질소보유량과 유의한 정의 상관성을 보였다.

8. 질소 무비조건에서 수량의 잡종강세정도는 MPH 11.6%로 가장 높게 나타났으며 그 다음은 간장, 수장, 수당영화수 순이었다. 질소 보비조건에서도 수량이 가장 높은 잡종강세정도 (60.44%)를 보였고 그 다음은 주당수수, 간장 순이었으며 임실율은 부의 방향으로 잡종강세정도를 나타냈다. 또한 질소 무비조건에 비해 보비조건에서 임실율과 수당영화수를 제외한 기타 형질에서 잡종강세정도가 현저히 높았다.

9. RAPD 분석에 의한 9개 교배친간 유전적거리범위는 0.128~0.411이었고, 교배친간 유전적거리가 가장 가까운 품종은 IR66167-27-5와 IR66746-76-3(0.128)이었으며, 가장 먼 품종은 다산벼와 TR22183(0.411)이었다. 군집분석결과는 작물학적 분류결과와 일치하는 경향이였다.

10. RAPD분석에 의한 교배친간 유전적거리와 질소 무비조건에서 조사된 F1의 모든 형질의 잡종강세와는 유의성이 인정되지 않았으나, 보비조건에서는 건물중, CGR, 수장, 수량과 유의한 정의 상관을 보였다. 임실율은 무비 및 보비조건에서 모두 유의한 부의 상관을 보였다.

11. 다산벼와 TR22183간 교배한 F8 100개의 RIL 계통의 형질조사를 완료하였다. 모본간 다형성을 보이는 microsatellite marker를 탐색한 결과, 총 158개의 microsatellite marker에서 모본에서 다형성을 보였다. 현재 Cornell Univ.에서 연구원이 파견되어 보다 많은 marker를 이용하여 QTLs 분석 중이다.

제4장 질소이용효율 및 관련 형질의 유전분리, 형질간 상호관련성 및 선발효과

제1절 서설

질소이용효율이 높은 품종을 육성하기 위해서는 질소이용효율과 관련 형질들의 유전에 관한 정보가 아쉽다. 아직껏 생리적 질소이용효율의 유전분리에 관한 보고는 없는 실정이고, 그의 선발효과에 관한 정보도 없다. 이 연구는 생리적 질소이용효율이 다른 품종간에 교배한 잡종 초기세대에서 질소이용효율 및 관련형질의 유전분리와 선발효과를 구명하여 생리적 질소이용효율이 높은 품종 육성을 위한 기초정보를 얻고자 수행하였다.

제2절 생리적 질소이용효율 및 관련형질의 유전분리와 상호관련성

1. 재료 및 방법

농업형질 및 생리적 질소이용효율이 다양한 품종들간(표 1-26) 5개 조합(Dasanbyeo/TR22183, Dasanbyeo/IR66746-76-3-2, Milyang23 /TR22183, IR66746-76-3-2/TR22183, IR66167-27-5-6 /TR22183)을 질소 무비 및 보비 조건에 공시하였다. F₂ 집단은 1997년도에, F₃ 계통은 1998년도에, F₄ 계통은 1999년도에 각각 친품종과 함께 질소 무비(N-P₂O₅-K₂O = 0-8-8kg /10a) 및 보비(N-P₂O₅-K₂O = 10-8-8kg/10a) 조건에서 재배하였다.

4월 하순경에 파종 육묘하고, 5월 중순에 재식거리 30×15cm 1주 1본식으로 질소 무비 및 보비 조건에 이양재배하였다. 시비방법은 P₂O₅는 전량 기비로 사용하고, N과 K₂O는 기비:분얼비:수비=4:3:3 으로 분시하였다. 제초 및 병해충

방지는 적기에 실시하였고, 기타 재배법은 본 대학 관행재배법에 준하였다. 조합별, 세대별 조사형질은 간장, 수장, 주당수수, 수당영화수, 임실율, 수량 및 질소함량이었다. 수량은 수분 14%를 기준으로 하였고, 질소함량은 Auto Kjeldhal Nitrogen Analyzer에서 분석하였다. 지상부질소보유량(Shoot nitrogen content at harvesting stage : SNCH) 및 생리적질소이용효율(Physiological nitrogen use efficiency : PNUE)은 조곡과 짚의 질소농도를 측정된 후 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\text{지상부질소보유량(g/m}^2\text{)} = \text{지상부건물중(g/m}^2\text{)} \times \text{지상부건물질소농도(mg/g)}$$

$$\text{생리적질소이용효율} = \text{정조수량(g/m}^2\text{)} \div \text{지상부질소보유량(g/m}^2\text{)}$$

형질의 유전력은 아래 두 가지 방법에 의하여 추정하였다.

- 회귀유전력 : F_n 개체에 대한 자식 F_{n+1} 계통군 평균치의 회귀계수,

$$h_{nB(r)}^2 = \frac{Cov_{nn+1}}{\sigma_n^2}$$

- 표준화된 유전력(Standardized heritability)(Frey & Horner, 1957)

$$h_{nB(s)}^2 = \frac{Cov_{nn+1}}{\sigma_n^2} \times \frac{\sigma_n}{\sigma_{n+1}}$$

여기서 Cov_{nn+1} 은 F_n 개체와 F_{n+1} 계통평균의 공분산이고, σ_n^2 과 σ_{n+1}^2 은 각각 F_n 개체와 F_{n+1} 계통평균의 분산이며, σ_n 과 σ_{n+1} 은 각각 n 세대와 $n+1$ 세대의 표준편차이다.

2. 결과 및 고찰

양친간 생리적 질소이용효율의 차이가 적은 다산벼/IR66746-76-3 조합 및 차이가 상대적으로 큰IR66167-27-5-6/TR22183 조합의 F_2 집단을 보비 및 무비조

건에서 재배하고 개체별로 수량, 조고비율, 쪼 질소농도, 지상부 질소함량, 생
 리적 질소이용효율을 조사하여 그 분리를 나타낸 것이 그림 1-10이다. 모든 형
 질들은 연속변이를 보여 다수의 유전자가 관여하는 양적 유전 특성을 나타내었
 고 초월분리를 보였다. 개체별 수량은 당연한 결과로 두 조합 모두에서 질소 무
 비재배시 보다 보비재배시 월등히 높았지만 무비재배에서도 수량성이 우수한 개
 체들이 출현하였으며 초월분리도 매우 두드러졌다. 수확지수는 질소비료 반응이
 조합별로 상이하었는데, 다산벼/IR66746 조합에서는 질소 무비재배시에 수확지
 수가 대체로 낮았으나, IR66167/TR22183 조합에서는 차이가 없었다. 쪼 질소농
 도는 IR66167/TR22183 조합에서는 양친보다 낮은 쪽으로 치우치는 초월분리를
 보였고, 다산벼/IR66746 조합에서는 양친을 중심으로 하는 연속변이를 보였다.
 두 조합 모두 질소 무비구에서 질소농도가 낮았다. 지상부의 단위면적당 흡수질
 소량은 두 조합 모두에서 비슷한 분리를 보였으며, 무비구에서 질소흡수량이 월
 등히 적은 것을 확인할 수 있었다. 생리적 질소이용효율은 IR66167/TR22183 조
 합에서는 양친보다 높은 쪽의 초월분리를 보였고, 다산벼/R66746 조합에서는 대
 체로 양친을 중심으로 하는 연속변이를 보여 두 조합의 분리양상이 다소 달랐
 다. 이 분리양상을 요약하여 제시한 것이 표1-27이다. 표에서 질소 보비와 무비
 간에 형질 평균값을 비교하여 보면 수량은 보비에서 월등히 높았고, 수확지수는
 조합별로 반응이 다르지만 보비와 무비 간에 큰 차이가 없었다. 쪼 질소농도는
 예상대로 질소무비에서 두드러지게 낮았고, 쪼 질소흡수량도 무비에서 월등히
 낮았다. 생리적 질소이용효율 즉 식물체가 흡수한 단위질소량에 대한 수량은 두
 조합 모두 질소 무비조건에서 평균적으로 높게 나타났다. 질소 보비조건과 무비
 조건의 비교를 요약하여 보면 무비조건에서는 보비조건에 비해 식물체의 생육이
 저조한데 이삭과 쪼 모두 비슷한 정도로 감소함을 알 수 있으며, 질소흡수량
 또한 감소하는 반면에 흡수질소의 수량에 대한 이용효율은 높음을 알 수 있었
 다. Park et al(1975, 1982)은 질소시비량을 달리하여 질소의 이용효율을 조사

한 결과 질소 무시용구 또는 저시용구에서의 질소흡수량은 시용구에 비해 낮았지만 이용효율은 높다고 보고하여 본 실험에서와 같은 결과이었다.

잡종초기 분리세대에서 수량관련형질과 생리적 질소이용효율과의 상관을 조합별, 세대별, 질소조건별로 구분하여 제시한 것이 표 1-28이다. IR66167-27-5-6/TR22183 및 Dasanbyeo/IR66746-76-3-2 조합 F₂에서는 질소 보비 조건에서 두 조합 모두 수량 및 수확지수와 생리적질소이용효율 간 유의한 정의 상관을 보였으며, 수당영화수는 Dasanbyeo/IR66746-76-3-2 조합에서만 생리적질소이용효율 간 유의한 정의 상관을 보였다. 질소 무비조건에서는 공시한 두 조합 모두 수확지수와 생리적질소이용효율 간 유의한 정의 상관을 보였으며, 수량은 Dasanbyeo/IR66746-76-3-2 조합에서만 생리적질소이용효율간 유의한 정의 상관을 보여 처리간 조합간 차이를 보였다. Dasanbyeo/TR22183, Mil.23/TR22183, IR66746-76-3-2/TR22183 조합의 F₃ 및 F₄ 세대에서 생리적질소이용효율과 형질들간의 상관도 조합별로 세대별로 다소의 변이를 보였지만 대체로 정조수량 및 수확지수와는 높은 상관이 나타남을 알 수 있으며 이는 Broadbent & De Datta. (1987)의 연구결과와 일치하였다. 또한 세대가 진전됨에 따라 그 상관정도가 높아졌고 질소 조건에 따라서는 특정 경향이 없는 것으로 나타났다.

친자간의 회귀에 의한 방법으로 생리적 질소이용효율과 수량에 대한 유전력을 구하기 위하여 F₂ 개체 및 F₃ 계통에서 선발한 것을 각각 F₃ 및 F₄ 계통으로 질소 무비 및 보비조건에서 재배하여 조사하였고, 회귀계수 및 회귀계수를 표준화하여 遺傳力 값을 구한 것이 표29이다. 생리적 질소이용효율의 유전력은 Dasanbyeo/TR22183, Milyang23/TR22183 조합에서는 보비조건에서 높았으며, 조합간 차이가 큰 것으로 나타났다. 반면 IR66746-76-3-2/TR22183 조합에서는 도리어 질소 무비조건에서 보비조건에 비해 월등히 높게 나타나 유전력은 사용재료 및 시비조건에 따라 대단히 큰 변이를 보이는 것으로 생각할 수 있었다. 여

기서 유전력이 0인 것은 회귀계수의 수치가 0 또는 그 이하로 나타났던 것으로 선발에 의한 유전적 진전이 전혀 없었음을 의미한다. 따라서 생리적 질소이용 효율의 선발시에는 재료 및 선발조건을 심각하게 고려해야 할 것으로 판단되었는데, 추후 이와 관련된 실험이 재료와 세대를 더 보강하여 수행되어야 할 것이다. 수량의 경우 $F_2 \rightarrow F_3$ 의 친자간 구한 유전력에 비해 $F_3 \rightarrow F_4$ 의 친자간 유전력이 높아서 세대가 진전되면서 수량의 유전력은 증가함을 확인할 수 있었다. 질소시비조건별로는 무비구에서 유전력이 월등히 높게 나타났다. 한편 단순 회귀계수에 의한 유전력 보다는 표준화된 회귀계수를 이용한 유전력의 수치가 대체로 큰 값으로 나와서 환경의 영향을 보정한 효과가 있는 것으로 판단되었다. Gotoh and Osanai (1959b)의 소맥의 수량에 대한 遺傳力은 소비구의 육성환경에서 더 큰 遺傳力으로 나타났으며, 또한 소맥에서 F_2 개체에 대한 F_3 계통, F_3 계통에 대한 F_4 系統群의 回歸에 의해 계산된 遺傳力은 少肥의 육성환경에서 높은 遺傳力을 維持하였다고 보고한 바 있으나 Lee(1974)는 소맥의 수량의 遺傳力은 시비량 증가에 따라 높아지는 경향이 있다고 상반된 결과를 보고한 바 있다.

표 1-26. 질소 보비(10kg/10a) 및 무비 조건에서 재배된 친 품종들의 수량관련 형질

Characters	N-level	IR6 ^{a)}	IR2	DS	M23	TR
Culm length (cm)	10N	71.2	75.7	73.8	65.8	73.7
	0N	75.1	70.3	69.7	62.0	69.3
Panicle length (cm)	10N	24.0	25.4	25.4	27.6	27.1
	0N	22.4	24.4	24.1	26.0	26.2
Panicles/plant	10N	4.7	5.3	12.5	11.7	6.3
	0N	3.2	4.5	10.8	7.8	4.2
Spikelets/panicle ^{b)}	10N	345.3	325.0	247.3	244.3	253.8
	0N	285.3	280.8	216.3	210.8	219.8
Grain fertility (%)	10N	64.6	86.4	94.0	91.2	85.3
	0N	73.2	87.9	95.2	95.0	88.4
1,000-grain weight (g)	10N	29.0	23.4	25.3	26.1	24.0
	0N	32.4	25.6	25.5	25.5	23.4
Grain yield (g/plant)	10N	15.1	23.0	40.2	37.6	18.1
	0N	18.0	21.5	35.8	32.1	15.1
Harvest index	10N	0.37	0.50	0.47	0.54	0.59
	0N	0.48	0.54	0.59	0.55	0.62
PNUE ^{c)}	10N	42.9	53.3	49.4	47.0	56.1
	0N	54.4	60.3	58.5	50.9	58.5

a) IR6=IR66167-27-5-6, IR2=IR66746-76-3-2, DS=Dasanbyeo, TR=TR22183, M23=Milyang23,

b) The biggest panicle was measured for the number of spikelets per panicle.

c) PNUE: Physiological nitrogen-use efficiency
[Grain yield(g/m²)/SNCH(g/m²)]

표 1-27. 질소 보비 및 무비 조건에서 재배된 F2집단들에서
생리적질소이용효율(PNUE) 및 관련형질

Characters	N-level	IR66167/TR22183		Dasanbyeo/IR66746	
		Mean	Range	Mean	Range
Grain yield / plant (g)	10N	28.3	9.7~56.8	24.7	8.0~44.7
	0N	21.8	6.5~47.7	18.2	2.4~41.2
Harvest index	10N	0.59	0.29~0.72	0.53	0.35~0.65
	0N	0.59	0.31~0.69	0.57	0.37~0.75
NCS (mg/g)	10N	6.05	4.3~8.5	6.52	4.3~9.3
	0N	5.58	4.3~7.8	6.01	3.4~9.2
SNCH(g/m ²)	10N	9.43	3.3~19.2	9.64	4.9~18.4
	0N	7.02	2.2~18.7	6.79	1.1~15.4
PNUE	10N	66.4	38.2~86.9	56.4	31.1~76.7
	0N	69.0	43.2~85.7	58.5	36.8~84.2

IR66167=IR66167-27-5-6, IR66746=IR66746-76-3-2

NCS : N-concentration of straw

SNCH : Shoot nitrogen content at harvesting stage(g/m²)

PNUE : Physiological nitrogen use efficiency[=Grain yield(g/m²)/SNCH(g/m²)]

10N : N-fertilized condition (N-P₂O₅-K₂O = 10-8-8 kg/10a)

0N : N-unfertilized condition (N-P₂O₅-K₂O = 0-8-8 kg/10a)

표 1-28. 질소 보비 및 무비조건에서 5개의 조합 F2, F3, F4에서 생리적질소이용효율 (PNUE)과 다른형질들과의 상관

Characters	N-level	IR6/TR ^{a)}	DS/IR2	DS/TR		M23/TR		IR2/TR	
		F ₂	F ₂	F ₃	F ₄	F ₃	F ₄	F ₃	F ₄
Panicle/ plant	10N	0.12	0.03	-0.35	0.19	0.49*	0.08	-0.35	0.52
	0N	-0.05	0.04	0.17	0.11	-0.76**	0.13	0.07	0.19
Spikelets/ panicle	10N	0.03	0.37**	0.26	0.02	-0.21	0.29	0.26	0.16
	0N	0.07	-0.18	0.27	0.24	0.43	-0.04	0.49*	0.11
G r a i n yield	10N	0.29**	0.48**	0.18	0.54*	0.49*	0.59**	0.18	0.85*
	0N	0.02	0.33**	0.40	0.71**	0.34	0.46*	-0.27	0.92**
Harvest index	10N	0.80**	0.89**	0.26	0.41	0.66*	0.62**	0.26	0.91**
	0N	0.74**	0.85**	0.59**	0.87**	0.72**	0.82*	0.28	0.94**
SNCH	10N	-0.14	-0.03	-0.06	-0.08	-0.32	0.11	-0.06	0.14
	0N	-0.31**	-0.01	0.07	0.15	-0.32	-0.29	0.13	0.04

*, ** : Significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively

Refer to Table 1 for abbreviations.

a) DS=Dasanbyeo, M23=Milyang23, IR6=IR66167-27-5-6, IR2=IR66746-76-3-2, TR=TR22183

표 1-29. 질소 보비 및 무비조건에서 3 조합별 PNUE 및 수량의 유전력 추정

Characters	Generation	N-level	Dasanbyeo /TR22183		Milyang23 /TR22183		IR66746-76-3-2 /TR22183	
			h _r	h _s	h _r	h _s	h _r	h _s
PNUE	F ₃ -F ₄	10N	19.3	19.1	64.0	71.2	0	0
		0N	0	0	24.2	31.0	54.0	69.8
Grain yield	F ₂ -F ₃	10N	3.1	0	3.6	0	39.9	48.9
		0N	3.8	2.8	14.7	71.1	56.6	68.8
	F ₃ -F ₄	10N	15.5	16.1	14.7	0	39.9	32.2
		0N	21.1	37.7	38.1	77.8	74.9	77.7

h_s : Standardized heritability. h_r : Heritability by regression coefficient.

IR66167-27-5-6/TR22183

Dasanbyeo/IR66746-76-3-2

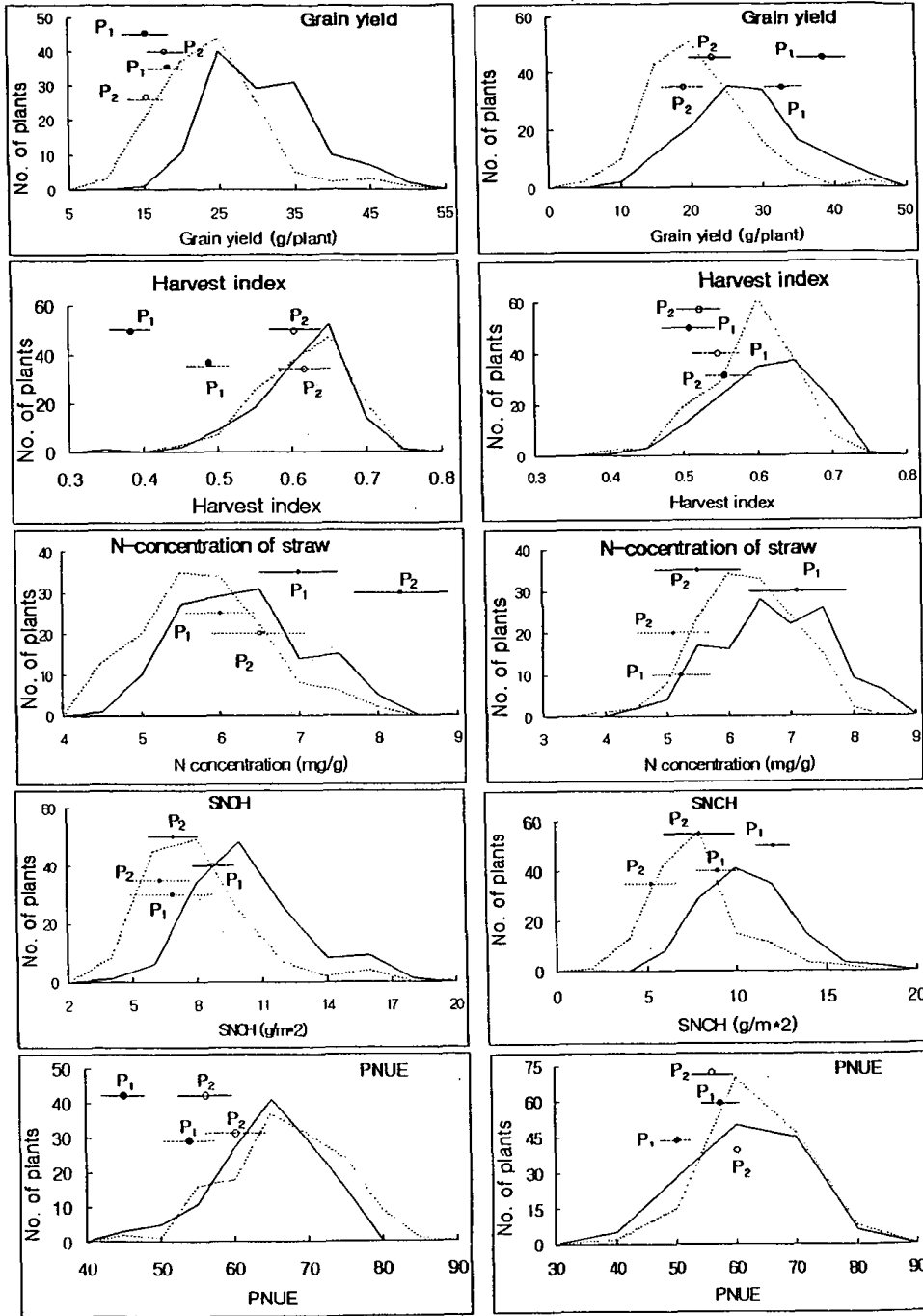


그림 1-10. 질소 보비 (solid lines) 및 무비(dotted lines) 수준에서 형질들의 유전분리 양상

제 3 절 초기세대에서의 생리적 질소이용효율 및 수량에 대한 선발효과

1. 재료 및 방법

본 시험에서는 생리적 질소이용효율과 수량형질이 각기 다른 모본으로 교배된 5조합(Dasanbyeo/ TR22183, Dasanbyeo/ IR66746-76-3, Milyang23/TR22183, TR22183/IR667446-76-3 및 TR22183/IR66167-27-5)의 F₂-F₄ 분리집단을 질소 무비(N-P₂O₅-K₂O = 0-8-8kg/10a) 및 보비(N-P₂O₅-K₂O = 10-8-8 kg/10a) 조건에 재배하여 수행하였다.

F₂분리집단에서 Dasanbyeo/ IR66746-76-3, TR22183/IR66167-27-5 두 조합은 생리적질소이용효율이 높은 것과 낮은 것, 기타 조합은 수량성이 높은 것과 낮은 것을 각각 선발하여 1998년 4월24일에 파종 5월30일 F₃계통으로 1주1본식 이양 재배하였다. 시험구 배치는 Dasanbyeo/TR22183, Milyang23/TR22183, TR22183/IR66746-76-3 세 조합은 질소 보비재배조건에서 선발한 개체를 F₃계통으로 질소 보비 및 무비 조건에, 무비재배조건에서 선발한 개체를 질소 보비 및 무비 양 재배조건에 F₃계통으로 동시에 재배하였다. 기타 두 조합은 질소 보비 재배조건에서 선발한 개체를 보비 재배조건에, 무비재배조건에서 선발한 개체를 무비조건에 재배하였다. 또한 Dasanbyeo/TR22183, Milyang23/TR22183, TR22183/IR66746-76-3 세 조합은 F₃계통에서 수량이 높은 계통에서 고수량 개체를 수량이 낮은 계통중에서 저 수량개체를 선발하여, 1999년 4월26일에 파종. 5월31일에 질소 보비 및 무비 재배조건에 이양재배하였다.

조사항목은 간장, 수장, 수수, 수당영화수, 임실율, 1,000립중, 수량(GY), 수확지수, 지상부질소흡수량(Nt) 및 생리적질소이용효율(GY/Nt)를 조사하였다.

유전진전(Genetic gain)은 Falconer.(1960), Lerner(1958), Yanamoto and Toriyama(1971)의 방법에 따라 직접선발반응 (Direct responses to selection) 과 간접선발반응(Indirect responses to selection) 을 아래 식으로 계산하였

다.

$$R_x = i \cdot h_x \cdot \sigma_x$$

X에 대한 Y의 상관선발효과는

$$CR_Y = i \cdot h_x \cdot b_{xy} \cdot \sigma_Y$$

여기서 R_x 는 X형질에 대한 직접선발효과, h_x 는 X형질의 표준편차, i 는 선발강도, CR_Y 는 상관선발효과, r_{xy} 는 X형질과 Y형질의 상관계수, σ_Y 는 Y형질의 표준편차이다

실측 선발효과는 친품종의 평균년차 변동효과를 각 형질별로 제한 다음 선발된 F_3 계통과 F_4 계통군간 평균유전진전의 실측치로서 나타났다.

2. 결과 및 고찰

표 1-30은 잡종 F_2 세대에서 고수량과 저수량 양방향으로 질소 무비 및 보비 재배조건에서 선발한 개체를 F_3 계통으로 질소 무비 및 보비 재배조건에 재배하여 수량에 대한 직접선발효과를 나타낸 것이다. 먼저 잡종 F_2 분리세대에서 고수량과 저수량 양방향으로 질소 보비재배조건에서 선발하여 F_3 계통으로 같은 조건에 재배하였을 경우 IR66746-76-3/TR22183조합에서만 고수량계통군과 저수량계통군간 유의한 차이를 보여 수량 자체에 대한 직접선발효과가 있는 것으로 나타났으며 기타 세 조합은 모두 직접선발효과가 없는 것으로 나타났다. 또한 질소 보비재배조건에서 선발하여 F_3 계통으로 무비조건에 재배하였을 경우 공시한 모든 조합의 고수량계통군과 저수량계통군간 수량간 차이가 없어 질소구-무비구 교차선발에 대한 직접선발효과를 기대하기는 어렵다. 잡종 F_2 세대에서 고수량과 저수량 양방향으로 질소 무비재배조건에서 선발하여 F_3 계통으로 같은 조건에 재배시 공시된 네 조합 모두 고수량계통군과 저수량계통군의 수량간 유의한 차이를 나타내어 수량에 대한 직접선발효과가 있는 것으로 나타났으며, 질소 보비조건에 재배하였을 경우 TR22183/IR66746-76-3조합은 무비구-보비구 교차선

발에 대한 직접선발효과가 인정되며 기타조합은 선발효과가 없는 것으로 나타났다.

F_3 계통집단에서 질소 무비조건과 보비조건에서 고수량 및 저수량 양방향으로 선발하여, F_3 계통으로 질소 무비조건과 보비조건에 재배하여 수량자체에 대한 직접선발효과를 검토한 결과를 표 1-31 에서 제시하였다. 이 표에서 보는 바와 같이 질소 무비조건에서 선발하여 같은 조건에 재배하였을 경우 Dasanbyeo/TR22183조합은 고수량계통군과 저수량계통군의 수량간 유의한 차이가 없어 수량 자체에 대한 직접선발효과가 없는 것으로 나타났으며, 기타 두 조합은 수량에 대한 직접선발효과가 있는 것으로 나타났다. 질소 보비재배조건에서 선발하여 보비조건에 재배하였을 경우 모든 공시 조합에서 수량 자체에 대한 직접선발효과가 없는 것으로 나타나 F_2 세대에서의 결과와 일치하는 경향이였다. 일반 적으로 수량은 유전력이 낮기 때문에 잡종초기세대에서 수량자체에 대한 직접선발을 피하고 수량과 유전상관이 높은 형질로 상관선발하는 것이 효과적이다(Wallace et al. 1972). 그러나 수량의 유전력과 선발효과는 조합 및 재배환경에 따라 변동이 크며(Johnson 1963, Briggles and Shebeski 1970, Yamamoto 1975). Gototh and Osansi(1959)는 초기분리 세대에서 수량의 유전력은 소비조건에서 가장 높았으며 다수성 계통 출현이 많았다는 보도와 본 연구결과 에서 질소 보비 조건에 비해 무비조건에서 수량에 대한 직접선발효과가 크게 나타났다는 결과와 일치 한 것이다.

질소 저 투입 적응성 품종선발에 있어서 가장 효율적인 지표형질을 선정하기 위해 잡종 F_2 집단에서 수량에 근거하여 선발을 실시한 후 F_3 계통에 있어서의 수량관련형질에 대한 상관선발반응을 질소 무비 및 보비재배조건에서 살펴보았다. 표 1-32에서 보는 바와 같이 선발형질에 대한 직접선발반응나 비선발형질에 대한 상관선발반응의 실제 유전획득량과 기대 유전획득량 간에는 조합 및 재배조건에 따라 많은 차이를 보여주고 있다. Dasanbyeo/IR66746-76-3조합의 질소 무

비재배조건에서의 직접선발반응의 기대 유전획득량은 $45.24\text{g}/\text{m}^2$ 이었으나, 실제 유전획득량은 $99.25\text{g}/\text{m}^2$ 으로서 기대치보다 높게 나타났으며 보비조건에서는 기대 유전획득량은 $136.63\text{g}/\text{m}^2$ 이었으나, 실제 유전획득량은 $25.73\text{g}/\text{m}^2$ 으로서 기대치가 더 높게 나타났다. 상관선발반응에서는 질소 무비 재배조건에서 수장, 수확지수 및 생리적질소이용효율을 제외한 기타 형질에서 실제유전획득량은 기대 유전획득량 보다 높게 나타났으며, 보비조건에서는 수확지수를 제외한 기타 형질에서 기대유전획득량이 실측치 보다 높게 나타나는 경향이였다. TR22183/IR66746-76-3 조합의 질소 무비 재배조건에서의 직접선발반응의 기대유전획득량은 $98.86\text{g}/\text{m}^2$, 실제유전획득량은 $85.53\text{g}/\text{m}^2$ 으로 기대치가 약간 높게 나타났으며 질소 보비조건에서도 같은 경향이였다. 또한 실제치와 기대치가 모두 질소 무비조건에서 보비조건 보다 크게 나타났다. 상관선발반응은 질소 무비조건의 경우 수당영화수와 수확지수를 제외한 기타 형질에서 실제유전획득량이 기대유전획득량 보다 더 높게 나타났으며, 질소 보비조건에서는 간장, 수장 및 잎실율은 실제치가 기대치 보다 높게 나타났고 기타 형질은 기대치가 더 높게 나타났다. 또한 질소 무비 및 보비조건에서 조합에 관계없이 직접선발반응은 상관선발반응 보다 더 높게 나타나는 경향이였다. 이상의 결과를 볼 때 질소 저 투입 적응성 품종육성을 위하여 수당영화수 및 주당수수등 형질을 상관선발 지표형질로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

질소 무비 및 보비 재배조건에서 잡종 초기세대에서의 생리적질소이용효율 자체에 대한 직접선발효과를 본 것이 표 1-33이다. 이 표에서 보는 바와 같이 질소 무비 재배조건에서 선발하여 F_3 계통으로 질소 무비조건에 재배하였을 때 두 조합에서 모두 생리적질소이용효율이 높은 계통군과 낮은 계통군간 正의 방향으로 유의한 차이를 나타나 초기 세대에서 생리적질소이용효율 자체에 대한 직접선발효과가 있는 것으로 인정되며, 보비 조건에서 선발시 무비조건과 같은 경향으로 나타났다. 이 결과는 수량 형질과 달리 잡종 초기세대에서 선발에 의

해 생리적질소이용효율이 높은 계통을 육성할 수 있을 것으로 기대된다.

질소 저 투입 재배조건에서 생리적질소이용효율을 높이기 위한 효율적인 선발지표를 알고자 직접선발반응과 상관선발반응의 실제유전획득량과 기대유전획득량을 질소 무비 및 보비 재배조건에서 비교 분석한 것을 표 1-34에 제시하였다. 먼저 Dasanbyeo/TR22183 조합에서 직접선발반응의 실제유전획득량은 질소 무비조건에서 7.77으로, 보비조건에서는 2.41으로 나타나 무비조건에서 더 크게 나타났으며 기대유전획득량은 질소 무비조건에서는 6.49이었으나, 보비조건에서는 6.98으로 보비조건에서 약간 더 컸다. 상관선발반응의 실제유전획득량을 보면 질소 무비조건에서는 수당영화수 및 수확지수가 높게 나타났고, 보비조건에서는 수량, 생물수량 및 수확지수가 높은 값을 나타냈다.

TR22183/IR66167-27-5조합의 질소 무비 및 보비 두 조건에서 모두 직접선발반응의 실제유전획득량에 비해 기대유전획득량이 더 크게 나타났으며, 실제유전획득량은 질소 무비조건에서 보비조건에서 보다 더 큰 값을 나타냈고 기대유전획득량은 질소 보비조건에서 더 크게 나타났다. 상관선발반응의 실제유전획득량은 질소 무비조건에서 주당수수와 수확지수가 높은 값을 나타냈으며 보비조건에서는 수량 및 수확지수가 높은 값을 나타냈다. 그림 1-11은 고수량 방향으로 선발된 계통들의 생리적질소이용효율과 수량간 질소 보비 및 무비조건에서의 산포도를 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 다수성이면서 생리적질소이용효율이 높은 계통출현이 질소 보비조건에 비해 무비조건에서 월등히 많았으며 생리적질소이용효율과 수량간 질소 무비조건에서 유의한 정의 상관을 보였으나 보비조건에서는 유의성이 인정되지 않았다. 우리가 추구하는 생리적질소이용효율이 높으면서 수량이 높은 품종선발에 있어서 질소 무비 재배조건에서 선발하는 것이 보비 또는 다비조건에서 보다 더 효율적이고 가능 할 것이라고 생각된다.

표 1-30. 질소 보비 및 무비조건에서 재배된 F2 개체들로부터 저수량 및 고수량으로 선발된 계통들의 F3 계통군간 평균수량 비교

Selected conditions	Test conditions	Groups	Dasanbyeo /TR22183	Milyang23 /TR22183	TR22183/ IR66746-76-3	Dasanbyeo/ IR66746-76-3
10N	10N	High yield	547.37	587.86	608.93	752.42
		Low yield	580.50	617.89	534.00	637.86
		t-test	ns	ns	ns	ns
	0N	High yield	347.74	362.61	425.13	-
		Low yield	310.21	440.10	382.31	-
		t-test	ns	**	ns	-
0N	10N	High yield	592.67	596.58	697.29	-
		Low yield	590.85	583.22	554.30	-
		t-test	ns	ns	**	-
	0N	High yield	471.83	522.57	496.52	680.17
		Low yield	451.23	410.97	373.12	570.43
		t-test	ns	**	**	*

*, ** : Significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

10N : N-fertilized condition (N-P₂O₅-K₂O = 10-8-8 kg/10a).

0N : N-unfertilized condition (N-P₂O₅-K₂O = 0-8-8 kg/10a).

표 1-31. 질소 보비 및 무비조건에서 재배된 F3 계통들로부터 저수량 및 고수량으로 선발된 F4 계통들의 평균수량

Selected conditions	Test conditions	Groups	Dasanbeyo /TR22183	Milyang23 /TR22183	TR22183/ IR66746-76-3
10N	10N	High yield	730.26	620.67	658.09
		Low yield	707.24	639.02	582.10
		t-test	ns	ns	ns
0N	0N	High yield	584.32	732.32	616.95
		Low yield	517.84	570.68	500.02
		t-test	ns	*	**

*, ** : Significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

표 1-32. 질소 보비 및 무비조건에서 F2를 개체 선발하여 F3 계통재 배하였을 때 수량에 대한 표준화된 선발반응

Crosses	N-level	Item	Direct response		Indirect response						
			Yield	Culm length	Panicle length	Panicles /plant	Spikelets /panicle	Grain fertility (%)	Harvest index	SNCH	PNUE
DS/IR3	10N	Ob	25.73	0.42	0.05	0.08	3.41	1.37	20.25	0.15	2.33
		Ex	136.63	14.95	11.97	20.32	34.49	109.61	0.70	32.95	135.96
	0N	Ob	99.25	36.52	-2.18	44.77	25.31	26.59	-2.78	46.43	21.23
		Ex	45.24	8.23	15.52	31.45	16.06	14.12	14.30	43.19	32.27
TR/IR3	10N	Ob	31.66	19.74	12.70	23.42	2.24	17.07	7.83	-	-
		Ex	30.55	19.60	-1.74	29.63	15.92	4.41	15.68	-	-
	0N	Ob	85.53	58.75	45.78	50.04	67.15	25.75	-1.85	-	-
		Ex	78.66	71.42	22.33	81.18	60.97	-2.08	30.69	-	-

DS/IR3 : Dasanbyeo/IR66746-76-3, TR/ IR3 : TR22183/IR66746-76-3

Ob : Observed Ex : Expected

표 1-33. 질소 보비 및 무비조건에서 F2를 생리적질소이용효율이 높은 개체와 낮은 개체로 구분 선발하여 F3 계통재배하였을 때 계통들의 생리적질소이용효율

Selected conditions	Test conditions	Groups	TR22183/IR66167-27-5	Dasanbyeo/IR66746-76-3
10N	10N	High	49.87	46.92
		Low	41.04	38.17
		t-test	**	**
0N	0N	High	52.23	56.32
		Low	48.13	45.31
		t-test	**	**

*, ** : Significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

표 1-34. 질소 보비 및 무비조건에서 F2를 개체 선발하여 F3 계통재 배하였을 때 생리적질소이용효율(PNUE)에 대한 표준화된 선발반응

Crosses	N-level	Item	Direct Response		Indirect response						
			PNUE	Culm length	Panicle length	Panicles /plant	Spikelets /panicle	Grain fertility (%)	Yield	Harvest index	SNCH
DS/IR3	10N	Ob	2.41	0.26	0.48	1.56	1.41	1.59	1.89	1.77	1.39
		Ex	6.98	-0.78	1.82	4.56	4.63	6.07	6.51	5.91	5.00
	0N	Ob	7.77	1.28	-1.45	-1.15	5.84	4.19	4.62	5.77	5.15
		Ex	6.49	2.01	-2.91	-0.72	5.63	5.05	5.26	6.36	3.56
TR/IR5	10N	Ob	1.77	0.89	-0.36	0.91	0.14	-0.40	1.35	1.63	0.35
		Ex	6.16	3.03	-0.49	2.51	2.25	-3.69	1.67	1.96	-1.32
	0N	Ob	1.85	0.37	-0.32	0.62	0.52	-0.67	0.43	0.54	-0.26
		Ex	2.84	-0.57	-0.23	0.22	0.72	-0.84	2.31	2.66	0.68

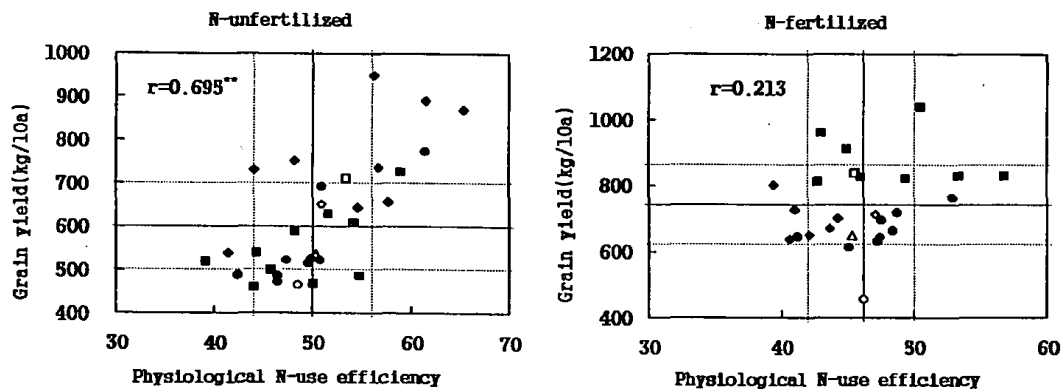


그림1-11. 고수량으로 선발된 F4 계통들의 생리적 질소이용효율 및 수량 분포도

* Horizontal and vertical lines inside indicate the average value of each character and dotted lines ± 1 sd.

■: Dasanbyeo/TR22183, ●: IR66467-76-3-2/TR22183, ◆: Milyang23/TR22183

□: Dasanbyeo, ◇: Milyang23, △: IR66467-76-3-2, ○: TR22183.

제4절 적요

1. 수량 및 생리적 질소이용효율과 관련된 형질들은 연속변이를 보여 다수의 유전자가 관여하는 양적 유전 양상을 나타내었고 모두 초월분리를 보였다.

2. 잠종초기세대에서 생리적 질소이용효율은 질소 무시용조건에서 더 크게 나타났고, 두 질소조건에서 모두 수확지수 및 수량과 높은 상관을 보였으나 지상부질소보유량과는 상관이 없거나 매우 낮았다.

3. 초기세대의 생리적질소이용효율의 유전력은 조합과 질소시비조건별로 편차가 심하였고, 수량의 유전력은 질소 무비조건에서 그리고 세대가 진전될수록 더 높게 나타났다.

4. 잠종초기세대에서 수량에 대한 직접선발효과는 질소 보비조건에 비해 무비조건에서 더 큰 선발효과를 보였으며 그 정도는 조합에 따라 약간 차이가 있었으며 생리적 질소이용효율은 양 조건에서 모두 선발효과가 있는 것으로 나타났다.

5. 수량과 질소이용효율의 유전적진전은 모두 질소 보비조건에 비해 무비 조건에서 더 크게 나타났다.

6. 초기세대에서 고수량방향으로 선발된 계통중에서 수량이 높으면서 생리적 질소이용효율이 높은 계통은 질소보비 조건에 비해 무비조건에서 더 많이 출현되었고, 교배친 보다 우수한 계통들이 무비조건에서 더 많이 출현되었다.

제5장 질소이용효율이 높은 품종의 육성

제1절 서설

본 제1세부과제의 궁극적인 목적은 질소이용효율이 높으면서도 수량도 높은 품종을 육성하는 것으로서, 그것도 질소를 보비 이하의 수준에서 재배할 경우에도 수량이 저하되지 않는 품종을 육성하는 것이다. 그동안 일련의 실험 수행과 계통을 육성하는 과정에서 질소이용효율이 비교적 높고 수량도 높은 다수의 계통들을 선발할 수 있었다. 이들은 장차 저항성과 품질 등의 검토를 거친 후에 직접 품종으로 이용하거나, 추후의 고질소이용효율 품종 육성에 이용될 수 있을 것으로 보인다.

제2절 육성계통의 농업적 특성

1. 재료 및 방법

연구기간 동안 질소이용효율과 수량성이 동시에 높은 계통육성을 위하여 다수의 조합 후대의 계통들에 대해 선발과 세대진전을 하였다. 그 중 (표 1-34)에서와 같이 다산벼/TR22183, 밀양23호/TR22183, 일품벼/밀양23호, 다산벼/IR SR-2 등의 조합들로부터 선발된 16개의 유망계통들을 2001년에 질소보비구(10kgN/10a)와 소비구(5kgN/10a)에 재배하면서 생산력 검정예비시험을 실시하였다(표 1-35). 조사항목과 요령은 전 시험들과 동일하게 하였다.

2. 결과 및 고찰

선발 검정된 계통들은 모두 인디카(또는 통일형)와 자포니카의 잡종에서

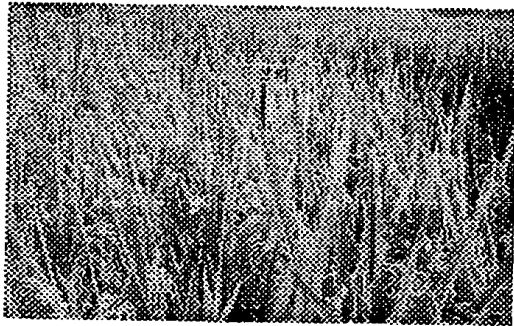
유래된 계통들이다. 본 과제의 목표를 충분히 달성하기 위해서는 단순히 질소이용효율과 수량성만을 고려하여 계통을 육성할 경우 품종화가 어렵기 때문에, 원래 계획시부터 모든 조합들을 인디카와 자포니카간 교배되도록 설계하였다. 즉 질소이용효율과 수량성에 추가하여 인디카(또는 통일형)의 수량성과 자포니카의 품질 및 내냉성 특성이 결합될 수 있도록 하였다.

표 1-36은 육성계통들의 성적을 정리하여 평균한 것이다. 표에서 보듯이 보비에서 대조품종인 다산벼의 정조수량은 1,080kg/10a이었고, 생리적질소이용효율은 48.6 이었다. 육성계통들의 정조수량은 899 kg/10a에서부터 1237kg/10a(17005)까지 나왔고, 생리적질소이용효율은 37.2~52.6의 범위를 나타내었다. 다산벼보다 수량과 질소이용효율이 동시에 높은 계통들은 17005, 17006, 17009, 17014, 17018 등이었다. 497과 500계통도 수량이 다산벼에 비해 높았다. 소비에서 다산벼의 정조수량은 748kg/10a으로 보비대비하여 69%에 불과하여 30%이상 감소하였으며, 질소이용효율은 약간 높게 나타났다. 육성계통들은 628kg/10a부터 1050kg/10a(17200)까지의 범위를 보였고, 생리적질소이용효율은 37.5~67.3 이었다. 소비에서는 대부분의 계통들의 다산벼의 정조수량을 능가하였고, 특히 각 계통의 보비재배에 대비한 수량지수도 대부분의 계통들에서 다산벼 보다 높게 나타났다. 그 이유는 육성계통들이 질소보비 및 소비 조건에서 수량성과 질소이용효율을 기준으로 선발되어져 왔기 때문일 것이다. 육성계통들 중에서 17200, 17201, 17204, 17205, 17217, 17220 등은 소비조건에서도 상당한 수량을 보였고 생리적질소이용효율도 높아 장치 이용가치가 클 것으로 판단되었다. 그림 1-12는 육성계통들의 사진일부이다. 육성계통들은 대부분 이삭이 크며 이삭수는 적은 소분얼수중형의 특성을 보이며, 특히 497(17217), 500(17220) 계통들은 등숙말기의 저온에서도 적고현상이 매우 약하게 나타나 내냉성이 강할 것으로 추정되었다. 이 계통들은 현재 F5-F6 세대이지만 그림에서 보는 바와 같이 고정도가 상당히 높아 다음해에 반복 생산력검정과 특성검정을 거치면 품종화가

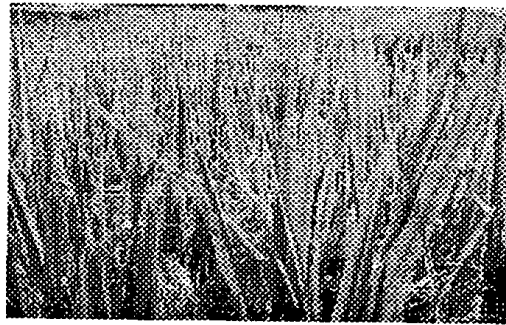
가능할 것으로 생각되는데, 금년의 결과로 보아 수량성 특히 질소소비조건에서의 수량성이 우수하므로 질소 저투입조건에서 잘 적응할 것으로 보여진다.

표 1-35. 생산력검정 예비시험에 공시된 선발계통

포장번호		계통명 및 품종명	세대수
질소 보비	질소 소비		
17005	17200	(다산/TR22183)-5-4-1-1	F5
17006	17201	(다산/TR22183)-5-4-1-2	F5
17007	17202	(다산/TR22183)-5-5-1-1	F5
17008	17203	(다산/TR22183)-5-5-1-2	F5
17009	17204	(M.23/TR22183)-3-5-7-1	F5
17010	17205	(M.23/TR22183)-3-5-7-2	F5
17011	17206	(다산/TR22183)-2-7-4-1	F5
17012	17207	(다산/TR22183)-2-7-4-2	F5
17013	17208	(다산/TR22183)-5-4-1-1	F5
17014	17209	(다산/TR22183)-5-4-1-2	F5
17015	17210	다산	대조품종
17018	17213	(다산벼/IR SR-2)-9-1-1-hv	F5
494	17214	(M.23/일품//다산/IR SR-2)-3-1-1-hv	F5
495	17215	8γ (M.23/일품)-1-7-1-hv	F5
497	17217	짚9814-1-hv	F6
499	17219	(다산/TR22183)-2-5-1-2-hv	F6
500	17220	(M.23/Indica-like//M.23)-3-1-2-1-hv	F6



다산벼 (2001.9.19) (대조품종)



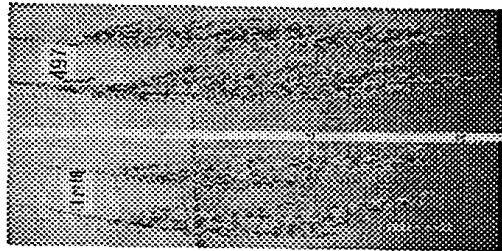
계통 497 (2001.9.19)



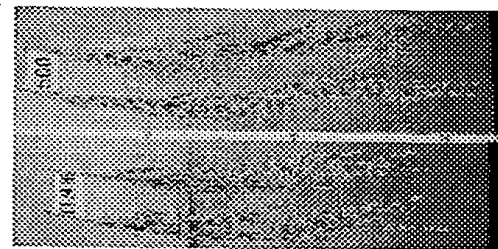
계통 500 (2001.9.19)



계통 17204 (2001.10.12)



계통 497의 이삭



계통 500의 이삭

그림 1-12. 일부 유망계통들의 포장사진 및 이삭

표 1-36. 질소 보비와 소비 조건에서 고세대육성계통의 농업적 특성과 질소효율

보비										
Entry	입실율 (%)	1000립중 (g)	간장 (cm)	수장 (cm)	1주수수 (개)	천식물체 질소량 (kg/10a)	짚무게 (kg/10a)	정조수량 (kg/10a)	수확지수 (%)	질소효율 (%)
다산벼	93.7	27.3	75.0	25.2	13.3	22.2	1019	1080	0.52	48.6
17005	58.8	26.2	77.7	28.0	11.3	23.6	1109	1237	0.53	52.4
17006	84.7	26.1	77.0	27.2	11.0	22.8	954	1168	0.55	51.3
17007	62.1	25.5	75.5	27.3	10.7	23.5	1264	1049	0.45	44.6
17008	64.9	25.9	84.3	27.5	12.7	24.5	1435	911	0.39	37.2
17009	55.0	26.6	72.5	29.2	14.7	23.3	974	1138	0.54	48.7
17010	78.7	24.3	69.8	29.0	12.7	24.4	1167	1116	0.49	45.8
17011	79.2	27.5	82.3	29.8	17.5	23.8	1144	972	0.46	40.8
17012	83.5	25.9	85.2	30.7	10.3	22.3	1161	899	0.44	40.3
17013	85.8	21.1	78.3	29.2	11.7	22.4	1241	1103	0.47	49.1
17014	79.4	25.0	78.8	29.7	11.0	22.0	1354	1158	0.46	52.6
17018	63.8	21.5	78.0	29.3	13.0	21.7	1193	1088	0.48	50.1
494	94.0	22.1	78.3	26.0	11.7	-	-	992	-	-
495	93.5	25.5	77.2	28.4	10.0	-	-	1057	-	-
497	86.9	24.7	80.0	29.5	9.0	-	-	1207	-	-
499	80.0	25.4	71.8	26.8	11.3	-	-	1091	-	-
500	90.1	27.6	84.0	28.7	10.3	-	-	1112	-	-

소비										
Entry	입실율 (%)	1000립중 (g)	간장 (cm)	수장 (cm)	1주수수 (개)	천식물체 질소량 (kg/10a)	짚무게 (kg/10a)	정조수량 (kg/10a) (%)*	수확지수 (%)	질소효율 (%)
다산벼	81.2	26.8	77.2	25.8	10.7	14.7	858	748(69)	0.47	50.9
17200	79.6	24.4	75.0	26.6	9.7	-	-	1050(85)	-	-
17201	76.8	24.6	76.0	27.7	9.3	14.7	706	930(85)	0.58	67.3
17202	92.7	24.7	87.7	28.7	9.0	14.8	803	764(73)	0.49	51.6
17203	84.6	27.9	82.2	26.7	9.7	16.0	848	784(86)	0.48	49.1
17204	90.5	24.0	74.5	28.3	7.0	14.1	622	835(73)	0.57	59.1
17205	84.9	22.5	74.2	30.0	10.0	14.6	613	917(82)	0.60	62.8
17206	82.0	27.7	81.7	31.2	6.7	15.5	854	776(80)	0.48	50.1
17207	67.9	26.3	76.8	24.3	9.3	16.2	832	785(98)	0.49	48.5
17208	86.6	27.5	79.3	28.3	9.7	16.7	858	782(71)	0.44	47.7
17209	55.6	24.7	76.3	26.2	8.7	16.3	829	685(59)	0.45	42.0
17213	68.8	22.1	76.3	27.3	8.7	16.6	941	695(64)	0.42	41.8
17214	81.0	24.7	81.0	27.7	10.0	14.0	748	637(64)	0.46	45.4
17215	83.6	25.8	76.0	30.0	13.0	13.8	674	688(65)	0.51	49.9
17217	-	-	81.7	28.7	8.0	12.2	667	784(65)	0.58	64.2
17219	-	-	62.3	28.5	4.3	22.1	1067	828(76)	0.44	37.5
17220	-	-	76.3	25.7	4.7	13.3	703	858(77)	0.55	64.5

* ()안의 숫자는 보비구에 대비한 소비구의 수량지수(%)

제3절 적요

1. 수량성과 생리적질소이용효율을 기준으로 선발 육성된 F5-F6 계통들의 정조수량은 질소 보비(10kg/10a)조건에서 899 ~ 1237kg/10a 이었고, 생리적질소 이용효율은 37.2~52.6이었다. 질소 소비(5kg/10a)조건에서 육성계통들의 정조 수량은 628 ~ 1050kg/10a 이었고, 생리적질소이용효율은 37.5~67.3이었다. 대조품종인 다산벼보다 수량과 질소이용효율이 동시에 높은 다수의 유망계통들을 선발하였다.

2. 유망계통들은 특히 질소 소비조건에서 수량의 감소정도가 적었고, 생리적 질소이용효율도 높아서 질소저투입 재배조건에 적응할 것으로 판단되었다.

참고문헌

- Briggs, K. G., and L. H. Shebeski. 1970. Visual selection for yielding ability of F₃ lines in a hard red spring wheat breeding program. *Crop Sci.* 10 : 400-402.
- Broadbent, F. E., S. K. De Datta and E. V. Laureles. 1987. Measurement of nitrogen use efficiency in rice genotypes. *Agron. J.* 79 : 786-791.
- Chamura, S., K. Kawase, E. Yokoyama and Y. Honda. 1972. Studies on the relation between the types of soil and palatability of paddy rice. I. The influence of chemical properties of various soil on the and palatability of paddy rice. *Pro. Crop Sci. Soc. Japan.* 41 : 27-31.
- Frey K. J and Homer, T. 1957. *Agronomy J.* 48 : 59-62.
- De Datta, S. K. and E. E. Broadbent. 1988. Methodology for evaluating nitrogen use efficiency by rice genotypes. *Agron. J.* 80 : 793-798.
- Figledow, R. A. and F. Kertesz. 1976. Harvest index in Spaced populations

- and grain yield in croplots as indicators of yielding ability in spring wheat. Crop Sci. 16 : 55-59.
- Genshichi Wada and Pompe C. STA. CRUZ. 1990. Nitrogen Response of Rice Varieties with Reference to Nitrogen Absorption at Early growth stage. Japan, J. Crop Sci. 59(3) : 540-547.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9 : 463-454.
- Gotoh, K. and S. Osanai. 1959. Efficiency of selection for yield under different densities in a wheat cross. Jap. J. Breeding. 9(1) : 7-11.
- 早瀬達郎. 1991. 肥料窒素の溶脱と緩効性肥料(2). 農業および園藝. 66(5) 615-621.
- _____. 1991. 肥料窒素の溶脱と緩効性肥料(2). 農業および園藝 66(6) : 737-740.
- Hayman, B. I. 1954. The analysis of variance of diallel tables. Biometric. 10:235-224.
- _____. 1954. The theory and analysis of diallel crosses. Genetics. 39: 789-809.
- IRRI. 1987. Efficiency of Nitrogen Fertilizers for Rice. Manila.
- 玖村敦彦. 1956. 水稻に於ける葉身 N 濃度か 収量構成要素に及ぼす影響. 日作紀. (24)3 : 56-60.
- Jinks, J. L. 1954. The analysis of continuous variation in a diallel cross of *Nicotiana rustica* varieties. Genetics. 39 : 767-788.
- Johnson, L.P.V. 1963. Applications of diallel cross techniques to plant breeding. In Statistical genetics and plant breeding: 561-569.
- _____, H. W., H. F. Robinson and R. E. Comstock. 1955. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. Agron. J. 47(7) : 314-318.
- 澤藤衛, 山縣弘忠. 1981. 自殖性作物の育種選抜方策 關する研究. III 優良因子間の相反連鎖を考慮した場合の遅延選抜育種方式の効率評価. 日育雜. 31(4): 360-366.
- 坤晃. 1980. 水稻收穫指數之遺傳與環境效應及其與農藝性狀之間相關. 國立中大學

糧食作物研究所碩士論文.

- 곽태순, 전병태, 조순형, 박래경. 1988. 水稻品種의 二面交配에 의한 量的形質의 遺傳分析. II. 자포니카 水稻品種의 收量 및 수량구성형질에 대한 組合能力. 韓育誌. 20(4) : 68-71.
- 이변우, 명을재, 최관호. 1995. 시비 후 물관리 방법이 질소의 동태 및 이용효율에 미치는 영향. 韓作誌 21(2) : 157-166.
- Li, C.C. and T.T. Cnang. 1970. Diallel analysis of agronomic traits in rice(*Oryza sativa* L.). Bot. Bull. Acad Sinica. 11 : 61-78.
- 李春秀, 申喆雨, 郭漢剛, 李康萬, 安允秀, 朴俊奎. 1985. 水稻에 대한 窒素反應의 品種간 差異. 韓土肥誌. 18(2) : 208-214.
- Mather, K. and J.L. Jinks. 1982. Biometrical genetics. Chapman and Hall. Lodon, New York. pp. 396.
- 三井進午. 1939. 水稻의 炭水同化作用에 對する 窒素追肥의 影響. 日土肥誌. (25)3 : 25-30.
- Moll, R.H., E.J. Kamprath, and W.A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agron. J. 74 : 562-564.
- _____, _____. 1987. Development of nitrogen-efficiency prolific hybrids of maize. Crop Sci. 27 : 181-186.
- 村山登. 1976. 水稻施肥技術의 發展と 窒素效率. 農業技術. 31(12) : 523-533.
- 春山盛一. 1973. 水稻의 一代雜種利用에 關する基礎的研究. 日育誌. 23(1) : 22-26.
- Nancharaiah, D., J.S. Nanda and R.C. Chaudiary. 1974. Genetics of yield and yield components in dwarf rice. Indian J. agric. sci. 44(7) : 437-443.
- 長谷川清善, 小林正幸, 中村稔, 中田均. 1981. 水田における施肥窒素の 效率的利用(第3報) 重窒素標識硫安による元肥の 表層施肥と全層施肥比較. 慈賀縣農業實驗場研究報告. 23 : 23-29.
- 長田明夫, 村田吉男. 1962. 水稻品種의 光合成と耐肥性 關する 研究 第1報, 中生品種의 光合成と 內肥性と關係. 日作紀. 30 : 220-223.
- 長戸一雄, 山田記正, F.M. Chaudhry. 1971. 窒素追肥에 對する日本型および 印度

- 型水稻の反應. 日作紀. 40 : 170-177.
- 新田英雄. 1967. 水稻湛水直播栽培に於ける窒素質肥料 施肥法とくに生育後期の施肥時期相違が 生育収量に及ぼす影響. 中國農業研究. 36 : 56-60.
- Nei M. 1987. Molecular evolutionary genetic. Columbia University Press, New York.
- 西澤郎一, 中田均, 藤本依正. 1979. 機械移植水稻の效率的施肥法に關する研究. (第1報)深層元肥 および深層追肥について. 慈賀縣農業實驗場研究報告. 21 : 1-20.
- 朴贊雄. 1999. RAPD 및 SSR 분석에 의한 Japonica 벼 품종간 유전적 유사도와 F1에서 잡종강세와의 관계. 서울대학교 석사논문.
- Park Hoon, Kim Woon-Ju, and Park young-Sun. 1982. Efficiency of Soil and fertilizer nitrogen in relation to Rice variety and application ime, using N-15 rabelled fertilizer. II. nitrogen uptake and efficiency in fields. J.Korean Agricultural Chemical Society. 25(1) : 30-34.
- Park hoon and Seok sun jong. 1982. Efficiency of Soil and fertilizer nitrogen in relation to Rice variety and application time, using N-15 labelled fertilizer. III. Top-dressing with ¹⁵N fertilizer in fields. J. Korean Agricultural Chemical Society. 25(3) : 30-34.
- |Park hoon Mok sung kyun and Seok sun jong. 1982. Efficiency of Soil and fertilizer nitrogen in relation to Rice variety and application time, using ¹⁵N Labelled fertilizer. V. ¹⁵N Point application in fields. J. Korean Agricultural Chemical Society. 25(4) : 30-34.
- 朴薰, 朴英善, 李春秀. 1981. 重窒素를 利用한 水稻品種 및 施用時期에 따른 土壤 및 施肥窒素의 效率. 第一報. 農家圃場에서의 NPK 單純試驗. 韓土肥誌. 24(4): 230-237.
- 朴成泰. 1987. 主要栽培法에 따른 手稻의 乾物生産과 收穫指數에 關한 研究. 1. 窒素施肥에 따른 乾物生産과 收穫指數의 影響. 農業論文集(作物編). 29(2) : 92-106.
- Vlek, P. L, G., C. W. Hong. and L. J. Youngdahl. 1979. An Analysis of N Nutrition on yield and yield components for improvement of rice

- fertiization in korea. J agronomy. 71 : 829-833.
- Prasad, R., and S.K. De Data. 1979. Increasing fertilizer nitrogen efficiency in wetland rice. p. 465-484. In Nitrogen and rice. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Wu, P. and Q. N. Tao. 1995. Genotype response and selection pressure on nitrogen-use efficiency in rice under different nitrogen regimes. J. Plant. nutrition. 18(3) : 487-500.
- Saghai-Marooif, M.A., G.P. Yang, Q. Zhang, K.A. Gravois. 1997. Correlation between marker distance and hybrid performance in U.S. southern long grain rice. Crop Sci. 37 : 145-150.
- Seetharaman, R., D.P. Srivastava and Arun, K. Ghosh. 1971. Preliminary genetic studies in crosses with 'Taichung Native 1' and 'IR8' rice (*Oryza sativa* L.). Indian J. Agric. sci. 41(12) : 1036-1039.
- Skorda, Elpisa. 1973. Increasing the efficiency of selection for F₂ plant yield by reducing environmental variability. Proc. 4th Int. Wheat Genet. Symp. Missouri. 595-600.
- Sprague, G. F. and T.W. Federer. 1951. A comparison of variance components in corn yield trials. II. Error, yield x variety, and variety components. Agron. J. 43(11) : 484-488.
- Shrivastava, M.N. and D.V.SESHU. 1983. Combining ability for yield and associated characters in rice. Crop. Sci. 23 : 741-744.
- Sigh, I.D. and N.C. Stoskopf. 1971. Harvest index in cereals. Agron. J. 63 : 224-226.
- Tanaka, A. 1964. Plant characters related to nitrogen response in rice. Proc, Symp, Mineral nutr, rice plant.
- 高橋治助, 岩田岩保, 馬場起. 1959. 水稻品種の耐肥性に関する研究 1報 品種の耐肥性とN及び炭水化物代謝との關係. 日作紀. 28 : 22-24.
- Venkateswarlu, B., G.S.V. Prasad and A.S.R. Prasad. 1981. Studies on the nature of relationships between grain size, spikelet number, grain yield and spikelet filling in late duration varieties of rice (*Oryza sativa* L.). Plant and Soil. 60 : 123-130.

- Wada, G. 1969. The effect of nitrogenous nutrition on yield determining process of rice plant. Bull. Natl. Inst. Agric. Sci. A16 : 27-157.
- Wallace, A.T., G.K. Middleton, and H.F. Robinson 1954. Genotypic variances of six quantitative characters in oats. Agron. J. 46 : 484-489.
- Wallace, D.H., J.L. Ozbun, and H.M. Munger. 1972. Physiological genetics of crop yield. Adv. Agro. 24 : 97-145.
- Wright, S. 1960. Path coefficients and pathregressions: alternative or complementary concepts? Biometrics. 16 : 189-202.
- Xiao J., J. Li, L. Yuan, S.R. McCouch, S.D. Tanksley. 1996. Genetic diversity and its relationship to hybrid performance and heterosis in rice as revealed by PCR-based markers. Theor. Appl. Genet. 92 : 637-643.
- 尹浚康, 柳順吳. 1993. 土壤 중 窒酸態窒素의 行動과 地下水質. 韓環農誌 12(3) 別冊 : 281-298.
- 長谷川儀一, 大庭高明. 1956. 葉分析の 研究, III 水稻に於ける 無機成分の時期的 變化. 日作紀. 24(3) : 35-39.
- 張權烈, 田炳泰, 郭龍鎬. 1978. 二面交配에 의한 水稻의 量的形質의 遺傳分析. 第3報 一般組合能力과 特定組合能力의 世代別差異. 韓作誌. 23(2) : 40-45.
- Zhang, Q.F., M.A. Maroof, S. Lu, B.Z. Shen. 1992. Genetic diversity and differentiation of *indica* and *japonica* rice detected by RFLP analysis. Theor, Appl. Genet. 83 : 495-499.
- Zheng, K.L., B. Shen, H.R. Qian. 1991. DNA polymorphisms generated by arbitrary primerd PCR in rice. Rice Genet. Newsl. 8 : 134-136.
- 角田重三郎. 1953. 水稻の肥沃地向品種と 瘠地響品種との比較 生育中の窒素含量 等について. 日作紀. 21 : 3-4.
- _____. 1967. 統計育種學の立場よりしても初期世代での選抜はきわめて重要 であるのではないか? 多數性育種研究. 4 : 11-13.

제2세부과제

담수조건에서 질소동태와 질소이용효율 향상을 위한 시비법 확립

제1장 서설

국내 벼농사는 현재의 높은 생산성을 유지하면서도 농용자재의 투입을 줄이는 저투입지속형 생산체계로 변화를 추구하고 있다. 또한 수질환경에 부영양화를 초래하는 관행 시비법과 주변 생태계에 심각한 손상을 가져오는 각종 농약의 사용을 절제하여야 하며, 유기물의 경지환원을 촉진하는 재배법을 확립하여야 한다. 이러한 이유로 최근에는 퇴구비를 포함한 다양한 유기물 자원의 이용 방안과 질소이용효율에 대한 정밀한 평가가 요구되고 있다.

유기물 자원은 토양의 물리·화학·생물적 특징을 종합적으로 개량하는 우수한 면이 있지만 이의 발현과 지속성은 유기물의 분해 속도와 분해 과정에 기인한다. 논에서 유기물 공급원으로 이용할 수 있는 유기물 자원 중 볏짚은 수확과 동시에 논으로 환원할 수 있는 가장 쉽게 이용할 수 있는 유기물 자원이다. 볏짚의 이용을 보면 66%는 연료로 이용되며 20%는 유기물 자원으로 12%는 사료로 이용되고 있으며 (FAO, 1983-1987) 최근 지속성 농업 측면에서 토양 유기물 공급원으로 재인식되고 있다. 또한 헤어리베치는 동계 녹비작물로서 양분 공급능력이 기존의 다른 녹비작물에 비해 우수한 알려져 있으며 두과 작물 중에서 월동력이 뛰어나 유기질 비료로의 이용에 대한 연구가 필요하다.

또한 질소는 작물의 생육에 가장 중요한 성분의 하나이지만 질소비료의 생산은 많은 에너지를 필요로 하고, 작물에 흡수되지 못하고 농경지로부터 유실되는 질소비료는 주요한 비점오염원이 되고 있다. 따라서 효율적인 시비법을 통한 작물

의 질소 이용율의 향상은 합리적인 생산뿐만 아니라 농경지와 주변 생태계를 보호하는 측면에서도 중요한 과제가 되고 있다. 특히 이앙재배의 생력화를 통해 생산비를 절감하고자 하는 직파재배는 본답기간의 연장으로 이앙재배에 비해 질소이용효율의 우려되므로 효율적인 시비법의 확립이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 논에서 유기 자원의 효율적인 이용방안을 제시하고자 유기 자원중 논에서 가장 쉽게 이용할 수 있는 벧짚과 두과 녹비작물인 헤어리베치에 대해 이들의 분해과정과 질소의 방출, 무기태 질소비료와의 상호작용 및 벧 생육과 수량에 미치는 영향을 조사하였다. 이와 더불어 담수직파재배에서 최적시비법 도출을 통한 시비량 절감 시험, 질소유실억제제를 통한 질소이용효율 증대 시험을 통해 환경친화적 벧 재배기술을 확립하고자 하였다.

제2장 논에서 유기태비료의 분해과정과 질소의 방출 및 벧 이용율

제1절 재료 및 방법

1. 벧짚과 헤어리베치의 분해과정과 질소 방출

본 실험은 논에 투입된 벧짚과 헤어리베치의 포장 상태에서 分解率을 조사하기 위해, 서울대학교 부속농장에서 1996년에서 1998년까지 3년간 수행되었다. 실험 포장은 유기물 함량이 2.0%이고 排水가 약간 양호한 微砂質壤土(窺岩統)였고 시비량은 질소, 인산, 칼리가 각각 10a당 9kgN, 8kgP₂O₅, 8kgK₂O였으며 질소는 基肥-分藥肥-穗肥 비율을 50%-25%-25%로 分施하였다.

벧짚 分解 조사실험은 0.5mm-mesh nylon bag (10 x 20cm)에 10cm 길이로 절단

된 벧짚 건물 8g을 넣고 주기적으로 回收하여 건물 감소량과 질소, 인 감소량 및 세포벽 구성성분의 감소를 분석 조사하였다. 건물 감소량은 mesh bag을 회수한 후 水洗하여 벧짚에 묻은 토양과 異物質을 제거하고 70℃에서 48시간 이상 건조한 후 칭량하였다.

실험에 사용된 벧짚의 화학조성은 질소 농도 0.84%, 인 농도 0.09%, 리그닌 농도는 8.5%였다. 이앙재배답과 乾畚直播답에 토양표면, 토양 10cm 및 20cm 깊이에 mesh bag을 3반복으로 설치하였다. 또한 동일한 mesh bag에 뿌리 殘渣 건물 2g을 넣은 후 토양 10cm 깊이에서 분해를 조사하였으며 뿌리 잔사의 질소 농도는 1.42% 였고 인 농도는 0.03% 였다. 수확 후 동계 기간의 벧짚 분해율을 조사하기 위해 1997년 수확 후부터 1998년 移秧期까지 토양표면에서의 분해율을 조사하였다. 수확 후 벧짚의 질소 농도는 0.56% 였으며 磷 농도는 0.13% 였다.

포장 상태에서 질소 시비가 벧짚 분해속도에 미치는 영향을 조사하기 위해 서울대학교 부속농장의 永年施肥 시험포장에서 동일한 방법을 사용하여 토양 10cm 깊이에서의 분해를 조사하였다. 영년시비 시험포장은 배수가 약간 양호한 砂壤質土(江西統, coarse loamy, Fluvaquentic Epiaquepts)로 유기물 함량은 무비구 1.8%, 12kgN/10a 시비구 2.0%, 24kgN/10a 시비구 2.2%였다. 12kgN/10a 시비구의 인산 및 칼리의 시비 수준은 9kg/10a였으며 24kgN/10a 시비구의 인산 및 칼리의 시비 수준은 18kg/10a였다. 두 시비구에서 질소는 기비-분얼비-수비 비율을 50-25-25%로 분시하였다. 실험에 사용된 벧짚의 질소 농도는 0.89%이었고 리그닌 농도는 8.0%였다.

헤어리베치 분해 조사 실험은 벧짚 분해와 동일한 포장에서 1996년에만 수행되었는데 동일한 mesh bag 을 이용하여 10cm 길이로 절단된 헤어리베치 건물 8g을 이용했으며, 토양 投入시 헤어리베치의 질소 농도는 3.2%였고, 인의 농도는 0.38%였다.

시료의 화학 성분 분석을 위해 벧짚과 헤어리베치 잔사를 70℃에서 48시간 이

상 건조한 후 0.5mm 체에 통과되도록 磨碎하였다. 분해 잔사의 全질소 농도는 황산으로 濕式分解한 후 Kjeldahl (Kjeltec auto sampler system 1035 analyzer)법을 이용하여 분석하였다. 분해 잔사의 磷(phosphorus) 농도는 1 mol 염산용액 5ml에 50mg의 시료를 넣고 thermoreactor(Merck社)를 이용해 100℃에서 60분간 가열한 후 여과하여 polymolybdenum blue법으로 690nm에서 비색정량하였다. 셀룰로오스, 리그닌, 실리카 농도는 Fibertec system (Foss Tecator)을 이용하여 Van Soest(1980) 법으로 분석하였다.

2. ^{15}N 표지 벧짚과 헤어리베치 질소의 벌 이용성

벧짚과 헤어리베치에 함유된 질소의 벌에 의한 식물체 흡수량과 토양잔류량을 조사하기 위해 포트 실험을 수행하였다. 1/5000a 포트에 風乾 토양 4kg을 충전하였으며, 실험에 사용된 토양은 壤土였고 토양의 全有機 炭素 농도는 1.49%, 全질소 농도는 0.17%였다.

공시된 重질소 표지 벧짚의 전질소 농도는 0.93%, 전질소에 대한 중질소의 비율은 12.31%였다. 중질소 표지 헤어리베치의 질소 농도는 3.38%, 전질소에 대한 중질소의 비율은 2.91%였다. 供試 品種은 화성벼로 4월 25일경에 육묘를 시작하였고 6월 1일에 포트당 2주 3본씩 이앙하였다.

重질소 표지 벧짚을 포트당 건물 16g을 投入하였고 질소시비는 요소를 포트당 0, 120, 240mgN의 세 수준으로 基肥-分藥肥-穗肥를 각각 50-25-25%의 비율로 분시하였다. 인산과 칼리는 동일한 양으로 질소 120mgN/pot 처리에서는 80mg/pot, 질소 240mgN/pot 처리에서는 160mg/pot를 전량 基肥로 시용하였다. 실험에 사용된 인산비료는 용과린이었고 칼리 비료는 염화칼리였다. 실험구 배치는 완전임의배치법 4반복으로 하였으며 포트간에는 충분한 거리를 두어 상호 차광이 없도록 재배하였다. 포트의 일일 漏水量은 2cm 정도였다. 重窒素 표지 헤어리베치는 포트당 건물 4g을 투입하였고 기타 사항은 위와 동일하였다.

화학분석을 위해 포트의 식물체를 수확한 후 이삭과 경엽으로 나누어 70℃ 에서 48시간이상 건조 후 0.5mm체에 통과되도록 마쇄하였다. 토양은 미분해 벧짚과 뿌리를 제거하고 쏘질소 및 重질소 함량을 분석하였다. 토양 有機態 重질소는 2M KCl로 無機態 질소를 제거하고 남은 토양을 분석하여 정량하였다. 토양과 식물체의 쏘질소 및 重질소 함량은 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농업과학 공동기기센터(NICEM)의 안정성 동위원소 질량분석기 (Isoprime-EA, 영국 Micromass社)를 이용하였다.

제2절 결과 및 고찰

1. 벧짚과 헤어리베치의 분해과정과 질소 방출

가. 벧짚과 헤어리베치의 분해

(1) 벧짚의 分解

벼 이앙조건에서 벧짚 분해는 벧 생육 기간 동안 약 70% 정도가 분해되었으며, 2년이 경과한 후에는 90% 정도 분해되었다(그림 2-1). 김 등(1984)은 포트 실험에서 벧짚의 벧 재배기간 중 분해율은 40% 정도라고 하여 본 실험에 비해 분해율이 다소 낮았는데 이는 포트와 포장의 차이 혹은 토양 특성상의 차이에 따른 것으로 판단된다. 분해 기간별로는 투입 1개월 동안에 매몰깊이에 따라 39-41%가 분해되어 분해가 가장 빨랐고 그 이후로는 다소 완만한 분해를 보였다(그림 2-1). 매몰 초기에 가장 빠른 분해를 보이는 이유는 이(易)분해성 물질의 빠른 분해(Gilmour 등, 1998)와 수용성 물질의 용탈(Christensen, 1985)에 기인한 것으로 판단된다.

매몰 깊이별로는 토양표면에 위치한 벧짚이 토양매몰 벧짚에 비해 매몰 30-90일 사이에 분해가 다소 빨랐는데(그림 2-1), 이는 토양표면이 토양매몰의 경우

보다 산소 조건이 양호했기 때문으로 판단된다.

Kanal(1995)은 loamy Podzoluvisol 토양에서 1년간의 밀짚 분해율은 기상 조건 별로 42-75% 범위였고, 토양에 매몰된 밀짚이 토양표면보다 최종 분해율이 유의하게 높았다고 하였다. 또 밀짚의 일(日)당 분해율(%)은 분해 초기에는 토양매물 밀짚이 토양표면에 비해 유의하게 빨랐으나 분해 후기에는 차이가 없었다고 하였다. 이와 같은 결과는 밭 상태에서 토양매물 깊이별 분해율의 차이는 수분이 분해의 제한인자로 작용하였기 때문으로 판단된다. 그러나 본 실험에서처럼 논과 같은 담수 상태에서는 수분이 분해의 제한인자로 작용하지 않기 때문에 매물 깊이별 분해율의 차이는 크지 않은 것으로 판단되며, 담수 상태에서는 산소 조건이 양호한 토양표면에서 오히려 분해가 빨라지는 경향을 보이는 것으로 사료된다.

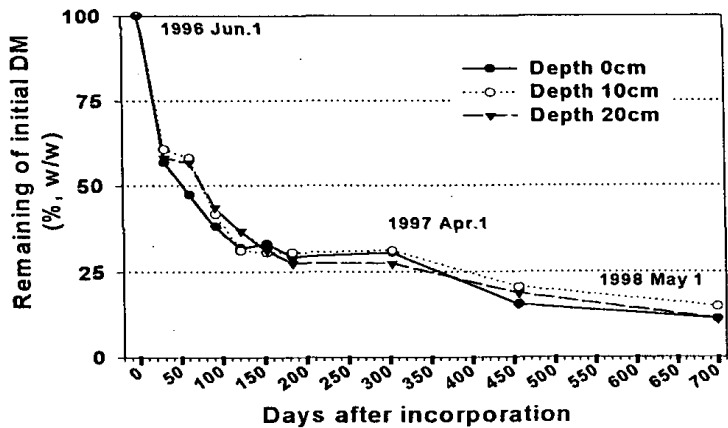


Fig. 2-41. Decomposition of rice straw as affected by incorporation depth in transplanted paddy field.

한편 초기 1개월 동안 乾畚 상태로 유지한 후 澁水한 건답직파답에서의 벼 생

육기간동안의 최종 볏짚 분해율은 매몰 깊이별로 74-78%의 분해율을 보였다. 매몰 깊이별로는 초기 2개월간의 분해에서 10cm 매몰 시에 분해가 가장 빨랐고 20cm매몰, 토양표면의 순이었다(그림 2-2).

토양표면 볏짚의 분해가 느린 이유는 초기 1개월동안 건답상태로 유지되면서 수분이 분해의 제한인자로 작용했기 때문이고, 20cm 매몰 볏짚의 분해가 지연된 이유는 산소 조건과 질소를 비롯한 營養條件이 분해 제한인자로 작용하였기 때문인 것으로 생각된다.

토양표면의 볏짚이 초기 분해가 느렸음에도 불구하고 벼 생육 기간후의 최종 분해량이 매몰 볏짚과 비슷한 값을 보이는 이유는, 답수 후 수분 제한요인이 제거된 후에는 토양표면이 토양매몰에 비해 산소 조건이 양호해 분해가 빠르게 진행되었기 때문으로 판단된다.

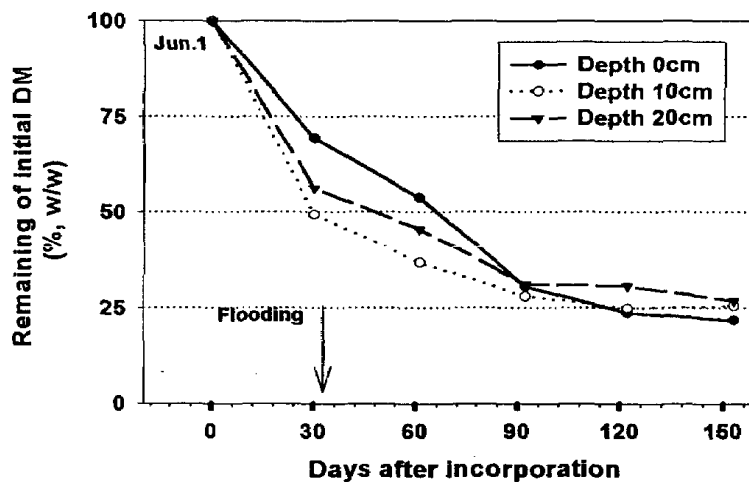


Fig. 2-42 Decomposition of rice straw as affected by incorporation depth in dry-seeded paddy field.

(2) 헤어리베치의 分解

일반적으로 두과 작물의 잔사는 화분과 작물잔사에 비해 분해가 빠른

데, 이는 두과 작물잔사가 질소 함량이 높고 식물체의 화학조성에 있어서 리그닌과 같은 難分解性 성분이 적기 때문으로 알려져 있다.

이양답에서의 헤어리베치는 벧짚에 비해 매우 빠른 속도로 분해되었는데 벧재배기간 동안에 매몰 깊이별로 86-90%의 분해를 보였고 매몰 1개월 동안에 매몰 깊이별로 72-81% 정도의 분해를 보였으며 이후에는 완만한 분해를 보였다(그림 2-3).

Ranells과 Wagger(1996)는 mesh bag을 이용한 밭 표면에서의 헤어리베치 분해에서 16주 동안 75-87% 정도의 건물이 감소하였다고 하여 본 실험의 논 표면에 서 4개월 후의 분해율인 84%와 비슷하였다.

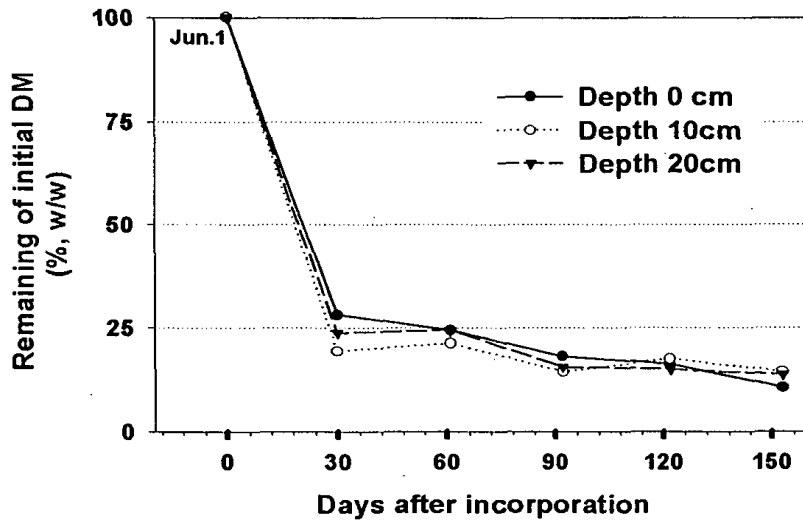


Fig. 2-3. Decomposition of hairy vetch in transplanted paddy field as affected by soil incorporation depth.

건담직파답에서도 이앙답과 비슷한 분해 양상을 보였고, 벼 栽培期間동안의 분해율은 매몰 깊이에 관계없이 95% 정도였고 매몰 1개월 동안의 토양표면에서의 분해가 토양매몰에 비해 17-19%가량 적었다(그림 2-4). 초기에 토양표면 헤어리베치의 분해가 늦은 것은 수분이 분해의 제한 인자로 작용했기 때문으로 판단된다.

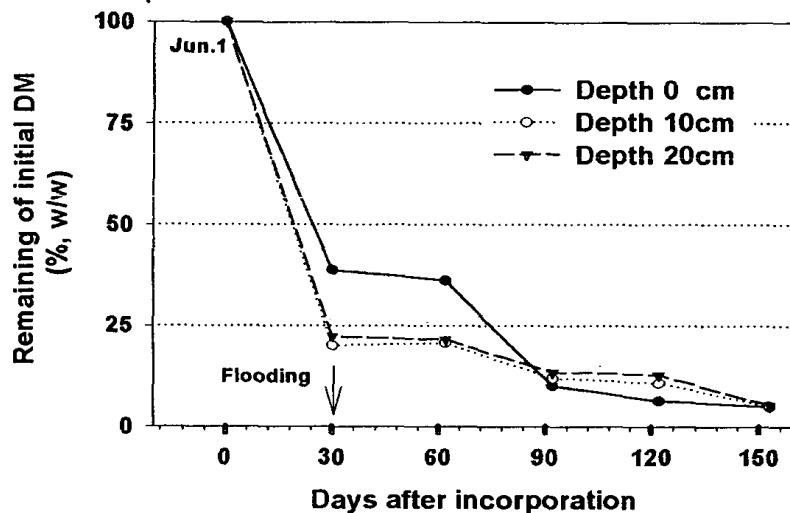


Fig. 2-4. Decomposition of hairy vetch in dry-seeded paddy field as affected by incorporation depth.

나. 分解 芻藎과 헤어리베치의 成分 變化

(1) 芻藎의 세포벽 構成成分

분해되는 芻藎의 세포벽 구성성분의 감소를 보면 셀룰로오스의 감소율은 건물 감소율과 비슷하였고 리그닌이 감소율이 가장 낮고 다음이 실리카의 순이었으며 리그닌이 芻藎 분해에서 難分解性 물질로 나타났다. 벼 재배 후 실리카와 리그닌의 殘存率은 각각 37.5%, 55.2%였다(그림 2-5).

Wessén과 Berg(1986)은 2년간의 보리짚 분해에서 1년 동안 전체 탄수화물

(total carbohydrate)은 52% 감소하였고 리그닌은 36%만 감소하였다고 하여 본 실험과 유사한 결과를 보였다.

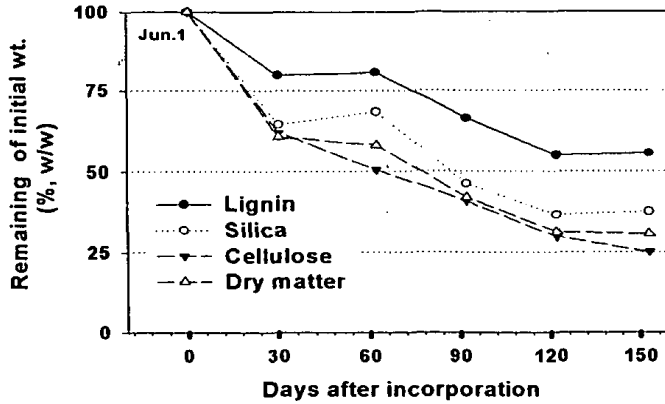


Fig. 2-5. Decrease of initial lignin, silica and cellulose in rice straw decomposing at 10cm incorporation depth in transplanted paddy field.

(2) 벧짚과 헤어리베치의 C/N율, N, P 함량

분해에 따른 벧짚의 C/N율은 분해가 진행됨에 따라 서서히 낮아지는 경향을 보였으며 헤어리베치의 경우는 매물 1개월 동안에 C/N율이 급격히 증가하였다가 그 후에는 다시 서서히 감소하였다(그림 2-6). 분해 헤어리베치의 C/N율의 증가는 分解 基質에서 탄소 소실량보다 질소의 소실량이 많았음을 의미하는 것으로, 분해 초기에 질소의 급격한 방출과 함께 분해가 쉬운 식물체의 잎이 줄기에 비해 빠르게 분해되었기 때문으로 판단된다. 실험에 사용된 헤어리베치 줄기의 질소 농도는 2.3%였고 잎의 질소 농도는 3.7%로 잎이 더 빠르게 분해되었을 것으로 판단된다. C/N율의 급격한 증가 이후에는 헤어리베치도 벧짚과 같은 C/N율이 높은 기질로 변했고 분해가 진행됨에 따라 C/N율이 감소하였다(그림 2-6).

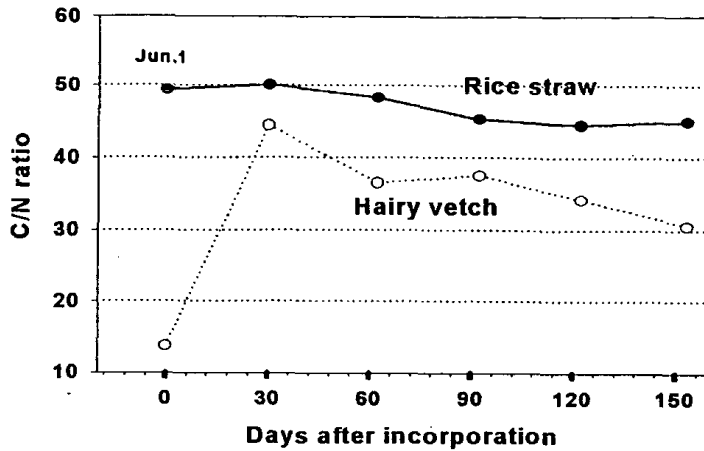


Fig. 2-6. Temporal changes of C/N ratio in rice straw and hairy vetch decomposing at 10cm incorporation depth in transplanted paddy field.

벼 재배 기간동안의 분해 벅짚에서의 질소 함량은 65% 정도 감소하였고 매물 30일 후에 42%가 감소하였다(그림 2-7). 헤어리베치의 경우에는 매물 1개월 후에 전체 질소량의 90% 이상이 감소되었으며 그 이후에는 분해로 인한 질소 감소량이 매우 적었다(그림 2-7).

Stute와 Posner(1995)는 밭에서 mesh bag을 이용하여 토양 7.5cm와 22.5cm 깊이에 매몰한 헤어리베치의 질소 함량은 매물 4주 후에 70%정도 감소하였으며 4주 이후의 감소는 매우 적었다고 하였다. 또 서(2000)는 밭에서 mesh bag을 이용하여 토양 0-15cm 깊이에 매몰한 헤어리베치의 질소 함량은 매물 4주 후에 85.3% 감소하여 殘存 질소량은 14.7%라고 하였다. 본 실험의 논 상태에서는 매물 30일 후 헤어리베치의 잔존 질소량이 7.5%로 나타나(그림 2-7) 밭에서의 질소 함량 감소보다 빠른 것으로 판단된다.

유기물 분해로 인해 감소된 질소량은 물리적 용출과 미생물 분해로 인한 無機

化를 포함한 것으로, 벧짚 외부로 방출된 질소의 일부는 식물체에 흡수되고, 흡수되지 못한 질소는 미생물 성장에 따른 有機化, 再無機化 등의 복잡한 양상을 거치면서 토양 질소 동태에 합류할 것으로 판단되며, 이들의 동태에 대해서는 더욱 세밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

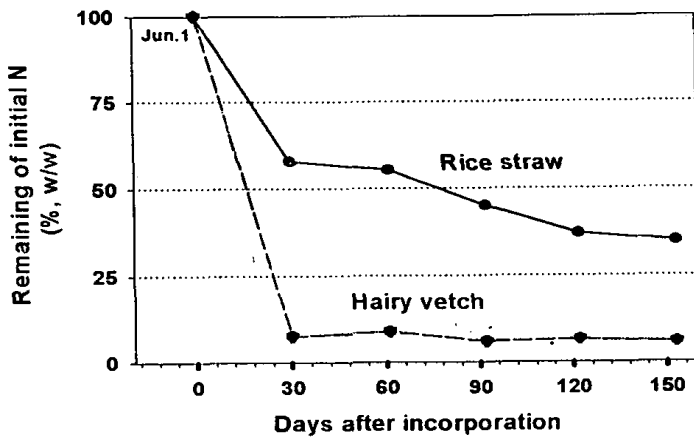


Fig. 2-7. Decrease of initial N contents in rice straw and hairy vetch decomposing at 10cm incorporation depth in transplanted paddy field.

¶ Initial N contents : rice straw 67.2mgN/8gDM, hairy vetch 241.6mgN/8gDM

燐은 생태권에서 풍부한 원소가 아니며 토양 pH 조건과 2가 금속이온 및 3가 철 이온의 존재하에 침전하기 때문에 그 가용성은 매우 제한된다. 대체적으로 불활성 인의 저장고는 磷灰石(apatite, $3Ca_3[PO_4]_2 Ca[FeCl]_2$)인데, 비료 산업에 의해 이러한 저장고의 채광이 증가되어 인산염의 많은 부분이 해양 底泥로 유실되어 인산 비료에 대한 부족이 우려되고 있다.

미생물로 인한 인의 순환은 질소와는 달리 대부분의 경우 인의 산화상태를 변경시키지 않기 때문에 (Stewart와 Mckercher, 1982) 미생물에 의해 중개되는 인

의 변환은 대부분 無機態 인산염의 有機態 인산염으로의 전환 또는 不溶解性, 非流動性 인산염의 용해성, 유동성 인산염 화합물로 되는 것에 불과하다. 또 미생물 생체에서의 N/P비는 5 정도로 미생물 생장에 필요한 磷의 요구도는 질소에 비해 매우 낮기 때문에(Paul과 Clark, 1989), 유기물의 분해 시 不溶解性 有機磷의 溶解性 無機磷으로의 분해는 인의 공급에 중요한 역할을 한다고 한다.

이러한 관점에서 분해 벚짚과 헤어리베치 잔사의 磷 含量的 감소를 분석 조사하였다. 벚짚의 인 함량은 매물 1개월 후에 89%의 인이 감소하였고, 그 이후의 감소는 매우 적었다. 헤어리베치의 인 함량은 매물 1개월 후에 전체 인의 97%가 감소되었고 그 후의 감소는 미미했다(그림 2-8).

또한 분해 벚짚과 헤어리베치에서 磷 함량이 질소 함량보다 빠르게 감소되었다(그림 2-7, 2.8). 이는 미생물의 분해에 따른 분해속도의 차이라기보다는 전체 함량에 대한 水溶性 물질의 함량 비율에 있어서 인이 질소보다 높았기 때문으로 판단되며, Christensen(1985)은 보리짚을 증류수로 3회 추출함에 따라 질소 함량은 20% 정도 감소했으며 인 함량은 60% 정도 감소하였다고 하였다.

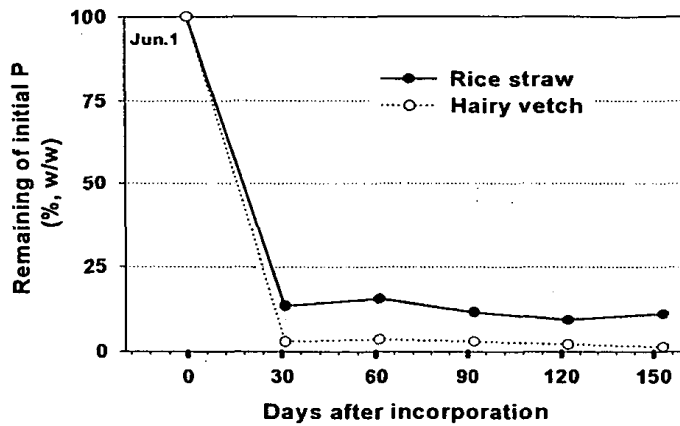


Fig. 2-8. Decrease of initial P contents in rice straw and hairy vetch decomposing at 10cm incorporation depth in transplanted paddy field.

¶ Initial P contents : rice straw 7.2mgP/8gDM, hairy vetch 30.3mgN/8gDM

다. 벼 뿌리 殘渣의 分解速度와 N, P 含量 變化

벼 뿌리 잔사로 토양에 투입되는 건물량, 질소, 인의 토양 투입량은 작물의 종류에 따라 다르다. Van Ginkel 등(1997)은 페레니얼 라이그래스를 79일간 재배하였을 때, 질소 시비 수준에 따른 탄소의 地上部와 地下部の 比는 1.3-2.2라고 하였으며 질소의 지상부와 지하부의 비는 1.4-2.2 정도라고 하였다.

Halvorson 등(1999)은 건조 지대에서 11년간 보리, 옥수수, 밀, 귀리-완두 등으로 윤작할 시 질소 시비 수준에 따른 탄소의 지상부와 지하부의 비는 2.2-2.8 정도라고 하여 지하부로 공급되는 탄소의 양은 지상부 탄소의 36-45%에 해당한다고 하였다.

또 Malpassi 등(2000)은 귀리(*Avena sativa* L. 'Ogle')와 호밀(*Secale cereale* L. 'Rymin') 벼 뿌리 잔사의 112일 동안의 분해에서 귀리 벼 뿌리가 호밀 벼 뿌리 보다

더 빨리 분해되었으나 분해에 따른 질소 放出量은 뿌리 잔사 투입량에 따라 41-54%로 비슷하였다고 하였다.

본 실험에서는 벼 뿌리 잔사의 2달 동안의 분해 후 乾物 殘存量과 질소 殘存量은 각각 67%, 61%로 비슷하였으며 인의 잔존량은 16%로 질소에 비해 매우 낮았다(그림 2-9). 건물량과 질소 함량은 매물 1주일동안 가장 빠르게 감소하였고 그 이후에는 다소 완만하게 감소하였으며 인은 매물 28일 경까지 빠르게 감소하였으며 그 이후의 감소는 매우 적었다(그림 2-9).

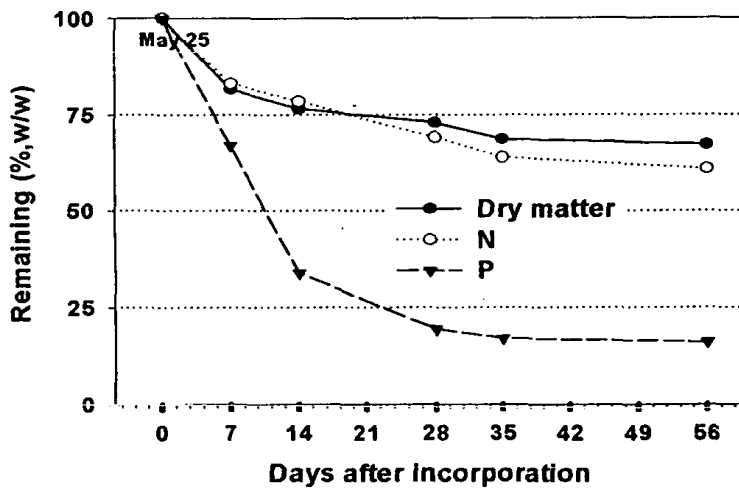


Fig. 2-9. Dry matter decomposition and N and P release of rice root residue after two months at 10cm incorporation depth in transplanted paddy field.

¶ Initial N contents 28.4mgN/2gDM, initial P contents 0.6mgP/2gDM

2. ^{15}N 표지 벚짚과 헤어리베치 질소의 벼 이용성

가. 벚짚 질소의 식물체 吸收率과 土壤 殘留量

과거 벚짚의 이용 형태는 연료 66%, 조사료 12%, 토양 환원 20% (FAO, 1983 - 1987) 정도였으나, 최근에는 有機物 供給源으로서의 토양 투입이 재인식되고 있다.

토양에 투입된 벚짚이 분해됨에 따라 방출되는 질소의 벼 이용율과 토양 잔류량을 알아보기 위해 3 수준의 질소 시비 조건에서 중질소 표지 벚짚을 이용한 포트 실험을 수행하였다.

질소 시비량이 증가함에 따라 질소 흡수량과 종실 수량이 증가하였다(표 2-8). 벚짚 분해에 따라 방출된 중질소의 식물체 흡수율은 10-15% 였고 질소 시비량 증가에 의해 증가하였다(표 2-9). 토양 잔류량은 17-21%였으며 施肥區가 無肥區에 비해 높은 경향이었으나 통계적인 유의성은 없었다(표 2-9). 지상부 식물체와 토양에 잔류하는 중질소는 시비구가 무비구에 비해 높았는데(표 2-9), 이는 시비구가 生育이 왕성하여 질소 흡수량이 많았기 때문으로 생각된다. 토양 잔류량이 시비구가 무비구에 비해 높은 이유는 벼 뿌리와 枯死器官에 존재하는 벚짚 중질소가 재배기간 중에 분해되어 토양으로 공급된 양이 시비구가 더 많았기 때문으로 판단된다. 토양 有機態 질소는 11-15%로 질소시비에 의해 다소 높아지는 경향이였다. 有機態 질소는 분해에 의해 방출된 벚짚 질소가 미생물에 의해 有機化되거나 토양 腐植化 된 것으로 판단된다.

포장 실험 결과를 바탕으로 하여 실험 후 토양 잔존 벚짚 질소를 投入량의 40%로 가정했을 때, 투입 벚짚 중질소에 대한 손실은 27-33% 정도였다. 황 등(1995)은 포트 실험에서 벚짚 유래 질소의 損失量은 질소 무비구에서 5% 정도이고 질소 시비구에서는 30% 정도로 큰 차이를 보인다고 하였으며, 三枝 등(1999)은 이앙재배 포장에서 벚짚 유래 질소의 벼 식물체 흡수율은 最高分蘗期에 3-4%이고 收穫期에 9-10% 정도라고 하였다.

Table 2-51. Grain yield and nitrogen uptake of rice under different nitrogen fertilization levels in transplanting rice culture.

Treatments		Panicle number (No./pot)	Dry matter [‡] (g/pot)	Grain yield (g/pot)	Nitrogen uptake [‡] (mgN/pot)
Rice straw [¶] (g/pot)	Urea N [†] (mgN/pot)				
16	0	27.0b [♪]	48.7c	20.9b	314.2b
16	120	30.5a	72.9b	38.3a	440.4a
16	240	33.0a	81.1a	40.1a	500.9a

¶ Total N concentration 0.93% (¹⁵N atom 12.31%)

† N split application rate of starter, tillering and panicle initiation fertilizer was 50%, 25%, and 25%, respectively.

‡ Above ground portion.

♪ Values followed by the same letter within a column no not differ significantly at LSD 0.05 level.

Table 2-9. Fates of straw-¹⁵N under different nitrogen fertilization levels in transplanting rice culture.

Treatments		Recovery of ¹⁵ N (% of rice straw ¹⁵ N)				
		Plant [†]	Soil		Plant + Soil	
Rice straw [¶] (g/pot)	Urea N [†] (mgN/pot)		KCl Extractable	KCl Non- extractable	Total	
16	0	10.2a [♪]	6.1	11.2	17.3a	27.5b
16	120	13.4b	6.2	14.4	20.6a	34.0a
16	240	14.9c	4.0	14.9	18.9a	33.8a

¶ Total N concentration 0.93% (¹⁵N atom 12.31%)

† N split application rate of starter, tillering and panicle initiation fertilizer was 50%, 25%, and 25%, respectively.

‡ Above ground portion.

♪ Values followed by the same letter within a column no not differ significantly at LSD 0.05 level.

나. 헤어리베치 질소의 식물체 吸收率과 土壤 殘留量

베치류는 산성 토양 적응력이 높고 磷의 요구도가 높은 두과 녹비작물로 잘 알려져 있으며, 특히 헤어리베치(*Vicia villosa* Roth)는 베치류 중에서 耐寒性이 가장 강하고 耐濕性도 강한 편이기 때문에 논에서의 綠肥作物로 유망하다.

본 실험에서는 논 투입 헤어리베치 질소의 벼 흡수율과 토양 잔류량을 알아보기 위해 세 수준의 질소 시비 조건에서 중질소 표지 헤어리베치를 이용한 포트 실험을 수행하였다.

헤어리베치 유래 중질소의 지상부 식물체 흡수율은 31-36% 였고, 시비량 증가에 따른 흡수량의 증가는 생육이 왕성하여 질소 흡수량이 증가했기 때문으로 생각된다(표 2-11).

토양 잔류량은 40-43% 정도로 시비량에 따른 차이가 없었으며, 有機態 형태로 잔존하는 헤어리베치 질소는 19-27% 정도로 나타났다(표 2-11).

수확기 경에 토양에 잔존하는 미분해 헤어리베치는 회수할 수 없었고 대부분이 분해되어 토양 부식화 된 것으로 판단되며, 헤어리베치 질소의 손실은 22-29% 정도였다(표 2-11).

서(2000)는 밭에서 직경 38cm, 길이 60cm의 PVC관을 토양에 매립하여 토층 0-15cm에서 基肥로 투입한 헤어리베치 질소의 분포는 투입량에 따라 옥수수 흡수량은 15-17%, 토양 잔류량은 38-41%, 손실량은 43-47%라고 하였다.

Table 2-53. Grain yield and nitrogen uptake of rice at harvest stage under different nitrogen fertilization levels in transplanting rice culture.

Treatments		Panicle	Dry	Grain	Nitrogen
Hairy vetch [¶]	Urea N [†]	number	matter [‡]	yield	uptake [‡]
(g/pot)	(mgN/pot)	(No./pot)	(g/pot)	(g/pot)	(mgN/pot)
4	0	28.8b [♯]	63.7b	28.9c	570.4b
4	120	33.0a	70.7a	32.9b	638.7a
4	240	35.2a	73.3a	36.1a	658.9a

¶ Total N concentration 3.38% (¹⁵N atom 2.91%)

† N split application rate of starter, tillering and panicle initiation fertilizer was 50%, 25%, and 25%, respectively.

‡ Above ground portion.

♯ Values followed by the same letter within a column no not differ significantly at LSD 0.05 level.

Table 2-54. Fates and losses of hairy vetch-¹⁵N under different nitrogen fertilization levels in transplanting rice culture.

Treatments		Recovery of ¹⁵ N (% of vetch ¹⁵ N)					Plant + Soil	Loss
		Plant [‡]	Soil		Plant + Soil			
Hairy vetch [¶]	Urea N [†]	KCl extractable	KCl	Non- extractable	Total	Soil	Loss	
(g/pot)	(mgN/pot)		extractable	extractable	Total			
4	0	30.6b [♯]	20.9	19.3	40.2a	70.8a	29.2	
4	120	34.6a	16.5	26.9	43.3a	77.9a	22.1	
4	240	35.7a	13.5	29.1	42.6a	78.3a	21.6	

¶ Total N concentration 3.38% (¹⁵N atom 2.91%)

† N split application rate of starter, tillering and panicle initiation fertilizer was 50%, 25%, and 25%, respectively.

‡ Above ground portion.

♯ Values followed by the same letter within a column no not differ significantly at LSD 0.05 level.

♯ Vetch remaining was not excluded from soil because of severe decomposition.

제3장 무기태 및 유기태 질소비료의 상호작용 에 관한 연구

제1절 재료 및 방법

벼짚과 헤어리베치의 논토양 투입이 施肥 질소의 行方과 토양 환경내 질산태 질소 및 인산 용탈에 미치는 영향을 조사하기 위해 1999년 포트 실험을 수행하였다. 1/5000a 포트에 풍건 토양 4kg을 충전하였으며, 벼짚은 포트당 건물 16g, 헤어리베치는 포트당 건물 4g을 投入하였다.

실험에 사용된 토양은 강원도 원주의 농민 포장에서 채취한 壤土였고 토양 全有機 炭素 농도 1.49%, 全窒素 농도 0.17%, 유효 인산 함량은 $137.5\text{mgP}_2\text{O}_5/\text{kg}$ 였다. 사용된 벼짚의 질소 농도는 0.93%, 磷 농도는 0.09%였으며, 헤어리베치의 질소 농도는 4.53%, 인 농도는 0.39%였다. 공시 품종은 화성벼로 4월 25일에 육묘를 시작하였고 6월 1일 포트당 2주 3본씩 이앙하였다. 질소는 중질소가 5% 표지된 요소를 基肥-分蘖肥-穗肥의 비율을 50%-25%-25%로 분시하였고, 인산과 칼리는 전량 基肥로 사용하였다.

Table 2-55. Organic material input and N fertilization level in ¹⁵N balance experiment under transplanted rice culture in pot.

Treatments	Organic material input ¶	Fertilization		
		N† (mg/pot)	P ₂ O ₅ (mg/pot)	K ₂ O (mg/pot)
T1	None	0	0	0
		120	80	80
		240	160	160
T2	Rice straw	0	0	0
		120	80	80
		240	160	160
T3	Hairy vetch	0	0	0
		120	80	80
		240	160	160
T4	Straw + Vetch	0	0	0
		120	80	80
		240	160	160

¶ Rice straw : 16g /pot, Hairy vetch 4g /pot.

†The ¹⁵N-labelled urea(¹⁵N atom 5%) split application rate of starter, tillering and panicle initiation fertilizer was 50%, 25%, and 25%, respectively.

식물체와 토양의 전질소 및 중질소 분석은 앞에서와 동일하게 하였다. 포트 밖으로 용탈되는 토양수를 채수하여 여과 후 窒酸態 질소 및 磷酸 농도를 분석 측정하였다. 토양수 중 질산태 질소 농도는 여과 후 질산염을 아질산염으로 환원시킨 후, 아질산염을 산성 완충용액에서 aromatic amine과 반응시켜 diazonium salt를 형성하게 하였다. Diazonium salt는 N-(1-naphthyl)-ethylenediamine과 반응하여 적자색으로 발색되는데 이를 525nm에서 분광분석기(RQflex, Merck社)를 이용하여 비색 정량하였다. 인산 농도는 토양수를 여과한 후 polymolybdenum blue법으로 690nm에서 비색 정량하였다. 土壤 還元電位の 측정은 토양용 Eh미터(EHS-120, Fujimara, Japan)를 이용하여 담수상태에서 토양 표면 5cm 깊이에서 측정하였다.

제2절 결과 및 고찰

토양에 유입된 유기물은 토양 질소 및 施肥 질소를 有機化시키고, 유기물 질소가 無機化 되기도 하며, 용탈, 탈질, 휘산, 생물학적 질소 고정 등에 영향하여 토양 환경 내 질소 동태에 영향을 미친다(오 등, 1982; 이 등, 1986; 김 등, 1984; Catt 등, 1998).

본 실험에서는 벧짚과 헤어리베치의 투입이 시비 질소(^{15}N urea)의 벧 흡수율, 토양 잔류량과 토양 환경내 질산태 질소 용탈에 미치는 영향을 알아보기 위해 포트 실험을 수행하였다.

1. ^{15}N 尿素的 식물체 吸收率과 土壤 殘留量

벧짚과 헤어리베치 투입에 따른 벧 식물체 흡수율은 헤어리베치 投入區에서 가장 높았으며 그에 따라 건물량, 수수 및 수량도 가장 높았다(표 2-12). 이는 헤어리베치 투입으로 생육이 촉진되어 질소 흡수량이 증가되었기 때문으로 판단된다.

토양 잔류량은 요소 單用區에 비해 세 처리의 유기물 투입구가 높았으며 특히 벧짚 투입구가 가장 높았다(표 2-13). 토양 잔류질소는 有機態 형태로 존재하는 양이 無機態에 비해 많았는데, 무기태 질소보다는 유기태 질소로 존재하는 양이 많을수록 동계 기간 동안의 溶脫 손실이 적을 것으로 판단되며 수확 후 잔류 질소의 이듬해 벧 재배 시까지의 잔존량에 대한 검토도 필요할 것으로 생각된다.

山室(1981)은 유기물 투입에 따라 분얼비(4kgN/10a)의 시비 69일 후 벧 식물체 흡수율은 퇴비 無投入區 40.8%, 퇴비 1 ton/10a 投入區 40.6%, 퇴비 2 ton/10a 투입구 35.0%, 퇴비 3 ton 投入구 33.7%로 퇴비 투입량이 증가함에 따라 감소한다고 하였다. 그러나 분얼비의 토양 잔류량은 퇴비 무투입구 19.3%, 퇴비 1 ton/10a 투입구 23.9%, 퇴비 2 ton/10a 투입구 23.0%, 퇴비 3 ton 투입

구 26.1%로 퇴비 투입량이 증가함에 따라 증가하였다고 하였다.

따라서 본 실험의 결과로 볼 때 벧짚과 헤어리베치 투입은 施肥 질소의 손실량을 줄였으며, 벧짚 투입에 따른 손실량의 감소는 식물체의 흡수율의 증가보다는 施肥 질소의 토양 잔류량 증가에 기인한 것이었고, 헤어리베치 투입에 따른 손실 감소는 토양 잔류량의 증가보다는 施肥 질소의 식물체 흡수량 증가에 기인한 것이었다.

Table 2-56. Grain yield and nitrogen uptake of rice as affected by organic material input and different nitrogen fertilization levels under transplanted rice culture.

Treatments		Panicle Number (No. /pot)	Dry matter (g/pot)	Grain yield (g/pot)	N uptake (mgN/pot)
Organic material input ¶	Urea † (mgN/pot)				
None	0	23.8	48.6	23.2	306.0
	120	29.8	71.7	28.0	456.9
	240	34.5	82.4	35.8	599.9
	Mean	29.4b ‡	67.6b	29.0b	440.9b
Rice straw	0	24.3	60.4	26.7	411.2
	120	29.5	75.4	31.7	482.5
	240	32.0	78.5	36.3	496.1
	Mean	28.6b	71.4b	31.5b	463.3b
Hairy vetch	0	36.0	86.2	36.1	535.3
	120	39.3	88.8	39.7	606.0
	240	38.3	96.1	43.8	698.4
	Mean	37.9a	90.4a	39.9a	613.2a
Straw+ Vetch	0	31.3	77.4	31.0	507.5
	120	37.0	88.5	36.4	599.1
	240	42.3	100.8	46.8	683.1
	Mean	36.9a	88.9a	38.0a	596.6a

¶ Rice straw : 16g/pot, Hairy vetch 4g/pot.

† The ¹⁵N-labelled urea (¹⁵N atom 5%) split application rate of starter, tillering and panicle initiation fertilizer was 50%, 25%, and 25%, respectively.

‡ Values followed by the same letter within a column no not differ significantly at LSD 0.05 level.

Table 2-57. Fates and losses of ^{15}N urea at harvest as affected by organic material input and different N fertilization levels under transplanted rice culture.

Treatments		Recovery of ^{15}N (% of urea ^{15}N)					Plant +Soil	Loss
		Plant [†]	Soil					
Organic material input [¶]	Urea [†] (mgN/pot)		KCl Extractable	KCl Non-extractable	Total			
Urea only	120	47.0	6.8	13.9	20.7	67.3	32.3	
	240	46.4	4.9	11.0	15.9	32.3	37.7	
	mean	46.7ab [‡]			18.3c	49.8	35.0a	
Rice straw	120	48.7	12.4	17.4	29.8	82.5	18.5	
	240	42.1	12.1	14.3	26.4	68.5	31.5	
	mean	45.4b			28.1a	75.5	25.0b	
Hairy vetch	120	44.9	10.8	15.2	26.0	71.9	29.1	
	240	55.5	6.5	12.3	18.8	75.3	25.7	
	mean	50.1a			22.4ab	73.6	27.4b	
Straw+ Vetch	120	42.8	10.6	15.6	26.2	69.0	31.0	
	240	49.3	10.0	17.7	21.7	71.3	29.0	
	mean	45.5b			24.0ab	70.15	30.5ab	

¶ Rice straw : 16g/pot, Hairy vetch 4g/pot.

† The ^{15}N -labelled urea (^{15}N atom 5%) split application rate of starter, tillering and panicle initiation fertilizer was 50%, 25%, and 25%, respectively.

‡ Above ground portion.

‡ Values followed by the same letter within a column do not differ significantly at LSD 0.05 level.

2. 土壤 질소의 損失

벼 재배후의 토양 전질소 손실량은 벧짚 및 헤어리베치 투입 여부에 따라

2-14 % 정도로 크게 나타났는데(그림 2-10) 이는 초기 용탈량이 매우 컸기 때문인 것으로 판단된다. 볏짚과 헤어리베치의 투입은 토양 환경내 수질소 손실량을 줄였으며, 이는 식물체 흡수량의 증가(표 2-12), 초기 용탈량의 감소(그림 2-11), 施肥 질소의 토양 잔류량 증가(표 2-13)에 기인한 것으로 판단되며 그 외에도 오 등(1982)에 따르면 볏짚 투입은 질소의 揮散을 감소시킨다고 하였으며, 김 등(1984)은 볏짚 투입이 논에서의 생물학적 질소 고정을 증대시킨다고 하였다. 또 지상부 질소 흡수량이 증가할수록 枯死器官과 뿌리 잔사 분해로 인한 토양 질소 공급량도 비례적으로 증가했을 것으로 판단된다.

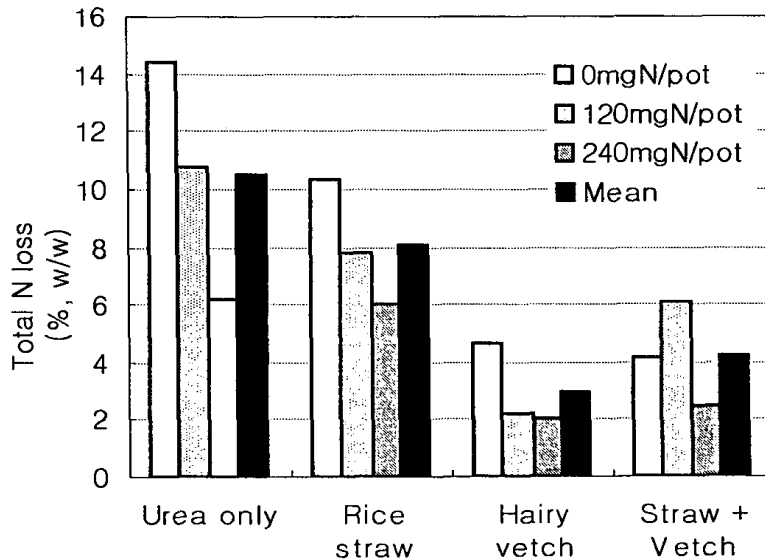


Fig. 2-10. Soil total nitrogen losses as affected by organic material input and different N fertilization in pot experiment.

¶ Soil total N loss(%)=

[initial soil N+input N-final soil N-uptake N]/initial soil N x 100

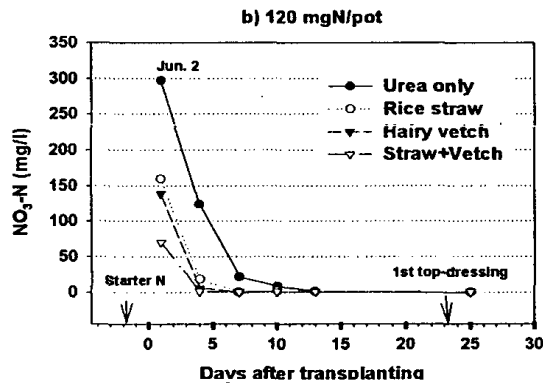
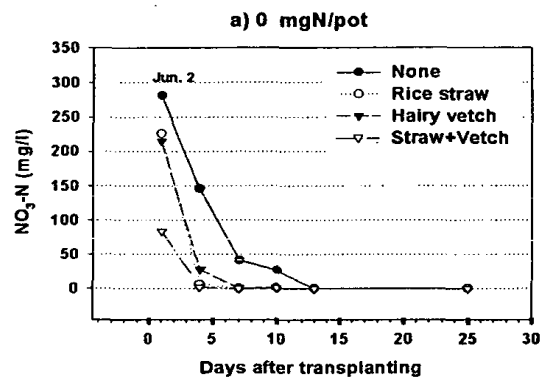
† Initial soil N : 6653mgN/pot

‡ Input N

organic N : rice straw 149mgN/pot, hairy vetch 181mgN/pot

urea N : 120mgN/pot, 240mgN/pot

다른 한편 포트에서 벧짚과 헤어리베치 투입에 따른 세 수준의 질소 시비 조건에서 이앙 후 10일간의 질산태 질소 용탈량은 유기물 투입구가 요소 단용구에 비해 감소했다(그림 2-11). 유기물 투입에 따른 질산태 질소 용탈량의 감소는 유기물 분해로 인한 토양의 신속한還元(그림 2-12)과 질소 有機化(immobilization)에 기인한 것으로 판단된다. 질소 시비량 증가에 따른 용탈량 증가는 경미했는데 이는 乾土效果의 발현이 컸기 때문으로 판단된다.



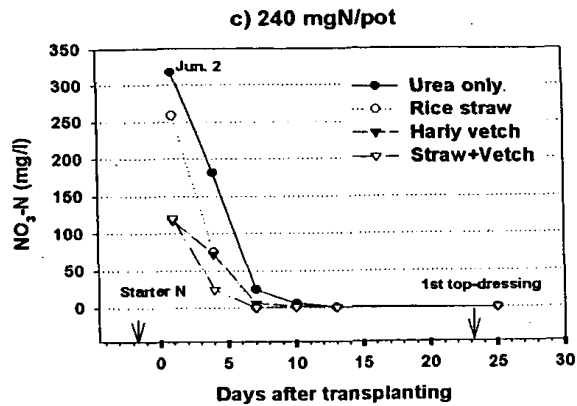


Fig. 2-11. Temporal changes of NO₃-N concentrations in percolating soil water as affected by organic material input under different N fertilization levels in pot.

Input N : rice straw-N 149mgN/pot, hairy vetch-N 181mgN/pot

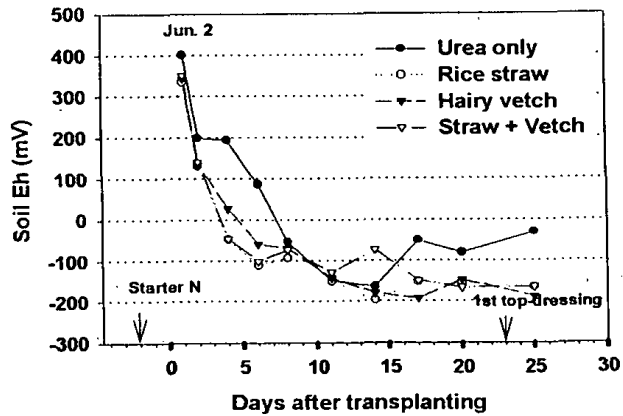


Fig. 2-12. Temporal changes of soil redox potential at soil depth 5cm as affected by organic material inputs under 240mgN/pot fertilization.

제4장 담수직파재배에서 질소이용효율 개선을 위한 최적 시비법 도출

제1절 재료 및 방법

1. 5엽기 추비 중점 시비 방식의 시비량 절감 효과

본 연구는 서울대학교 농업생명과학대학 답작포장에서 공시품종으로 금오벼를 사용하여, 이앙재배는 4월 18일에 기계이앙용 중묘산파상자에 파종하여 5월 28일 30×15cm(22주/m²)로 기계이앙하였고, 직파재배는 12시간 침종 후 6시간 음건한 종자를 5월 16일에 파종량을 5.6kg/10a로 조건 25cm로 하여 승용식 파종기로 무논골뿌림하여 각 시비 방식별 생육 및 수량 반응을 비교하였다.

잡초방제는 이앙재배구에서는 이앙후 1주경에 노난매 입제를 3kg/10a 수준으로 전면고루 살포하였고, 담수직파구에서는 파종직후와 파종후 40일경에 노난매 입제를 이앙재배와 동일량으로 2회에 걸쳐 처리하였다.

병충해 방제는 6월 30일에 파단수화제를 100g/10a 수준으로 각 시험구에 동일하게 고루 살포하여 방제하였다. 수확은 출수후 50일경에 콤바인을 이용하여 수확한 다음 건조, 탈곡하였다.

엽록도 측정은 Minolta SPAD-502를 이용하여 지엽에서 측정하였다. 엽중질소 함량은 Auto Kjeldahl Nitrogen Analyzer를 이용하여 실시하였다.

Table 2-2. Combinations of N application methods and time

Treatment	Starter N(%)	Topdressing at 5LS(%)	Topdressing at TS(%)	Topdressing at PIS(%)	Total (N kg/10a)
TP	56	-	22	22	9
B100	40	-	30	30	11
B70	20	-	25	25	7.7
T100	-	40	30	30	11
T70	-	20	25	25	7.7

5LS : 5-leaf stage
 TS : Tillering stage
 PIS : Panicle initiation stage
 TP : Transplanting

2. 5엽기 추비 증점 시비 방식을 통한 최적 시비법 확립

본 연구는 서울대학교 농업생명과학대학 답작포장에서 공시품종으로 화성벼를 사용하여 답수직파재배로 실시되었다. 직파재배는 12시간 침종 후 최아시킨 종자를 5월 20일에 파종량을 5.6kg/10a로 조간 30cm로 하여 무논골뿌림하였다.

잡초방제는 파종후 5일경에 노난매 입제를 3kg/10a으로 처리하였다. 수확은 출수후 50일경에 콤바인을 이용하여 수확한 다음 건조하여 수량을 사정하였다.

엽록도 측정은 Minolta SPAD-502를 이용하여 지엽출현전까지는 주간 상위 3엽을 측정하여 평균하였고, 지엽출현후에는 지엽에서 측정하였다.

분시처리 방법은 처리 시기와 질소 시비량의 조합으로 아래와 같이 처리하였다 (표 2-3). 관행기비전충시비구(T1)를 대조구로 하여, T2구는 관행시비량을 5엽기에 추비증점시비하였고, 관행시비량의 20%, 40%를 각각 절비하여 추비증점시비하는 방식을 T3, T4구로 각각 처리하였다. 또한 관행시비량의 40%를 절비하여 기비를 생략하고 분얼비를 5엽기에 일괄시비하는 방식을 T5구로 처리하였다.

Table 2-3. Combinations of N application methods and time

Treatments	Total N (N kg/10a)	Starter N	Top-dressing at 5LS	Top-dressing at TS	Top-dressing at PIS
T1	11	5	2	2	2
T2	11	-	7	2	2
T3	9	-	5	2	2
T4	7	-	3	2	2
T5	7	-	5	-	2

5LS : 5-leaf stage
 TS : Tillering stage
 PIS : Panicle initiation stage

3. 5엽기 추비중점시비방식과 질소유실경감제 및 완효성비료의 효과 비교

본 연구는 서울대학교 농업생명과학대학 답작포장에서 공시품종으로 화성벼를 사용하여 답수직파재배로 실시되었다. 직파재배는 12시간 침종 후 최아시킨 종자를 5월 16일에 파종량을 5.6kg/10a로 조간 30cm로 하여 무논골뿌림하였다.

NBPT와 DCD는 요소 무게당 각각 5% 수준으로 써레질 작업시 기비와 함께 처리하였고, 5엽기추비중점시비는 관행 기비사용량의 2/3수준으로 절비하여 파종 34일 후에 처리하였으며, 분얼비와 수비는 관행 시비구와 동량으로 동시기에 처리하였다. 한편, 완효성비료처리구는 기비로써 피복요소비료인 C. D. U. (Cycro-Di-Urea)를 사용하고, 분얼비와 수비는 일반 요소비료를 사용하여 처리하였다.

잡초방제는 파종후 14일경에 손노리 입제를 3kg/10a으로 처리하였다. 수확은 출수후 50일경에 콤바인을 이용하여 수확한 다음 건조하여 수량을 사정하였다.

엽록도 측정은 Minolta SPAD-502를 이용하여 지엽출현전까지는 주간 상위 3엽을 측정하여 평균하였고, 지엽출현후에는 지엽에서 측정하였다.

본 시험의 분시처리 방법은 시비의 시기, 시비량, 비종 및 질소유실경감제의 유무에 따라 아래와 같이 처리하였다 (표 2-4).

Table 2-4. Combinations of N application methods and time

Treatments	Total N (N kg/10a)	Starter N	TD at 5LS	TD at TS	TD at PIS
T1	11	6	-	3	2
T2	9	0	4	3	2
T3	11	6 + NBPT + DCD	-	3	2
T4	11	6 (Slow release fertilizer)	-	3	2

TD : Top-dressing
 5LS : 5-leaf stage
 TS : Tillering stage
 PIS : Panicle initiation stage

제2절 결과 및 고찰

1. 5엽기 추비 증점 시비 방식의 시비량 절감 효과

가. SPAD 값과 엽중질소함량과의 관계

엽록도 측정기는 엽중엽록도함량을 비파괴적이면서도 용이하게 측정할 수 있는 장치로, 조직 분석방법에 비하여 시간과 노력을 절감할 수 있으며, 경종적 측면에서 작물의 질소영양상태를 평가하는데 유용하게 사용될 수 있다. 식물체 엽중질소함량을 경시적 변화를 비파괴적으로 파악하기 위한 기초 자료를 얻고자 생육시기별로 SPAD 값을 측정하고 그 잎의 전질소함량을 측정하여 SPAD 값과 엽중질소함량의 관계를 직선회귀식으로 구해본 결과 $y = 0.91x - 0.039$ 의 관계를 보였다 (그림 2-13).

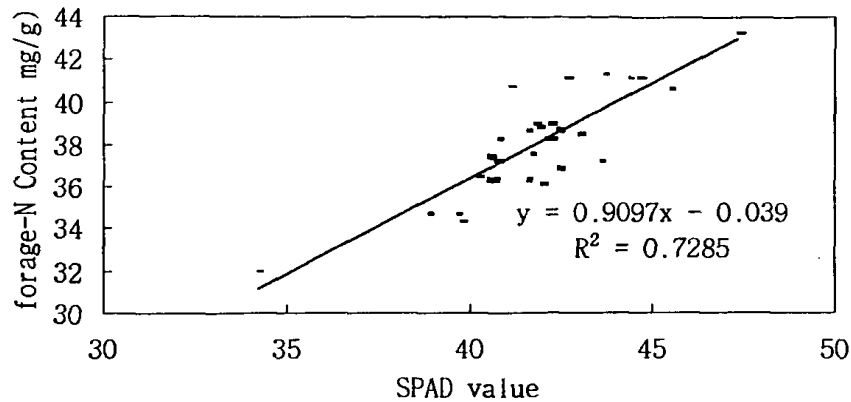


Fig. 2-13. Relationship between chlorophyll meter reading and leaf N content.

나. 시비 방식별 출수기 생육

표 2-14는 출수기경의 생육양상을 나타내고 있는데, 5엽기추비중점구는 엽중 질소함량이 높아서 출수기가 기비중점구에 비해 약 5일정도 지연되는 것으로 나타났다으며, 수장·엽면적·엽중질소함량은 다른 처리구에 비해 유의하게 높게 나타났다. 특히, 엽중질소함량은 T100구에서 가장 높게 나타났다고 TP>T70>B100>B70의 순으로 나타났다. 5엽기추비중점구는 기비중점구와는 달리 수전기까지도 엽면적지수가 높고 엽중질소함량이 높게 유지되어 높은 균락동화능이 후기까지 유지되는 것으로 나타났다.

Table 2-14. Growth characteristics of five different methods of N fertilizer application at 10 days after heading

Treatment	Heading date	Length of panicle (cm)	LAI	SPAD
TP	Aug 4	19.65b	5.00b	40.6ab
B100	Aug 7	18.74c	3.64c	37.3c
B70	Aug 7	19.28bc	3.33c	39.9b
T100	Aug 12	20.71a	5.74a	41.1a
T70	Aug 12	20.86a	4.81b	39.9b

다. 시비 방식별 수량 및 영농 효율성

벼 10a당 현미수량은 5엽기추비중점구에서 관행기비중점구에 비하여 월등히 높았고 특히, 5엽기추비중점절비(30%절비)로도 기존의 기비중점구에 비해 유의하게 높은 수량을 기대할 수 있었고 이앙재배에 비해서도 높은 수량이 기대되었다. 이는 생육전반에 걸친 엽중질소함량의 증가에 따른 단위면적당 영화수가 5엽기추비중점구에서 유의하게 증대하기 때문인 것으로 나타났다 (표 2-15).

Table 2-15. Yield and yield components of five different methods of N fertilizer application

Method	No. of panicles per m ²	No. of spikelets per panicle	Ripened grains (%)	1000-grain weight (g)	Yield (kg/10a)
TP	418b	97.9b	78.00a	25.66a	507.55b
B100	408b	88.8c	83.11a	25.93a	464.33bc
B70	380b	88.9c	82.11a	25.73a	425.74c
T100	507b	111.7a	79.89a	25.48a	612.40a
T70	480a	110.2a	80.33a	25.97a	596.28a

담수직파재배는 이앙재배에 비해 생육후기까지 엽중질소함량이 유지되지 않아

수량의 감소 또는 변이의 한 요인으로 보고되었으나, 5엽기추비중점시비방식은 등숙기에도 엽중질소함량이 유지되는 것으로 나타났다. 5엽기추비중점시비방식에서는 생육전반에 걸쳐서 이앙재배와 비슷한 수준의 엽중질소함량이 유지되는 것으로 나타났다. 분얼기의 엽중질소함량의 유지에 따른 유효경비율의 개선은 이삭수의 증가로 나타났고 감수분열기로부터 등숙기에 이르는 시기의 이러한 특징은 수당영화수의 증가와 등숙을 및 천립중의 유지로 연결됨으로써 관행기비방식보다 유의한 수준의 증수를 보였으며, 또한 5엽기추비중점 70%절비방식으로도 관행기비방식보다도 높은 수량을 기대할 수 있었다.

따라서 벼 답수직파재배시 5엽기추비중점시비방식은 관행재배에 비해 상당히 질소이용효율이 개선된 시비방식으로 평가되었고 영농에너지이용효율도 높아서 벼 직파재배의 지속성을 확보하는데 효과적인 시비방식으로 평가되었다 (표 2-16).

Table 2-16. Comparison of agronomic efficiency of rice culture with five different methods of N fertilizer application

Method	Energy use efficiency for rice production (10^{-3} kg grain/kcal)	Nitrogen use efficiency (kg grain/kg N)
TP	1.453	32.14
B100	1.385	26.39
B70	1.308	31.79
T100	1.680	32.02
T70	1.831	44.53

2. 5엽기 추비 중점 시비 방식을 통한 최적 시비법 확립

가. 생육시기별 SPAD 값과 각 수량 구성요소간의 관계

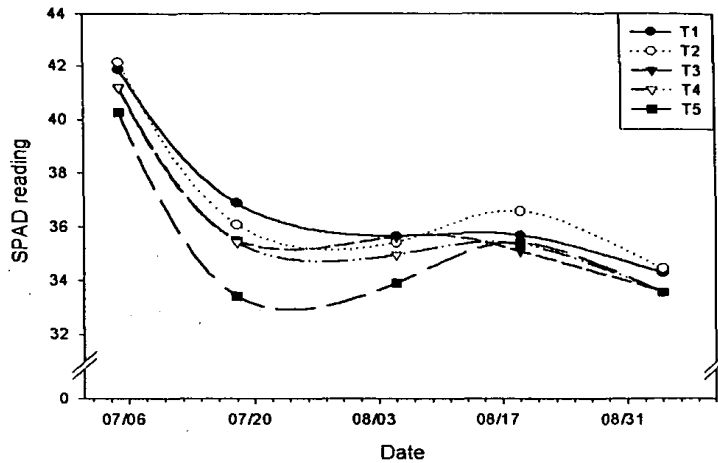


Fig. 2-14. Seasonal changes of SPAD readings affected by different N management.

생육시기별 엽록도를 조사한 결과, 분얼기(최고분얼기 7월 10일경)에는 관행기비전충시비구(T1)에서 가장 높았고, 5엽기추비중점시비구에서는 시비량이 감소함에 따라 낮은 경향을 보였으며, 특히 전체 질소시비량의 40%를 절감하여 분얼비를 5엽기에 일괄시비한 T5구에서 현저히 낮았다. 감수분열기(출수기 8월 22일경)의 엽록도는 관행기비전충시비구와 동량의 시비량을 5엽기에 추비중점시비한 T2구에서 현저하게 높았고, 그외 처리구에서는 유의한 차이가 없었다. 출수이후에는 T1구와 T2구에서는 엽록도가 다른 처리구에 약간 높게 유지되었고, 그외 처리구에서는 약간 낮게 유지되었다. 관행기비전충시비구인 T1구에서의 분얼기간중의 높은 엽록도는 당해 출아기의 이상고온으로 평균출아일수가 약 10일 정도 단축되었기 때문인 것으로 판단되었다. (그림 2-14).

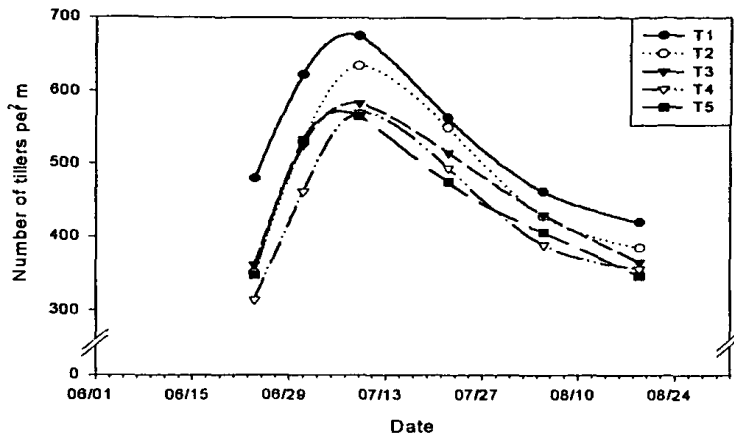


Fig. 2-15. Seasonal changes in the number of tillers affected by different N management.

시비방법에 따른 분얼 양상은, 총분얼수는 20%, 40%를 절비한 T3, T4구 및 40% 절비 5엽기 1회 추비한 T5구에서는 비슷하여 T2(100%)구에 비하여 상당히 감소되었다. 또한, 유효분얼수는 관행기비전충시비구에서 가장 높았고, 5엽기추비중점시비구간에는 시비량이 감소함에 따라 감소하는 경향이었고, 특히 T5구에서 유의하게 감소하였다 (그림 2-15). 한편, 유효분얼기의 엽록도와 이삭수간에는 높은 정의상관관계를 보였고, 시비방법에 따른 분얼 양상의 차이는 이 기간 중 엽중질소함량의 차이에 의한 것으로 판단되었다 (그림 2-16).

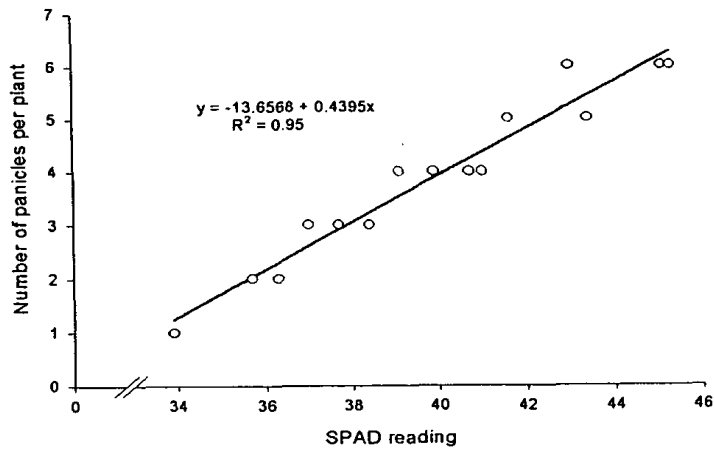


Fig. 2-16. Relationship between No. of panicles and chlorophyll meter reading at active tillering stage.

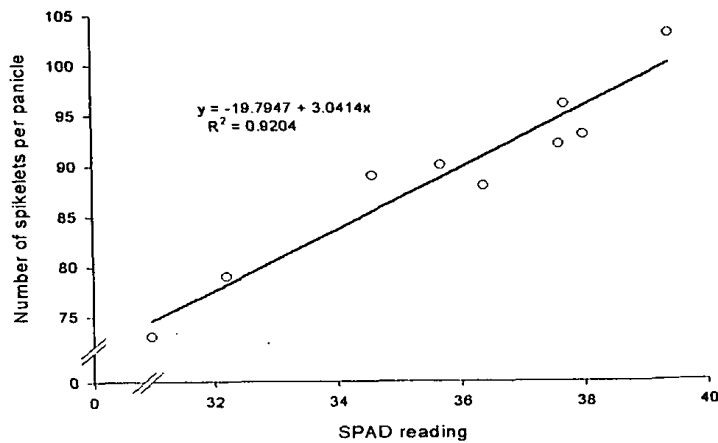


Fig. 2-17. Relationship between Number of spikelets and chlorophyll meter reading at panicle development stage.

한편, 주요 수량성립시기별 엽록도와 수량관련 형질간의 상관관계를 조사한 결과, 감수분열기 지엽의 엽록도와 수당영화수간에는 $y = -19.7947 + 3.0414x$ 의 높은 정의상관 관계를 보였고, 유숙기 지엽의 엽록도와 등숙율간에도 $y = 74.6610 + 0.5664x$ 의 높은 정의상관 관계를 보였다 (그림 2-17, 2.18)

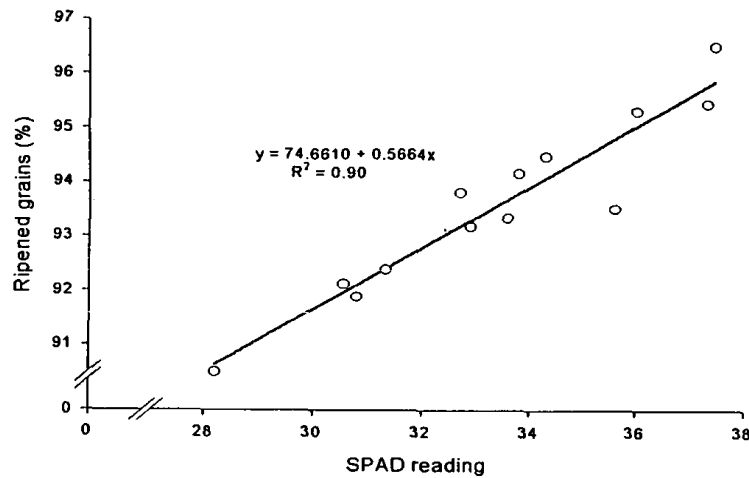


Fig. 2-18. Relationship between ripened grains percentage and chlorophyll meter reading at milk-ripe stage.

나. 시비방식별 수량 및 수량구성요소

벼 10a당 현미수량은 5엽기추비중점시비구인 T2와 관행기비전충시비구인 T1구에서는 비슷하였으며, 5엽기추비중점 20%, 40% 절비구인 T3, T4구 또한 관행기비전충시비구와 유의한 차이가 없었고, 전체 질소시비량의 40%를 절감하여 분얼비를 5엽기에 일괄시비한 T5구에서는 다소 감소되었다. 5엽기추비중점방식은 관행기비전충시비방식에 비해 이삭수는 감소하더라도, 그밖의 수량형질의 증가로 인하여 동일수준 또는 그이상의 수량이 확보되는 것으로 판단되었다. 따라서, 현재 담수직파재배시 관행전충시비방식을 5엽기추비중점시비방식으로 전환하면 전체 시비량을 40%까지 절감시키고도 동일 수준의 수량을 얻을 수 있을 것

으로 기대되었다 (표 2-17).

Table 2-17. Yield and yield components in different N management

Method	No. of panicles per m ²	No. of spikelets per panicle	Ripened grains (%)	1000-grain weight (g)	Yield (kg/10a)
T1	418a	82.8ab	93.21ab	25.46b	624.61ab
T2	384b	85.0a	91.32b	26.36a	646.47a
T3	365bc	83.2ab	93.58a	26.77a	588.74bc
T4	355bc	83.4ab	92.50ab	27.00a	599.03abc
T5	346c	80.1b	92.62ab	26.95a	559.48c

3. 5엽기 추비중점시비방식과 질소유실경감제 및 완효성비료의 효과 비교

가. 생육 특성 비교

(1) 유묘 생육

파종후 40일에 조사한 유묘생육은 표 2-18과 같다. 질소유실경감제 처리구(T3)에서의 유묘생육은 관행시비구(T1)와 비슷하였으나, 5엽기추비중점시비에 의한 절비구(T2)에서는 관행시비구에 비해 뿌리생장 및 분얼발생이 다소 빈약하였으나 엽록도는 다소 높았고, 완효성비료시비구(T4)는 5엽기추비중점시비에 의한 절비구와 비슷한 유묘생육 양상을 보였다. 식물체의 생장 조장은 엽록도의 희석효과를 초래한다고 여겨지므로, 건물중과 전질소함량 및 엽록도를 전체적으로 고려한다면 유묘생육단계에서의 처리간 질소이용율은 지하부에서 5엽기추비중점시비에 의한 절비구(T2)가 다소 낮았으나, 지상부에서는 생육상의 유의한 차이가 없었다. 따라서, 관행의 기비시용은 유묘의 생장에 크게 기여하지 못하고 오히려 각종 유실과정을 통해 환경에 부영향을 끼칠 가능성이 높으므로 이러한 기비시용을 시기적으로 식물체의 시비질소 요구도가 높아지는 분얼초기에 주는 것이 유묘생육과정에서의 질소이용효율을 증대시키는 효과적인 방법으

로 판단되었다.

Table 2-18. Seedling growth in different N management at 40 days after seeding.

Method	Plant height (cm)	Root length (cm)	No. of tillers	Dry weight (mg/plant)	Total Nitrogen	SPAD reading
T1	30.28a	17.62a	3.17ab	0.563a	0.461ab	36.19b
T2	30.19a	13.64b	2.67b	0.368c	0.419b	37.01a
T3	29.79a	16.53a	3.44a	0.536ab	0.611a	36.22b
T4	28.96a	15.95a	2.72b	0.434bc	0.548ab	36.89a

* Within traits, means in a column not followed by the same letter are significantly different at $P \leq 0.05$ based on LSD.

(2) 분얼 양상

시비처리에 따른 분얼 특성을 그림 2-19에서 보면, 관행시비구(T1)에 비해 5엽기추비중점시비에 의한 절비구(T2)에서는 총분얼수가 다소 감소되었으나 유효경비율은 높았고, 질소유실경감제의 처리(T3)는 총분얼을 증가시켰으나, 유효경비율을 향상시키는 효과는 인정되지 않았다. 완효성비료시비(T4)는 분얼 전반기의 엽록도를 높게 유지시킴으로써 유효경비율을 현저히 높이는 효과가 인정되었다(표 2-19). 따라서, 5엽기추비중점시비방식과 완효성비료처리는 분얼을 효율적으로 조장하고 이 시기의 질소이용효율을 개선하는 효과가 인정되었다. 직파재배의 분얼특성은 총분얼수가 많아서 이삭수 확보는 용이하나 유효경비율이 낮아 분얼제계가 이앙재배에 비해 비효율적이어서 그만큼 식물영양상의 낭비가 크다는 점을 감안한다면, 질소유실경감제처리는 분얼기의 질소이용효율을 개선하는데는 현저한 효과가 없는 것으로 판단되었다.

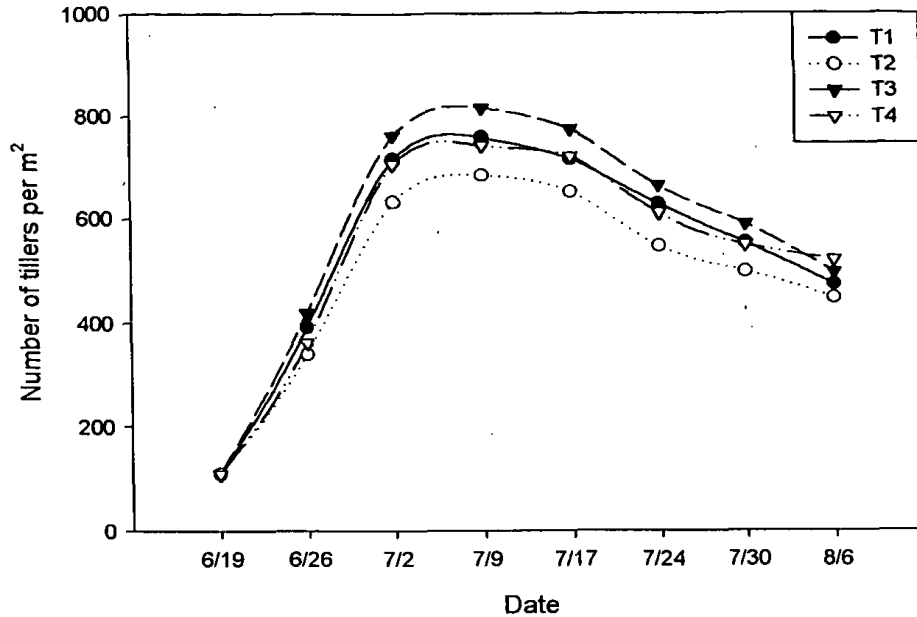


Fig. 2-19. Seasonal changes in the number of tillers affected by different N management.

(3) 엽록도 변화

5엽기중점시비에 의한 절비(T2), 완효성비료 처리(T4)는 관행시비구(T1)에 비해 유효분얼기의 엽록도를 증대시키는 효과가 인정되었으며, 특히 5엽기추비중점시비에 의한 절비구(T2)에서 그 효과는 다른 처리구에 비해 현저히 높았다. 완효성비료 처리(T4)는 분얼후기의 급격한 엽록도 저하를 막는 효과가 인정되었으며, 다른 처리에 비하여 분얼 전반기에 걸쳐 엽록도를 높게 유지시켰다. 이들 처리에서 나타난 높은 유효경비율은 이 기간 중의 높은 엽록도에 기인하는 것으로 판단되었다. (그림 2-20). 또한, 완효성비료 처리(T4)는 생식성장 전반기의 엽록도를 현저히 증대시키는 효과가 인정되어 안전수량을 위해 요구되는 수당영화수를 확보하는데 효과적인 시비방식으로 기대되었다.

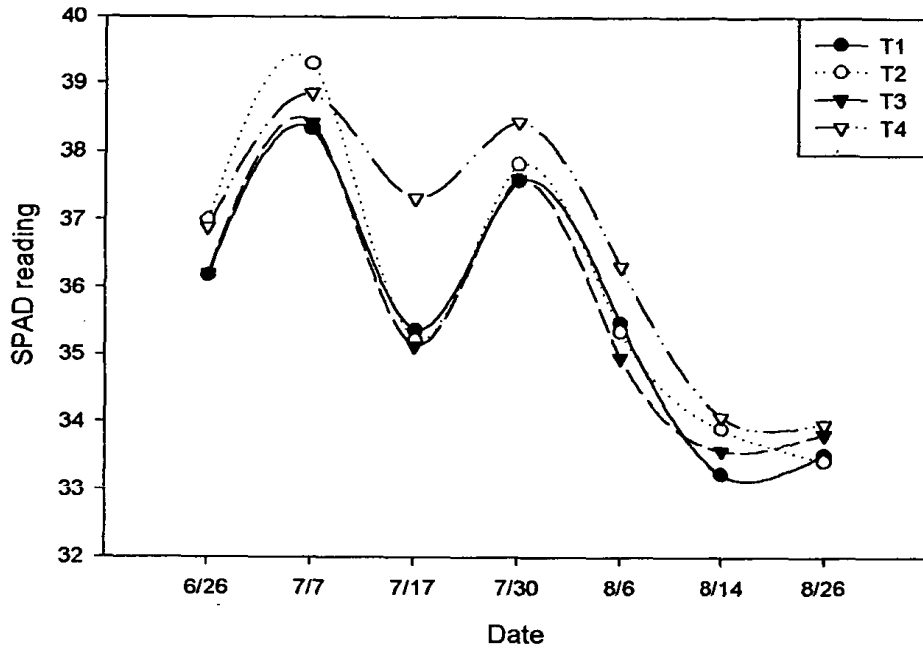


Fig. 2-20. Seasonal changes of SPAD readings affected by different N management.

(4) 출수기 생육

각 시비방식에 따른 후기생육을 표 2-19에서 살펴보면, 출수기는 8월 21일이었으며, 5엽기추비중점시비에 의한 절비구(T2)에서는 관행시비구(T1)와 비슷한 생장을 보였으나, 엽면적지수가 유의하게 낮았다. 질소유실경감제 처리구(T3)는 관행시비구(T1)과 비슷한 생육을 나타냈으며, 완효성비료 시비구(T4)에서는 모든 처리구 중에서 후기생육이 가장 양호하였다.

Table 2-19. Growth characteristics in different treatments of N fertilizer application and rice seeding at 10 days after heading

Method	Heading date	Dry weight of each plant part (mg/plant)				LAI	Percentage of productive tillers (%)
		Panicle	Stem	Leaf blade	Leaf sheath		
T1	Aug 21	2.675a	1.799ab	2.512ab	2.564ab	5.472ab	59.64bc
T2	Aug 21	2.554a	1.538b	2.081b	2.218b	4.808c	62.57ab
T3	Aug 21	3.064a	1.593b	2.484ab	2.350b	5.085bc	56.75c
T4	Aug 21	3.080a	1.999a	2.713a	2.740a	5.727a	66.90a

* Within traits, means in a column not followed by the same letter are significantly different at $P \leq 0.05$ based on LSD.

나. 수량 및 수량구성요소

시비방식에 따른 수량 및 시비질소이용효율을 살펴보면 표 2-20과 같다. 5엽기추비중점시비방식에 의한 절비구(T2)에서는 관행시비구(T1)에 비해 단위면적당 이삭수, 등숙율, 천립중은 비슷한 수준이었으나, 수당영화수가 다소 낮았으며, 이는 영화분화기의 엽중질소농도가 안정 영화수를 확보하는데 요구되는 임계질소수준에 다소 못미치는데서 기인되는 것으로 여겨졌다. 질소유실경감제 처리구(T3)에서는 관행시비구(T1)에 비해 단위면적당 영화수와 등숙율이 높았고, 천립중은 비슷한 수준이었다. 완효성비료시비구(T4)에서는 관행시비구(T1)에 비해 단위면적당 이삭수가 유의하게 증가되었고, 수당영화수, 등숙율, 천립중은 비슷한 수준이었으며, 영화분화기의 엽중질소농도가 안정 영화수를 확보하는데 요구되는 임계질소수준이상으로 과도하게 높게 유지되어 수당영화수의 증대로 나타나지 않은 것으로 판단되었다. 10a당 정조수량은 질소유실경감제 처리구(T3)에서 관행시비구(T1)에 비해 유의하게 높게 나타났으나, 5엽기추비중점시비에 의한 절비구(T2)와 완효성비료 시비구(T4)에서는 관행시비구(T1)에 비해 유의한 차이는 없었다. 당해연도의 경우 등숙기의 침수해에 의한 도복발생으로 인하여 수량구성요소와 수량의 현저한 유의성이 인정되지 않아서 도복발생이 가

장 경미하였던 질소유실경감제 처리구(T3)에서 수량이 가장 높게 나타난 것으로 사료되었으며, 수량구성요소로 판단할 때, 도복발생을 감안하더라도 관행시비구(T1)에 비해 다른 처리구에서의 수량이 현저히 감소되지는 않을 것으로 판단되었다.

한편, 시비방식에 따른 시비질소이용효율은 다른 처리구에 비해 5엽기추비중 점시비에 의한 절비구(T2)에서 현저히 높았고, 질소유실경감제 처리구(T3)에서는 관행시비구(T1)에 비해 다소 개선되었고, 완효성비료 시비구(T4)에서는 관행시비구(T1)과 비슷하였다.

Table 2-20. Yield and yield components and N fertilizer use efficiency

Method	No. of panicles per m ²	No. of spikelets per panicle	Ripened grains (%)	1000-grain weight (g)	Yield (kg/10a)	N use efficiency
T1	449bc	76.54a	83.175b	25.569a	585.40b	53.219c
T2	432c	72.60b	82.870b	25.454a	604.97ab	67.219a
T3	469b	78.22a	88.976a	25.936a	640.35a	58.214b
T4	491a	77.41a	86.752ab	25.140a	610.12ab	55.465bc

* Within traits, means in a column not followed by the same letter are significantly different at $P \leq 0.05$ based on LSD.

제5장 담수직파재배에서 질소 비종별 질소 흡수 효율성과 벼 수량반응

제1절 재료 및 방법

벼의 질소비료 이용효율 개선하기 위해 완효성비료와 요소가수분해억제제 및 질산화억제제의 효과를 평가하였다.

서울대학교 농업생명과학대학 답작포장에서 공시품종으로 화성벼를 사용하여 수행하였다. 공시토양의 특성은 유기물 함량이 1.7%, pH 5.8인 양토였다. 포장의 승용식 담수 직파기를 이용해 5월 20일 무논골뿌림하였으며, 총시비량은 N : P₂O₅ : K₂O = 10 : 8 : 8 kg/10a이었다. 4엽기인 6월 17일에 5 Nkg/10a을 시비하였고, 분얼비와 수비로 각각 7월 18일과 8월 5일에 3 Nkg/10a과 2 Nkg/10a을 시용하였다. NBPT와 DCD 처리는 각각 요소무계당 5%로 처리하였다. 완효성비료로는 열가소성 수지를 입힌 마이스터(Meister)를 사용하였고, 토양온도 20℃에서 100일간 약 80%가 용출되는 것으로 알려진 마이스터10을 처리하였다.

Table 2-68. Treatments with inhibitors and N fertilization method

Treatment	Fertilizer application		
	1st	2nd	3rd
Urea	Urea(5kgN/10a)	Urea(3kgN/10a)	Urea(2kgN/10a)
U+NBPT [†]	Urea(5kgN/10a)+ NBPT(5% w/w to urea)	Urea(3kgN/10a)	Urea(2kgN/10a)
U+DCD [‡]	Urea(5kgN/10a)+ DCD(5% w/w to urea)	Urea(3kgN/10a)	Urea(2kgN/10a)
U+NBPT+DCD	Urea(5kgN/10a)+ NBPT(5% w/w to urea)+ DCD(5% w/w to urea)	Urea(3kgN/10a)	Urea(2kgN/10a)
Slow-release fertilizer [¶]	Meister(5kgN/10a)	Urea(3kgN/10a)	Urea(2kgN/10a)

[†]: Agrotain a. i. 25%(w/v), (N-(n-butyl)thiophosphorictriamide)

[‡]: Dicyandiamide

[¶]: Polyolefin-coated urea

암모니아 휘산에 의한 질소손실량을 측정하기 위해 semiopen-static system을 사용하였고(Nommik, 1973) 암모니아태 질소는 증류법에 의하여 분석하였다(Bremner, 1965).

시비 후 표면수는 매일 오전 8시경에 채취하여 pH를 측정하고, pH 측정이 끝난 시료를 indophenol blue법으로 암모늄태 질소를 분석하였다.

토양의 분석은 토양의 깊이를 0-3cm, 3-15로 나누어 채취하였으며, 채취한 토양은 10g 씩 취하여 2M KCl용액으로 교반후 여과하여 증류법(Bremner, 1965)에 의하여 암모늄태질소를 분석하였다. 토양과 식물체의 전질소는 Kjeldahl법으로 분석하였다.

제2절 결과 및 고찰

담수직파재배에서 질소이용효율을 개선하기 위해 완효성비료와 요소가수분

해역제제(NBPT)와 질산화억제제(DCD)의 효과를 평가하였다.

각 시험구에서 표면수의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도는 요소 단일처리구와 DCD 단일처리구의 값이 최고 약 50mg/l이었던 반면, NBPT처리와 NBPT+DCD 혼합처리구의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도는 최고 약 10mg/l로 낮았다. 이러한 결과로 DCD처리에 의한 요소의 가수분해억제효과는 없었음을 알 수 있고, Urea+NBPT와 Urea+NBPT+DCD의 NBPT를 포함하는 처리에서는 표면수의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도가 낮게 유지되었으므로 NBPT에 의한 가수분해억제효과가 인정되었다. 완효성비료시비에 의한 표면수의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도가 가장 낮았던 것은 요소의 가수분해 속도가 느려 완효성비료로서의 효과가 나타난 것으로 볼 수 있다(그림 2-21).

시비 후 암모니아휘산에 의한 질소의 누적 손실량을 보면, 측정기간동안 암모니아휘산에 의한 질소손실량은 요소단일처리와 DCD단일처리구에서 높았고, 완효성비료와 NBPT처리를 포함하는 시험구에서는 암모니아휘산에 의한 손실량이 요소단일처리와 DCD단일처리에 비하여 적었다. 따라서 완효성비료와 NBPT처리에 의해서 휘산에 의한 질소손실을 경감시킬 수 있음을 알 수 있다(그림 2-22).

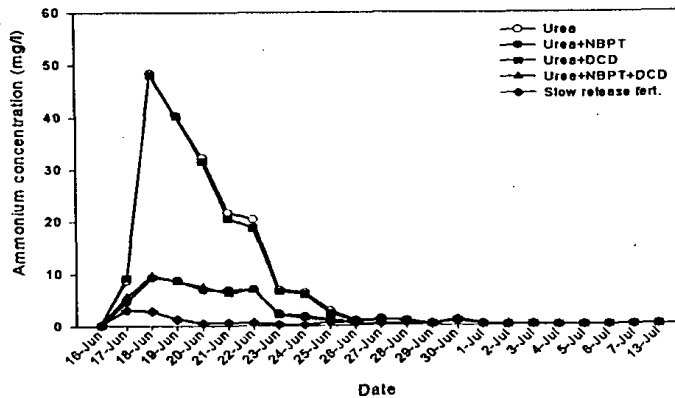


Fig. 2-21. Ammonium-N concentration in floodwater after starter N application.

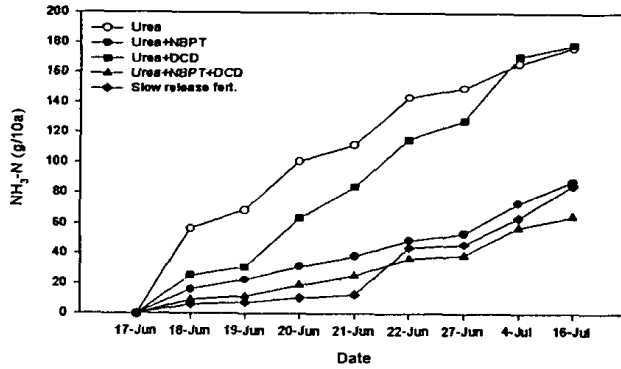


Fig. 2-22. Cumulative Ammonia volatilization losses determined by semiopen-static system.

토양의 암모늄태질소 함량을 보면 시비 후 6일 후에 측정된 결과는 요소단일 처리와 DCD처리구에서 높게 나타났으나, 12일 후에 측정된 결과는 완효성비료와 DCD+NBPT처리가 높았으며, 3-15cm깊이의 토양에서도 비슷한 경향을 나타내었다 (그림 2-23). 이는 표층수에서 가수분해되지 않았던 요소가 토양수를 따라 토양 속으로 침투된 후에 가수분해가 이루어진 결과로 보여진다. 토양수를 통한 질산염의 용탈에 의한 질소손실량을 20cm와 40cm깊이에서 30일 간 채취하여 NO_3^- -N 함량을 측정된 결과는 모든 샘플에서 NO_3^- -N 3mg/L이하의 매우 낮은 경향이었고, 전체적인 손실량도 비슷하였다. 이는 담수상태의 토양에서 질산태질소의 생성량이 매우 적었기 때문인 것으로 생각된다.

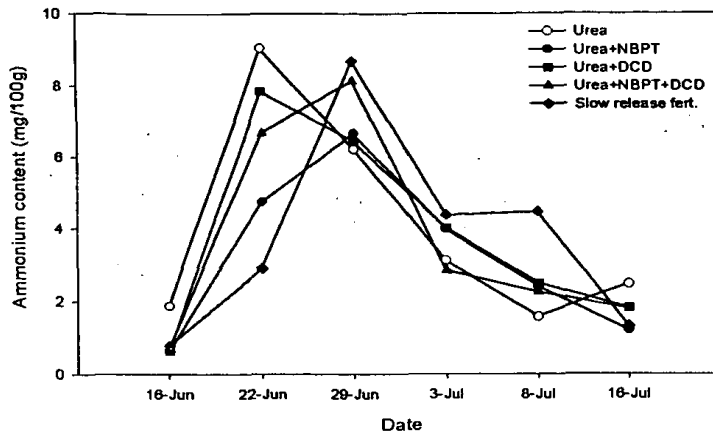


Fig. 2-23. Changes of extractable ammonium-N content in surface soil at 0-3cm depth.

수당영화수는 완효성비료를 시용한 경우에 가장 많았고, 등속률은 NBPT단일처리와 DCD단일처리에서 높았으며, 수량은 완효성비료, NBPT+DCD혼합처리, NBPT처리에서 높게 나타났다. 수확기의 수량 및 수량구성요소는 다음과 같았다 (표 2-21).

시비질소에 대한 처리별 흡수효율, 이용효율, 그리고 질소이용효율을 비교하면 시비된 질소를 식물체가 가장 많이 흡수하여 효율이 높았던 것은 완효성비료 > NBPT와 DCD 혼합처리 > NBPT단일처리 > DCD단일처리 > 요소단일처리의 순이었으며, 질소이용효율도 같은 순이었다.

이상의 결과로 많은 양의 시비가 이루어진 4엽기에 완효성비료를 시비하였을 경우와 NBPT를 처리하였을 경우 질소의 손실을 경감시킬 수 있었으며, 완효성비료를 시비하는 경우에 시비에 따른 노력도 줄일 수가 있으므로, 완효성비료를 적절히 사용한다면 경제적 측면과 노력질감의 측면에서 바람직하리라고 본다.

Table 2-21. Comparison on grain yield and its components.

Treatment	No. of panicles/m ²	No. of spikelets/panicle	ripened grain(%)	1000 grain wt. (g)	Grain yield (kg/10a)
Urea	325.8	74.6b	95.6a	26.3	625.5b
Urea+NBPT	349.8	75.0b	96.1a	26.9	677.1a
Urea+DCD	336.6	71.2c	96.1a	26.7	638.0ab
Urea+NBPT+DCD	359.2	76.7b	93.3b	26.4	684.8a
Slow-release fert.	331.9	82.2a	93.7b	26.2	689.6a
F value	2.6ns	13.8**	9.6*	0.8ns	3.18*

ns: Not significant at P=0.05. *, ** : Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

Table 2-22. Effect of nitrogen fertilizers and inhibitors on Nitrogen use efficiency , Uptake Efficiency and Utilization Efficiency.

Treatment	N fert. added [¶] (kgN/10a)	Plant N [†] (kgN/10a)	Grain yield (kg/10a)	Uptake Efficiency [*]	Utilization Efficiency ^{**}	N use Efficiency ^{***}
Urea	10	10.88	625.5	1.09	57.5	62.6
Urea+NBPT	10	12.70	677.1	1.27	53.3	67.7
Urea+DCD	10	11.07	638.0	1.11	57.6	63.8
Urea+NBPT+DCD	10	13.31	684.8	1.33	51.5	68.5
Slow-release fert.	10	13.58	689.6	1.36	50.8	69.0

¶: N added as fertilizer , †: N removed in above ground part

*: Uptake Efficiency = Plant N / N fert. added

**: Utilization Efficiency = Grain yield / Plant N

***: N use Efficiency(= Uptake Efficiency * Utilization Efficiency) = Grain yield / N fert. added

제6장 무기·유기태 질소비료 시비법 확립 및 실증시험

제1절 재료 및 방법

1999년에 서울대학교 실험포장에서 벧짚과 헤어리베치의 논 투입에 따른 벼의 생육 및 수량 반응을 조사하였다. 실험에 사용된 토양은 微砂質壤土였으며 유기물 함량이 비교적 낮은 토양이었다. 화성벼를 공시하여 4월 20일에 육묘를 시작하였고 5월 25일에 30 X 15 cm로 이앙하였다. 유기물 투입량은 벧짚구는 10a당 건물 600kg(5.6kgN/10a), 헤어리베치구는 10a당 건물 200kg (6.2kgN/10a) 수준으로 토양에 투입하였다. 벧짚과 헤어리베치의 혼합처리는 벧짚과 헤어리베치를 동시에 투입하였다. 질소 시비는 無肥, 追肥 6kg, 12kg 으로 처리하였고 인산과 칼리는 질소와 동일 비율로 전량 基肥 처리하였다. 인산비료는 용과린을, 칼리비료는 염화칼리를 사용하였다. 그 밖의 관리는 농촌진흥청 標準耕種要綱에 준하였다. 실험구 배치는 2요인 난괴법 3반복으로 하였다.

作土層에서의 토양수중 암모늄태 질소 농도변화를 조사하기 위해 耕盤層위에 채수기(pressure-vacuum soil water sampler)를 설치하고 주기적으로 토양수를 채취하여 여과 후 비색 정량하였다. 토양수 중의 암모늄태 질소는 분광분석기(Spectroquant SQ118, Merck社)를 이용해 indophenol blue법으로 분석하였다.

Table 2-71. Organic material input and N fertilization level in paddy field.

Treatments	Organic material input ¶	Fertilization		
		N (kg/10a)	P ₂ O ₅ (kg/10a)	K ₂ O (kg/10a)
T1	None	0	0	0
		6 (0-3-3†)	4	4
		12 (6-3-3)	8	8
T2	Rice straw	0	0	0
		6 (0-3-3)	4	4
		12 (6-3-3)	8	8
T3	Hairy vetch	0	0	0
		6 (0-3-3)	4	4
		12 (6-3-3)	8	8
T4	Straw+Vetch	0	0	0
		6 (0-3-3)	4	4
		12 (6-3-3)	8	8

¶ Rice straw 600kg/10a(5.6kgN/10a), Hairy vetch 200kg/10a(6.2kgN/10a)

† Nitrogen split fertilization amount of starter - top dressing at tillering stage - top dressing at panicle initiation stage, respectively.

다른 한편 다년간의 벧짚 連用이 벧의 生育 및 收量에 미치는 영향을 알아보
고자 1995년부터 1998년까지 4년간 경기도 수원시 권선구 탑동 소재 농민의 논
4.6a를 실험답으로 실험을 실시하였다. 실험답은 평탄한 평지에 위치하였고 경지정
리가 잘 되었으며 灌溉水 공급이 원활하고 排水가 약간 불량하며 비교적 비옥한 壤
壤質土였다. 벧짚을 투입하지 않는 농민의 慣行栽培와 벧짚 투입 및 질소 低投入
재배를 하고 수량 감소분에 대해서는 보상해주기로 하였다. 1995년에서 1997년까지
는 봉광벼를, 1998년에는 일품벼를 공시하였으며 매년 4월 15일경에 육묘를 시작하
였고 5월 20일 경에 이앙하였다. 尿素 單用區는 농민이 직접 관행재배하여 매년
11.6-11.8kgN/10a가 시비되었고 벧짚 투입 및 질소 저투입구는 요소 6kgN/10a를 매

년 基肥-分藥肥-穗肥로 각각 2.0-2.5-1.5kgN/10a씩 分施하였다(표 2-7).

Table 2-72. Fertilizer applications for conventional and straw and low-input farming, 1995-1998.

Fertilizer application (kg/10a)	Urea only	Straw and low-urea input	Variety
	(N : P ₂ O ₅ : K ₂ O)	(N : P ₂ O ₅ : K ₂ O)	
-- 1995 --			
Starter	7.9 : 3.2 : 3.2	2 : 8 : 8	
1st top-dressing	2.6 : 2.1 : 2.1	2.5 : 0 : 0	
2nd top-dressing	1.3 : 0 : 0	1.5 : 0 : 0	
Total	11.8 : 5.3 : 5.3	6 : 8 : 8	
-- 1996 --			
Starter	7.0 : 5.5 : 5.5	2 : 8 : 8	Bong kwang-byeo
1st top-dressing	4.6 : 1.8 : 1.8	2.5 : 0 : 0	
2nd top-dressing	0 : 0 : 0	1.5 : 0 : 0	
Total	11.6 : 7.3 : 7.3	6 : 8 : 8	
-- 1997 --			
Starter	7.0 : 5.5 : 5.5	2 : 8 : 8	
1st top-dressing	2.3 : 0 : 0	2.5 : 0 : 0	
2nd top-dressing	2.3 : 1.8 : 1.8	1.5 : 0 : 0	
Total	11.6 : 7.3 : 7.3	6 : 8 : 8	
-- 1998 --			
Starter	7.7 : 6.0 : 6.0	2 : 4 : 8	Ilpumbyeo
1st top-dressing	2.3 : 0 : 0	2.5 : 0 : 0	
2nd top-dressing	1.6 : 0.7 : 1.4	1.5 : 0 : 0	
Total	11.6 : 6.7 : 7.4	6 : 4 : 8	

제2절 결과 및 고찰

1. 볏짚과 헤어리베치 투입에 따른 벼 收量 反應

볏짚과 헤어리베치 투입에 따른 벼의 생육 및 수량 반응을 조사하기 위해, 서울대학교 실험포장에서 요소 단용구, 볏짚 투입, 헤어리베치 투입, 볏짚과 헤어리베치 동시 투입 처리를 하여 상호 비교하였다. 볏짚의 투입 수준은 600kg DM/10a(5.6kgN/10a)였고, 헤어리베치는 200kg DM/10a(6.2kg N/10a)였다. 질소시비 수준은 無肥와 追肥 6kgN/10a(分藥肥:穗肥=3:3kgN/10a), 12kgN/10a(基肥:分藥肥:穗肥=6:3:3kgN/10a)로 하였다.

볏짚과 헤어리베치의 질소 공급을 조사하기 위해 作土層 토양수의 암모늄태 질소 농도를 분석 조사하였다. 질소 무비 조건에서의 작토층 토양수의 암모늄태 질소 농도는 헤어리베치구가 가장 높았고 다음으로 볏짚+헤어리베치구가 높았으며 볏짚구와 유기물 無投入구는 매우 낮은 수준으로 유지되어 차이를 비교할 수 없었다(그림 2-24). 헤어리베치구의 질소 공급은 이양후 45-50일 경까지 이루어져 생육 상황에 따라 수비가 필요할 것으로 판단된다.

질소 12kgN/10a 시비 조건에서의 작토층 토양수 중의 암모늄태 질소 농도를 보면(그림 2-25), 암모늄태 질소가 고갈되는 시점이 무비 조건보다 10-15일정도 지연되었다. 尿素 單用區는 생육이 시간이 경과함에 따라 토양수 암모늄태 질소 농도가 지속적으로 감소하였으나 유기물 투입구는 감소되는 속도가 요소 단용구에 비해 늦었으며 특히 생육중기로 갈수록 요소 단용구에 비해 높게 유지되었다. 생육 중기의 작토층 토양수중 암모늄태 질소 농도는 헤어리베치구와 볏짚+헤어리베치구가 높았고, 볏짚구는 요소 단용구와 비슷한 경향이었다(그림 2-25).

이와 황(1984)은 배양실험에서 植質 및 砂質土壤에 볏짚 사용시 시비 질소의 50-90%가 담수 10일경 有機化되었고 有機化된 시비 질소는 담수 30일 이후 無機

化되었다고 하였는데, 본 실험의 12kgN/10a 시비구에서는 시비 10일 경까지는 요소 단용구에 비해 볏짚구의 작토층 암모늄태 질소 농도가 낮은 경향이었는데 (그림 2-25), 이는 시비 질소의 유기화에 따른 것으로 판단된다. 그러나 10일경 이후에는 볏짚 투입구가 요소 단용구와 비슷하여(그림 2-25), 이후의 有機化에 따른 암모늄태 질소 농도 감소는 보이지 않았다.

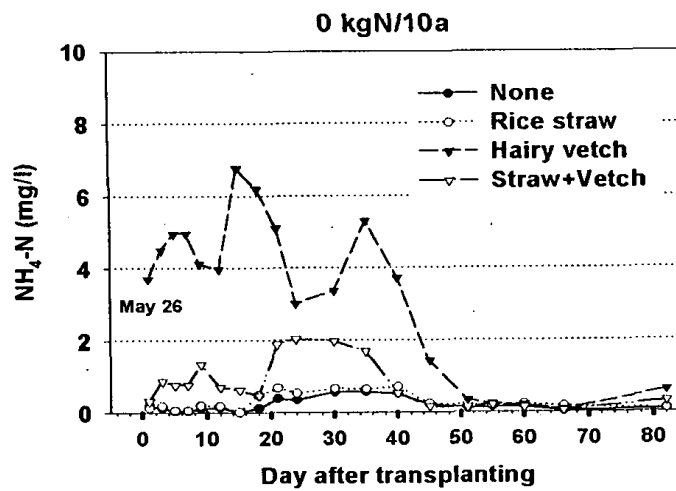


Fig. 2-24. Changes of $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration in paddy water collected above plow layer without N fertilization.

¶ Input N: rice straw-N 5.6kgN/10a, hairy vetch-N 6.2kgN/10a.

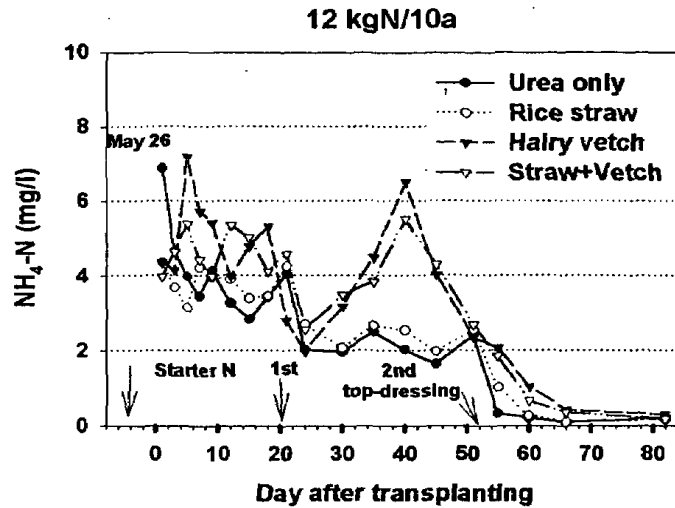


Fig. 2-25. Changes of $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration in paddy water collected above plow layer under 12 kgN/10a fertilization.

¶ Input N: rice straw-N 5.6kgN/10a, hairy vetch-N 6.2kgN/10a.

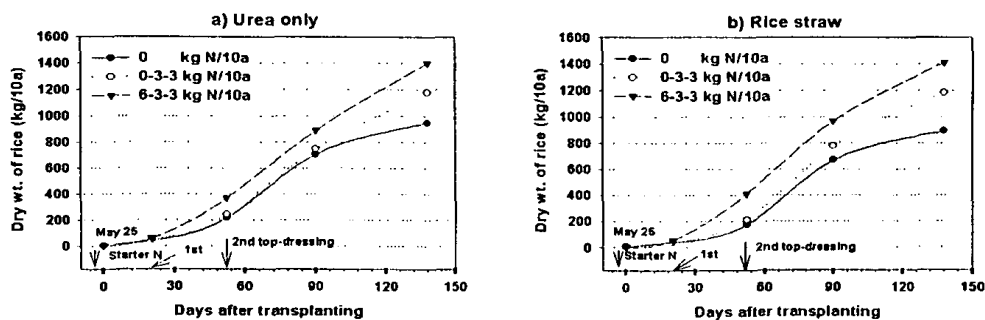
유기물 투입에 따른 세 수준의 질소 시비 조건을 평균한 건물 생산량은 헤어리베치구에서 가장 높았고, 볏짚 + 헤어리베치구, 요소 단용구, 볏짚구의 순이었으나 그 차이는 현저하지 않았고 요소 단용구와 볏짚구의 증가 형태는 비슷하였다(그림 2-26(e)). 볏짚+헤어리베치 투입의 乾物 생산량은 헤어리베치 투입에 비해 적었는데(그림 2-26(e)), 이는 벼 분해에 의해 공급되는 질소가 볏짚 분해로 有機化되어 암모늄태 질소 공급량이 적고(그림 2-24, 2-25), 토양의 환원상태도 영향을 미쳤기 때문일 것으로 판단된다.

각각의 유기물 투입 처리에서 질소 시비별 건물은 다른 양상을 보였는데 모든 처리에서 시비량이 증가함에 따라 건물중이 증가하였다(그림 2-26(a, b, c, d)). 그러나 헤어리베치 투입구는 出穗期까지 질소 시비량 증가에 따른 건물량의 증가가 보이지 않았다(그림 2-26(c)). 무비 조건에서의 볏짚 투입은 볏짚 無投入에 비해 건물 생산이 적었는데(그림 2-26(a, b)), 이는 볏짚 투입에 따른 토양 질소 有機化에 기인한 것으로 판단된다.

유기물 투입에 따른 收量 및 收量構成要素를 보면 세 가지 시비 조건의 평균 수량은 헤어리베치구가 가장 높았고, 벧짚+헤어리베치구는 요소 단용구와 벧짚 구에 비해 비슷한 경향이었으며, 헤어리베치구의 수량 증대는 이삭수의 증가에 起因한 것이었다(표 2-23). 논 토양에 투입된 헤어리베치는 초기에 급격하게 분해되어 이양후 40-50일경까지 질소를 공급하였기 때문에(그림 2-24) 이삭수가 다른 처리에 비해 많았던 것으로 판단된다. 그러나 이삭수의 증가로 인한 수량 증대는 收穫指數를 감소시키는 결과를 가져왔으며 이러한 현상은 벧짚+베치구에 서도 나타나는 경향이었다(표 2-23).

基肥로서의 요소 질소를 헤어리베치 질소로 대체한 헤어리베치 처리구 (0-3-3kgN/10a)는 요소 단용구의 요소 12kgN/10a 처리구와 수량차이가 없어 헤어리베치 질소가 기비 요소 비료를 대체할 수 있음을 보여주었다(표 2-23).

벧짚구는 요소 단용구에 비해 3 수준의 시비 처리의 평균 수량 및 수량구성요소에서 유의한 차이가 없었다. 그러나 질소 무비 조건에서는 벧짚구가 질소무비 구에 비해 수량이 감소했다(표 2-23).



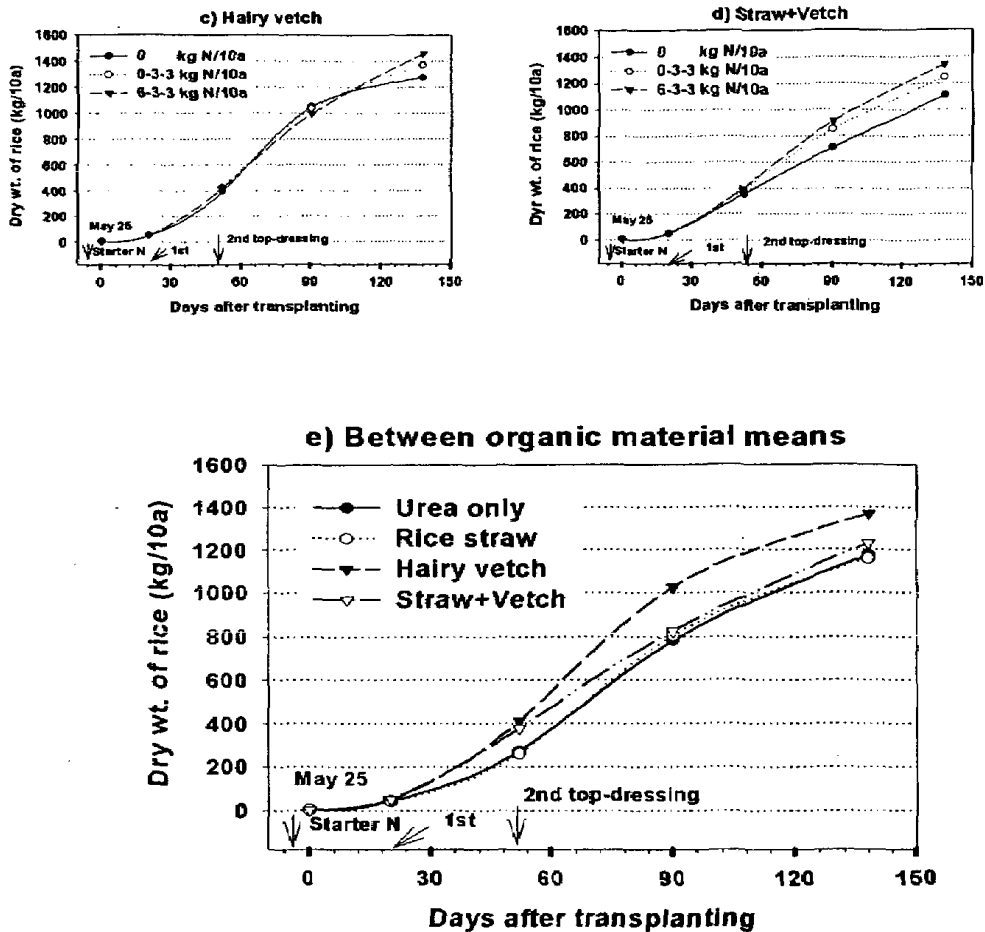


Fig. 2-26. Increase of dry weight of rice as affected by organic material input and different N fertilization levels.

¶ Rice straw input 600kg DM, 5.6kgN/10a ; Hairy vetch input 200kg DM, 6.2kgN/10a.

基肥로서의 요소 질소를 볏짚 질소로 대체한 볏짚구의 0-3-3kgN/10a처리는 요소 단용구의 6-3-3kgN/10a처리에 비해 12% 정도의 수량 감소가 있었는데, 이는 이삭수 감소 때문으로 판단된다(표 2-23). 이삭수가 감소한 이유는 볏짚 분해로 인해 토양질소가 有機化되어 벼 생육 초기 질소 공급이 제한되었기 때문으로 판단된다.

Table 2-73. Yield and yield components of rice as affected by organic material input and N fertilization levels.

Treatments		No. of	No. of	Ripened 1000-grain	Grain	Harvest	
Organic material input ¶	N fertilization (kgN/10a)	panicles /m ²	spikets /panicle	grains (%)	weight (g)	yield (kg/10a)	index
None	0	285	68.9	95.3	28.1	475.8	0.50
	0-3-3 †	334	74.0	94.4	25.2	575.2	0.49
	6-3-3	421	74.2	92.3	26.1	677.9	0.48
	Mean *	347c ‡	72.4a	94.0a	26.7a	576.3b	0.49a
Rice straw	0	257	61.6	94.0	27.0	412.1	0.47
	0-3-3	287	96.9	94.9	27.4	598.7	0.51
	6-3-3	440	65.1	90.2	25.7	665.9	0.47
	Mean	328c	74.5a	93.0a	26.5a	558.9b	0.48ab
Hairy vetch	0	449	57.3	92.9	27.0	581.2	0.46
	0-3-3	430	70.2	89.0	26.0	651.8	0.48
	6-3-3	489	52.3	88.3	25.3	673.0	0.46
	Mean	456a	59.9b	90.1b	26.1a	635.3a	0.46c
Straw+ Vetch	0	350	75.5	93.7	27.4	515.0	0.46
	0-3-3	431	57.7	87.2	25.4	577.4	0.47
	6-3-3	476	58.7	89.2	25.6	627.8	0.47
	Mean	419b	64.0b	90.0b	25.6a	573.4b	0.47bc

LSD_{0.05} between

organic material means	27.2	8.6	1.6	ns	44.9	0.02
N fertilization means	23.6	7.5	1.4	0.58	38.9	0.02

¶ Rice straw input 600kg DM/10a, 5.6kgN/10a; Hairy vetch input 200kg DM/10a, 6.2kgN/10a.

† Nitrogen split fertilization amount of starter - top dressing at tillering stage - top dressing at panicle initiation stage, respectively.

‡ Values followed by the same letter within a column do not differ significantly at 0.05 level.

2. 농가포장에서 多年間의 벼짚 連用에 따른 벼 收量 反應:

과거의 벼 재배법은 벼짚의 토양 투입 시 벼짚의 분해 촉진과 有機化

(immobilization)되는 질소를 보상하기 위해 질소 施肥量을 증가시킬 것을 권장하였다. 그러나 본 연구의 결과로는 포장상태에서 질소 시비량 증가에 따른 벧짚의 분해속도 증가는 적었고, 벧짚의 투입은 시비 질소의 손실량을 줄이는 것으로 나타났다. 또 오 등(1982)에 따르면 벧짚 투입은 암모니아 揮散을 감소시킨다고 하였으며, 김 등(1984)은 벧짚 투입이 논에서의 생물학적 질소 고정을 증대시킨다고 하였다. 이러한 실험결과들로 볼 때 벧짚의 연속적인 논 투입은 토양 환경내 질소의 손실을 줄이는 동시에 벧짚 자체의 질소 공급도 있기 때문에 벧 재배 시 벧짚 투입으로 질소 시비량을 절감할 수 있을 것이라는 가설 하에 본 실험을 수행하였다.

농가 포장은 토양 전질소 함량이 1.40%로 비교적 비옥도가 높은 植壤質土였으며 벧짚 투입구의 벧짚 질소 투입량은 매년 5-6kgN/10a 정도였다. 벧짚 투입구의 질소 시비량은 6kgN/10a였으며 基肥-分藥肥-穗肥를 각각 2-2.5-1.5kg/10a으로 分施하였다. 尿素 單用區는 농민이 관행 재배하여 매년 11.6-11.8kgN/10a 정도의 질소를 시비하였다. 벧의 수량은 표본추출없이 포장 전체를 조사하였다.

단위면적당 벧 이삭수는 4년 모두 벧짚 및 질소 低投入區가 尿素 單用區보다 5-19% 가량 적었으나 96, 97년에는 400개/㎡를 유지하여 증수의 기본 조건은 확보되었음을 확인할 수 있었다. 이삭당 穎花數는 96년을 제외하면 벧짚 및 질소 저투입구가 많았고 千粒重 역시 벧짚 및 질소 저투입구가 높게 나타나 요소 단용구보다 등속이 양호하였음을 보여주었다(표 2-24).

벧 수량을 보면 벧짚 및 질소 저투입구는 요소 단용구에 비하여 1년째에는 4% 정도의 수량 감소를 보였으나 2년째와 3년째는 3-4% 정도 증수되어 4년 평균으로는 수량의 감소가 없었다. 95년에는 전국적으로 기상 조건이 열악하여 다른 해에 비해 특히 수량이 낮았다(표 2-24).

이 등(1995)은 16년간의 벧짚 連用으로 수량은 동일한 질소 15kgN/10a 수준에서 벧짚 무시용구에 비해 투입 후 2년간은 수량이 감소했으나 3년째부터

수량이 증가했다고 하였다. 본 시험에서는 투입 첫해에 벳짚 및 질소 低投入區가 尿素 單用區에 비해 수량이 4% 감소하는 경향이었고 2년째부터는 수량이 증가하는 경향이였다.

Table 2-74. Comparison of yield and yield components of rice between urea only and straw and low urea fertilization at farmer's field, 1995-1998

Year	Methods	No. of panicles /m ²	No. of spikelets /panicle	Ripend grains (%)	1,000 grains wt. (g)	Grain yield (kg/10a)	Grain yield (B/A)
1995	Urea only (A)	415.3	65.6	73.6	27.4	573.4	0.96
	Straw and 1/2 urea † (B)	338.1	78.9	75.3	27.1	552.9	
		**	**	NS	NS		
1996	Urea only	425.2	61.7	94.3	24.6	642.9	1.03
	Straw and 1/2 urea	406.7	53.6	94.2	26.3	668.6	
		NS	**	NS	**		
1997	Urea only	525.2	60.1	79.5	24.6	685.7	1.04
	Straw and 1/2 urea	460.8	73.2	89.3	26.5	715.7	
		NS	**	**	**		
1998	Urea only	380.1	83.3	82.7	25.9	732.7	1.00
	Straw and 1/2 urea	341.4	90.5	92.0	26.9	732.8	
		*	*	**	**		

‡ 1995-1997 : N-P₂O₅-K₂O : 6-8-8 (kg/10a), variety 'Bongkwangbyeon'

1998 : N-P₂O₅-K₂O : 6-4-8 (kg/10a), variety 'Ipumbyeon'

† NS : not significant at LSD 0.05 level.

* : significant at LSD 0.05 level.

** : significant at LSD 0.01 level.

제7장 요약 및 결론

본 연구에서는 논에서 유기 자원의 효율적인 이용방안을 제시하고자 유기 자원중 논에서 가장 쉽게 이용할 수 있는 볏짚과 두과 녹비작물인 헤어리베치에 대해 이들의 분해과정과 질소의 방출, 무기태 질소비료와의 상호작용 및 벼 생육과 수량에 미치는 영향을 조사하였다. 이와 더불어 담수직파재배에서 최적시비법 도출을 통한 시비량 절감 시험, 질소유실억제제를 통한 질소이용효율 증대 시험을 통해 환경친화적인 벼 재배기술을 확립하고자 하였다.

1. 논 투입 볏짚과 헤어리베치의 분해 및 질소방출 벼 수량에 미치는 영향

볏짚 分解를 보면 移秧條件에서 移秧期에 투입된 볏짚은 투입 최초 1개월 동안에 가장 급속하게 分解되었고 50%가 分解되는 시점은 투입 후 2개월 정도였다. 투입 후 5개월 동안의 벼 栽培期間 동안에는 70%정도가 分解되었으며 투입 2년 후에는 90% 정도가 分解되었다. 埋沒 깊이에 따라서는 土壤表面의 볏짚이 토양에 埋沒시킨 볏짚에 비해 埋沒 3개월 동안은 다소 빠르게 分解되는 경향이 있으나 최종 分解율은 비슷하였다. 乾畚直播條件에서의 볏짚 分解 양상은 移秧條件과 비슷하였는데 土壤表面의 볏짚은 토양에 埋沒시킨 볏짚에 비해 초기 2개월간은 分解가 늦었으나 투입 5개월 후의 分解率은 25% 정도로 비슷하였다. 논에 투입된 헤어리베치는 볏짚에 비해 매우 빠른 속도로 分解되었다. 移秧條件에서 埋沒 깊이에 따라 투입 1개월만에 72-81%가 分解되었고 이후의 分解는 완만하였으며 5개월간의 벼 재배기간동안에는 86-90%가 分解되었다. 乾畚直播條件에서의 分解 양상은 灌水 전의 초기 1개월 동안의 分解量은 土壤表面에 위치한 헤어리베치가 토양에 埋沒된 헤어리베치에 비해 16-18%정도 적었다. 그러나 灌水 이후에 土壤表面의 헤어리베치는 빠른 속도로 分解되어 벼 재배 후의 최종 分解率은 95%로 埋沒 깊이에 따른 차이가 없었다. 分解 볏짚의 질소 含量 감소를 보면 투입 30일 후에 42%가 감소되었고 벼 재배기간동안은 65%정도 감소되었으며

감소 양상은 건물 감소와 비슷하였다. 헤어리베치의 경우에는 투입 1개월 후에 전체 질소량의 90% 이상이 감소되었으며 그 이후의 감소량은 매우 적었다.

分解에 따라 放出된 질소의 비 吸收率과 토양 殘留量을 조사하기 위해 포트 조건에서 ^{15}N 추적자법을 이용하였다. 벧짚 유래 질소의 질소 施肥 水準에 따른 비 흡수율은 10-15%였으며 토양 잔류량은 17-21%였다. 토양에 잔류하는 벧짚 유래 질소의 65-79%가 有機態의 형태로 존재하였으며 이는 미생물의 생장에 따라 有機化된 질소량으로 추정되었다. 헤어리베치 유래 질소의 질소 施肥 水準에 따른 비 흡수율은 31-36%였으며 토양 잔류량은 40-43%였다. 토양에 잔류하는 헤어리베치 유래 질소의 48-65%가 有機態의 형태로 존재하였다. 유기물 중 질소의 당해연도 이용면에서 볼 때 벧짚 질소는 기비 질소를 대체하기에는 낮은 것으로 생각되며 헤어리베치 질소의 경우에는 충분히 기비 질소를 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 벧짚과 헤어리베치의 투입은 施肥 질소의 損失을 減少시켰으며 벧짚 투입에 따른 損失의 감소는 식물체 흡수율의 증가보다는 施肥 질소의 토양 잔류량 증가에 起因한 것이었고 헤어리베치 투입에 따른 손실 감소는 토양 잔류량의 증가보다는 施肥 질소의 식물체 吸收量 증가에 기인한 것이었다. 또 벧짚과 헤어리베치의 투입은 시비 질소의 湛水 후 10일 동안의 토양 환경내 窒酸態 질소 溶脫을 줄었는데 이는 유기물 투입에 따른 토양의 신속한 還元과 無機態 질소의 有機化 현상에 起因한 것으로 고찰된다.

벧짚의 연용을 이용하여 시비량 절감하기 위해 질소利用效率이 가장 낮다고 알려진 基肥 질소를 중심으로 節減 가능성을 농가 실증실험을 통해 평가하였다. 유기물 함량이 3.2%정도이고 배수가 약간 불량한 埴壤土(新興統)인 농가포장에서 4년동안 5-6kgN/10a 가량의 기비 질소를 벧짚으로 대체하고 基肥-分蘖肥-穗肥를 각각 2.0-2.5-1.5kgN/10a 分施한 경우의 수량은 尿素 11.6-11.8kgN/10a 가량을 分施한 경우의 수량에 비해 투입 첫해에는 4%정도 감소하였으나 2년째부터는 증가하는 경향을 보여 벧짚 투입에 따른 시비 질소를 절감할 수 있었다. 裁

培品種的인 측면에서 본다면 볏짚 투입으로 인해 벼 생육초기의 토양 無機態 질소 공급량은 볏짚 無投入에 비해 적지만 생육 中·後期로 갈수록 無投入에 비해 많아지므로, 생육 초기에 많은 양의 질소를 흡수하여 이삭수를 증가시켜야하는 穗數型 품종보다는 穗重型 품종의 재배가 유리할 것으로 생각된다. 또한 볏짚의 투입은 볏짚 질소의 직접적인 공급이외에도 시비 질소의 損失 경감, 암모늄태 질소의 揮散 경감, 生物學的 窒素固定 증대 등에 따른 토양 환경내 질소損失을 감소시키기 때문에, 연속적인 볏짚 투입은 수량 安定性을 확보하면서 질소 시비량을 절감할 수 있을 것으로 판단되었다.

헤어리베치는 논 투입 1개월만에 투입 질소량의 90%가 방출되는 것으로 나타났다. 방출된 질소의 벼 흡수 이용율이 30% 이상을 보이며 토양잔류량이 요소비료에 비해 두 배가량 높았다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 헤어리베치는 투입 당해연도부터 기비 질소를 대체할 수 있을 것으로 판단되어 실증실험을 실시하였다. 微砂質壤土(窺岩統)에서 6kgN/10a의 기비 질소를 헤어리베치 질소로 대체하고 분얼비와 수비를 각각 3kgN/10a 시비한 처리구는 400개/㎡ 이상의 이삭수를 확보하여 요소 12kgN/10a 시비구와 수량이 비등하였다. 또한 분얼비와 수비를 사용하지 않은 헤어리베치 투입 처리에서도 이양후 40-50일까지 分解 헤어리베치로부터 질소 공급이 양호하여 400개/㎡의 이삭수를 확보하였으나 이삭당 영양수의 감소로 因해 수량이 600kg/10a이하로 떨어졌다. 그러므로 수량안정성을 확보하기 위해서는 생육 상황에 따라 수비가 필요할 것으로 판단되었다. 이상의 결과에서 헤어리베치 질소는 투입 당해연도에 기비질소를 대체할 수 있었고 이후 추비 절감의 가능성도 보였다.

2. 담수직파재배에서 질소이용효율을 극대화하는 최적 시비법

담수직파재배는 본답기간의 연장으로 말미암아 이양재배에 비해 질소비료의 증시가 요구된다고 알려져 있다. 그러나 이를 통해 증시된 질소비료는 벼의 생

육 및 수량을 조장하는 효과보다는 오히려 경지생태적인 효율성을 떨어뜨리는 것으로 평가되고 있다. 담수직파재배에서 벼의 생육특성은 이앙재배와 상당히 상이하며 이를 근거로 관행담수직파재배의 파종전 기비 시용을 5엽기경에 시용하는 방법이 질소이용효율을 높일 수 있는 방법으로 여겨지며 이를 평가하고자 본 연구는 수행되었다.

벼 담수직파재배시 5엽기추비중점시비방식은 관행재배에 비해 상당히 질소이용효율이 개선된 시비방식으로 평가되었고 영농에너지이용효율도 높아서 벼 직파재배의 지속성을 확보하는데 효과적인 시비방식으로 평가되었다. 주요 수량성립시기별 엽록도와 수량관련 형질간의 상관관계를 조사한 결과, 유효분얼기의 엽록도와 이삭수간에는 높은 정의상관관계를 보였고, 감수분열기 지엽의 엽록도와 수당영화수간에는 $y = -19.7947 + 3.0414x$ 의 높은 정의상관 관계를 보였으며, 유숙기 지엽의 엽록도와 등숙율간에도 $y = 74.6610 + 0.5664x$ 의 높은 정의상관 관계를 보였다.

5엽기추비중점시비방식은 주요 수량성립시기의 엽중질소함량을 적정 수준으로 유지하는데 효과적이어서 중수보다는 안전 수량을 확보하고 시비량을 관행시비량의 약 40% 수준까지 줄일 수 있는 시비방식으로 평가되었다.

시비질소이용효율은 다음의 식과 같이 두 가지 요소에 의해 결정되므로,

$$\text{Fertiliser N Use Efficiency} = \frac{\text{Plant N Uptake}}{\text{Fertilised N}} \times \frac{\text{Yield}}{\text{Plant N Uptake}}$$

5엽기추비중점시비방식은 유묘생육과정에서의 식물체회수율을 높이지만, 생육 전반기에 걸쳐서는 식물체회수율이 다소 낮게 나타났으나, 흡수된 시비질소가 수량에 기여하는 비율이 높아서 시비질소이용효율을 증대시키므로 안정수량을 확보하는데는 관행시비량의 70~80%수준으로도 가능하다고 판단되었다. 요소비료 가수분해 억제제(NBPT)나 질산화억제제(DCD)와 같은 질소유실경감제의 처리는 유묘생육과정에서는 식물체가 시비질소를 이용할 수 있는 기간을 다소 연장시키는 효과가 인정되었지만, 생육 전반기에 걸쳐서는 식물체회수율 및 흡수된

시비질소가 수량에 기여하는 비율을 향상시키는 효과는 작은 것으로 판단되었다. 완효성비료의 사용은 생육 전반기에 걸쳐 엽중질소농도를 높게 유지시킴으로써 식물체회수율을 현저히 높이지만, 이에 따른 시비질소이용효율은 그다지 높지 않은 사실로 판단할 때 안정수량에 필요한 임계질소농도이상으로 과도하게 질소영양상태를 높이는 것을 알 수 있으며, 따라서, 완효성비료 사용을 통한 시비량 및 분시횟수 절감에 대한 연구가 추후 계속 되어야 할 것이며, 우리나라의 담수직파재배에 적합한 완효성비료의 개발과 토성에 따른 肥效持續其間에 대한 체계적 연구가 시급히 요망되었다. 결론적으로 관행시비량의 20~30%를 절감한 5엽기 추비중점시비방식이 안정된 수량을 확보하면서도 환경의 부영향을 경감시키는 저투입 지속형 질소시비체계에 가장 적합한 시비방식으로 판단되었다.

참고문헌

- Becker, M., J.K. Ladha, and J.C.G. Ottow. 1994. Nitrogen losses and lowland rice yield as affected by residue nitrogen release. *Soil Sci. Am. J.* 58:1660-1665.
- Bresh, R. J., De Datta, S. K., J. L. Padilla, and M. I. Samson. 1988. Field Evaluation of Two Urease Inhibitors with Transplanted Lowland Rice. *Agron. J.* 80: 763-768.
- Bresh, R. J., De Datta, S. K., Padilla, J. L. and Chua, T. T. 1988. Potential of Inhibitors for increasing response of lowland rice to urea fertilization. *Agron. J.* 80: 947-952.
- Cai, G. X., Freney, J. R., Muirhead, W. A., Simpson, J. R., Chen, D. L. and Trevitt, A. C. F. 1989. The evaluation of urease inhibitors to improve the efficiency of urea as a N-source for flooded rice. *Soil Biol Biochem* 21: 137-145.

- Catt, J.A., K.R. Howse, D.G. Christian, P.W. Lane, G.L. Harris, and M.J. Goss. 1998. Strategies to decrease nitrate leaching in the Brimstone Farm Experiment, Oxfordshire, UK, 1988-93: the effect of straw incorporation. *Journal of Agricultural Science* 131:309-319.
- Cheshire, M.V., C.N. Bedrock, B.L. Williams, S.J. Chapman, I. Solntseva, and I. Thomsen. 1999. The immobilization of nitrogen by straw decomposing in soil. *European journal of Soil Science* 50:329-341.
- Cho, J.Y., K.W. Han, and J.K. Choi. 2000. Balance of nitrogen and phosphorus in a paddy field of central Korea. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46(2): 343-354.
- Christensen, B.T. 1985. Decomposibility of barley straw: effect of cold-water extraction on dry weight and nutrient content. *Soil biology & Biochemistry* 17:93-97.
- Clement, A., J.K. Ladha, and F.P. Chalifour. 1998. Nitrogen dynamics of various green manure species and the relationship to lowland rice production. *Agronomy J.* 90: 149-154.
- De Datta, S. K. and Buresh, R. J. 1989. Integrated nitrogen management in irrigated rice. *Advances in Soil Science* Vol. 10: 143-169.
- Dingkuhn M., H. F. Schnier, S. K. Datta, K. Dörffling, C. Javellana, and R. Pamplona. 1990. Nitrogen fertilization of direct-seeded flooded vs. transplanted rice: II. Interactions among canopy properties. *Crop Sci.* 30: 1284-1292.
- Jensen, E.S. 1994. Dynamics of mature pea residue nitrogen turnover in upplanted soil under field conditions. *Soil Biol. Biochem.* 26(4):455-464.
- Jensen, E.S. 1994. Mineralization-immobilization of nitrogen in soil amended with low C:N ratio plant residue with different particle sizes. *Soil Biol. Biochem.* 26(4):519-521.
- Kumar, V., B.C. Chosh, and R. Bhat. 1999. Recycling of crop waste and green manure and thier impact on yield and nutrient uptake of wetland rice. *Journal of Agricultural Science* 132:149-154.

- Kuo, S., U.M. Sainju, and E.J. Jellum. 1997. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:145-152.
- Lee, H. J., Lee, J. H., and B. W. Lee. 1999. Effects of urease inhibitor, nitrification inhibitor, and slow-release fertilizer on nitrogen fertilizer loss in direct-seeding rice. *Korean J. Crop Sci.* 44(3): 230-235.
- Lee, H. J., Seo, J. H., Lee, J. S., Jung, Y. S., and Fred E. Below. 1998. Nitrogen management with split application of urea for direct-seeding rice in wet paddy. *Korean J. Crop Sci.* 43(1): 49-53.
- Malpassi, R.N., T.C. Kaspar, T.B. Parkin, C.A. Cambardella, and N.A. Nubel. 2000. Oat and rye root decomposition effects on nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:208-215.
- Pal, D., F.E. Broadbent, and D.S. Mikkelsen. 1975. Influence of temperature on the kinetics of rice straw decomposition in soils. *Soil Science* 120(6):442-449.
- Palm, C.A., and P.A. Sanchez. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biolchem.* 23(1):83-88.
- Ranells, N.N. and M.G. Waggener. 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agron. J.* 88: 777-782
- Rao, M. V., B. B. Reddy, B. C. Ghosh and M. M. Panda. 1985. Nitrogen management in direct sown intermediate deep water rice (15-50cm): I. Effect of form, method and time of urea N application on growth, yield and N uptake. *Plant and Soil* 83: 243-253.
- Reinertsen, S.A., L.F. Elliott, V.L. Cochran, and G.S. Campbell. 1984. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil Biol. Biochem.* 16:459-464.
- Roberson, E.B., S. Sarig, C. Shennan and M.K. Firestone. 1995. Nutritional management of microbial polysaccharide production and aggregation in an agricultural soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1587-1594.

- Sain, P. and F.E. Broadbent. 1975. Moisture absorption, mold growth, and decomposition of rice straw at different relative humidities. *Agronomy Journal* 67:759-762.
- Sain, P. and F.E. Broadbent. 1977. Decomposition of rice straw in soils as affected by some management factors. *J. Environ. Qual.* 6(1):96-100.
- Savant, N.K., L.E. Datnoff, and G.H. Snyder. 1997. Depletion of plant-available silicon in soils: A possible cause of declining rice yields. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28(13&14):1245-1252.
- Schnier, H. F., Dingkuhn, M., S. K. De Datta, Mengel, K. and Faronilo, J. E. 1990. Nitrogen fertilization of direct-seeded flooded vs. transplanted rice: I. Nitrogen uptake, photosynthesis, growth, and yield. *Crop Sci.* 30: 1276-1284.
- Schomberg, H.H., and J.L. Steiner. 1997. Estimating crop residue decomposition coefficients using substrate-induced respiration. *Soil Biol. Biolchem.* 29(7):1089-1097.
- Schomberg, H.H., J.L. Steiner, and P.W. Unger. 1994. Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: residue quality and water effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:372-381.
- Simpson, J. R., Freney, J. R., Wetslaar, R., Muirhead, W. A., Leuning, R. and Denmead, O. T. 1984. Transformations and losses of urea nitrogen after application to flooded rice. *Aust J Agric Res* 35: 189-200.
- Smith, J.H., and R.E. Peckenpaugh. 1986. Straw decomposition in irrigated soil: comparison of twenty-three cereal straws. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:928-932.
- Sommers, L.E., C.M. Gilmour, R.E. Wildung, and S.M. Beck. 1981. The effect of water potential on decomposition processes in soil. p. 97-117. In J.F. Parr et al.(ed) *Water potential relations in soil microbiology.* SSSA Spec. Publ. 9. SSSA, Madison, WI.
- Steiner, J.L., H.H. Schomberg, P.W. Unger, and J. Cresap. 1999. Crop residue decomposition in no-tillage small-grains fields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1817-1824.

- Stroo, H.F., K.L. Bristow, L.F. Elliot, R.I. Papendick, and G.S. Campbell. 1989. Predicting rates of wheat residue decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:91-99.
- Stute, J.K. and J.L. Posner. 1995. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. *Agron. J.* 87: 1063-1069.
- Thomsen, I.K. 1993. Turnover of ^{15}N -straw and NH_4NO_3 in a sandy loam soil: effects of straw disposal and N fertilization. *Soil Biol. Biochem.* 25(11):1561-1566.
- Wessén, B. and B. Berg. 1986. Long-term decomposition of barley straw : Chemical changes and ingrowth of fungal mycelium. *Soil Biol. Biochem.* 18(1):53-59.
- 吉沢孝元 1971. 暖地水田における稲わら麥わらの施用法. 農業および園藝 46(4):599-605.
- 金容雄, 金廣蝕. 1984a. 벅짚 施用이 논土壤의 微生物相에 미치는 影響 I. 질소 代謝에 關與하는 微生物과 土壤成分. 韓國土壤肥料學會誌 17(2):82-89.
- 金容雄, 金廣蝕. 1984b. 벅짚 施用이 논土壤의 微生物相에 미치는 影響 II. 有機物代謝에 關與하는 微生物과 有機物の 分解. 韓國土壤肥料學會誌 17(3):289-298.
- 金容雄, 金廣蝕. 1984c. 벅짚 施用이 논土壤의 微生物相에 미치는 影響 III. 질소固定에 關與하는 微生物相과 질소固定能. 韓國土壤肥料學會誌 17(4):399-405.
- 大門弘幸. 1999. 熱帶原産まめ科の綠肥利用に關する研究の現況と種種の作付體系への導入の期待. 日本作物學會紀事 68(3): 337-347.
- 山室成一. 1981. 水田土壤における施肥질소의有機化, 脫窒および水稻による吸收. 日本土壤肥料學雜誌 52(2):141-148.
- 三枝正彦, 花木眞由美, 伊藤豊彰. 1999. 不耕起濕田土壤における稻わらの分解過程と水稻による稻わら질소의吸收利用. 日本土壤肥料學雜誌 70(2):157-163
- 徐鍾浩. 2000. 헤어리베치 綠肥施用에 따른 土壤질소 增進 및 後作옥수수 的 質소肥料 節減效果. 서울大學校 大學院 博士論文.
- 安藤 豊, 壓子貞雄, 及川 勉, 菅野忠教. 1986. 水田土壤中での稻わらの分解と질소의舉動. 日本土壤肥料學會誌 57(4):359-364.

- 遠藤直生, 河西ちほみ, 井村光夫. 1999. 綠肥利用による水稻湛水土中散播栽培と慣行移秧栽培における収量性の比較. 日本作物學紀事 68(3):364-369.
- 柳喆鉉, 金鐘九, 朴建鎬, 金成朝. 1988. 논土壤의 理化學的 性質에 미치는 有機物의 連用效果 I. 有機物連用 畚의 土壤化學性 變化研究. 韓國土壤肥料學會誌 21(3):264-271.
- 柳喆鉉, 金鐘九, 朴建鎬, 金成朝. 1988. 논土壤의 理化學的 性質에 미치는 有機物의 連用效果 II. 生糞 및 堆肥 連用이 논土壤의 몇 가지 物理的 性質에 미치는 影響. 韓國土壤肥料學會誌 21(3):264-271.
- 李康甫, 姜種國, 嚴澤鎔, 金鐘九, 金善寬, 李景洙. 1995. 有機物 連用畚에서 水稻에 의한 窒素, 磷酸, 加里 吸收에 관한 研究. 農業論文集 37(1):291-297.
- 李相奎, 安相培, 朴建鎬. 1984. 벼짚施用을 위한 畚土壤 適地待險에 관한 研究. 韓國土壤肥料學會誌 17(2):101-107.
- 李相奎, 黃光男. 1984. 논 土壤에 堆肥 및 벼짚施用時 施用질소의 有機 및 無機化에 관한 研究. 韓國土壤肥料學會誌 17(1):60-66.
- 李相奎. 1983. 논 土壤에서 벼짚施用時 施用窒素의 有機化에 관한 研究. 韓國土壤肥料學會誌 16(4):368-371.
- 이호진, 서준한, 이정삼, 정영상, 박정근. 1995. 벼 직파재배 노동력 투입 및 에너지 효율성 비교. 한작지 41(1): 115-122.
- 鄭光溶, 趙成鎭, 金才正. 1985. 벼짚과 硅灰石 施用이 水稻의 生育 및 收量에 미치는 效果. 韓國土壤肥料學會誌 18(2):148-155.
- 許範亮, 李昌德. 1981. 벼짚의 施用이 水稻의 分蘖에 미치는 影響. 韓國土壤肥料學會誌 14(3):146-156.
- 黃光男, 李龍煥, 申容光, 李景洙. 1993. 논 土壤에서 벼짚 窒素의 行方에 관한 研究. 農業論文集 35(1):289-294

제 3 세부과제

건답조건에서 질소동태와 질소이용률 향상을 위한 시비법 확립

제1장 서설

90년대 이후 벼농사의 생력저비용화 요구도가 증대됨에 따라 직파재배의 보급이 확대되고 있는 추세에 있다. 건답직파재배에서 비료의 용탈과 탈질 등에 의한 손실이 많아 이앙재배에 비해 질소시비량이 적게는 10-20%, 많게는 40-50%를 증비하고 있다. 이러한 질소질비료의 과다시비는 경제적 손실뿐만 아니라 환경부하를 증대시키고 지하수오염 등의 환경문제를 야기할 수 있다. 그러나 지금까지는 건답직파에 대한 연구가 체계적으로 이뤄지지 못하고 있으며 특히 시비량이나 분시방법 등에 의한 연구가 매우 빈약한 실정이다. 따라서 본 연구는 건답직파재배에서 시비질소의 토양내 동태와 식물체이용효율을 검토하여 비료이용효율을 높이고 환경부하를 줄이는 방향으로 시비체계를 확립하는 것이다.

제2장 건답직파재배에서 시비체계에 따른 질소 이용효율

제1절 서설

건답직파재배의 역사는 매우 오래되었지만 1960년대 한발대책의 일환으로 일부 연구가 이뤄졌고 비교적 과학적으로 연구한 시기는 1990년대 이후이다. 건답

직파재배는 건답에서 쇠토, 정지후 파종하게 됨으로써 파종작업이 쉽고, 대형 농기계작업에 유리하며, 육묘와 이앙작업이 생략되어 노동시간이 단축되고 농번기 노동력을 분산시키며, 입모기간중에 관개수가 절약되고, 본답에서 발아·출아하므로 활착에도 유리하다. 이에 반해 강우에 의한 적기파종의 어려움, 파종후 강우에 의한 출아와 입모의 불량, 잡초방제의 어려움, 담수시 관개수의 지하 침투량이 많아 비료의 용탈이 심하고, 육묘기간이 생략되어 시비시기의 결정이 어렵다. 또한 담수시기인 3-5엽기까지의 기간이 길어 기비질소의 손실이 크고, 더구나 타 재배법의 질소시비량보다 적게는 10-20%, 많게는 40-50%를 증비하는데 이는 시비효율이 낮기 때문이다. 건답직파에서 과거에는 이앙재배와 동일한 수량증대를 위해서 다량의 질소질비료를 사용해 왔으나 근래에는 필요이상의 시비를 하여 질소의 용탈, 탈질, 휘산, 질산화 등으로 질소효율은 크게 낮아졌다. 최근에는 지속적농업과 환경보전 개념의 도입으로 질소질비료의 이용효율을 높이려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 질소의 이용효율을 높이기 위해서는 작물의 질소요구도를 정확하게 파악하여 적절히 시비하여야 한다. 그럼으로써 경제적인 이익실현과 함께 환경부하를 경감시키는 친환경적인 벼재배가 가능케 할 수 있을 것이다.

질소의 이용효율은 질소요구도와 마찬가지로 재배양식별, 생육시기별로 다르지만 보통 시비량이 증가할수록 낮아지는 경향이 있다(Carreres, 1996). 보통 기비는 이앙재배가 17.5-27%의 회수율을 보여 건답직파재배의 회수율보다 높다고 알려져 있다(Savant & De Datta, 1982). 이앙재배에서 기비는 22-27%, 분얼기 36%, 유수형성기와 제 2차 지경분화기 50%, 감수분열기 44-46%, 출수기 25-36%의 회수율을 보이는 반면(和田 등, 1971) 건답직파재배에서는 기비가 2.5-3.2%, 분얼비 8-40%, 유수형성기 26-68%의 회수율을 보였다(南, 1999).

제2절 건답직파재배와 이앙재배의 질소이용효율 비교

1. 재료 및 방법

가. 재배개요

공시품종은 화성벼이며, 건답직파와 이앙재배의 질소시비량은 표 3-1과 같으며, 인산과 칼리는 모두 8kg/10a를 전량 기비로 사용하였다.

건답직파재배는 기비를 1997년 5월 14일 기비사용후 트랙터로 로타리작업을 하여 전층시비가 되게 하였으며, 5월 15일 파종하였다. 이앙재배는 5월 24일 기비사용후 트랙터로 로타리작업을 한 후에 5월 25일 이앙하였다. 분얼비는 6월 5일에 수비는 7월 18일에 주었으며, 출수일은 이앙구가 8월 11일, 건답직파구가 8월 19일 이었다.

표 3-1. 질소시비처리(1996년)

처리	시비량 (kg/10a)	분시방법			비고
		기비	분얼비	수비	
T1	0	0	0	0	이앙재배
T2	13	50	30	20	
D1	0	0	0	0	건답직파
D2	13	0	80	20	
D3	13	50	30	20	

나. 조사항목

(1) 질소 동태

실험전 토양 층위별(0-20, 20-40, 40-60, 60-90cm)로 bulk density, 토양수분함량, 전질소, 무기태질소(암모니아태, 질산태) 조사하였다. 토양채취는 건답직파재배가 파종·시비직전, 파종후 3, 8, 13, 18, 22(1차 추비일), 25, 30, 39, 54, 65, 79, 94, 110, 126, 수확기였고, 이앙재배가 이앙 시비직전, 이

양후 3, 8, 12, 15, 20, 29, 44, 55, 69, 84, 100, 116, 수확기였다.

채취한 토양시료는 실험전까지 영하 30℃의 냉동고에 보관하였다. 1998년까지의 암모니아태질소와 질산태질소의 토양분석은 Forster(1995)의 방법에 따라서 분석하였다. 토양시료를 잘게 부수어 잘 혼합한 후 토양 20g(건조중12~15g)을 250ml 폴리에틸렌병에 넣고 0.2M KCl용액 100ml와 소량의 활성탄을 넣은 후 120rpm으로 1시간 동안 교반한 후 다른 100ml 삼각 flask에 토양 현탁액을 여과하였다. 여과한 토양용액을 암모니아태질소는 Indophenol blue법으로 비색정량하였으며 질산태질소는 시험관에 표준용액과 위의 시료 0.5ml를 옮기고 salicylic acid 1ml를 넣고 잘 섞어서 30분동안 정치한후 4M NaOH를 10ml 넣고 잘 섞어서 1시간동안 정치하여 발색시킨후 410nm에서 흡광도를 읽어 농도를 계산하였다.

(2) 생육조사 및 수확

건답직파재배에서는 입모을을 조사하였고, 건답직파재배와 이앙재배 모두 2주일 간격으로 식물체를 채취하였다. 채취한 식물체 시료는 출수이전에는 엽·줄기로, 출수이후에는 엽·줄기·이삭 등의 각 부위별로 나눈 후 72℃ Dry-oven에서 72시간 건조시킨 다음 건물중을 칭량한 후 마쇄기로 분쇄하여 전질소분석에 이용하였다. 토양의 전질소분석은 채취한 토양을 풍건시킨 후에 500mesh 체를 통과시킨 후에 전질소분석에 이용하였다. 전질소분석은 Micro-Kjeldahl법에 기초한 Kjeltec auto 1035 system(Tecator社) 분석기계를 이용하여 분석하였다. 수확시 수량 및 수량구성요소를 조사하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 토양중 질소동태 및 식물체 질소흡수

토양중 질소동태를 나타낸 것이 그림 3-1이다. 토양중 무기태질소의 동태는 전 생육기간 동안 이앙재배가 직파재배보다 높았으며, 직파재배의 경우 분

열비중점구(D2)가 기비시용구(D3)보다 높았다. 직파재배에서 기비로 사용한 질소는 건답기간중에 80%이상 손실되었다.

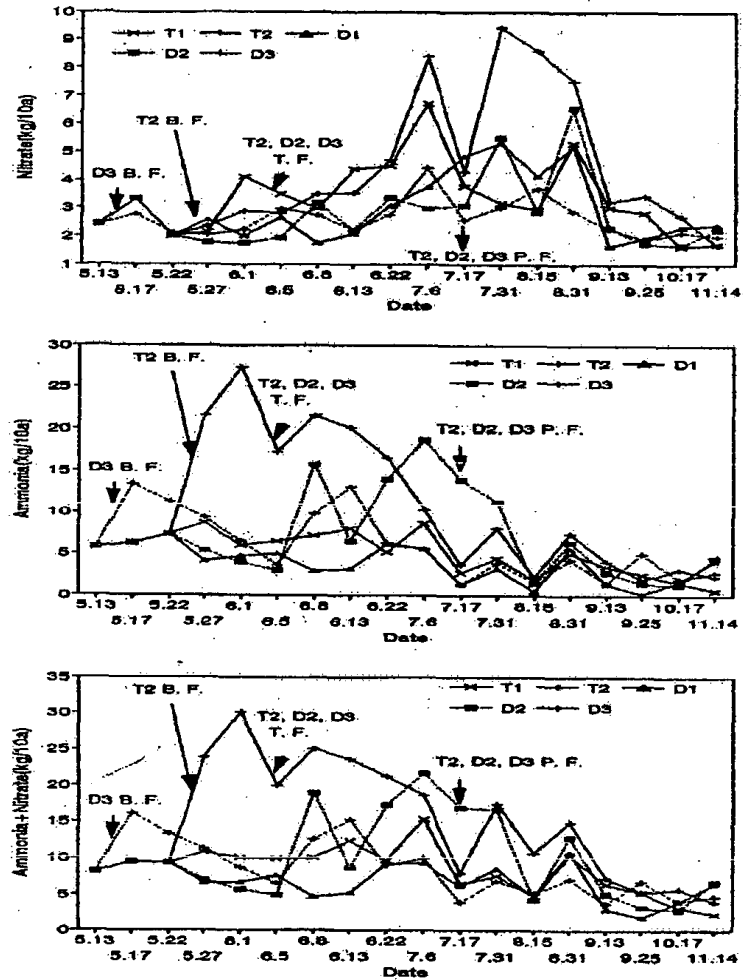


그림 3-1. 이앙 및 건답직파재배의 토양내 무기태질소의 동태

시비된 비료의 흡수율과 흡수된 비료의 이용효율은 직파재배구가 이앙재배구보다 낮았으며, 특히 직파재배구에서 분열비중점시비구(D2)가 기비시용구(D3)에 비해 비료이용효율이 높았다(표 3-2).

표 3-2. 식물체 질소이용효율

Treatment	% of N recovery (kg absorbed N/kg applied N)	Efficiency of utilization (kg rice/ kg absorbed N)	Efficiency of fertilizer N (kg rice/kg applied N)
T2	60.0	51.1	30.7
D2	35.8	63.5	22.7
D3	13.0	74.3	9.7

나. 생육 및 수량

초장은 이앙재배의 벼가 초기에는 컷지만 80%의 비료를 분얼비로 사용한 직파구의 벼가 빠른 생육을 보여 초장이 제일 컷으며 기비를 사용한 이앙구, 직파구, 이앙무비·직파무비의 순이었다. 단위면적당 분얼수는 직파구가 이앙구보다 많았다. 직파구에서는 분얼수는 기비시용구(D3)가 초기에 많았지만 분얼비 시비 후 분얼비중점구(D2)에서 분얼수가 급격히 증가하였는데 이로인해 특히 무효분얼이 늦게까지 지속되었고 후기에는 기비시용이앙구(T2)와 비슷한 경향을 보였다. 지상부건물중은 D2>T2>D3>D1>T1 의 순이었다.

수량 및 수량구성요소를 나타낸 것인 표 3-3이다. 단위면적당 이삭수는 분얼비중점직파구(D3)>직파구(D3)>이앙구(T2)>직파무비구(D1)>이앙무비구(T1)로써 건담직파재배가 이앙재배보다 단위면적당 이삭수는 많은 경향이였다. 이삭당 영화수는 비슷한 경향이였고, 등숙률과 천립중은 직파구가 이앙구보다 높게 나타났다. 수량은 분얼비중점직파구(D2)>이앙구(T2)>직파구(D3)>직파무비구(D1)>이앙무비구(T1)로써 단위면적당 이삭수와 동일한 경향이였다.

표 3-3 수량 및 수량구성요소

처리	단위면적당(m ²) 이삭수	이삭당 영화수	등숙률 (%)	천립중 (g)	수량 (kg/10a)
T1	259	72.6	93.3	28.3	491
T2	453	73.8	89.3	25.8	767
D1	344	58.5	95.7	28.5	543
D2	512	68.3	91.9	26.1	796
D3	441	66.9	91.2	26.8	712

이상의 결과를 요약하면, 이앙재배의 분시율(기비-분얼비-수비=50-30-20)을 직파재배에 그대로 적용한 기비시용구(D3)는 분얼비중점처리구에 비해 수량이 낮았으며, 분얼비중점처리구는 표준 이앙재배처리구(T2)보다도 수량이 높게 나타났다. 건답직파재배에서 기비로 사용된 비료의 대부분이 용탈이나 탈질 등에 의해 손실되어 비료의 흡수이용률이 낮았다. 따라서 건답직파의 경우 시비질소의 이용효율과 수량성제고를 위해서는 분시방법 및 비료의 제형, 시비위치 등 시비체계에 대한 검토가 광범위하게 이루어져야 할 것으로 판단된다.

제3절 건답직파재배에서 기비, 분얼비 및 수비질소의 이용효율

1. 재료 및 방법

가. 재배개요

공시품종은 자포니카이며 중생종인 화성벼였으며, 질소시비 처리는 표 3-4와 같고, 인산과 가리는 8kg/10a을 인산은 전량 기비, 가리는 기비 70% 수비 30%로 분시하였다.

기비는 5월 8일에 전층시비하였고, 5월 9일 건조종자 4kg/10a를 조건 30cm로

조파하였다. 3엽기에 관개하였고 4엽기에 분얼비를, 유수형성기때 수비를 시용하였다. 관개이후 물의 이동을 방지하기 위해서 선라이트를 설치하였다. 각 처리구의 면적은 12.5m²이고, 실험구는 난괴법 3반복으로 배치하였다.

표 3-4. 질소시비량 및 분시비율(1999년)

처리	총시비량 (kg/10a)	기비 (kg/10a)	분얼비(4엽기) (kg/10a)	수비 (kg/10a)
T1	0	0	0	0
T2	7.5	0	0	7.5
T3	15	0	0	15
T4	7.5	0	7.5	0
T5	15	0	7.5	7.5
T6	22.5	0	7.5	15
T7	15	0	15	0
T8	22.5	0	15	7.5
T9	30	0	15	15
T10	20	5.0	7.5	7.5
T11*	20			
T12**	30			

* : 4엽기부터 출수기까지 10일 간격으로 2.5kgN/10a을 8회 시용함

** : 4엽기부터 출수기까지 10일 간격으로 3.75kgN/10a을 8회 시용함

나. 조사항목

(1) 토양내 무기태질소분석

1999년 이후의 토양시료의 암모니아태질소의 분석은 Keeney & Nelson (1982)의 방법에 의해 분석하였고, 질산태질소는 Modified Griess-Ilosvay method(Barnes & Folkard, 1951; Bremner, 1965)를 이용해서 분석하였다. 2M KCl 100ml가 담긴 폴리에틸렌병(250ml)에 토양시료 20g과 소량의 활성탄을 넣고 180rpm으로 한시간 교반한 다음 거름종이를 이용하여 여과하였다. 여과한 용액을 암모니아태질소는 Indophenol-blue법으로 비색정량하였고, 질산태질소는 Copperized Cd-column을 통과시켜 NO₃⁻를 NO₂⁻로 환원하여 비색정량하였다.

(2) 토양수내 무기태질소 분석

토양용액중 무기태질소를 분석하기 위해서 토양용액채취관(Irrrometer Co., model: SSAT)를 토층 10, 50cm깊이에 설치하였다. 50centibar의 압력을 걸은 후 1-2시간 후에 50ml 주사기로 토양용액을 채취하였다. 토양용액채취는 건답기간에는 5일간격으로 하였고, 담수후 출수전까지는 5일간격으로 출수이후부터는 10일간격으로 채취하였다. 특히 분얼비와 수비후에는 시료채취간격을 좁혀 시비후 2, 4, 6, 8, 10일 간격으로 시료를 채취하였다. 시료는 토양과 마찬가지로 분석 전까지 영하 30℃의 냉동고에 보관하였다. 토양수내 암모니아태와 질산태는 토양분석과 동일한 방법으로 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 건답기간중 무기태질소 동태

(1) 토양중 무기태질소

건답기간중 토양내 무기태질소의 동태를 파악하기 위해서 토층 0-20cm 간격으로 1m까지 샘플을 채취하여 분석하였다. 기비시용구(5kg/10a, T10)와 질소무비구의 토양중 암모니아태질소의 변화를 나타낸 것이 그림 3-2이다. 질소무비구의 암모니아태질소는 작토층(0-20cm)이 2kg/10a 내외였으며 토양층위가 깊어질수록 암모니아태질소가 낮아졌다. 한편 모든 층에서 건답기간중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 변화는 거의 없었다. 기비처리구의 토층 0-20cm내 $\text{NH}_4\text{-N}$ 양은 기비시용 2일 후인 5월 10일날에 6.44kg/10a로 최대에 달하였고 1주일정도까지 지속되다가 급격히 감소하는 경향을 보였는데 이는 파종 6일전에 58.5mm의 많은 강우가 있어서 실험포가 적셔져 있는 상태에 있었고, 파종일에 최고기온이 24.4℃가 되는등 파종 후 기온이 높아 요소의 가수분해와 질산화가 빨리 이루어졌기 때문인 것으로 생각되어진다. 토층 20-40cm와 40-60cm에서도 시비 후 10일까지 농도가 높아졌는데, 이는 요소태 자체나 암모니아태 자체로도 용탈이 일어났기 때문인 것으로 보인다. 기비처리구의 암모니아태질소는 파종후 25일쯤 무비구와 거의 비슷한

정도를 나타내었는데, 이는 3엽기 관개전에 이미 기비질소의 대부분이 용탈이나 탈질, 암모니아 휘발 등에 의해 손실되었음을 의미한다.

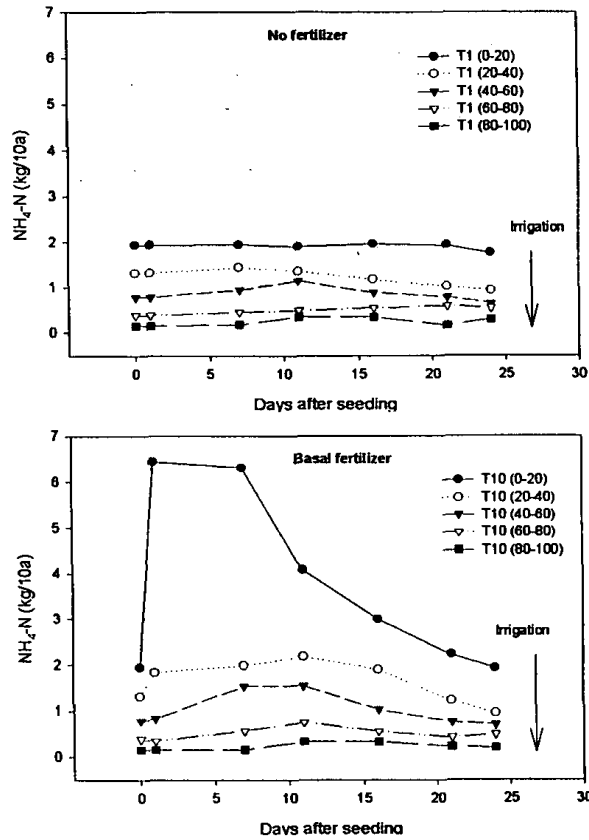


그림 3-2. 건답기간중 토양내 암모니아태질소 동태

기비 5kg/10a를 처리한 시험구(T10)와 질소무비구(T1)의 건답기간 중 토양층 위별(20cm 간격) 질산태 질소의 경시적 변화를 나타낸 것이 그림 3-3이다.

무비처리구(T1)의 질산태질소는 작토층(0-20cm)에서 0.9kg/10a 이하로 거의 일정하였고, 강우 2일후(파종후 11일)에 20-40cm 토층에서 0.62kg/10a에서 0.74kg/10a로 경미하게 증가하였는데, 이또한 암모니아태 질소와 마찬가지로 무비구에서는 거의 변화를 나타내지 않았고, 토층이 깊어질수록 낮은 경향을 보였다. 기비처리구(T10)에서의 작토층내 질산태질소는 파종후부터 계속 증가하여 파종후 11일에 2.06kg/10a로 가장 높았고 이후 다시 차츰 낮아졌는데, 암모니아

태질소가 파종후 25일쯤에 무비구와 거의 같은 반면 작토층에서 질산태질소는 무비구보다 약간 높았다. 토층 20-40cm에서도 질산태질소의 양이 무비구에 비하여 크게 증가하였는데, 이는 질산태가 용탈된 것 외에도 미약하나마 요소태질소와 암모니아태질소가 그 자체로 용탈된 것이 질산화작용을 거쳐 질산태로 바뀌었기 때문인 것으로 생각되어진다. 토층 40-60cm에서는 파종후 16일에 0.8kg/10a로 높아졌는데 그 정도는 미약하나 용탈이 40-60cm까지도 일어났음을 의미한다. 이후 토층에서는 무비구와 거의 비슷한 양상을 띠어 토층 60cm이하로는 질산태질소의 변화가 없었다.

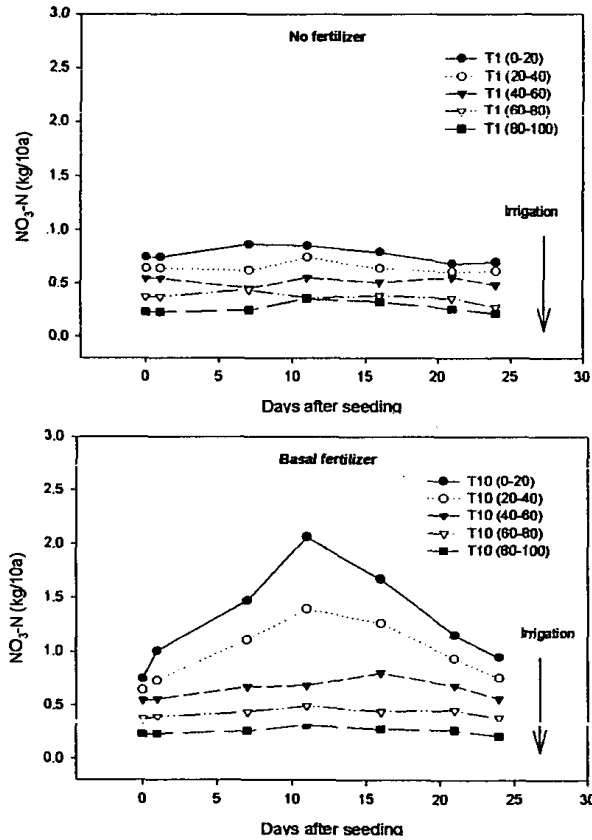
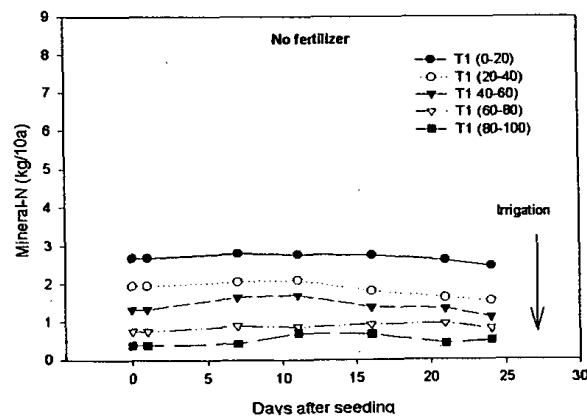


그림 3-3. 건답기간중 토양내 질산태질소 동태

기비 5kg/10a를 처리한 시험구(T10)와 질소무비구(T1)의 건답기간 중 토양층 위별(20cm 간격) 무기태질소(NH₄-N+NO₃-N)의 경시적 변화를 나타낸 것이 그림

3-4이다. 무비구(T1)에서의 무기태질소량은 작토층(0-20cm)에서 2.8kg/10a 미만으로 거의 변화를 보이지 않았으며, 토층별로도 거의 변화가 없었고 토층이 깊어질수록 그 양은 적었다. 반면에 5kg/10a로 기비처리한 T10에서는 파종다음날부터 작토층에서 7.5kg/10a로 급격히 증가하여 파종 1주일 후에는 7.8kg/10a까지 증가하였고 이후로 급격히 감소하여 파종후 25일쯤에는 무비구와 거의 비슷해졌다. 토층별로 살펴보면, 토층 20-40cm와 40-60cm에서의 무기태질소는 서서히 증가하여 파종후 11일에 각각 3.56kg/10a, 2.22kg/10a로 가장 높았고 이후 감소하였다. 이는 암모니아태질소보다는 질산태질소의 용탈에 기인한 것이다. 토층 60cm 이하로는 무비구와 거의 비슷한 경향을 나타냈다.

그림 3-4에서 보듯이 관개이전에 기비로 시용한 질소의 대부분이 손실되었는데, 이는 건답기간 80mm이 강우가 있어 용탈량이 많았을 뿐만 아니라 실험포의 건조와 습윤이 반복되어 탈질과 암모니아 휘발에 의한 손실도 있었기 때문으로 판단된다.



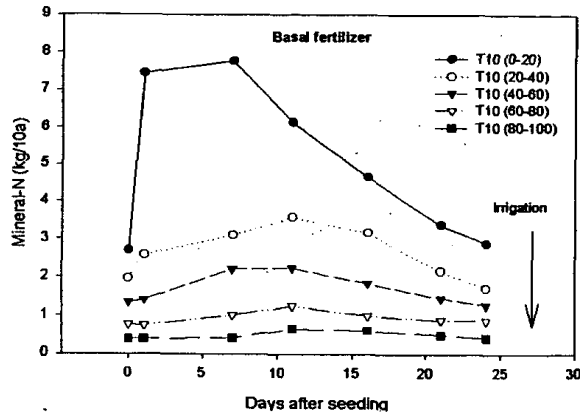


그림 3-4. 건답기간중 토양내 무기태질소 동태

(2) 토양용액 중 무기태질소

건답기간중 심토층인 토중 50cm에서 주기적으로 토양용액을 채취하여 무기태질소의 농도를 나타낸 것이 그림 3-5이다. 무비구에서의 암모니아태질소는 건답기간 내내 0에 가까운 수치를 나타내었고, 기비처리구에서는 강우가 있는지 2일후(파종후 11일)에 2.5ppm정도로 높아진 이후로는 무비구와 큰 차이를 보이지 않았다. 반면, 무비구에서의 질산태질소는 큰 변화를 보이지 않았으나 기비처리구에서는 시비후 점차 높아져 강우가 있는지 이틀후인 파종후 11일에는 17.65ppm으로 상당히 높았다. 비가 온 후 기비처리구에서 질산태질소와 암모니아태 모두 무비구에 비해 현저히 높아졌는데, 이는 강우 이후 암모니아태질소와 질산태질소의 용탈이 모두 이루어지고 특히 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 대량으로 용탈이 이루어짐을 보여준다.

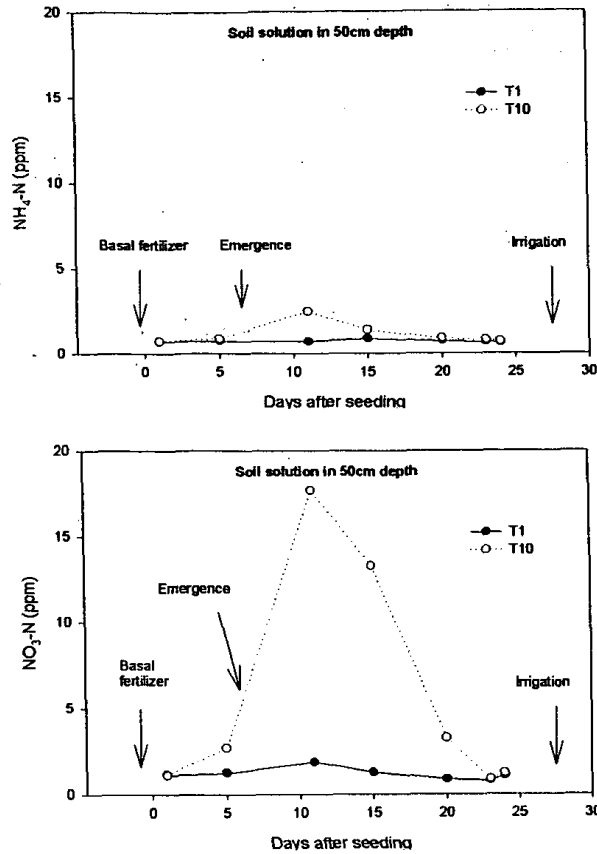


그림 3-5. 건답기간중 토양수내 암모니아태(왼쪽) 및 질산태(오른쪽)질소의 동태

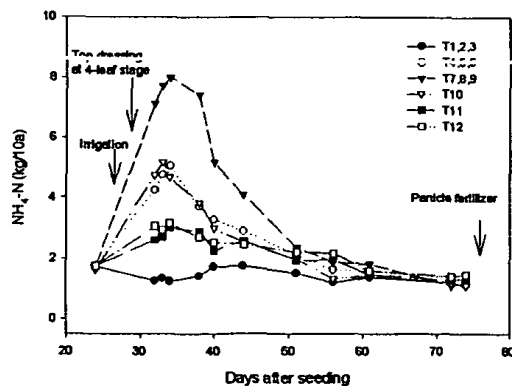
나. 영양생장기간 중 무기태질소의 동태

건답적파재배는 3-4엽기에 담수를 하게 되는데, 이 시기는 분얼을 시작하는 시기로서 분얼발생을 위해 추비를 주어야 한다. 하지만 건답상태에 쇠토·정지하여 파종하므로 작토층의 공극이 크고, 씨래질이 생략되어 초기 관개량이 많이 소요될 뿐만 아니라 산화상태에서 환원상태로 담수후 토층분화가 이루어지고 토층 하부로 용탈이 많이 일어나 시비질소의 동태가 이앙재배시와는 매우 다르다.

(1) 토양중 무기태질소

파종후 27일(6월 5일)에 관개하고 32일(6월 10일)에 분얼비를 사용하였다. 분

얼비 추비 후의 작토중 암모니아태와 질산태질소 및 무기태질소의 변화는 그림 3-6과 같다. 무비구(T1, 2, 3)에서는 큰 변화양상을 보이지 않은 반면, 시비구에서는 시비량이 증가함에 따라 암모니아태질소도 높게 나타났다. 분얼비로 7.5kg/10a를 시비한 시험구(T4, 5, 6, 10)와 15kg/10a를 시비한 시험구(T7, 8, 9)에서는 시비 다음날부터 급격히 높아져 시비2일후에는 5.1kg/10a와 8.0kg/10a로 최대를 이루었다가 이후로 감소하여 시비후 30일쯤에는 무비구와 거의 비슷한 정도를 나타내었다. 4엽기이후 출수기까지 10일마다 일정량을 균등시비하는 T11과 T12의 경우에도 시비 2일 후에 가장 높았으며 크게 감소하는 경향없이 높게 유지되다가 수비를 시용할 시기에는 다른 처리구와 비슷해졌다. 분얼비 시비후에 질산태질소량이 증가하였으나 암모니아태의 양보다는 매우 적은 양이었다. 질산태질소의 양은 시비후 1-2일에 가장 높게 나타나 T4, 5, 6과 T7, 8, 9에서는 각각 1.42kg/10a, 1.75kg/10a를 보인 이후로 감소하여 시비 30일후부터는 무비구와 비슷했다. 작토층(0-20cm)내의 무기태질소는 무비구는 거의 변화가 없는 반면에 시비구에서는 시비량의 증가에 따라 무기태질소의 양이 높게 나타났다. T4, 5, 6에서는 시비 다음날에 6.49kg/10a로, T7, 8, 9에서는 시비 2일후 9.61kg/10a로 최대에 이르고 이후 감소하였다. 동일량을 균등시비한 경우에는 처음 시비했을때가 가장 높았고, 이후로 약간씩 감소하였는데, 이는 식물체 흡수량이 그만큼 많아졌기 때문으로 생각된다. 시비후 30일이 지나서는 무비구와 큰 차이를 보이지 않았다.



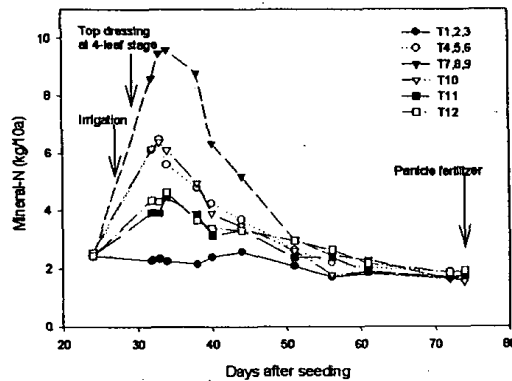
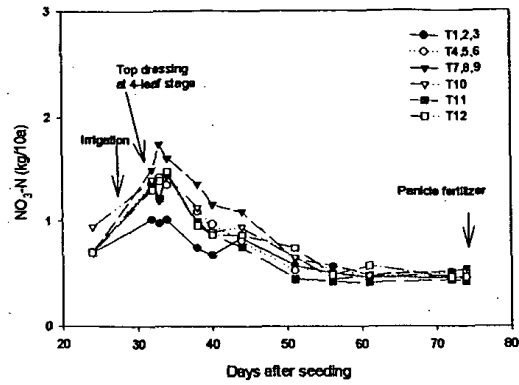


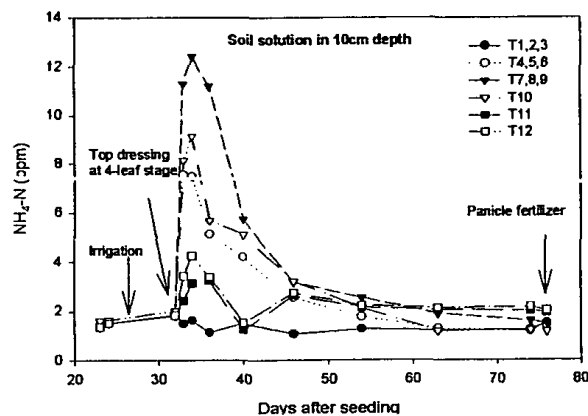
그림 3-6. 분얼비시용후 작토층(0-20cm)내 암모니아태(위), 질산태(중간) 및 무기태(아래)질소의 동태

(2) 토양용액 중 무기태질소 농도

3엽기 관개이전에 토중 10cm와 50cm에 irrometer를 설치하고 토양용액을 주기적으로 채취하여 영양생장기간중 암모니아태와 질산태 질소의 농도를 나타낸 것이 그림 3-7이다. 토중 10cm에서의 암모니아태질소 농도는 시비후 2일후에 T7,8,9에서 12.4ppm으로 가장 높게 나타났고 이후 급격히 감소하여 수비시비 전에는 무비구와 거의 비슷한 농도였다. 균등시비였던 T11과 T12는 시비 후 각각 3.23ppm, 4.25ppm으로 높은 농도였으나 파종후 40일(시비8일후)에서는 무비구와 거의 비슷한 양을 나타내었는데, 2.5kg/10a, 3.75kg/10a의 소량만을 시비하였기 때문에 식물체에 의한 흡수나 기타 손실로 인해 낮은 것으로 판단된다.

토중 50cm에서의 암모니아태질소 농도는 모든 질소처리 구에서 무비구에 비하여 높아졌고, 15kg/10a로 분얼비 시비량이 가장 많았던 T7,8,9의 경우 시비 2일 후에 2.76ppm으로 최대에 달하였고 시비후 1주일후부터는 무비구와 거의 비슷한 양상이었다. 암모니아태질소는 토양에 잘 흡착할 뿐만 아니라 토양내 이동성이 거의 없는 것으로 알려져 있는데도 불구하고 시비 2일 후 토중 50cm 깊이에서 2.76ppm의 농도를 나타냈다는 것은 시비후 관개수에 녹아 있던 요소태나 암모니아태가 그 자체로 용탈되었을 것으로 생각된다.

관개직전 10cm 토양용액중 질산태질소 농도는 기비처리구(T10)가 기비무처리구보다 높았다. 그러나 관개이후는 분얼비를 동일량 처리한 T4,5,6과 차이가 없었다. 토중 10cm에서의 질산태질소는 분얼비 무시용구에서는 관개후 급격히 낮아졌으나 분얼비 시용구에서는 추비 4일째에 최대에 이르고 이후 급감하였다. 토중 50cm에서의 질산태농도도 질소무비구의 경우 영양생장기간 중 큰 변화가 없었으나 분얼비 시용구에서는 시비후 4일째에 최대에 이르고 이후 급격히 감소하여 시비 20일후에는 처리간 차이가 없었다. 이는 분얼비 시비 초기에 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 용탈에 의하여 다량으로 손실됨을 나타내는 것이다. 또한 15kg/10a를 시비한 T7,8,9에서 시비후 4일째에 2.01ppm으로 가장 높았다.



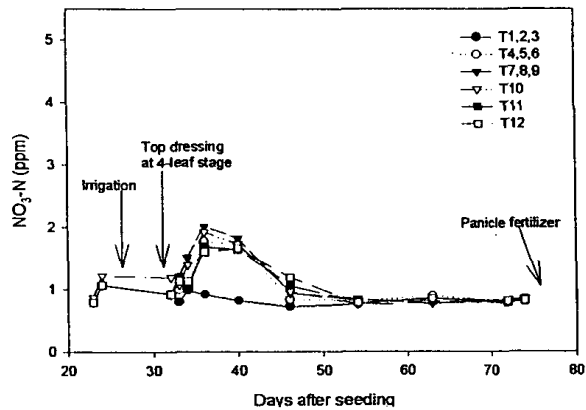
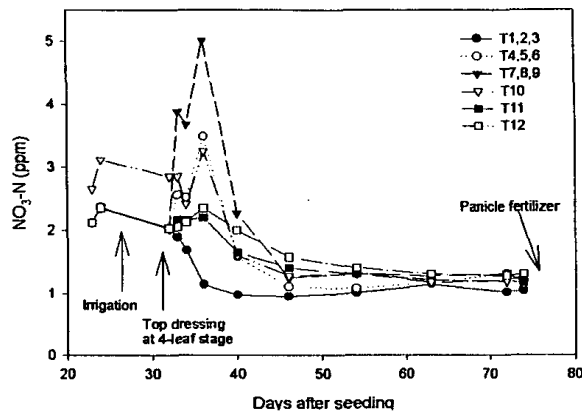
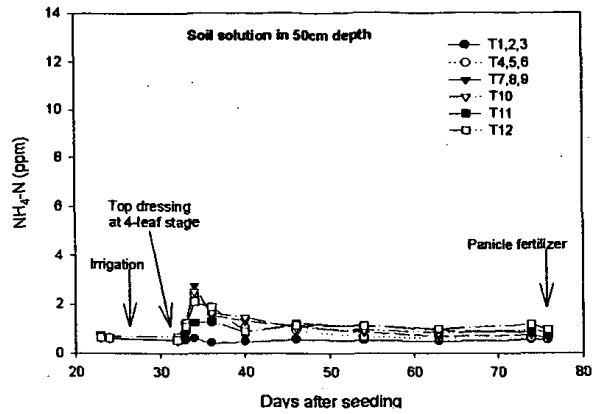


그림 3-7. 토양수내 암모니아태(위) 및 질산태(아래)질소의 경시적 변화

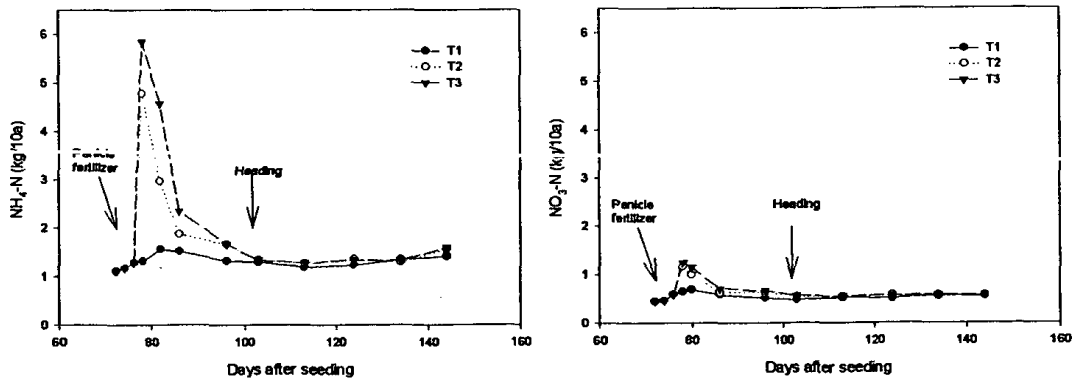
다. 유수분화기 이후 토양중 무기태질소 동태

(1) 토양중 무기태질소

유수분화기 이후 작토층(0-20cm내)의 암모니아태질소와 질산태질소의 변화를

나타낸 것이 그림 3-8이다. 작토층에서의 암모니아태질소는 수비를 사용한 모든 처리에서 수비 시용후 최대에 이르고 이후 급격히 감소하여 출수기경에는 처리 간 차이가 없어졌다. 시비 2일후에 암모니아태 질소량은 기비와 분얼비를 생략한 T2와 T3에서 각각 4.79kg/10a와 5.84kg/10a였고, 분얼비를 7.5kg/10a를 시비한 T5와 T6는 3.12kg/10a와 4.75kg/10a였으며, 분얼비를 15kg/10a를 시비한 T8과 T9는 3.14kg/10a와 3.61kg/10a로 수비시용량이 많을수록 높았으며 수비 이전에 분얼비 시용량이 많을수록 낮았다. 수비 이전 분얼비 시용량이 많을수록 암모니아태 질소가 적은 것은 분얼비 시용이 많을수록 수비 당시 식물체의 생육량이 많아 암모니아태 질소의 흡수가 많았기 때문인 것으로 생각된다.

수비시용후의 작토 0-20cm 토양내의 질산태질소 양은 극히 적었는데, 기비나 분얼비 시용에 관계없이 큰 차이를 보이지 않았다. 수비를 7.5kg/10a을 시용했을 경우의 질산태질소는 1.16-1.25kg/10a, 15kg/10a을 시용했을 경우 1.24-1.34kg/10a로 시비량이 많을 경우 토양내 질산태질소도 높았으나 큰 차이를 보이지 않았다. 수비 시용 후 작토층내 질산태질소의 양이 적은 것은 이미 토층분화가 이루어진 상태에서 질산태질소로 산화되기 이전에 식물체에 의해 흡수·이용되는 양이 많았기 때문인 것 같다.



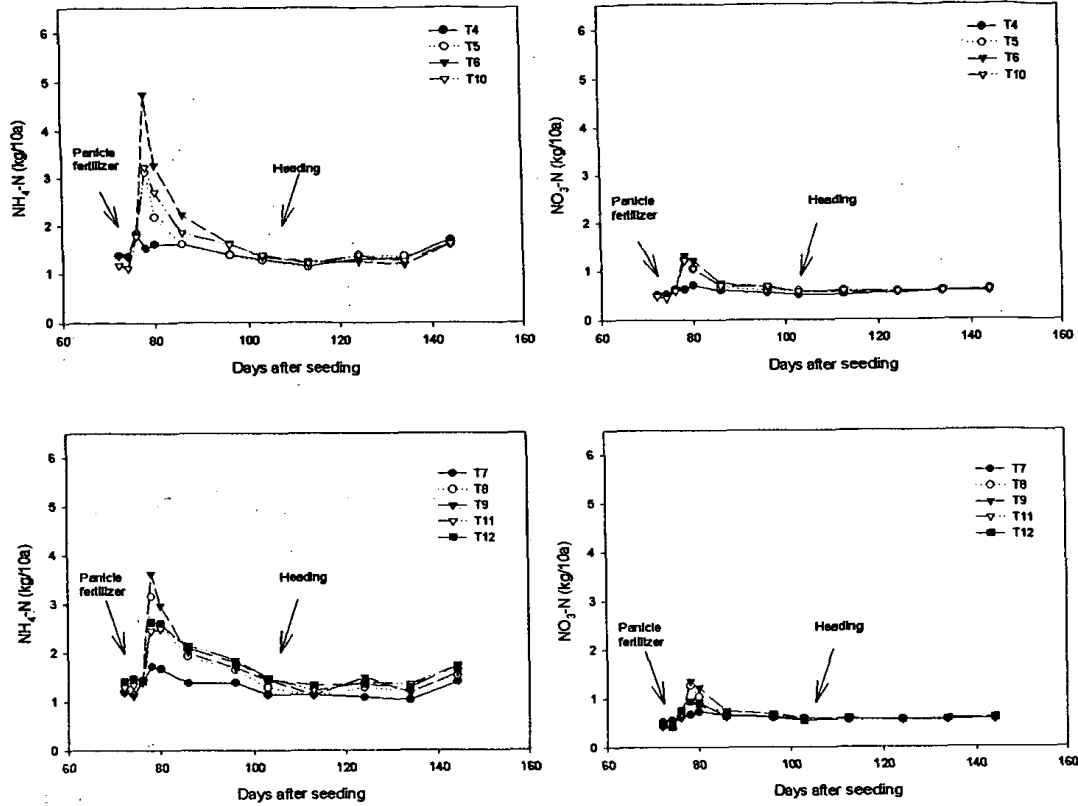


그림 3-8. 유수형성기 이후 토양중 암모니아태(왼쪽) 및 질산태(오른쪽)질소의 동태

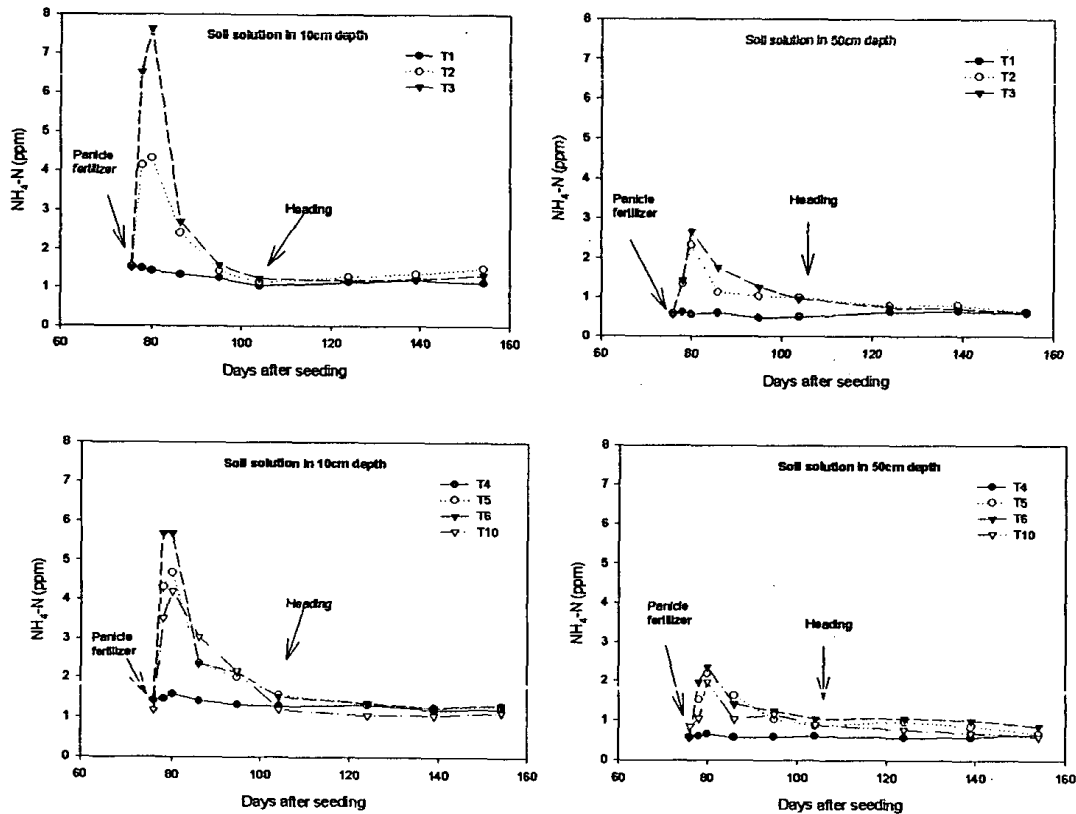
(2) 토양용액 중 무기태질소 농도

수비 시용후 토양 10cm와 50cm 깊이에서 채취한 토양용액 중 암모니아태질소 농도를 나타낸 것이 그림 3-9이다. 토중 10cm의 토양용액 중 암모니아태질소 농도는 토양 작토층의 암모니아태 질소량(그림 3-8)과 마찬가지로 모든 수비처리구에서 시비 4일후에 최대에 이르렀고 이후 급격히 감소하여 시비후 10일 후부터는 수비 무시용구와 거의 비슷하게 되었다. 또한 시비 4일후 암모니아태질소 농도는 수비 시용량이 적을수록 높았고 수비전의 분얼비 시용량이 많을수록 낮았다.

토중 50cm의 토양용액중 암모니아태질소 농도 역시 모든 수비시용 처리구에서

시비 4일후에 최대에 이르고 이후 급감하여 수비시용 이후에도 암모니아태질소의 형태로 용탈이 일어남을 알 수 있다. 또한 50cm 토양용액의 암모니아태질소 농도는 수비량이 많을수록 그리고 수비 이전의 분얼비 시용량이 적을수록 높아 수비시용량이 많고 수비이전에 질소영양이 부족하여 생육이 부진한 경우 용탈 손실이 많은 것으로 생각되었다.

한편 10cm와 50cm 토양용액중의 질산태질소도 암모니아태질소와 같은 경향을 보였으나 토양용액 중 질산태질소 농도는 암모니아태질소 농도에 비하여 현저히 낮았는데, 이는 작토가 환원되어 있기 때문인 것으로 생각된다(그림 3-10).



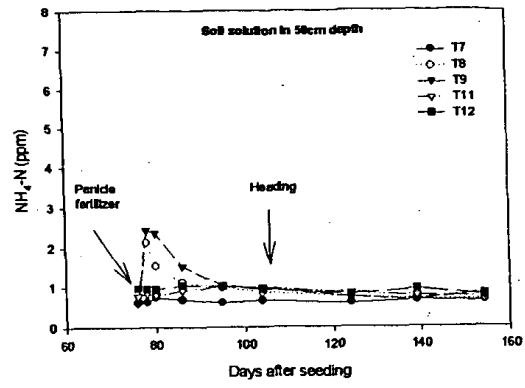
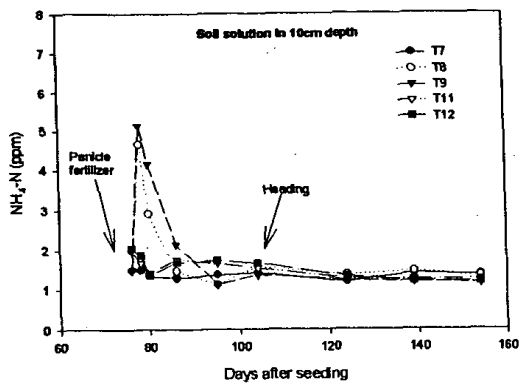
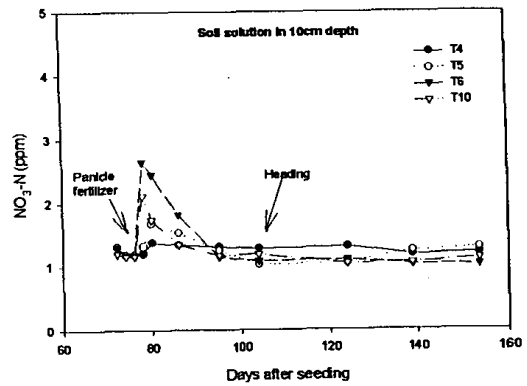
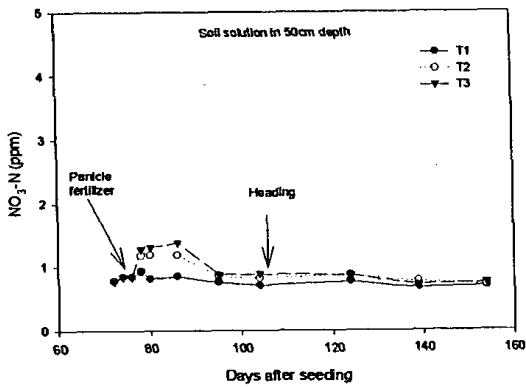
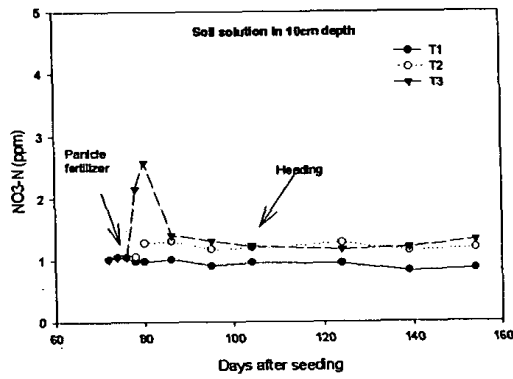


그림 3-9. 수비시용후 토양수내 암모니아태질소의 동태



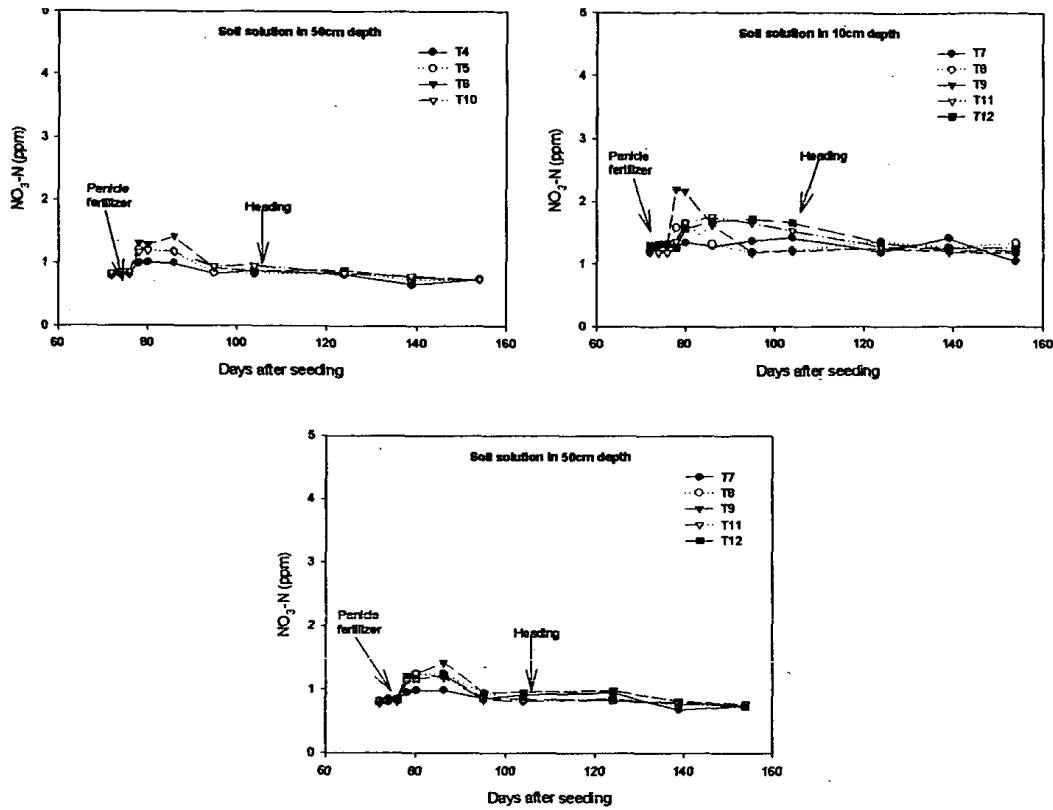


그림 3-10. 수비시용후 토양수내 질산태질소의 동태

라. 건물중 및 질소흡수

(1) 건물중

3엽기 이후 지상부건물중의 변화는 그림 3-11과 같다. 기비처리구와 무처리구간에 건물중 차이는 거의 없었다. 수비시용전까지 분얼비 시용에 의한 지상부건물중을 살펴보면, 무비구에서는 202.67kg/10a, 분얼비 7.5kg/10a에서는 354.74kg/10a, 분얼비 15kg/10a에서는 520.55kg/10a, 기비 5kg/10a와 분얼비 7.5kg/10a에서는 421.46kg/10a, 20kg/10a 균등시비인 T11에서는 377.0kg/10a, 30kg/10a 균등시비인 T12에서는 449.67kg/10a의 지상부건물중을 보였다. 특히 건물중 증가는 유수형성기에 시비한 수비시용 후에 크게 늘어났고, 출수기를 즈음해 건물중이 급격하게 증가하였다. 건물중 증가는 파종후 140일정도까지 증가

하였다. 시비에 의해 건물중 증가가 많이 이루어졌는데, 특히 10일 간격으로 4엽기부터 출수기까지 8회 균등시비하는 T11과 T12의 경우에는 출수기이후로도 건물중 증가가 커서 가장 큰 건물중을 나타냈다.

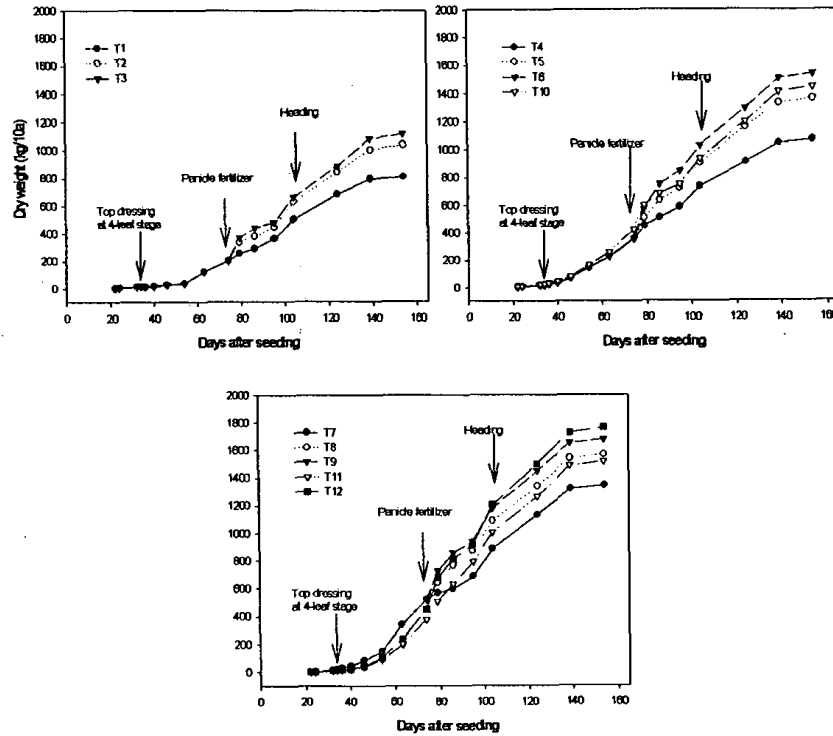


그림 3-11. 지상부 건물중의 경시적 변화

(2) 지상부 질소흡수량

지상부 질소흡수량을 나타낸 것이 그림 3-12이다. 기비처리구와 무처리구간에는 거의 차이가 없었다. 수비시용전까지 분얼비시용에 의한 지상부 질소흡수량을 살펴보면, 무비구에서는 2.73kg/10a, 분얼비 7.5kg/10a에서는 5.79kg/10a, 분얼비 15kg/10a에서는 8.11kg/10a, 기비 5kg/10a와 분얼비 7.5kg/10a에서는 6.18kg/10a, 20kg 균등시비인 T11에서는 7.77kg/10a, 30kg 균등시비인 T12에서는 9.50kg/10a의 지상부 질소흡수량을 나타냈다.

그림 3-12에서 살펴보면 생육초기에는 질소흡수량 곡선이 완만한 기울기를 나타내다가 유수형성기에 수비를 시용함에 의해 가파른 기울기를 나타내고 있다. 이는 질소흡수는 유수형성기가 분얼기보다 높다고 한 Peng(1998)의 결과와도 비슷한 양상을 나타내고 있다. 그러나 출수기 이후로도 질소흡수량이 증가하고 있는데, 이는 토양내 유기태로 고정된 질소가 무기화됨에 의해, 그리고 관개수 등에 의한 질소유입으로 질소흡수량이 늘어난 것으로 판단된다.

수비 7.5kg/10a를 준 T2, T5, T8과 15kg/10a를 준 T3, T6, T9의 질소흡수량을 수비무시용구인 T1, T4, T7과 비교해보면, 분얼비를 많이 시비하여 생육이 왕성한 처리구일수록 무비구와의 질소흡수량의 차이가 컸는데, 이 또한 분얼비 시비로 더 많은 생육을 얻은 식물체에 의해 더 많이 흡수되었음을 보여준다.

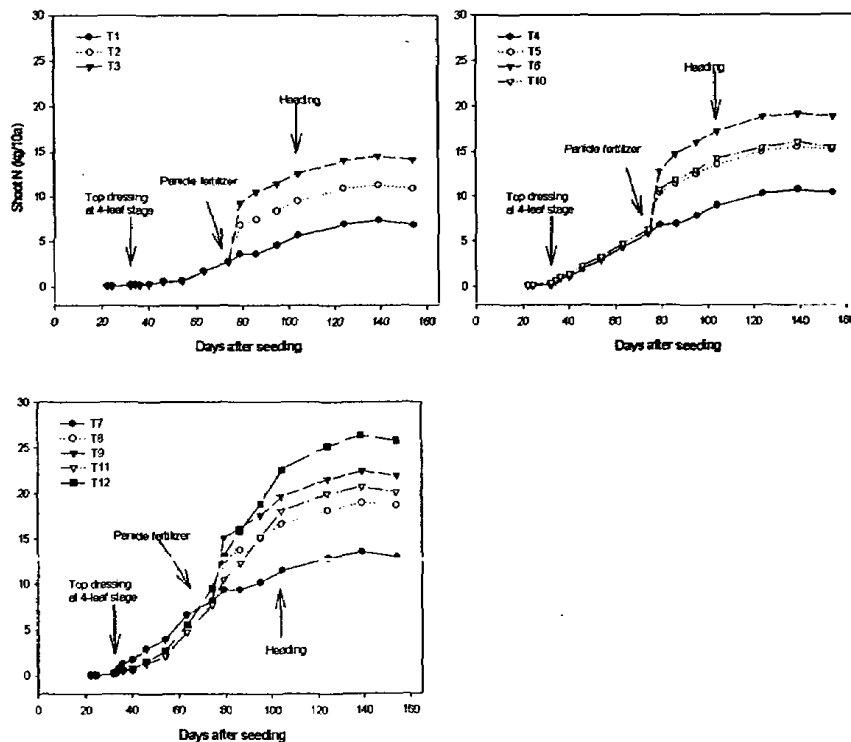


그림 3-12. 지상부 질소흡수량의 경시적 변화

(3) 질소흡수속도

분얼비와 수비시용 후 식물체에 의한 질소흡수속도를 나타낸 것이 각각 그림 3-12, 그림 3-14이다.

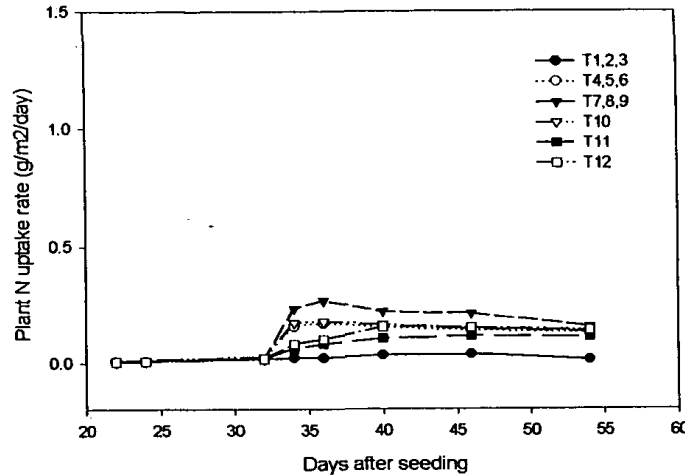


그림 3-12. 분얼비시용후 식물체 질소흡수속도

분얼비 이후 질소흡수속도는 분얼비 무시용구인 T1, 2, 3에서는 $0.04 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 로 거의 변화를 보이지 않은 반면, 분얼비 시용구는 시비후 급격히 증가하여 시비 4일후에는 $7.5\text{kg}/10\text{a}$ 를 시비한 T4, 5, 6에서는 $0.17\text{g/m}^2/\text{day}$ 를, $15\text{kg}/10\text{a}$ 를 시비한 T7, 8, 9는 $0.27\text{g/m}^2/\text{day}$ 에 달하였으며 그 이후 큰 변화를 보이지 않았다. 균등시비였던 T11과 T12의 경우에는 질소흡수속도가 점차 증가하여, 2차 균등시비 4일후에 $0.11\text{g/m}^2/\text{day}$ 와 $0.15\text{g/m}^2/\text{day}$ 에 달하였고 이후로는 큰 변화를 보이지 않았다.

수비질소의 흡수속도는 시비후 3일에 최대에 달하였는데, 수비로 $7.5\text{kg}/10\text{a}$ 를 시비한 T2, T5, T8에서 각각 $0.72 \text{ g/m}^2/\text{day}$, $0.85\text{g/m}^2/\text{day}$, $0.9\text{g/m}^2/\text{day}$ 를 나타냈고, $15\text{kg}/10\text{a}$ 를 시비한 T3, T6, T9에서는 $1.13\text{g/m}^2/\text{day}$, $1.31\text{g/m}^2/\text{day}$, $1.45\text{g/m}^2/\text{day}$ 정도를 나타내어 수비이전에 분얼비 시용이 많아 수비시기까지 생육량이 많았던 처리구일수록 높았다. 흡수속도는 수비 3일후에 최대를 이룬 후 급격히 감소하여 출수기 이후는 수비 무시용구와 큰 차이가 없었다. 한편 동일

한 양을 10일간격으로 출수기까지 8회에 걸쳐 균등시비한 T11과 T12는 최고흡수 속도는 수비시용구보다 낮았지만 출수기 전후에는 흡수속도가 컸다.

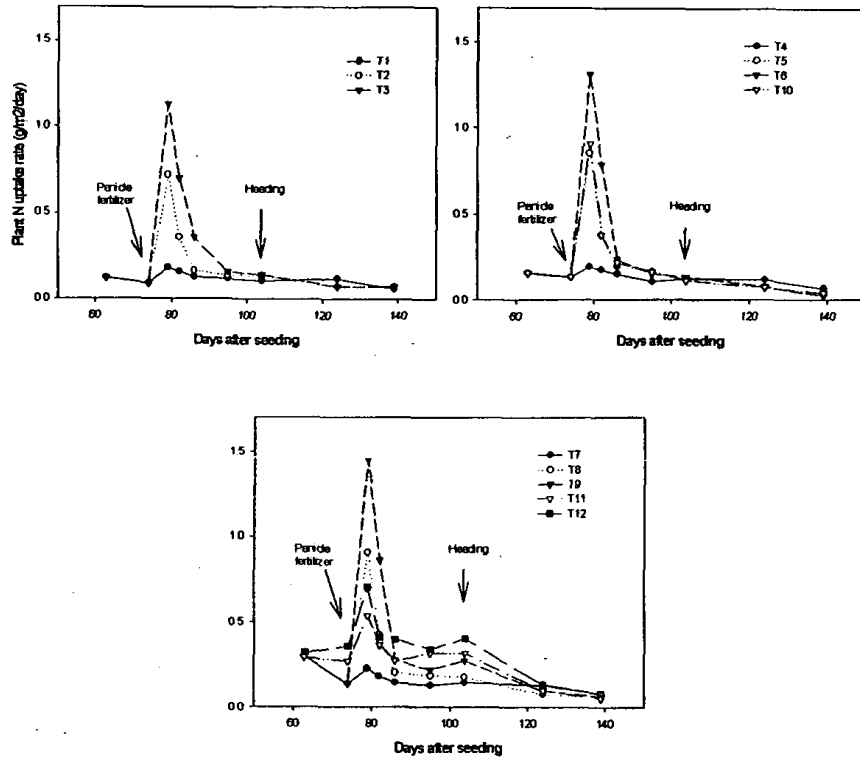


그림 3-13. 수비시용후 식물체 질소흡수속도

마. 질소이용효율

(1) 기비질소 이용효율

기비도 사용한 질소비료의 정시적 회수율을 차인립으로 개선하여 나타낸 것이 그림 3-14이다. 요소로 사용한 기비질소는 파종후 37일(4엽기, 분얼비시용)까지 약 3.5%, 파종후 76일(수비시용)까지 약 5.5%, 수확기까지 약 5.5%만이 벼에 의하여 회수되어 기비질소는 수비전까지만 흡수·이용되고 대부분이 건답기간중에 손실되었다. 표 3-5에서 보는바와 같이 건답기간중 손실량이 약 91%였는데 이는 출아·입모전의 건답기간이 길어 시용질소의 대부분이 용탈되기 쉬

운 질산태 질소로 변환될 뿐만 아니라 이양재배와는 달리 썩레질이 생략되어 누수가 심하여 강우나 관개에 의하여 질소의 용탈·유실이 쉽기 때문이다.

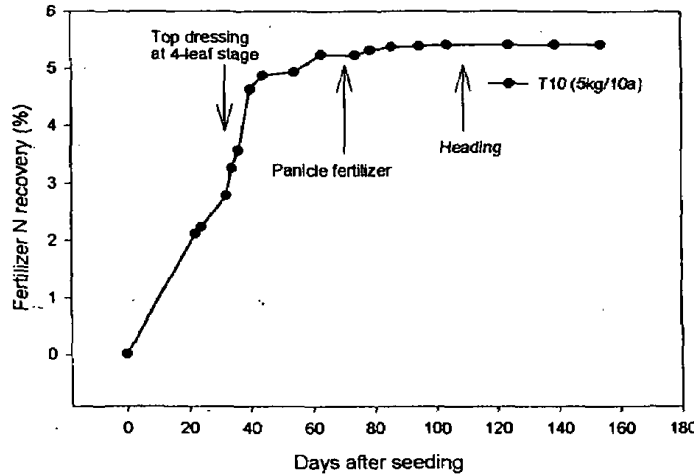


그림 3-14. 기비질소의 회수율

표 3-5. 기비질소의 질소이용효율

Stage	Treatment	Recovery N	Mineral N	Total N	Apparant N loss
		in Plant	in soil	Recovery	
kg/10a(%)					
4-leaf stage	T10	0.193(3.86)	0.264(5.28)	0.457(9.14)	4.543(90.86)
harvest	T10	0.276(5.52)	0.152(3.04)	0.428(8.56)	4.572(91.44)

(2) 분얼비질소 이용효율

요소로 사용한 분얼비질소의 벼에 의한 경시적 회수율을 나타낸 것이 그림 3-15이다. 건답기간 직후 3엽기에 관개를 시작하고 4엽기에 추비로 사용한 요소는 시비후 44일인 수비시용 전까지 약 35-41%, 수확기까지 약 40-55%가 흡수되었으며 회수율은 분얼비 시비량이 많을수록 낮았다. 8회 균등분할시비를 하였던 T11과 T12는 수비시용 전까지 40-50%, 수확기까지 60-70%의 높은 회수율을

보였고 역시 시비량이 많을수록 낮은 회수율을 보였다. 회수율이 가장 높았던 것은 균등시비였던 T11로서 회수율이 수비사용전까지 48.6%, 수확기까지 66.2%였던 반면 가장 낮은 회수율을 보인 것은 분얼비로 15kg/10a를 사용한 T7, 8, 9로서 수비사용전까지 34.8%, 수확기까지 41.3%의 회수율을 보였다. 표 3-6에서 살펴보면, 분얼비로 사용한 질소손실의 대부분은 수비사용이전에 이루어졌다.

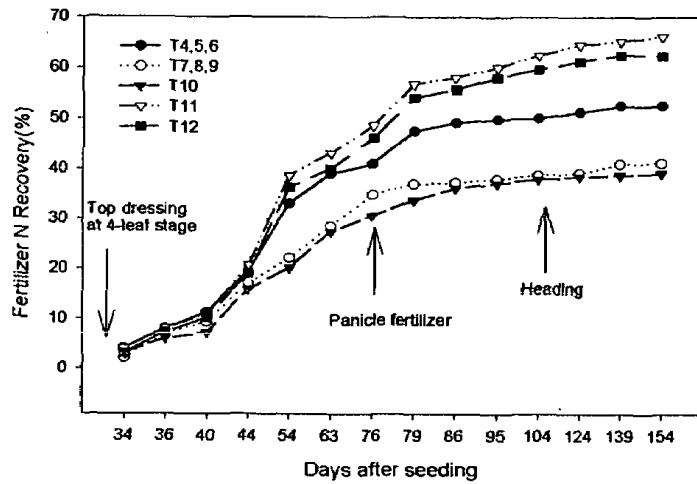


그림 3-15. 분얼비질소의 회수율

식물체에 의한 분얼비 회수율은 수비사용전보다 수확기때에 높았는데, 이는 분얼비가 수비사용후까지도 흡수됨을 의미하며, 토양중 유기태로 고정되어 있던 것이 무기태화 하여 식물체가 흡수했을 가능성이 있다.

표 3-6. 분얼비질소의 질소이용효율

Stage	Treatment	Recovery N in Plant			Mineral N in soil kg/10a(%)	Total N Recovery	Apparant N loss
		Straw	Grain	Total			
Panicle initiation stage	T4,5,6	3.1(41.0)	-	3.1(41.0)	0.6(8.0)	3.7(49.0)	3.8(51.0)
	T7,8,9	5.2(34.8)	-	5.2(34.8)	0.8(5.4)	6.0(40.2)	9.0(59.8)
	T10	3.4(26.8)	-	3.4(26.8)	0.6(4.8)	4.4(35.4)	7.6(64.6)
	T11	6.1(48.6)	-	6.1(48.6)	0.7(6.0)	6.8(54.6)	5.7(45.4)
	T12	8.8(46.1)	-	8.8(46.1)	0.9(5.1)	9.7(51.2)	9.3(48.8)
Harvest	T4,5,6	2.3(30.3)	1.6(21.3)	3.9(51.6)	0.3(3.9)	4.2(55.5)	3.3(44.5)
	T7,8,9	3.7(24.7)	2.5(16.7)	6.2(41.3)	0.4(2.7)	6.6(44.0)	8.4(56.0)
	T10	4.8(24.0)	3.0(15.1)	7.8(39.1)	0.3(1.4)	8.1(40.5)	11.9(59.4)
	T11	8.0(40.1)	5.2(26.1)	13.2(66.2)	0.3(1.3)	13.5(67.5)	6.5(32.5)
	T12	11.5(38.3)	7.2(24.1)	18.7(62.4)	0.3(0.9)	19.0(63.3)	11.0(36.7)

(3) 수비질소 이용효율

파종후 76일에 수비로 사용한 요소는 시비직후부터 높은 회수율을 보여 출수기까지 45-65%, 수확기까지는 50-70%가 회수되었는데 수비시비량이 많을수록 회수율이 낮았다. 특히 출수기 이후에는 회수율증가가 거의 없었다(그림 3-16). 기비와 분얼비를 사용하지 않은 상태에서 수비를 사용한 처리(T2, T3)가 분얼비를 사용하였던 처리(T5, T6, T8, T9)보다 낮은 회수율을 나타냈고, 분얼비를 15kg/10a한 것이 7.5kg/10a한 것보다 회수율이 높았다. 이는 분얼비를 많이 준 것일수록 수비시용시까지 생육량이 많아 그만큼 흡비력도 컸기 때문으로 생각되어진다.

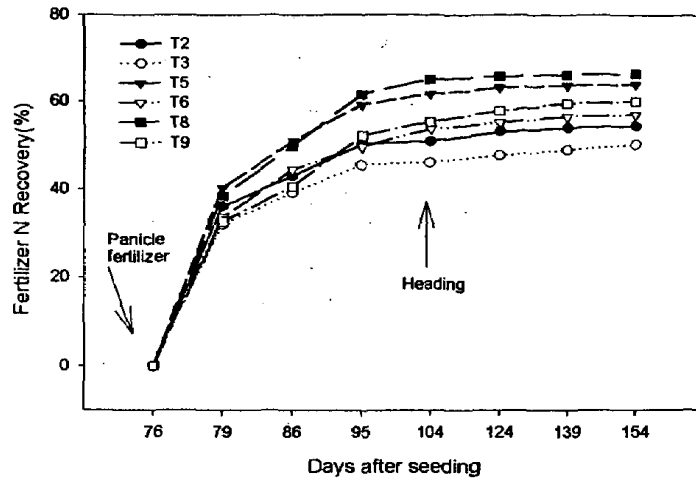


그림 3-16. 수비질소의 회수율

한편 표 3-7에서 보는 바와 같이 질소의 손실량과 손실률 모두 수비시비량이 많을수록 높았으며 손실의 대부분은 출수기 이전에 이루어졌다. 시비질소중 이용효율은 수비질소가 50-70%로 가장 높았으며, 다음이 분얼비질소로 40-55%였으며, 기비질소의 이용효율은 5.5%로 매우 낮았다. 수비의 회수율이 높은 것은 생육이 왕성하고 질소요구도가 높은 시기에 시비하였기 때문이다.

표 3-7. 수비질소의 질소이용효율

Stage	Treatment	Recovery N in			Mineral N in soil	Total Recovery	Apparant N loss
		Straw	Grain	Total			
----- kg/10a(%) -----							
Heading	T2	3.2(43.3)	0.6(7.6)	3.8(50.9)	0.3(3.8)	4.1(54.7)	3.4(45.3)
	T3	5.8(38.7)	1.1(7.5)	6.9(46.2)	0.5(3.5)	7.4(49.7)	7.6(50.3)
	T5	3.9(52.5)	0.7(9.3)	4.6(61.8)	0.1(1.8)	4.7(63.6)	2.8(36.3)
	T6	6.9(45.7)	1.2(8.1)	8.1(53.8)	0.1(0.8)	8.2(54.6)	6.8(45.4)
	T8	4.0(53.1)	0.9(12.1)	4.9(65.2)	0.1(1.9)	5.0(67.1)	2.5(32.9)
	T9	7.0(46.9)	1.3(8.5)	8.3(55.4)	0.1(0.7)	8.4(56.1)	6.6(43.9)
Harvest	T2	2.5(32.9)	1.6(21.5)	4.1(54.4)	0.3(3.8)	4.4(58.2)	3.1(41.8)
	T3	4.7(31.5)	2.8(18.7)	7.5(50.2)	0.4(2.6)	7.9(52.8)	7.1(47.2)
	T5	3.1(43.9)	1.7(22.1)	4.8(64.0)	0.2(2.7)	5.0(66.7)	2.5(33.3)
	T6	5.5(36.7)	3.0(20.2)	8.5(56.9)	0.2(1.3)	8.7(58.2)	6.3(41.8)
	T8	3.3(43.8)	7(22.6)	5.0(66.4)	0.2(2.8)	5.2(69.2)	2.3(30.8)
	T9	5.7(38.2)	3.3(21.9)	9.0(60.1)	0.2(1.4)	9.2(61.5)	5.8(38.5)

바. 생육 및 수량

(1) 분얼발생

전 생육기간 중 분얼수의 변화를 나타낸 것이 그림 3-17이다. 단위면적당 이삭수는 수량을 결정짓는데 가장 중요한 인자이다. 단위면적당 이삭수를 최대로 확보하기 위해서는 유효분얼수를 많이 확보해야 한다. 무비구의 분얼수는 평균 100개/㎡에서 큰 변화를 보이지 않았고, 기비와 분얼비를 생략한채 유수형성기에 수비만을 주었을 경우(T2, T3)에는 수비에 의해 분얼수가 증가하였는데, 이후 분얼수감소는 매우 적어 수비에 의해서도 유효분얼이 많이 생기는 것을 알 수 있다. 분얼비를 시용한 경우에는 분얼비시용량의 증가에 따라 분얼수가 많았고, 이후 무효분얼에 의해 분얼수감소도 그만큼 컸다. 수비의 시용량이 증가함에 따라 분얼수의 감소가 적었으며, 오히려 분얼기가 아님에도 분얼수가 증가한 경우도 있었다(T2, T3, T6).

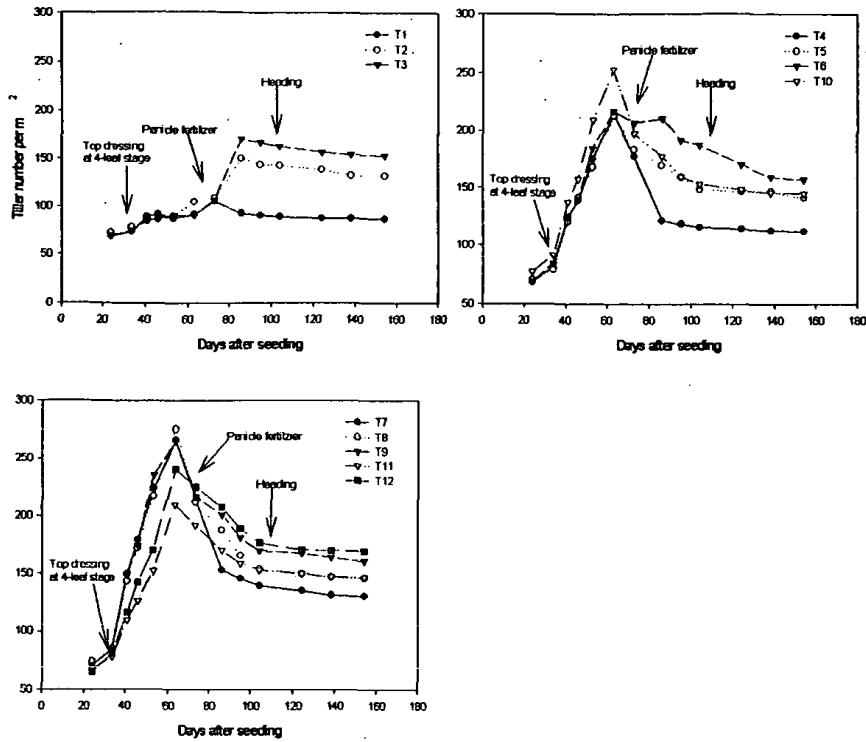


그림 3-17. 분얼수의 경시적 변화

(2) 수량 및 수량구성요소

수확기의 수량과 수량구성요소를 나타낸 것이 표 3-8이다. 수비와 분얼비는 같은 양을 시용하고 기비를 시용한 처리(T10)와 시용하지 않은 처리(T5)를 비교하면, 기비시용 처리가 단위면적당 수수와 등숙률, 천립중 등이 증가하여 수량이 다소 높았으나 수량구성요소와 수량 모두 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 분얼비나 수비시용에 의해 수량이 증가하였고, 시비량이 많을수록 수량이 증가하였다.

7.5kg/10a를 시비했을 경우(T2, T4) 수량은 분얼비 중점시비보다(T4)는 수비 중점시비(T2)에서 더 높았고, 15kg/10a를 시비한 경우 T5>T7>T3의 순으로 나타났는데, 이는 기비와 분얼비를 주지 않은 T3에서 수비에 너무 과다한 시비를 하여 출수기 지연, 낮은 등숙률, 도복발생 등으로 수량이 감소했기 때문이다.

22.5kg/10a를 시비한 경우 수비 증점처리(T6)에서 분얼비 증점처리(T8)보다 수량이 더 높았는데, 이는 T3처럼 도복이 그리 심하지 않았고, 등숙률은 낮았지만 이삭당 영화수와 1000립중이 증가하였기 때문이다. 1회 단일시비보다는 균등시비에서 수량이 더 높았다.

표 3-8. 수량 및 수량구성요소

처리	단위면적당(m ²)	이삭당	등숙률	천립중	수량
	이삭수	영화수	(%)	(g)	(kg/10a)
T1	283.7 ^a	55.4 ^c	93.4 ^a	27.4 ^a	398.5 ^f
T2	431.9 ^{cd}	58.4 ^{bc}	81.5 ^{bc}	25.3 ^{bc}	520.4 ^{ed}
T3	504.4 ^{abc}	66.9 ^a	66.3 ^a	24.8 ^{bcd}	564.5 ^d
T4	370.7 ^d	57.1 ^{bc}	85.5 ^{ab}	25.2 ^{bc}	439.2 ^{ef}
T5	485.9 ^{abc}	57.7 ^{bc}	80.4 ^{bc}	25.1 ^{bc}	599.2 ^{bcd}
T6	523.7 ^{ab}	68.6 ^a	75.4 ^c	25.5 ^b	675.1 ^{ab}
T7	436.3 ^{cd}	62.0 ^{abc}	85.2 ^b	24.6 ^{bcd}	564.2 ^{cd}
T8	522.6 ^{ab}	65.2 ^{ab}	83.2 ^b	24.7 ^{bcd}	655.0 ^{abc}
T9	523.3 ^{ab}	69.8 ^a	83.7 ^b	23.9 ^a	732.4 ^a
T10	495.9 ^{abc}	59.1 ^{bc}	83.4 ^b	25.2 ^{bc}	614.4 ^{bc}
T11	469.3 ^{abc}	67.3 ^a	86.1 ^b	24.3 ^{cd}	655.0 ^{abc}
T12	544.1 ^b	68.1 ^a	83.3 ^b	25.0 ^{bc}	749.2 ^a

이상의 결과를 요약하면, 건답직파재배에서 기비는 4엽기까지 3.5%, 수확기까지 5.5%만이 벼가 흡수하여 대부분이 건답기간에 손실되었다. 분얼비는 수비전까지 약 35-41%, 수확기까지 41-52%까지 흡수되었으며, 수비는 출수기까지 약 45-65%, 수확기까지 50-70%가 벼에 의해 흡수·이용되었다. 식물체 회수율로 살펴본 이용효율은 수비가 가장 높았으며, 다음이 분얼비 질소였으며, 기비질소는 이용효율이 매우 낮았고 건답기간중 대부분이 손실되었는데, 이는 건답기간중 어린 식물체의 비료흡수량이 적고 대부분이 용탈·탈질 등에 의해 손실되기 때문이며 분얼비보다 수비의 이용효율이 높은 것은 생육이 충분히 확보된 상태일 뿐만 아니라 용탈·탈질에 의한 손실도 그만큼 적기 때문이다. 또한 기비-분얼비-수비로 분시한 경우보다 8회에 걸쳐 균등시비한 경우가 시비효율이 높았으

며, 시비량이 증가할수록 시비효율은 낮아졌다.

제4절 적요

1990년대 이후 벼의 생력화재배의 일환으로 건답직파재배가 과학적으로 연구되기 시작하였는데, 건답직파재배는 건답에서 육묘과정없이 파종이 이뤄지고 후에 관개하기 때문에 이앙재배와는 재배양식이 많이 다르다. 따라서 건답직파재배와 이앙재배의 재배특성을 알아보기 위해서 1996년에 실험을 수행하였다. 이앙재배의 분시율(기비-분얼비-수비=50-30-20)을 직파재배에 그대로 적용한 기비시용구(D3)는 분얼비중점처리구에 비해 수량이 낮았으며, 분얼비중점처리구는 표준 이앙재배처리구(T2)보다도 수량이 높게 나타났다. 건답직파재배에서 기비로 시용된 비료의 대부분이 용탈이나 탈질 등에 의해 손실되어 비료의 흡수이용률이 낮았다. 따라서 건답직파의 경우 시비질소의 이용효율과 수량성제고를 위해서는 분시방법 및 비료의 제형, 시비위치 등 시비체계에 대한 검토가 광범위하게 이루어져야 할 것으로 판단된다.

질소의 이용효율은 질소요구도와 마찬가지로 재배양식별, 생육시기별로 다르지만 보통 시비량이 증가할수록 낮아진다고 한다. 1996-1998년의 연구결과로써 기비의 이용효율은 매우 낮은 것으로 밝혀졌으나 추비에 대한 종합적인 검토가 이뤄지지 못했다. 따라서 시비량을 달리하여 각 생육시기별, 기비, 분얼비, 수비 질소의 질소이용효율에 대한 실험을 1999년에 수행하였다. 건답직파재배에서 기비는 4엽기까지 3.5%, 수확기까지 5.5%만이 벼가 흡수하여 대부분이 건답기간에 손실되었다. 분얼비는 수비전까지 약 35-41%, 수확기까지 41-52%까지 흡수되었으며, 수비는 출수기까지 약 45-65%, 수확기까지 50-70%가 벼에 의해 흡수·이용되었다. 식물체 회수율로 살펴본 이용효율은 수비가 가장 높았으며, 다음이 분얼비 질소였으며, 기비질소는 이용효율이 매우 낮았고 건답기간중 대부

분이 손실되었는데, 이는 건답기간중 어린 식물체의 비료흡수량이 적고 대부분이 용탈·탈질 등에 의해 손실되기 때문이며 분얼비보다 수비의 이용효율이 높은 것은 생육이 충분히 확보된 상태일 뿐만 아니라 용탈·탈질에 의한 손실도 그만큼 적기 때문이다. 또한 기비-분얼비-수비로 분시한 경우보다 8회에 걸쳐 균등시비한 경우가 시비효율이 높았으며, 시비량이 증가할수록 시비효율은 낮아졌다.

제3장 건답직파재배에서 분시방법 및 시비시기 에 따른 질소이용효율

제1절 서설

기비시용 후부터 계속 담수상태로 유지되는 이앙재배와는 달리 건답직파재배에서는 파종 후 3-4엽기에 담수하기까지 약 20 - 30일간은 건답 상태로 지나므로 이앙재배와는 시비질소의 행방이 매우 다를 것이다. 그런데 우리나라에서는 이에 대한 검토가 전혀 이루어지지 않은 상태에서 관행의 건답직파재배에서는 이앙재배에 비하여 질소비료를 30 - 50% 증시하고, 이앙재배에서와 마찬가지로 기비로 전체 시비량의 50%를 시비하도록 추천하여 왔다(이, 1968; 농진청, 1967. 1991; 윤 등, 1997). 이 연구에서는 관행의 시비 방법으로 파종시 전체 질소 시용량의 50%를 요소로 전충시비할 경우 기비 질소의 건답기간 중 벼에 의한 흡수와 암모니아휘산 및 탈질/용탈에 의한 손실 등을 조사하였다.

건답직파에서는 벼가 출아·입모하여 3-5엽기가 되면 상시 담수 체제로 들어

가게 되며 또한 이때는 분얼을 시작하는 시기로서 분얼축진을 위하여 추비를 해야 된다. 그런데 건답직파재배에서는 파종기에 건답상태로 정지하여 파종하므로 씨래질이 생략되고 또한 담수 직전까지 건답상태로 유지되기 때문에 이앙재배시 분얼비 추비 때와는 토양의 특성이 매우 다르고 또한 식물체도 이앙재배에 비하여 어리기 때문에 흡비력도 낮은 상태여서 추비 질소의 동태가 매우 다를 것으로 판단되는데 이에 대한 검토가 미흡한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 4엽기에 추비한 질소의 담수초기 손실 및 흡수이용 상황을 1996년부터 98년까지 3년에 걸쳐서 조사하였다.

벼 건답직파재배는 파종후 20-30일간 건답상태(산화상태)에 놓여 있으며 이후 3엽기-4엽기에 관개를 하고 4엽기-6엽기에 시비하는 것이 관행적인 방법이다. 건답상태에서 파종하였기 때문에 지하수위가 낮고 토양공극이 커 관개시에 상당히 많은 양이 소요되고 관개시간 또한 매우 오랫동안 필요하다. 보통 관개이후 시비까지 걸리는 시간은 2-5일로 관개가 충분히 이루어졌다 할지라도 관개수의 지하침투량이 많아져서 비료의 용탈이 심하게 일어날 수밖에 없다. 미국의 캘리포니아 벼농사지역의 건답직파재배지에서도 관개직전에 비료를 뿌리고 관개를 하고 있는데, 이는 초기 관개시에 토양용액에 비료분을 녹게하고 토양내로의 무기화를 촉진시키기 위한 것으로 생각되어진다.

따라서 벼 건답직파재배에서 담수전에 분얼비를 시비한 것과 담수직전 및 직후 및 완전담수후에 분얼비를 시비하였을 때의 식물체 질소이용효율과 토양내 무기태질소의 동태를 정량적으로 파악·검토하여 질소시비 적정화 기술 개발을 위한 기초 자료를 얻고자 다음과 같이 실험을 수행하였다.

제2절 질소분시방법에 따른 질소이용효율

1. 재료 및 방법

가. 재배개요

1996년부터 1998년까지 3년간 질소질 비료의 분시실험을 하였으며, 처리는 표 3-9와 같다. 1996년에는 기비중점(T1)과 4엽기중점시비(T2)를, 1997년에는 기비중점시비(T1), 4엽기중점시비(T2), 6엽기중점시비(T3, T4)를, 1998년에는 기비중점시비(T1)와 6엽기중점시비(T4)를 두었으며 모든 해에 질소 무처리구를 두었다. 인산과 가리는 전량 기비로 10kg/10a를 시용하였으며, 기비는 전층시비, 4엽기 추비는 담수관개한 다음날 표층시비하였고 6엽기 추비는 담수상태에서 표층시비하였다. 파종은 1996년은 5월 15일, 1997년은 5월 20일, 1998년은 4월 30일에 하였다. 파종후 4엽기에 이르기까지는 1996년을 제외하고는 관개를 하지 않았다. 1996년에는 파종후 계속 가물어 발아를 촉진하기 위하여 파종후 5일에 3cm정도 관개를 하였다.

표 3-9. 3개년에 걸친 시비시기에 따른 질소분시처리

년도	처리	시비량 (kg/10a)	기비(B)	4엽기(Ft1)	6엽기(Ft2)	수비
1996	T1	13	50	25	0	25
	T2	13	0	75	0	25
	T0	0	0	0	0	0
1997	T1	12	50	25	0	25
	T2	12	0	75	0	25
	T3	12	0	25	50	25
	T4	12	0	0	75	25
	T0	0	0	0	0	0
1998	T1	15	50	25	0	25
	T4	15	0	25	50	25
	T0	0	0	0	0	0

나. 암모니아태질소의 휘산 측정

암모니아태질소의 휘산량을 측정하기 위해서 Nommik(1973)의 방법에 따라 semi-open static 포집기(30(L)x10(W)x19cm(H))를 제작하였다. 암모니아태의 포집을 위해 포집기내에 상단에서 3cm 및 7cm지점에 0.5cm의 턱을 만들었고, 이 두곳에 암모니아포집 스폰지를 지탱시켰다. 스폰지는 밀도가 1.1Mg/m³이고 두께가 2.5cm인 것을 사용하였다. 스폰지에는 암모니아 포집용액(0.7M H₃PO₄ + 50% glycerol)을 약 50g을 흡수시켰는데, 상부의 스폰지는 대기로부터 유입되는 암모니아를 포집하여 차단하기 위한 것이고, 하부의 스폰지는 농토양으로부터 휘산되는 암모니아를 포집하기 위한 것이다. 하부의 스폰지는 약 5일 간격으로 교체하였으며, 하부의 스폰지 교체때 상부의 스폰지 또한 교체하거나 포집용액을 새로 주입하였다. 포집위치는 주기적으로 이동시켰다. 암모니아 휘산량 분석은 하부의 스폰지를 0.2M KCl 400ml로 추출하여 토양중 암모니아태질소 분석방법과 동일한 방법을 이용하여 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 기비질소의 건담기간중 손실 및 이용

(1) 토양용액중 무기태질소의 경시적 변화

기비로 시용한 요소의 형태 변화와 토양 중에서의 행동을 파악하기 위하여 기비질소가 섞여 있는 작토층에 해당하는 토중 10cm와 심토층인 토중 40cm/50cm에서 주기적으로 토양용액을 채취하여 NO₃-N과 NH₄-N을 분석하였다.

기비로서 6kgN/10a을 요소로 시용한 1997년도 실험(그림 3-18)에서 작토층(토중 10cm)의 토양용액 중 NH₄-N 농도는 파종 후 11일에 12.7ppm으로 최대를 이루었으며 이후 급격히 감소하여 벼 4엽기에 담수하기 직전인 파종후 19일에는 약 2.6ppm으로 급격하게 낮아지는 경향이었고, 심토층(토중 50cm)의 경우는 파종후 2일에 20.4mm, 6-10일 사이에 52.2mm, 14-15일에 7.8mm의 비가 왔음에도 불구하고

고 무질소구와 기비시용구 사이에 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도의 차이가 없었는데 이는 NH_4^+ 으로 거의 용탈이 일어나지 않았음을 의미한다. 기비 시용구 작토층의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 파종후 계속 증가하여 11일에는 38.9ppm까지 증가하였다가 13일에는 일시적으로 약 20ppm까지 감소하였으며 이후 지속적으로 증가하여 담수 직전인 19일에 50ppm으로 최대에 달하였고, 담수이후 급격히 감소하기 시작하였는데 무질소구의 경우도 농도는 낮으나 기비시용구와 변화 경향은 같았다. 심토층의 경우 기비 시용구는 무질소구에 비하여 건답기간 중 현저히 높은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도를 보였으며 특히 담수 후 급격하게 증가하여 건답기간 중에 사용한 질소가 질산화되어 강우나 관개 용수에 의하여 용탈이 심하게 일어났음을 의미한다. 작토층의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 경우 6일부터 강우가 계속된 11일까지도 농도가 증가하다가 강우가 그친 2일 후인 13일에 오히려 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 현저히 낮아졌는데 이는 용탈 보다도 탈질에 의하여 손실이 일어났기 때문인 것으로 판단된다. 건답직파재배의 건답기간에서와 같이 강우나 출아를 돕기 위한 일시적 관개(flushing) 등에 의하여 토양이 건조와 습윤이 자주 반복되는 조건에서는 탈질이 일어나기 쉽다고 하며 (De Datta, 1987; Focht 등, 1974; Cleemput 등, 1975; Pnnnamperua, 1972), Humphrey 등(1987)은 호주의 회색점토에서 건답직파를 하는 경우 파종기 기비로 사용한 질소의 80%가 손실되는데 이는 용탈보다는 주로 탈질에 의하여 손실이 된다고 하였다.

1998년에는 기비로 질소 성분량으로 7.5kg/10a을 사용하였다. 그림 3-19에서 보는 바와 같이 작토층의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 파종 후 5일에 4.7ppm으로 가장 높았으며 이후는 계속 감소하여 담수 직전에는 무질소구와 차이가 없어 졌으며 심토층의 경우는 1997년과 마찬가지로 기비시용구와 무비구 사이에 전기간 동안 차이가 없었다. 한편 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 파종후 계속 증가하여 파종 후 17일에 74.5ppm으로 최대를 이루었으며 이후 계속 감소하여 파종 후 26일에는 약 27ppm으로 감소하였고 또한 담수 후 급격히 농도가 낮아졌다. 심토층의 경우 기비시용구는 파종 후

17일에 49.1ppm으로 최대를 이루고 이후 감소하였으며 무질소구에 비하여 현저히 높아 1997년과 마찬가지로 강우에 의한 용탈이 매우 현저하였음을 알 수 있다. 한편 17일 이후부터 관개하기 전까지는 강우가 전혀 없었음에도 불구하고 지속적으로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 낮아졌는데 이는 탈질에 의한 손실이 현저하게 일어났기 때문인 것으로 판단된다.

1997년과 1998년을 비교해 보면 1997년에 비하여 1998년은 작토층의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도가 파종 초기부터 현저히 낮고 또한 손실 속도도 매우 빠른 반면 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 초기부터 높고 또한 최대에 이른 시기도 빠르는데 이는 1998년도에의 경우 파종 다음날에 약 35mm의 다량의 비가 내려, 다량의 요소가 용탈·손실되었고 또한 온도가 높아 요소 가수분해와 질산화 과정이 빨랐기 때문인 것으로 판단된다.

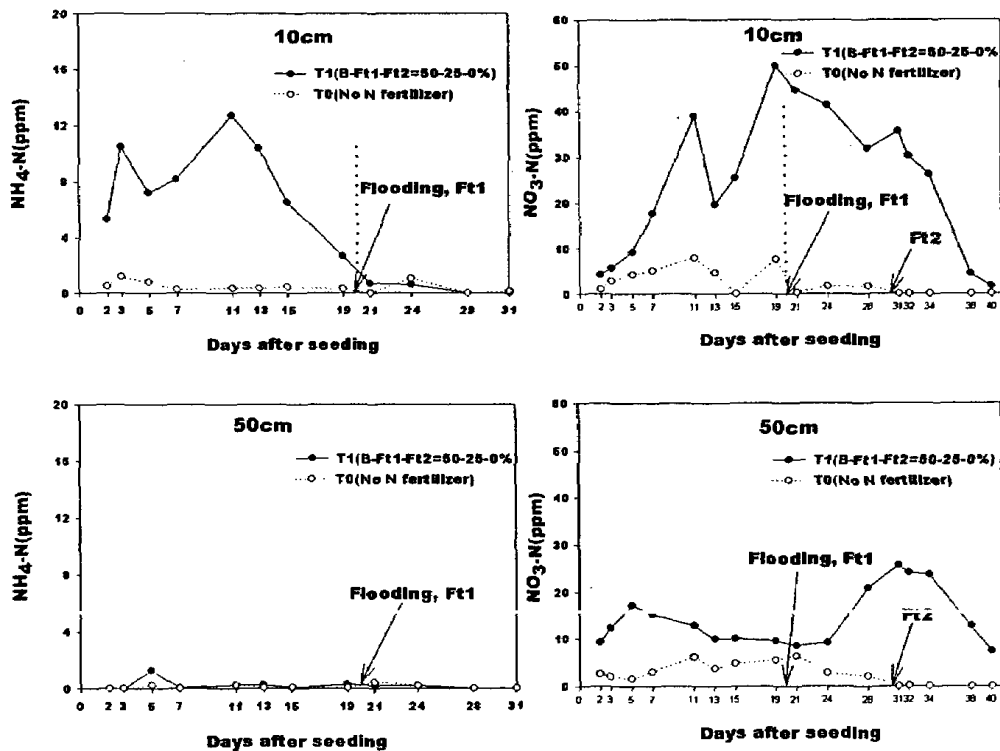


그림 3-18. 기비사용시 건답기간내 토양용액중 무기태질소의 동태(1997)

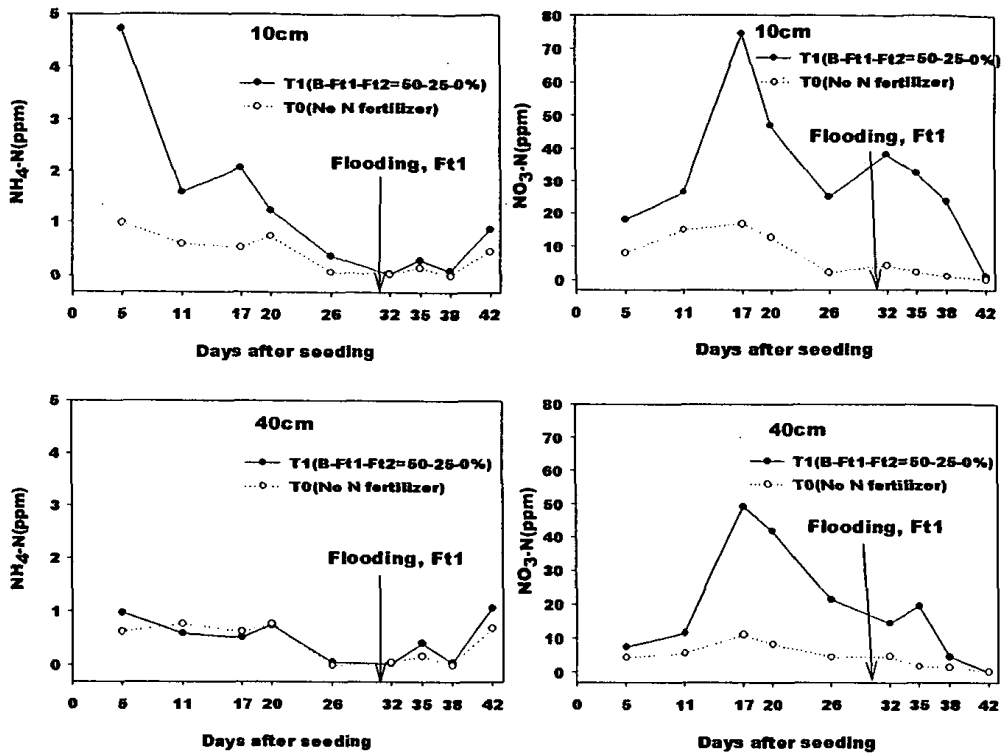


그림 3-19. 기비사용시 건답기간내 토양용액중 무기태질소의 동태(1998)

(2) 기비질소의 암모니아휘산에 의한 손실

기비로 시용한 요소는 요소 자체로 용탈되거나, 가수분해되어 암모니아가스로 휘산되어 손실되기도 하고 질산화되어 용탈되는 등의 과정에 의하여 많은 손실이 일어난다. 그림 3-20은 1997년과 1998년 양년에 걸쳐서 기비사용구의 건답기간 중 암모니아휘산에 의한 손실을 누적적으로 나타낸 것이다. 1997년에는 파종후 11일부터 휘산량이 증가하기 시작하여 14일에서 19일 사이에 현저하게 휘산량이 증가하였으며 담수직전인 파종후 30일까지 건답기간 중에 0.66kg/10a의 질소가 암모니아 휘산에 의하여 손실되었다. 암모니아 휘산이 급격하게 증가하기 시작한 시기는 작토 중의 NH₄-N 농도가 최대에 달한 시기와 일치하였다(그림 3-18). 그러나 1998년의 경우는 건답기간 전기간을 통하여 암모니아 휘산이 극히 미미하여 약 0.1kg/10a만이었는데 이는 그림 3-19에서 보는

바와 같이 건답기간 내내 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도가 매우 낮게 유지되었기 때문이었던 것으로 판단된다.

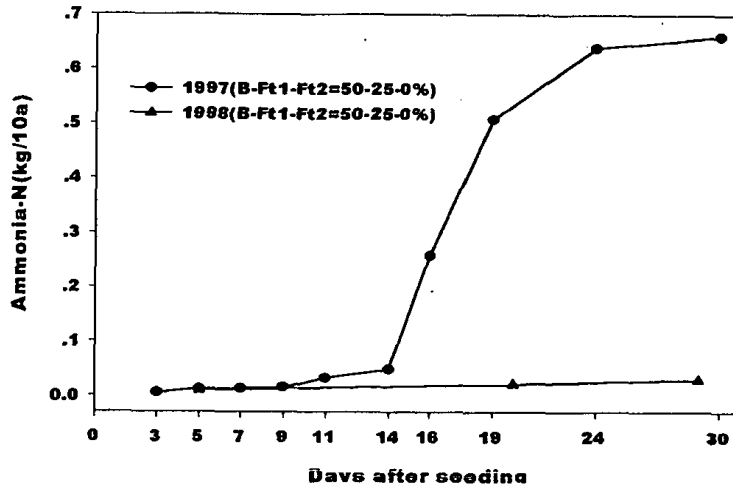


그림 3-20. 기비로 요소사용시 건답기간중 암모니아휘발에 의한 손실(1997, 1998)

(3) 기비질소의 토양내 손실률

시비질소 손실률은 $\{1 - (\text{기비구의 작토}20\text{cm 중 총무기태질소} - \text{무질소구의 작토}20\text{cm 중 총 무기태질소}) / \text{기비질소}\} * 100$ 으로 계산하였다. 이와 같은 손실 계산에는 요소용탈, 암모니아 휘산, NO_3^- 용탈 등에 의한 손실이 모두 포함되는데 이와 같이 “차인법(difference method; Phongpan 등, 1988; Reddy 등, 1976)”에 의한 손실 및 회수율을 평가하는 경우 무질소구에 비하여 질소시용구에서 유기태 질소의 무기화가 더 조장되는 소위 “added N interaction(ANI)” 또는 “priming effect”에 의하여 다소 과대 평가 되는 경향이 있다(Hauk와 Bremmer, 1976; Jenkinson 등, 1985; Reddy 등, 1976). 그림 3-21은 건답기간 중 기비질소(1996년, 6.5kg/10a; 1997년 6kg/10a; 1998년, 7.5kg/10a)의 손실률을 나타낸 것이다. 건답기간 중 질소 손실 경과는 해에 따라서 다소 다르나 건

답기간 중에 90%이상이 손실되었다. 1996년과 1997년에는 건답 초기에 손실이 매우 컸는데 특히 1997년의 경우 파종 후 5일째에 약 50%가 손실이 되었는데 이는 파종 다음날에 약 36mm의 비가 내려 가수분해되기 전에 요소 자체로 용탈되어 손실이 매우 컸던 것으로 판단된다.

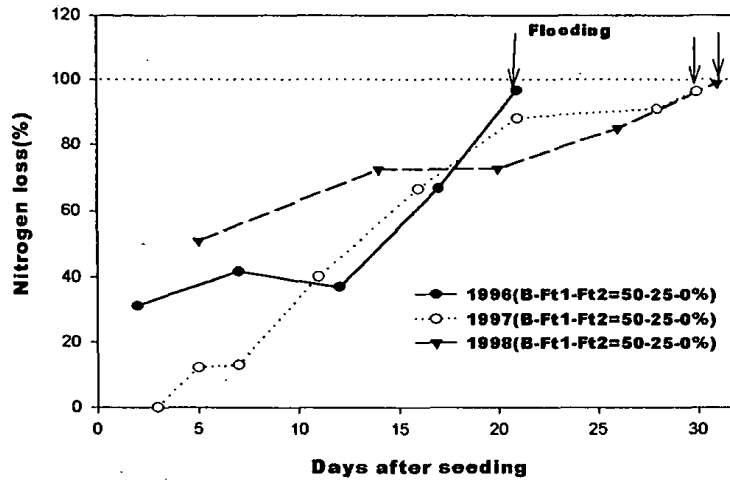


그림 3-21. 요소로 시용한 기비질소의 작토층에서의 담수전 질소손실(1996, 1997, 1998)

(4) 기비질소의 질소이용효율

건답기간중 기비 시용 질소의 식물체와 토양에 의한 회수율과 손실률을 차인법으로 계산하여 표 3-10에 나타내었다. 식물체의 흡수율은 3% 미만으로 해에 따라 차이가 없었으며, 토양 잔존량도 6%미만으로 매우 작았고, 손실률은 1996년이 93.8%, 1997년이 91.3%, 1998년이 96.8%로 기비시용 질소의 90%이상이 암모니아휘산, 탈질, 용탈 등에 의하여 손실되었다. 건답기간중 손실요인 중에서 암모니아휘산에 의한 손실은 1997년이 11.0%, 1998년이 1.2%로 매우 낮는데 이는 시험토양의 pH가 4.43으로 매우 낮기 때문(Fcoht 등, 1974; Jayaweera와 Mikkelsen, 1991)인 것으로 판단된다. 나머지 80%이상의 손실은 요소 또는 NO_3^- 의 용탈 내지 탈질에 의한 손실이나 용탈과 탈질에 의한 손실의 상대적 비중은

이 실험만으로는 평가할 수 없으나 심토층의 질산태질소 측정결과(그림 3-18, 3-19)에서 보듯이 용탈에 의한 손실이 상당 부분을 차지한다는 것을 알 수 있다. 그런데 Humphreys 등(1987b,c)은 호주의 회색점토의 건답직파에서 파종시에 사용한 요소의 80%이상이 손실되었으며 이 손실의 대부분은 용탈보다는 탈질에 의한 것이라고 하여 본 연구와 다소 결과가 다른데 본 연구에서 사용한 토양의 토성은 사양토로서 투수가 잘되기 때문인 것으로 판단된다. 건답직파재배에서 기비로 사용한 질소의 손실률이 이와 같이 높은 것은 파종에서 답수에 이르기까지 20 - 30일(Norman 등, 1989; 이 등, 1996)을 건답상태로 있어 이 기간 중 flushing(일시적 관개)을 하거나 비가와서 건습이 반복되어 탈질과 용탈에 의한 손실이 많이 일어나고(Focht 등, 1974; Cleemput 등, 1975) 또한 아직 식물체가 어려서 흡수력이 작기 때문이다(Humphreys 등, 1987a,b,c).

표 3-10. 요소사용시 기비질소의 답수전(4엽기) 질소이용효율

Year	Basal Fertilizer (kg/10a)	Plant N uptake		Remaining N in soil		Ammoniacal N volatilized		Apparent total N loss	
		kg/10a	%	kg/10a	%	kg/10a	%	kg/10a	%
1996	6.5	0.18	2.8	0.22	3.4	-*	-	6.10	93.8
1997	6.0	0.19	3.2	0.33	5.5	0.66	11.0	5.48	91.3
1998	7.5	0.18	2.5	0.05	0.7	0.09	1.2	7.26	96.8

나. 추비질소의 답수초기 손실 및 이용

(1) 토양용액중 무기태질소의 경시적 변화

4엽기에 답수후 요소를 표층시비한 후에 작토층(토중 10cm)과 심토층(토중 40/50cm)에서 토양용액을 채취하여 용액중의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도를 조사하였다. 1977년(그림 3-22)의 경우 4엽기 추비로서 질소를 9kg/10a (B-Ft1-Ft2=0-75-25) 사용한 구와 3kg/10a(B-Ft1-Ft2 =0-25-50) 사용한 구를 두

었는데 9kg/10a 시용구의 경우 작토층 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 모두 시비 후 2일에 최대를 이루었다가 이후 급격히 감소되었으며 심토층의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 도 작토층에 비하여 다소 낮기는 하나 시비 4일 후에 최대를 이루었다가 그 이후 계속 급격히 감소하였고 무질소구에 비하여는 현저하게 높아 NO_3^- 로 뿐만 아니라 NH_4^+ 로도 용탈이 심하게 일어나고 있음을 알 수 있었다. 한편 추비를 3kgN/10a를 한 경우는 NH_4^+ 에 의한 용탈은 일어나지 않았으며 주로 시용 초기에 NO_3^- 로 용탈이 일어났다. 한편 1998년의 경우(그림 3-23)는 4엽기 추비로 전체 시비량의 25%인 3.75kgN/10a를 사용하였는데 이 경우도 1997년과 마찬가지로 NO_3^- 과 NH_4^+ 로 많은 양이 용탈되는 양상을 나타내었다.

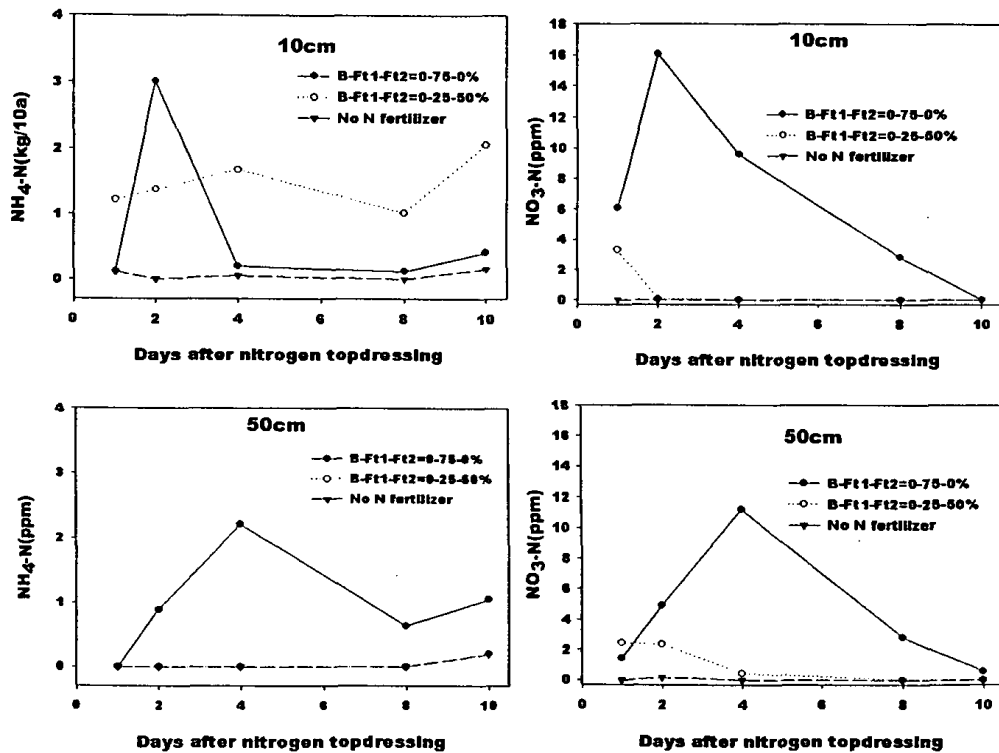


그림 3-22. 추비질소(4엽기) 시용시 토양용액중 무기태질소의 경시적 변화(1997)

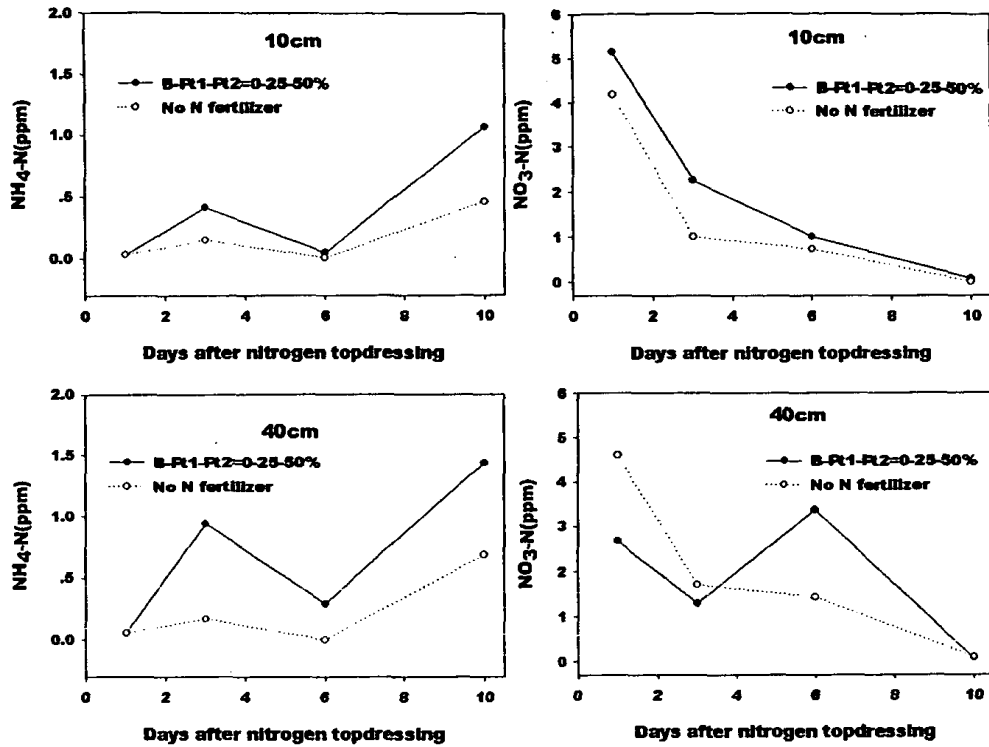


그림 3-23. 추비질소(4엽기) 사용시 토양용액중 무기태질소의 경시적 변화(1998)

(2) 추비질소의 암모니아 휘산에 의한 손실

벼 4엽기에 관개를 하고 추비한 후의 암모니아휘산에 의한 질소 손실의 경시적 변화를 나타낸 것이 그림 3-24이다. 암모니아 휘산은 추비후 바로 증가하고 시비량이 많은 경우 손실량이 많았으나 추비후 10일(2차 추비)까지 모든 처리에서 0.1kg/10a로 손실량은 매우 적었다.

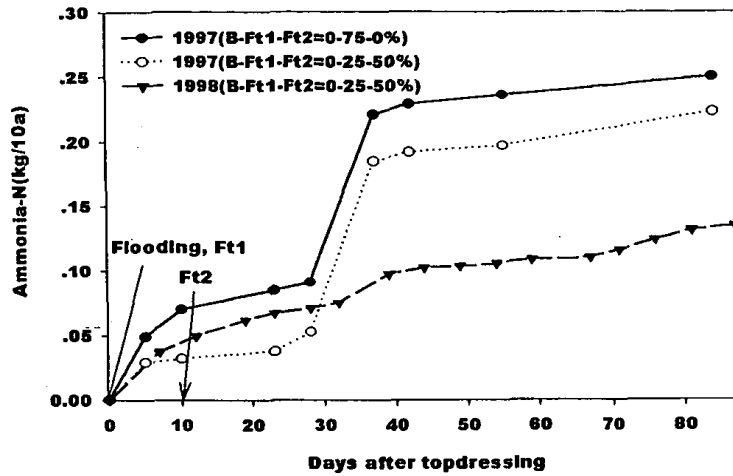


그림 3-24. 추비질소(4엽기) 시용시 암모니아 휘산에 의한 손실

(3) 추비질소의 질소손실

한편 4엽기 추비질소의 작토 20cm로부터의 손실률을 차인법 (difference method)으로 계산하여 경시적으로 나타낸 것이 그림 3-25이다. 1996년과 1998년의 경우 추비후 3일 이내에 추비질소의 약 40%가 손실 되었으며 그 이후는 손실이 매우 완만하게 일어났다. 한편 1997년은 다른 해보다는 초기 손실률이 낮았으나 10일까지 지속적으로 증가하여 시비 후 10일까지 총 손실률은 다른 해와 큰 차이가 없었다.

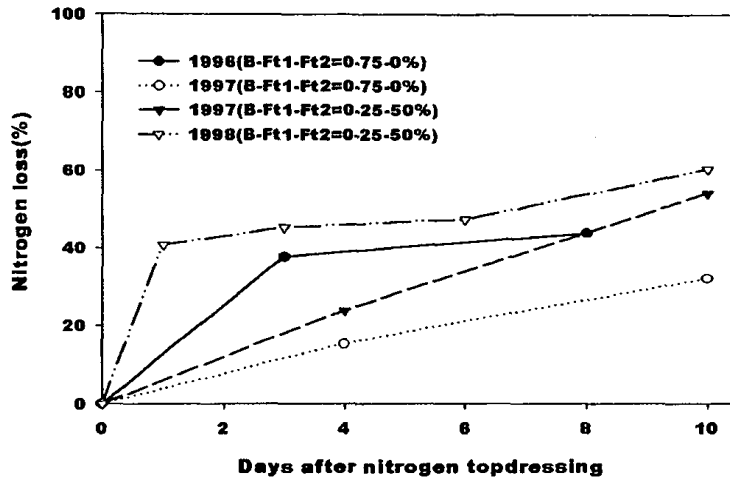


그림 3-25. 추비질소(4엽기) 시용시 작토층내 질소손실의 경시적 변화

(4) 추비질소의 질소이용효율

4엽기에 담수하고 추비를 한 후 10일 동안에 추비 질소의 식물에 의한 회수율, 토양(작토 20cm) 잔존율 및 손실률을 차인법으로 계산하여 나타낸 것이 표 3-11이다. 추비 10일 후에 식물체가 흡수한 시비질소는 6-39%로 연도와 시비량에 따라 차이가 있었는데 1997년의 경우 9kgN/10a 추비에서는 약 14%, 3kgN/10a 추비에서는 약 39% 흡수되어 시비량이 많은 경우에 흡수율이 낮았다. 한편 토양 잔존율은 35-56% 범위였으며 손실률은 14-50%범위였는데 추비량이 많은 경우에 절대 손실량 뿐만 아니라 손실률도 높았다. 이 기간중 손실된 질소량 중 암모니아취산에 의한 손실은 2.4%미만으로 매우 작았으며 대부분 관개 초기의 용탈에 의한 손실이 주류를 이루었는데 이는 표 3-12에서 보는바와 같이 관개 초기의 투수율이 매우 높아 질산태질소 뿐만이 아니라 요소 자체로 또는 가수분해된 암모니아태 질소로도 용탈이 심하게 일어났기 때문인 것으로 판단된다 (그림 3-22, 3-23).

표 3-11. 추비질소(4엽기) 시용시 시비 10일후 질소이용효율 검토

Year	Applied N (kg/10a)	Plant N uptake		Remaining N in soil		Ammoniacal N volatilized		Apparent total N loss	
		kg/10a	%	kg/10a	%	kg/10a	%	kg/10a	%
1996	9.75	0.75	7.7	5.48	56.2	--*	-	3.52	36.1
1997	9.0	1.28	14.2	3.12	34.7	0.07	0.8	4.53	50.3
1997	3.0	1.17	39.0	1.38	46.0	0.03	1.0	0.42	14.0
1998	3.75	0.23	6.13	1.49	39.7	0.09	2.4	1.1	29.3

표 3-12. 담수(4엽기)이후 관개량의 감수심조사(1997)

Days after flooding	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Percolation(cm/day)	10	8	6	6	4.5	3.5	3.2	2.9	3.2	3.2

다. 질소의 흡수 및 이용

(1) 지상부 질소흡수량

요소분시에 따른 벼 지상부에 의한 질소 흡수량의 생육기간중 경시적 변화를 나타낸 것이 그림 3-26이다. 1996년은 질소시비량을 13kg/10a로 하여 기비중점시비(기비-4엽기추비-6엽기추비-수비=50-25-0-25%)와 4엽기추비중점시비(기비-4엽기추비-6엽기추비-수비=50-25-0-25%)의 두가지 분시처리를 두었으며, 1997년에는 시비량을 12kg/10a로 하여 기비중점시비, 4엽기추비중점시비 및 6엽기추비중점시비(기비-4엽기추비-6엽기추비-수비=0-0/25-50/75-25%)구를 두었으며, 1998년에는 시비량을 15kg/10a로 하여 기비중점시비 및 6엽기추비중점시비(기비-4엽기추비-6엽기추비-수비=0-25-50-25%)구를 두었다. 한편 대조를 위하여 무질소구를 모든 해에 두었다. 전체적으로 보면 1997년이 질소 흡수량이 적었는데 이는 파종기의 잦은 강우로 인하여 파종 시기가 늦어 생육기간과 생육량이 적었기 때문이다. 무질소구의 질소 흡수량은 해에 따라서 매우 다른데 파종기가 늦었던 1997년의 경우는 수확기에 2.24kg/10a로 매우 낮았으며 1996년과 1998년

은 각각 8.3kg/10a와 6.3kg/10a였다. 한편 분시 방법에 따라서는 모든 해의 실험에서 4엽기 추비를 하기 전의 초기 생육시기를 제외하고는 기비중점시비보다 추비중점시비구들이 질소 흡수량이 많았다. 다만 1997년의 경우 4엽기중점추비구는 기비중점시비구에 비하여 현저하게 흡수량이 많았으나 6엽기추비중점시비구들은 기비중점구와 큰 차이가 없었는데 이는 파종기가 늦었기 때문인 것으로 판단된다. 기비중점추비구의 최대 흡수량은 5.6-13kg/10a 범위였으나 4,5엽기추비중점시비구는 5.4-17.1kg 범위였다. 한편 地力窒素(indigenous soil nitrogen)에 의존하는 비율은 기비중점시비가 40-60%, 추비중점시비가 30-44%로 기비중점시비가 높았다.

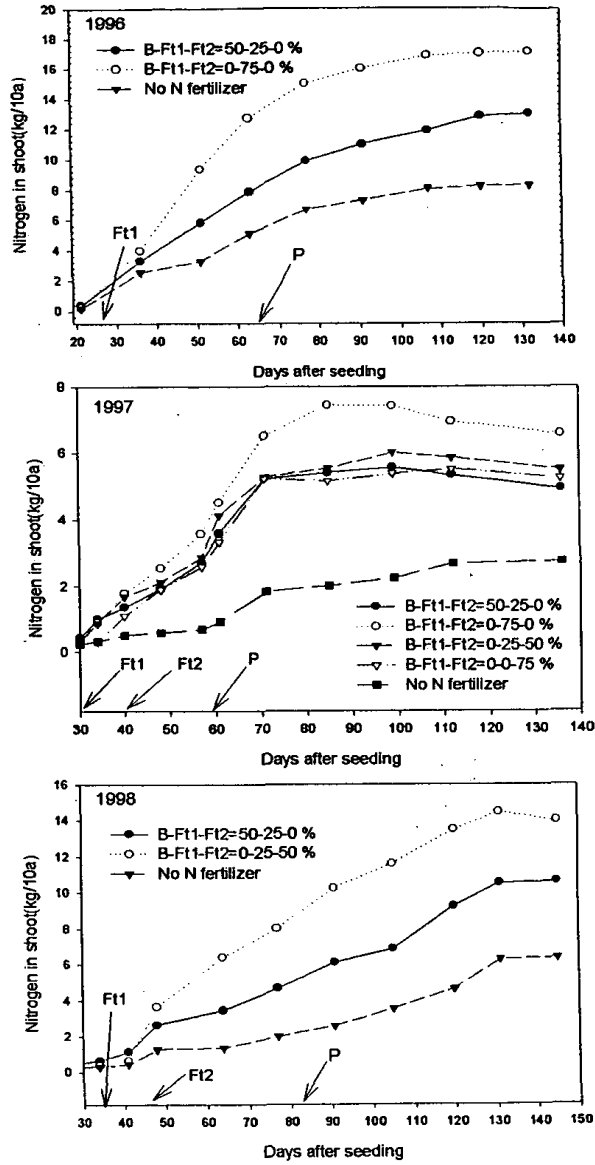


그림 3-26. 지상부 질소흡수량의 경시적 변화(1996, 1997, 1998)

(2) 식물체 질소이용효율

시비질소의 식물체에 의한 회수, 토양잔류 및 손실 등 수확기에 시비 질소의 수지를 차인법으로 계산하여 나타낸 것이 표 3-13이다. 식물체에의 시비 질소 회수율은 기비중점시비의 경우 해에 따라서 28-36%로 낮았으며 추비중점시

비의 경우는 31-68%로 기비 중점시비에 비하여 월등히 높았다. 그런데 파종기가 늦었던 1997년의 경우 6엽기중점시비는 기비중점시비와 비슷하였다. 시비질소의 수확기 토양잔류율은 0.7-6% 범위로 전체적으로 매우 낮았으나 이 역시 기비중점구에서 낮았다. 시비질소의 손실률은 기비중점시비의 경우 해에 따라서 50-63% 범위였으며, 추비중점시비는 30-71%였는데 1997년의 6엽기중점추비를 제외하고는 추비 중점시비가 기비 중점시비에 비하여 월등히 손실률이 낮았다. 시비질소 손실중 암모니아휘산에 의한 손실은 1997년 기비 중점시비에서만 다소 높고 그 이외의 처리에서는 2%미만으로 매우 낮아 손실의 대부분은 용탈이나 탈질에 의한 것이라 판단되었다. 한편 기비중점시비가 추비중점시비보다 손실이 많은 것은 건답기간 중 용탈이나 탈질에 의한 손실이 많고 식물체가 어려서 기비질소의 식물체에 의한 회수율이 매우 낮기 때문이며(그림 3-21, 표 3-10), 추비중점시비의 경우는 답수초기 누수가 심하여 용탈에 의한 손실이 다소 많기는 하나 시비한 질소가 침투수에 의하여 표층 밑으로 수송이 되고 지속적으로 湛水가 되어 탈질에 의한 손실은 크지 않을 뿐만 아니라 식물체가 자라서 흡비력이 커진 시기에 시비를 하여 벼에 의한 회수율이 크기 때문인 것으로 판단된다(그림 3-25, 표 3-11).

라. 벼의 생육 및 수량

(1) 분얼 및 건물중

질소 시비량을 1996년에는 13kgN/10a, 1997년에는 12kgN/10a, 1998년에는 15kgN/10a로 고정하고 분시 방법을 기비중점추비, 4엽기중점추비 및 6엽기중점추비로 달리한 조건에서 분얼 및 지상부 건물중의 경시적 변화(그림 3-27)와 수량 및 수량구성요소(표 3-14)를 비교하였다.

분얼수와 지상부 건물중은 4엽기 또는 6엽기에 추비하기 직전에는 기비중점시비구가 추비중점시비구에 비하여 다소 많았으나 추비를 한 후에는 추비중점시비구가 기비중점시비구를 상회하여 최고분얼기, 출수기 및 수확기 분얼수와 건

표 3-13. 수확시 차인법에 기초한 질소이용효율 검토

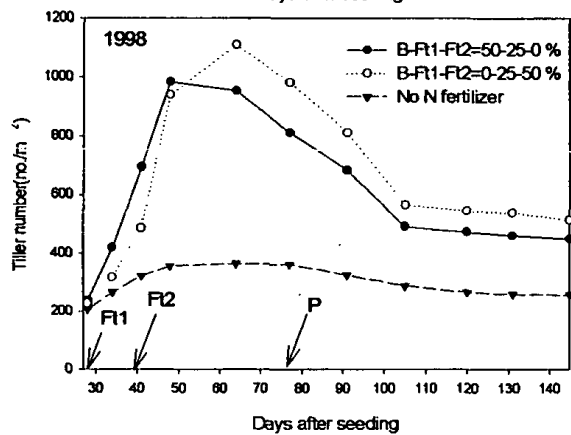
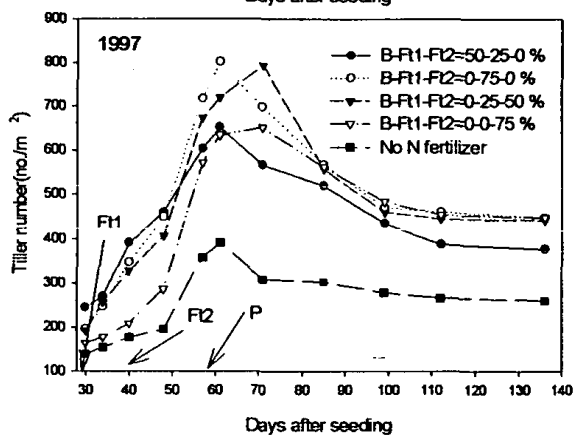
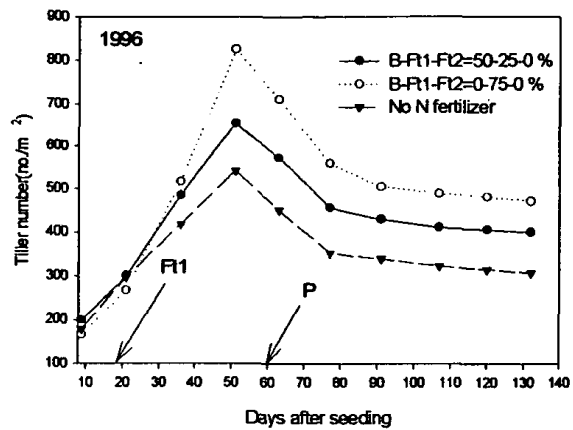
년도	처리 (B-T1-T2)	시비량 kg/10a	Recovered N in			토양 잔존량	암모니아취 발	총질소 손실량
			Grain	Shoot	Total plant			
----- kg/10a(%) -----								
1996	50-25-0	13	0.95(7.3)	1.02(8.6)	4.69(36.1)	0.55(4.2)	--	8.31(63.9)
	0-75-0	13	3.19(24.5)	3.15(25.8)	8.82(67.8)	0.82(6.3)	-	4.18(32.2)
1997	50-25-0	12	0.53(4.4)	2.80(23.3)	3.32(27.7)	0.08(0.7)	0.9(7.1)	7.83(65.2)
	0-75-0	12	0.62(5.2)	4.56(38.0)	5.18(43.2)	0.31(2.6)	0.3(2.1)	6.52(54.3)
	0-25-50	12	0.50(4.1)	3.26(27.2)	3.76(31.3)	0.16(1.3)	0.2(1.9)	8.04(67.0)
	0-0-75	12	0.33(2.7)	2.81(23.4)	3.14(26.2)	0.55(4.6)	0.3(2.1)	8.56(71.3)
1998	50-25-0	15	0.66(4.4)	3.61(24.0)	4.26(28.4)	0.10(0.7)	0.2(1.3)	7.54(50.3)
	0-25-50	15	1.56(10.4)	6.63(44.1)	8.18(54.6)	0.14(0.9)	0.3(1.8)	6.52(43.5)

물중이 추비중점시비구가 많았다. 한편 기비중점, 4엽기 및 6엽기추비중점 시비 처리를 모두 한 1997년의 결과에서 보면 4엽기 중점 추비보다 6엽기 중점 추비가 분얼이나 지상부 건물 생장이 다소 지연되기는 하였으나 최종 수수 및 건물 중에는 차이가 없었다.

(2) 수량 및 수량구성요소

수량 및 수량구성요소를 나타낸 것이 표 3-14이다. 수량은 1996년~1997년 3개년 실험 모두 기비중점시비구보다 추비중점시비구가 유의하게 높았는데, 수량이 높은 주 요인은 수량구성 요소 중 단위면적당 수수가 유의하게 많았기 때문이다. 수당영화수와 등숙율은 유의한 차이가 없었으며 천립중은 기비중점시비구가 높았다. 한편 4엽기 추비중점 및 6엽기 추비중점시비구간에는 수량 및 수량구성요소 모두 유의한 차이가 없었다.

이와 같이 건답직파재배에서 기비중점시비가 추비중점시비에 비하여 생육과 수량이 저조한 중요한 요인은 기비로 사용한 비료의 대부분은 건답기간 중 탈질 및 용탈에 의하여 손실되어(표 3-10), 분얼성기에 질소가 부족하여(그림 3-26)



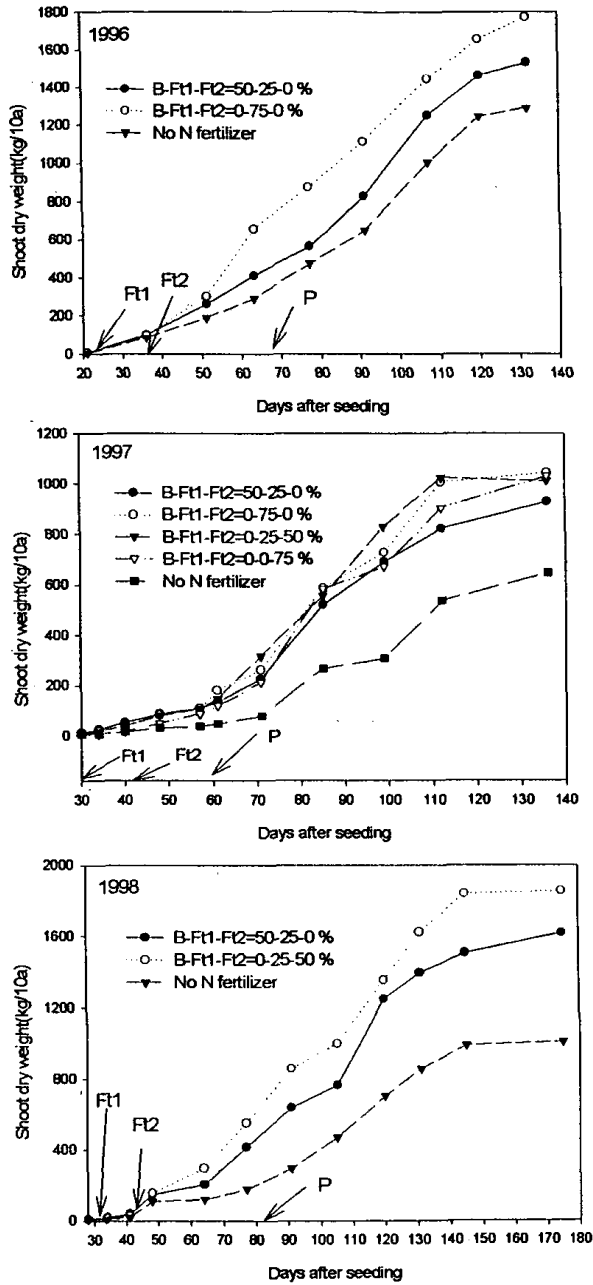


그림 3-27. 분얼수(왼쪽)와 지상부건물중(오른쪽)의 경시적 변화

분얼과 생장이 억제되기 때문인데(그림 3-27), 김 등(1995), 윤 등(1997), 작물 시험장(1994)도 사양토와 양토에서 같은 결과를 보고하였다. 한편 호주, 미국 등의 건답직파재배에서도 기비시용 질소의 손실이 매우 심하여 기비를 생략하고

담수 직전 또는 직후에 추비를 한다(Humohreys 등, 1987a,b,c; Norman 등, 1989).

표 3-14. 수량 및 수량구성요소

년도	처리	단위면적당(m ²)	이삭당	등숙률	천립중	수량
	(B-Ft1-Ft2)	이삭수	영화수	(%)	(g)	(kg/10a)
1996	50-25-0	441 b	67.0 a	91 b	26.8 b	712.3 b
	0-75-0	512 a	68.3 a	92 b	26.1 c	796.2 a
	0-0-0	344 c	58.7 b	96 a	28.5 a	543.4 c
1997	50-25-0	398 b	59.3 ab	92 ab	26.3 b	568.6 b
	0-75-0	455 a	56.3 ab	91 ab	25.9 bc	598.9 ab
	0-25-50	469 a	61.2 a	89 b	24.8 d	627.8 ab
	0-0-75	485 a	53.9 b	91 ab	25.1 cd	589.1 ab
	0-0-0	272 c	57.9 ab	93 a	27.9 a	409.8 c
1998	50-25-0	417 b	75.4 a	93 b	25.6 c	745.5 b
	0-25-50	507 a	73.3 a	91 c	24.7 b	830.8 a
	0-0-0	234 c	63.4 b	96 a	28.5 a	405.2 c

이상의 결과를 요약하면, 96-98년에 걸쳐 기비로 사용한 요소는 4엽기까지 약 3% 미만만이 흡수되었는데, 이는 건답기간중 요소 자체로도 용탈이 일어날 뿐만 아니라 질산화되어 용탈되거나, 다시 환원되어 탈질되거나 혹은 가수분해되어 암모니아가스로 휘산되는 등 많은 손실이 일어나기 때문이다. 분얼비는 시비 10 일후에 약 6-39%의 이용효율을 보였다. 기비를 사용하는 관행시비가 약 10-36%의 식물체회수율을 보인 반면, 추비중점시비구에서는 약 24-44%의 식물체회수율을 보여 질소이용효율이 높았다. 마찬가지로 분얼, 건물중 및 수량 또한 추비중점시비구가 기비를 사용한 관행시비구에 비해 유의성있게 높았다.

제3절 시비량 및 분시에 따른 질소이용효율

1. 재료 및 방법

가. 재배개요

품종은 자포니카이며 중생종인 화성벼였다. 질소시비는 표 3-15와 같이 하였고, 인산과 가리는 8kg/10a을 인산은 전량기비, 가리는 기비70% 수비30%로 분시하였다. 기비는 전충시비하였으며, 분얼비와 수비는 표면살포하였다. 파종은 건조종자 4kg/10a를 30cm 간격으로 조파하였다. 3엽기에 관개하였고, 4엽기와 6엽기에 분얼비를 시비하였으며, 유수형성기때 수비를 시용하였다. 관개전 각 처리구 간에는 선라이트를 설치하여 물의 이동을 방지하였다. 처리구의 면적은 20m²이고 실험구는 난괴법 3반복으로 배치하였다. 파종 직전에 토양의 이화학적 성질(토성, CEC, 치환성양이온, 유기물, 전질소, pH 등)을 조사하였다.

표 3-15. 질소시비량과 분시처리(2000년)

처리	시비량 (kg/10a)	기비-분얼비1(4엽기)-분얼비2(6엽기)-수비
T1	12	0-70-0-30
T2	12	0-40-30-30
T3	15	0-70-0-30
T4	15	0-40-30-30
T5	18	0-70-0-30
T6	18	0-40-30-30
T7	15	30-40-0-30
T8	0	0-0-0-0

2. 결과 및 고찰

가. 토양중 무기태질소 동태

3년차와 4차년도 실험결과에서 기비의 이용효율은 각각 3.2%와 5.5%에

불과하여 기비질소의 이용효율이 매우 낮았기 때문에 5차년도 실험에서는 대조구(T7)을 제외한 모든 처리구에서 기비를 생략한 분시방법 실험을 수행하였다.

토양내 암모니아태질소와 질산태질소를 합한 무기태질소의 경시적 변화를 나타낸 것이 그림 3-28이다. 건답기간중 토양내 무기태질소함량은 파종시에 기비를 시용한 처리구(T7)에서 시비 6일후에 8.9kg/10a로 가장 높았고 이후 급격히 떨어졌으며 기비무처리구(T1-T6, T8)에서는 4.7-3.6kg/10a로 큰 변화가 없이 낮았다. 건답기간중 기비처리구와 무처리구간의 토양내 질소량의 차이는 시비량의 차이(4.5kg/10a)보다도 낮게 나타났는데, 이는 탈질 및 용탈에 의하여 시비질소가 손실되었기 때문이다.

담수직전의 토양중 무기태질소 농도는 기비처리구와 기비무처리구간에는 거의 차이를 보이지 않았는데 이는 3엽기 관개전에 기비질소의 대부분이 용탈이나 탈질 및 암모니아휘산 등에 의해 손실된 것을 의미한다. 마찬가지로 98년과 99년의 실험에서도 담수전 기비로 시용한 질소의 토양내 잔존량은 매우 적은 경향이 있었다. 1차 분얼비(4엽기) 시비와 2차 분얼비(6엽기) 시비이후 토양내 무기태질소의 농도는 질소시비량이 증가할수록 높았다. 4엽기에 70%를 분얼비로 시용한 처리구(T1, T3, T5)보다 분얼비를 4엽기(40%)와 6엽기(30%)에 분시한 처리구(T2, T4, T6)에서는 질소농도가 높게 유지되었다. 수비를 시용하였을 경우의 토양내 질소농도는 매우 낮았는데, 이는 7월중순이 높은 기온으로 요소의 가수분해가 촉진되고 또한 성숙한 식물체의 질소흡수가 증대하여 토양내 잔존량이 적었기 때문으로 생각되어진다. 한편 무비구(T8)는 파종이후부터 계속 감소하다가 출수 10일 이후부터 질소농도가 증가하였다.

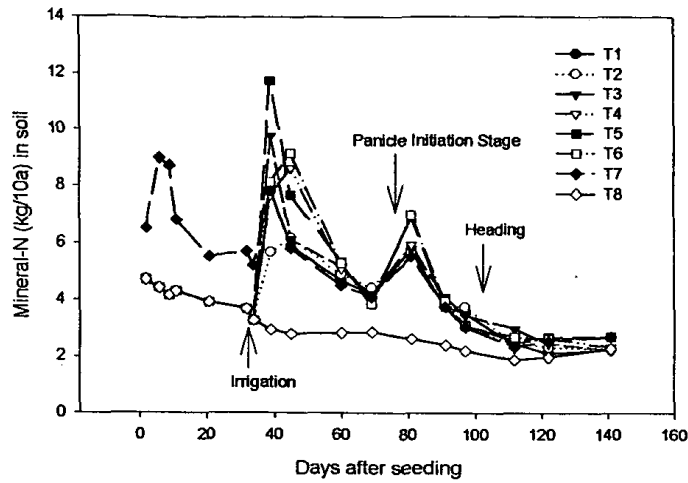


그림 3-28. 토양중 무기태질소의 경시적 변화

나. 건물중

식물체의 지상부 건물중을 나타낸 것이 그림 3-29이다. 관개전까지 지상부 건물중은 기비의 시용여부에 관계없이 큰 차이를 보이지 않았으며, 건물중은 매우 적었다. 이후 기비처리구(T7, 15kg/10a)는 12kg/10a를 4엽기와 6엽기에 분시한 T2보다도 낮았고, 12kg/10a를 4엽기에 1회 분시한 T1보다는 건물중가가 컸다. 그러나 동일한 시비량을 준 T3이나 T4보다는 건물중가가 적어 기비질소의 이용효율이 매우 낮음을 알 수 있다. 시비량이 증가할수록 건물중의 증가가 컸으며, 유수형성기 이후로 벼의 생장이 왕성해지면서 건물중의 증가폭이 매우 컸다.

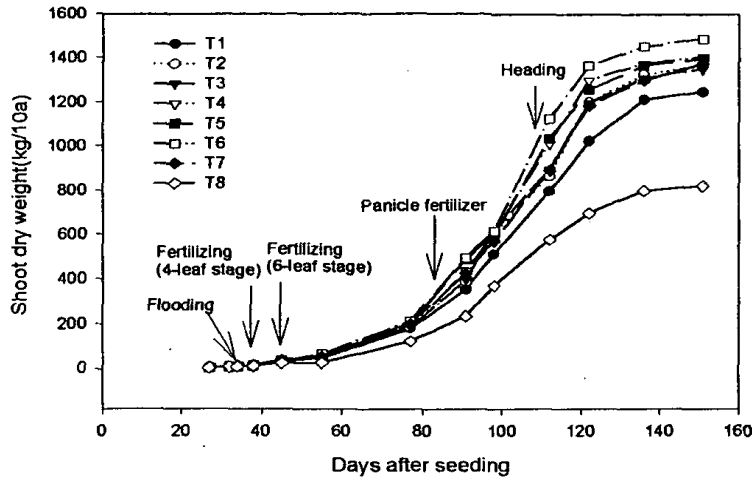


그림 3-29. 지상부 건물중의 경시적 변화

다. 지상부 질소흡수량

지상부 질소흡수량은 지상부 건물중과 비슷한 경향을 보이는데, 이는 식물체에 흡수된 질소가 식물체의 원형질을 만드는데 쓰이기 때문으로 작물의 수량증대를 위해서는 충분한 생육량을 초기부터 확보해야 한다. 질소의 체내이동률은 67%로써 인산 79%에 비해서는 낮지만 칼리 40%, 황 55%, 석회 6% 등에 비해서는 이동성이 높다((松島, 1965). 이처럼 이동성이 높은 질소 등은 생육 초기에 충분히 흡수시켜 체내에 저장함으로써 그 후의 생육에 따라 식물체의 생장점으로 이동하여 정상생육이 유지될 수 있어야 하고, 이동성이 약한 석회, 규산 등은 생육의 각 시기에 항상 흡수될 수 있어야 한다(李, 1993). 따라서 그림 3-29와 3-30에서 보듯이 질소흡수가 먼저 일어나고 이후 건물생산이 일어나는 경향을 보이게 된다. 지상부 질소흡수량은 유수형성기까지 완만히 일어나다가 출수직전에 급격하게 증가하고 있다. 포장조건에서 질소는 보통 출수기까지 거의 흡수가 완료되고(松尾, 1958; 李, 1971) 출수·개화 후에는 동화산물의 생산기관인 경엽의 질소가 발육하는 곡립으로 전이한다고 하는데 출수·개화 이후로도 관개수나 토양으로부터 얻는 질소량이 풍부하면 수량도 어느 정도 증가한다

고 한다(李, 1993). 그림 3-30에서 보듯이 지상부 질소흡수량은 건물중과 동일한 $T6>T4>T5>T3>T7>T2>T1>T8$ 의 순이었는 데, 기비를 사용한 T7(15kg/10a)이 12kg/10a를 사용한 T1이나 T2보다 질소흡수량은 다소 많았으나, 동일한 양(15kg/10a)을 사용한 T3과 T4보다는 작았다.

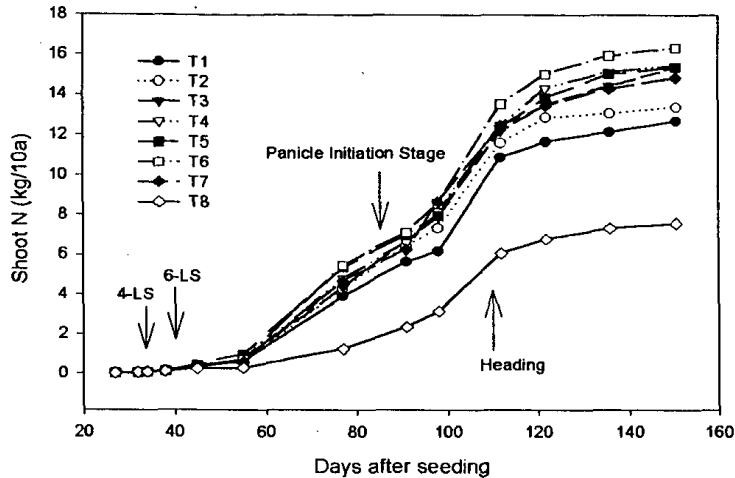


그림 3-30. 지상부 질소흡수량의 경시적 변화

라. 수량 및 수량구성요소

수량 및 수량구성요소를 살펴보면, 단위면적당 이삭수는 18kg/10a를 사용한 T5와 T6에서 가장 많아 T6이 수량이 가장 컸으며, 이삭당 영화수는 분시를 한 T4와 T6에서 많았다. 등숙률은 시비량이 적을수록 높은 경향이였으며, 천립중은 차이가 없었다. 수량증대에 가장 크게 영향을 하는 것이 단위면적당 이삭수와 이삭당 영화수의 곱인 단위면적당 총 영화수인 점을 감안하면, 4엽기에 분얼비를 전량 준 처리구(T1, T3, T5)에 비해 4엽기와 6엽기에 분시한 처리구(T2, T4, T6)에서 수량증대의 효과가 컸다. 수량은 $T6>T4>T5>T3>T2>T7>T1>T8$ 의 순으로써 기비를 사용한 T7(15kg/10a)는 12kg을 분시한 T2보다도 수량이 낮게 나타났는데 이는 기비의 이용효율이 매우 낮기 때문인 것으로 판단된다.

표 3-16. 수량 및 수량구성요소

처리	단위면적당(m ²) 이삭수	이삭당 영과수	등숙률 (%)	천립중 (g)	수량 (kg/10a)
T1	338.52 b	63.85 c	82.50 b	27.59 a	502.69 d
T2	346.85 b	67.58 b	82.59 b	27.53 a	539.75 c
T3	349.74 b	70.14 b	78.44 b	27.98 a	541.30 c
T4	256.85 b	78.06 a	75.08 c	27.82 a	578.29 b
T5	286.30 a	70.25 b	79.17 b	27.73 a	575.78 b
T6	384.07 a	76.85 a	78.58 b	26.90 b	604.64 a
T7	353.62 b	67.95 b	81.58 b	27.34 a	529.33 c
T8	232.96 c	58.84 d	85.78 a	27.62 a	327.91 e

이상의 결과를 요약하면, 담수직전 기비처리구와 기비무처리구간에는 토양중 질소농도나 건물중 등이 거의 차이를 보이지 않았는데 이는 기비질소가 대부분 손실되었기 때문이며 98-99년의 결과와도 일치하는 것이다. 동일한 시비량을 4엽기(70%)에 1회 분시한 것보다 4엽기(40%)와 6엽기(30%)에 걸쳐 분시한 경우가 생육 및 수량이 높게 나타났다. 15kg/10a를 사용한 관행처리구(T7)보다 12kg/10a를 4엽기와 6엽기에 분시한 처리구(T3)에서 수량이 높게 나타났다. 따라서 기비를 생략하고 기비시비량만큼 분얼비를 추가 분시하는 방법이 질소이용 효율이나 수량성을 향상시킬 수 있을 것으로 보인다.

제4절 담수전후 분얼비 시비시기에 따른 질소이용 효율

1. 재료 및 방법

가. 재배개요

품종은 자포니카이며 증생종인 화성벼였다. 파종 입모후 담수시기에 있

어서 분얼비 시비시기에 따른 질소이용효율을 검토하고자 표 3-17에서와 같이 담수전 3일과 담수직전에 시비하고 담수한 경우, 담수직후 및 담수 3일후에 시비한 처리를 두었다. 인산과 가리는 8kg/10a을 인산은 전량기비, 가리는 기비 70% 수비30%로 분시하였다. 기비는 전층시비하였으며, 분얼비와 수비는 표면살포하였다. 파종은 건조종자 4kg/10a를 30cm 간격으로 조파하였다. 4엽기에 관개하였고, 유수형성기때 수비를 사용하였다. 관개전 각 처리구 간에는 선라이트를 설치하여 물의 이동을 방지하였다. 처리구의 면적은 28.5m²이고 실험구는 난괴법 3반복으로 배치하였다. 파종 직전에 토양의 이화학적 성질(토성, CEC, 치환성양이온, 유기물, 전질소, pH 등)을 조사하였다.

표 3-17. 4엽기 담수 전후 분얼비(4엽기) 시비처리(2000년)

	담수3일전 (0-70-0-30)*	담수직전 (0-70-0-30)	담수직전 (0-40-30-30)	담수직후 (0-70-0-30)	담수3일후 (0-70-0-30)	담수3일후 (0-40-30-30)
T1	o					
T2		o				
T3			o			
T4				o		
T5					o	
T6						o
T7						

* : 처리내 괄호는 기비-1차분얼비(4엽기)-2차분얼비(6엽기)-수비를 나타냄.

나. 시료 채취 및 조사

담수 10일전부터 auger를 사용하여 각 처리구당 세곳의 작토층에서 10cm 간격으로 20cm까지 5일간격으로 시료를 채취·혼합하였고, 담수전과 담수후에는 2일 간격으로 토양시료를 채취·혼합하여 무기태질소 분석전까지 영하 20℃의 냉동고에 보관하였다. 관개전후 토양내 질소동태를 파악하고자 토중 10cm와

40cm에 irrometer를 설치하였고, 담수전후에는 3일간격, 이후에는 5일 간격으로 시료를 채취하여 무기태질소 분석을 하였다.

3엽기 이후 벼 생육조사는 7-10일 간격으로 초장, 분얼수 등을 상법에 준하여 조사하였고, 식물체를 채취하여 72℃ 건조기에서 72시간 건조하여 건물중을 칭량한 후 마쇄하여 전질소분석을 하였다. 전질소분석은 Micro-Kjeldahl법에 의해 분석하였다. 질소이용효율은 차인법에 의한 손실 및 회수율을 평가하는 방법으로 구하였다. 출수기에 출수조사를 하였으며 수확기때에 수량 및 수량구성요소를 조사하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 건답기간중 pH와 Eh의 변화

건답직파에서 파종후 담수전까지는 건답, 즉 산화상태에 놓여 있어, 기비로 사용된 질소가 산화되어 대부분 용탈, 탈질 및 휘산되어 손실된다. 또한 파종후 담수기간까지 약 20-30일의 오랜 기간동안 건답상태에 놓여 있었기 때문에 초기부터 토층분화가 이뤄지는 이양재배와는 달리 담수를 시작한 이후에도 바로 토층분화가 이루어지지 않고 관개량을 매우 많이 필요로 한다. 그림 3-31에서 살펴보면, 건답기간중 pH는 산화상태에 놓여 있는데 강우가 있을 경우에만 pH가 약간 높아졌으며 Eh는 약간 낮아졌다. 계속적인 담수이후 토층분화가 이루어짐에 따라 토양내 pH는 관개수의 pH와 비슷하게 높아졌고, Eh는 급격하게 감소하였다. Eh가 높은 상태에서는 질산태질소로 산화되어 용탈이 되고, 토양이 강하게 환원이 되면 질산태질소가 환원이 되어 탈질되기 때문에 비료의 손실량이 많아질 것으로 판단된다.

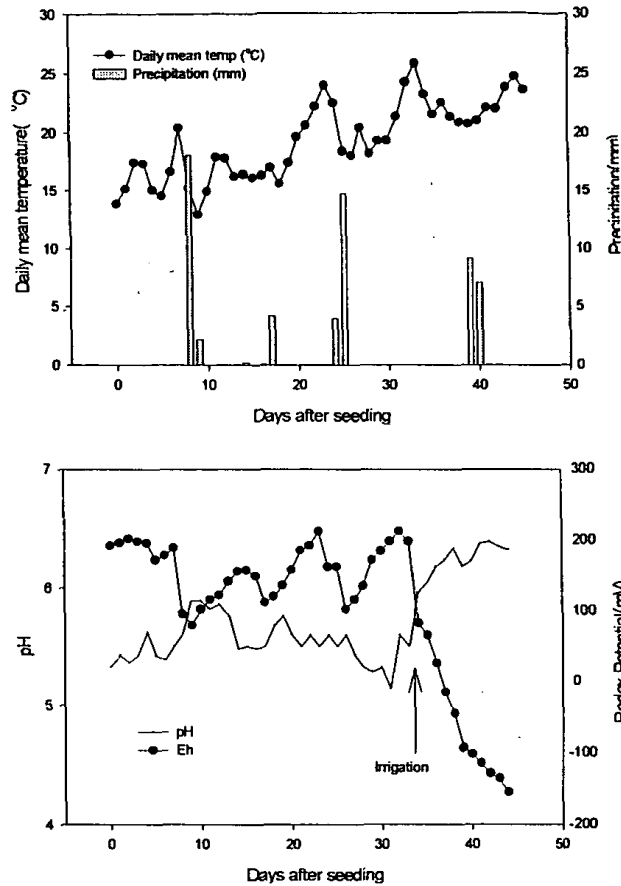


그림 3-31. 건답기간동안 pH(왼쪽) 및 Eh(오른쪽)의 경시적변화

나. 무기태질소의 토양 및 토양수내 동태

(1) 토양중 무기태질소의 동태

그림 3-32에서 보는 바와 같이 관개 3일전에 시비한 T1에서 시비 4일 후에 가장 높았고, 그이후 급격히 감소하였다. 한편 관개직전에 시비한 T2는 담수직후 및 담수 3일후에 시비한 T4 및 T5보다도 무기태질소 농도가 높게 나타났는데, 이는 담수후 처리에서는 요소가 암모니아로 분해되기 전에 요소로써 용탈이 많이 되었기 때문인 것으로 판단된다.

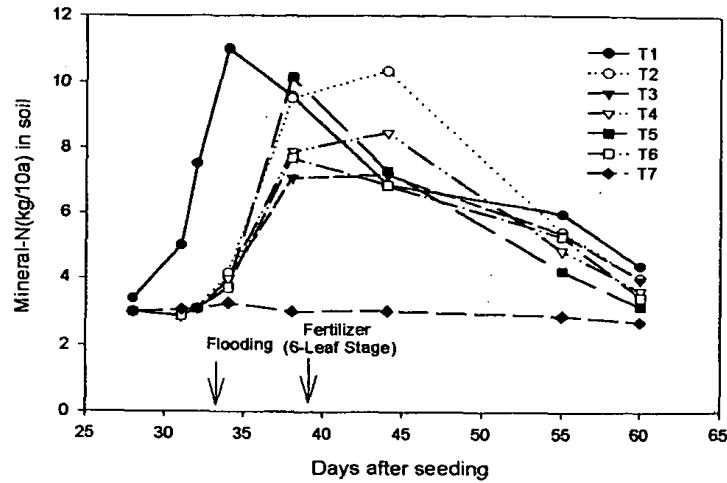


그림 3-32. 작토층(0-20cm)내 무기태질소의 동태

(2) 토양용액중 무기태질소의 동태

관개·시비조건에 따른 토양용액중 무기태질소의 농도변화를 파악하기 위해 관개 3일전에 irrometer를 토중 10cm 및 40cm에 설치하고 토양용액을 전 생육기간동안 주기적으로 채취하여 얻은 토양용액중 무기태질소의 동태를 나타낸 것이 그림 3-33이다. 토양용액의 무기태질소 농도는 토양과 비슷한 경향이었는데, 토양에서는 10.5kg/10a를 관개 3일전에 시비한 T1에서 무기태질소 농도가 가장 높았던 반면, 토양용액에서는 10.5kg/10a를 관개직후 시비한 T4에서 가장 높게 나타났다. 이는 관개직후 시비할 경우 토양용액에 녹아 있는 무기태질소, 특히 질산태질소의 농도가 높아 용탈이 더 많이 일어남을 보여준다. 토중 40cm의 무기태질소의 경향 토중 10cm와 거의 비슷한 경향이었는데, 완전담수후에 10.5kg/10를 시비한 T5에서 토중 40cm에서 무기태질소의 양이 많아 다른 처리에 비해 용탈이 많이 일어남을 알 수 있다.

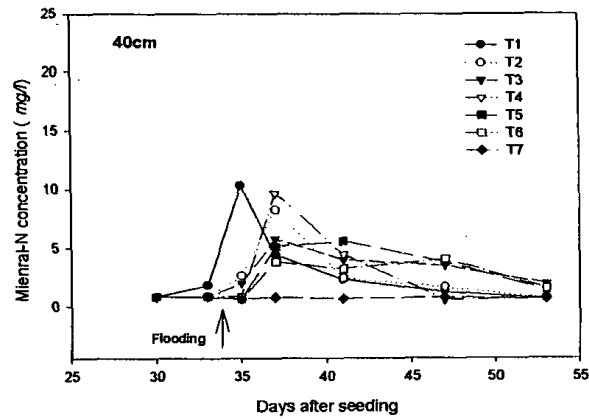
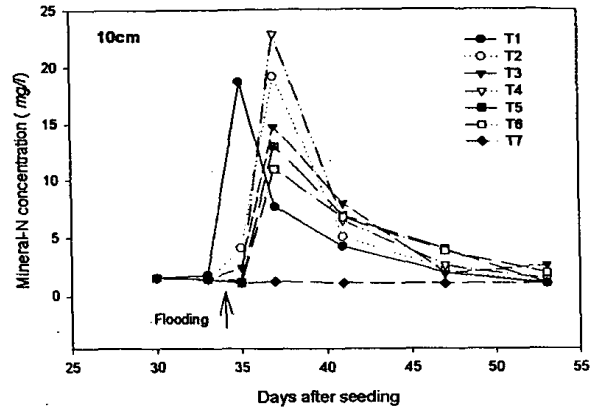


그림 3-33. 토양용액중 무기태질소의 농도변화

다. 건물중 및 지상부 질소흡수량

건물중 및 지상부 질소흡수량을 나타낸 것이 그림 3-34이다. 동일한 시비량을 준 경우 담수전 처리(T1, T2, T3)가 담수후 처리(T4, T5, T6)에 비해 건물중의 증대가 컸으며, 동일한 시비량을 분시한 처리(T3, T6)가 단일시비한 처리(T2, T5)보다도 건물중의 증대가 컸다. 특히 담수 3일전에 처리(T1)한 것보다 담수직전과 6엽기에 분시한 처리(T3)에서 건물중의 증가가 더욱 컸다. 지상부 질소흡수량도 건물중과 비슷한 경향이었으며, T3>T1>T6>T2> T4>T5>T7의 순이었다.

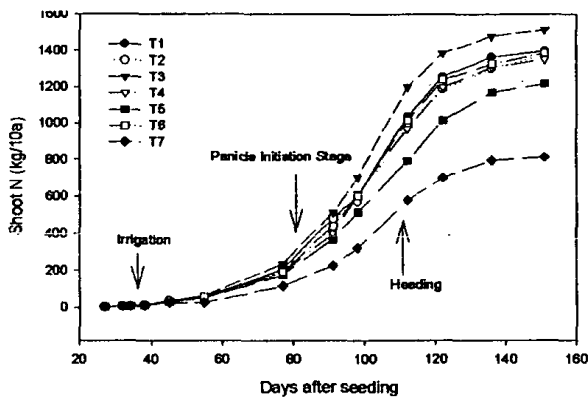
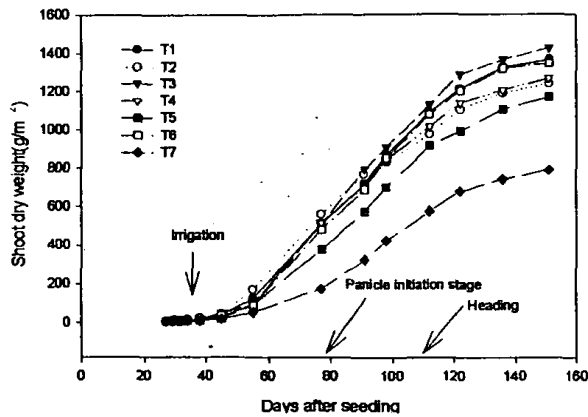


그림 3-34. 건물중(왼쪽) 및 지상부 질소흡수량(오른쪽)의 경시적 변화

라. 수량 및 수량구성요소

수량 및 수량구성요소를 나타낸 것이 표 3-18이다. 답수전에 시비한 처리구(T1, T2, T3)가 답수후 시비한 처리구(T4, T5, T6)보다 수량이 높았다. 또한 답수전 처리구에는 단위면적당 이삭수는 많았지만 이삭당영화수와 등숙률은 답수후 처리한 것보다 낮았으며 전립중은 비슷한 경향이였다. 특히 답수전 4엽기에 1차 시비하고 답수후 6엽기에 2차 시비한 T3 처리구에서 수량이 가장 높았는데, 이는 답수후 처리보다 단위면적당 이삭수가 높았을 뿐 아니라 이삭당 영화수 또한 높았기 때문이었다. 이상의 결과로 답수전 시비처리를 할 경우에는 단위면적당 이삭수가 증대하는 경향이 있지만 무효분얼이 많아지고, 이에따라 이삭당영화수가 감소하는 경향이 있다. 수량은 T3>T1>T6>T4>T2>T5>T7의 순이었다.

표 3-18. 수량 및 수량구성요소

처리	단위면적당(m ²)	이삭당	등숙률	천립중	수량
	이삭수	영화수	(%)	(g)	(kg/10a)
T1	407.52 a	70.15 b	75.16 c	27.60 a	590.65 b
T2	396.67 a	66.12 c	75.96 c	27.67 a	551.69 c
T3	380.00 b	74.98 b	77.61 c	27.56 a	615.83 a
T4	315.25 c	79.57 a	81.25 b	27.26 a	563.65 c
T5	377.78 b	62.82 d	76.96 c	28.26 a	491.88 d
T6	375.56 b	75.25 b	78.93 c	27.46 a	564.41 c
T7	238.33 d	62.10 d	84.73 a	27.40 a	360.12 e

이상의 결과를 요약하면, 담수전에 시비한 처리구가 담수후에 시비한 처리구보다 생육 및 수량이 높았는데, 이는 담수후 처리에서는 요소가 암모니아태로 분해되기 전에 요소로써 용탈이 많이 되었기 때문인 것으로 판단된다. 수량은 담수직전 4엽기에 시비하고 6엽기에 추가시비한 처리구에서 가장 높고, 담수 3일전에 시비한 처리구가 그 다음으로 높게 나타났는데, 이는 담수전에 처리한 경우에서 단위면적당 이삭수가 많았기 때문이다.

제5절 적요

건답직파 관행재배는 기비-분얼비-수비를 40:30:30으로 기준으로 하여 왔는데, 이양재배와는 달리 식물체가 어려 흡비력이 낮고, 시비시 토양내의 질소동태는 매우 다를 것으로 판단되어 분시방법에 대한 실험을 1996년부터 1998년까지 3년에 걸쳐 실험을 수행하였다. 96-98년에 걸쳐 기비로 시용한 요소는 4엽기까지 약 3% 미만만이 흡수되었는데, 이는 건답기간중 요소 자체로도 용탈이 일어날 뿐만 아니라 질산화되어 용탈되거나, 다시 환원되어 탈질되거나 혹은 가수분해되어 암모니아가스로 휘산되는 등 많은 손실이 일어나기 때문이다. 분얼비

는 시비 10일후에 약 6-39%의 이용효율을 보였다. 기비를 사용하는 관행시비가 약 10-36%의 식물체회수율을 보인 반면, 추비중점시비구에서는 약 24-44%의 식물체회수율을 보여 질소이용효율이 높았다. 마찬가지로 분얼, 건물중 및 수량 또한 추비중점시비구가 기비를 사용한 관행시비구에 비해 유의성있게 높았다.

1996-1998년의 결과로써 기비의 이용효율은 매우 낮았기 때문에 관행의 기비 사용을 추비중점으로 전환하여 시비량과 분시방법에 대해 2000년에 실험하였다. 담수직전 기비처리구와 기비무처리구간에는 토양중 질소농도나 건물중 등이 거의 차이를 보이지 않았는데 이는 기비질소가 대부분 손실되었기 때문이며 98-99년의 결과와도 일치하는 것이다. 동일한 시비량을 4엽기(70%)에 1회 분시한 것보다 4엽기(40%)와 6엽기(30%)에 걸쳐 분시한 경우가 생육 및 수량이 높게 나타났다. 15kg/10a를 사용한 관행처리구(T7)보다 12kg/10a를 4엽기와 6엽기에 분시한 처리구(T3)에서 수량이 높게 나타났다. 따라서 기비를 생략하고 기비시비량만큼 분얼비를 추가 분시하는 방법이 질소이용효율이나 수량성을 향상시킬 수 있을 것으로 보인다.

건담직파재배에서는 보통 3엽기-4엽기에 관개를 하고 4엽기-6엽기에 시비하는 것이 관행적인 방법인데 건담상태에서 파종하였기 때문에 지하수위가 낮고 토양공극이 커 많은 양의 관개량이 필요로 하며, 관개수의 지하침투량이 많아져서 비료의 용탈이 심하게 일어날 수밖에 없다. 따라서 담수전후 시비방법에 따른 식물체이용효율과 질소동태에 관한 실험을 2000년에 수행하였다. 담수전에 시비한 처리구가 담수후에 시비한 처리구보다 생육 및 수량이 높았는데, 이는 담수후 처리에서는 요소가 암모니아태로 분해되기 전에 요소로써 용탈이 많이 되었기 때문인 것으로 판단된다. 수량은 담수직전 4엽기에 시비하고 6엽기에 추가시비한 처리구에서 가장 높고, 담수 3일전에 시비한 처리구가 그 다음으로 높게 나타났는데, 이는 담수전에 처리한 경우에서 단위면적당 이삭수가 많았기 때문이다.

제4장 건답직파재배에서 비료제형 및 질산화 억제제 처리에 따른 질소이용효율

제1절 서설

요소는 가장 널리 사용되는 질소원이지만 흡습성이 커서 방습이 필요한 단점이 있다. 아마이드태인 요소는 가수분해되기 전에는 토양교질에 강하게 흡착되어 있지 않기 때문에 용탈하기 쉽고 또한 표층시비한 요소는 암모니아휘산에 의한 손실이 많은 등의 단점이 있다. 따라서 손실을 줄이기 위하여 일반적으로 전층시비 또는 심층시비를 권장한다. 그러나 건답직파재배에서 기비로 전층시비할 경우 용탈과 탈질에 의한 손실이 발생하기 쉽고 또한 재배중 추비의 경우 전층시비는 작업이 용이하지 않으므로 비료를 절약하고 노동력을 줄이며 작물이 필요로 하는 시기에 질소를 공급하기 위하여 다양한 완효성비료가 검토되어져 왔다. 따라서 건답직파재배에서 요소분시 및 라텍스 피복요소(LCU: latex coated urea)의 처리효과를 검토하고자 1998년에 포장실험을 실시하였다.

기존의 건답직파재배에서도 완효성 비료인 LCU를 시험한 경우가 종종 있어 왔으나 거의 모든 경우 LCU를 전량 기비로 시용하였다. 그러나 앞서 살펴본 것과 같이 비중에 관계없이 기비의 이용효율은 매우 낮았기 때문에 2000년도 실험에서는 LCU를 전량 기비로 시용한 것과 전량 분얼비로 시용한 처리구를 두었다.

요소가 토양에 시용되면 urease의 작용에 의하여 암모니아태질소로 가수분해되어 식물체에 의하여 흡수되거나 미생물에 의하여 동화되며 암모니아휘산과 용탈에 의해 손실되고 질산화작용에 의하여 NO_3^- 로 산화되어 식물체에 흡수되거나 용탈 및 탈질작용에 의하여 손실되므로 작물이 시용질소를 흡수, 이용하는 비율은 낮다. 이 실험에서는 암모니아태질소가 질산태질소로 산화되는 과정을 억제하는 것으로 알려져 있는 DCD(dicyandiamide)를 요소 기비와 추비 시용시 혼합 처리하여 기비와 추비 질소의 이용 및 손실률과 생육 및 수량에 대한 질산화억

제제의 영향을 1997년에 검토하였다.

제2절 비료제형에 따른 질소이용효율

1. 재료 및 방법

가. 1998년 실험

시비량은 질소성분량으로 요소는 15kg/10a을, 완효성비료인 LCU(latex coated urea, 동부한농)는 11kg/10a을 사용하였으며 시비처리 표 3-19와 같다. 인산은 6.6kg/10a를, 가리는 7.8kg/10a를 전량 기비로 사용하였다. 4월 29일에 기비를 주고, 4월 30일에 파종하였으며, 5월 30일에 관개를 한 후 4엽기인 5월 31일에 1차 분얼비를 사용하였다. 2차 분얼비는 6엽기인 6월 10일에 하였으며, 수비는 유수형성기인 7월 19일에 사용하였다. 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였다. 질소분석 및 조사항목은 2장 2절의 실험방법에 따랐다.

표 3-19. 요소와 LCU(latex coated urea, N 41%) 처리(1998년)

처리	시비량 (kg/10a)	기비(B)		4엽기(Ft1)		6엽기(Ft2)		수비
		Urea	LCU*	Urea	LCU	Urea	Urea	
T1	15	50	0	25	0	0	25	
T2	15	0	0	25	0	50	25	
T3	11	0	100	0	0	0	0	
T4	11	0	0	0	100	0	0	
T0	0	0	0	0	0	0	0	

나. 2000년 실험

시비량은 질소성분량으로 요소와 LCU 모두 15kg/10a를 사용하였으며, 2000년에 실험한 LCU는 N 43%인 것을 사용하였다. 질소처리는 표 3-20과 같고,

인산과 가리는 모두 8kg/10a를 인산을 전량기비, 가리는 기비70, 수비 30으로 분시하였다. 5월 1일 기비를 주고 5월 2일 건조종자 4kg/10a를 조간 30cm로 조파하였으며, 담수는 3엽기인 6월 5일에 하였고, 분얼비는 4엽기인 6월 8일에, 수비는 유수형성기인 7월 24일에 시비하였고, 출수일은 8월 21일이었다. 실험구 면적은 20m²로써 난괴법 3반복으로 배치하였다. 질소분석 및 조사항목은 2장 3절의 실험방법에 따랐다.

표 3-20. 요소와 LCU(latex coated urea, N 43%) 처리(2000년)

처리	시비량 (kg/10a)	기비-분얼비(4엽기)-수비	비료제형
T1	15	100-0-0	LCU
T2	15	0-100-0	LCU
T3	15	30-40-30	Urea
T4	0	0-0-0	

2. 결과 및 고찰

가. 결과 및 고찰(1998년 실험)

(1) 기비 및 추비질소의 건답기간과 담수초기 손실 및 이용

(가) 토양용액중 무기태질소의 경시적 변화

요소와 LCU를 기비중점 및 추비중점시비한 경우 질소의 행동을 비교하기 위하여 작토층에 해당하는 10cm와 심토층인 40cm에서 주기적으로 토양용액을 채취하여 NO₃-N과 NH₄-N을 분석하였다(그림 3-35). 요소 기비중점시비의 경우 파종·시비 5일후 작토층 NH₄-N 농도는 약 5ppm정도로 약 8.5ppm인 LCU 기비중점 시비에 비하여 월등히 낮았으며 또한 요소의 경우는 이후 급속히 감소하여 담수직전인 파종후 30일에는 기비 무시용구와 같았다. 그러나 LCU의 경우 파종·시비후 17일경에 12.6ppm으로 최대를 이루고 이후 급속히 감소하여 파종후 30일에는 요소 기비중점구와 마찬가지로 질소 무시용구와 같아졌다. 한편 심토

층의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 건답기간중 처리간에 차이가 없었다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 요소와 LCU 기비중점시비 모두 파종·시비후 17일에 요소의 경우는 74.5ppm, LCU의 경우는 93.2ppm으로 최대에 달하였으며 이후 요소의 경우는 급격히 감소하였으나 LCU의 경우는 담수직전까지 감소량이 적고 높게 유지되었다. 이는 심토층의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도에서 보는 바와 같이 요소와 LCU 모두 건답기간중 비슷하게 상당량의 용탈이 있었음을 시사하는데, 이와 같은 차이가 나는 것은 LCU의 경우 용출이 늦어 파종직후의 강우에 의한 요소 혹은 암모니아태질소에 의한 손실이 적었으며, 늦게 용출이 되어 가수분해된 요소가 건답후기의 산화상태 및 고온에 의하여 빠른 속도로 질산화되었기 때문이었다. 한편 4엽기 추비후 요소와 LCU 기비처리구 모두 질산태질소가 급격히 용탈이 되어 추비후 10일에는 작토층의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 무질소구와 같아졌다. 4엽기에 추비처리한 경우 요소와 LCU 모두 표층 및 심토층의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 큰 차이가 없었는데 이는 담수직후 누수가 심하여 요소 추비의 경우 대부분이 요소로 용탈되었기 때문이며 LCU의 경우는 용출이 안되었기 때문인 것으로 판단된다.

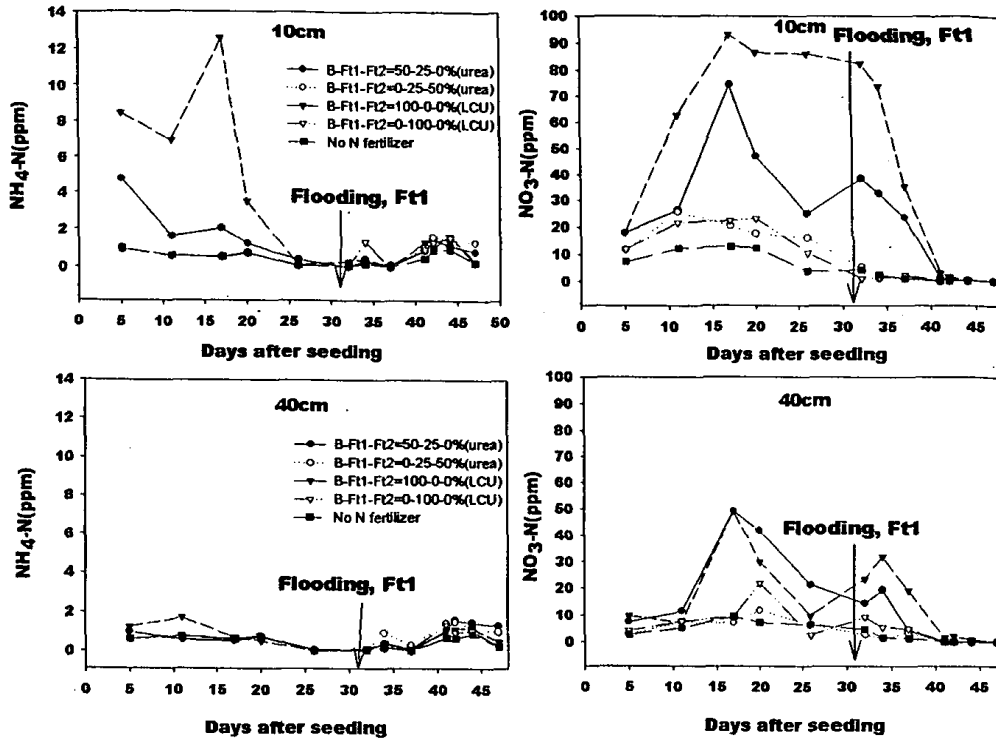


그림 3-35. 요소와 LCU 처리시 토양용액중 암모니아태 및 질산태질소의 경시적 변화

(나) 암모니아 휘산에 의한 손실

요소와 LCU를 기비와 추비로 분시하였을 때 암모니아 휘산에 의한 손실을 나타낸 것이 그림 3-36이다. 건답기간중과 4엽기 및 6엽기 추비후에도 모든 처리구에서 암모니아휘산 손실이 낮아 파종후 61일까지도 모든 처리에서 0.15kg/10a 이하의 손실을 나타내었다. LCU보다 요소처리에서 다소 높은 경향이 있으나 큰 차이는 아니었다.

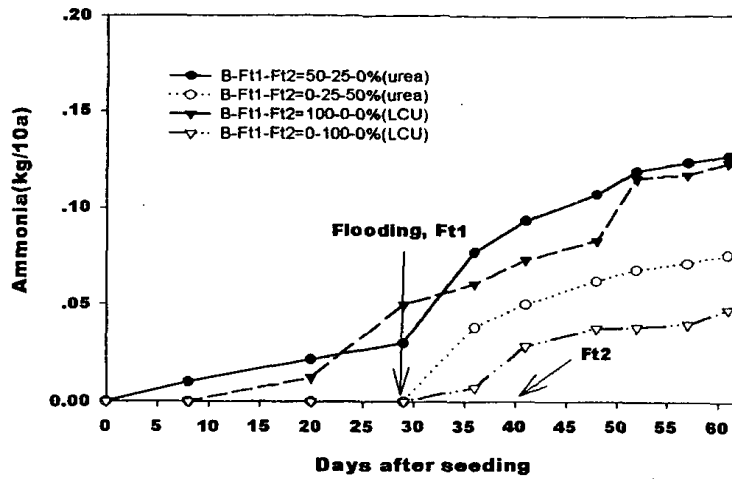


그림 3-36. 요소와 LCU 처리시 암모니아 휘산에 의한 손실의 경시적 변화(1998년)

(다) 토양내 무기태질소의 동태

기비 및 4엽기 추비후 작토 20cm에서 남아있는 비료질소의 양을 차 인법으로 계산하여 경시적으로 나타낸 것이 그림 3-37이다. 파종후 5일에 기비 중점시비의 경우 요소 기비로 시용한 7.5kg/10a의 비료질소 중 49%인 3.8kg/10a 만이 토양중에 무기태질소로 남아있고 나머지 51%는 손실되었는데 이는 파종 당 일과 익일에 내린 강우에 의하여 용탈이 심하게 일어났기 때문이며 LCU 기비중 점시비의 경우는 파종후 강우와 이후의 건조로 인하여 질소용출이 빨리 되어 파 종후 5일에는 기비시비질소(11kg/10a) 모두가 용출이 되어 나왔으며 아직 손실 은 되지는 않았다. 그러나 5일 이후 요소 및 LCU 기비구 모두 급격하게 감소하 여 담수 직전에 요소는 0.65kg/10a로 기비시용질소의 약 9%, LCU는 약 1kg/10a 로 기비시용질소의 약 9%만이 남아 있어서 요소와 LCU간에 기비시용질소 손실량 에는 큰 차이가 없었다. 한편 4엽기 추비후 요소 추비의 경우는 잔존량이 일시 적으로 증가한 후 감소하였으나 LCU 추비의 경우는 거의 증가하지 않았는데 이 는 LCU 시비 초기라서 아직 요소가 용출되어 나오지 않았기 때문에 과소평가된

것이다. 담수후 추비를 한 LCU의 무기태질소는 1kg 정도로 낮았는데 이것은 담수중 용출이 일어나지 않아 검출되지 않은 것으로 생각되었고 요소의 무기태질소는 담수후 4일에 5.9kg으로 최대에 달한 후 감소하였는데 주로 암모니아태질소에 의한 것으로 용탈이 잘 일어나지 않았으나 사양토의 특성상 관개수의 투수에 의하여 용탈하여 손실된 것으로 생각된다.

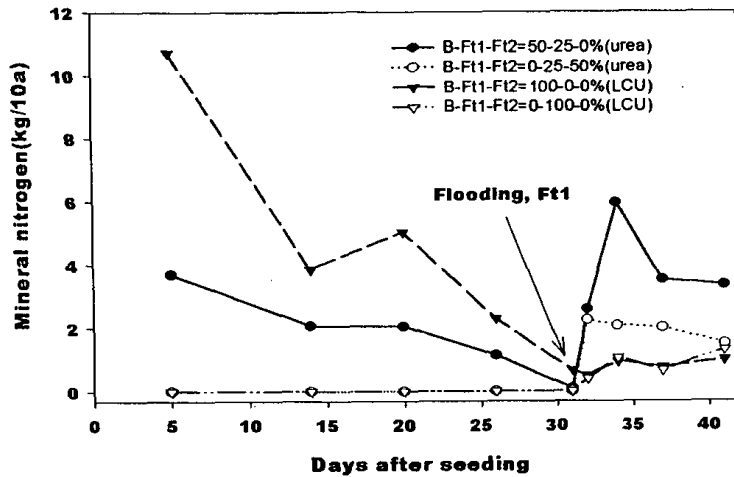


그림 3-37. 요소와 LCU 처리시 토양내 질소잔존량의 경시적 변화

(라) 기비질소의 식물체 이용효율

LCU와 요소를 기비로 사용한 후 4엽기의 담수직전에 벼 식물체에 의한 회수, 토양에 잔류한 질소, 휘산에 의한 손실량을 나타낸 것이 표 3-21이다. 건답기간중 식물체의 질소흡수는 요소와 LCU간에 차이가 없었으며 회수율도 두 비종 모두 2.5% 미만으로 매우 낮았고 토양에 잔류한 질소는 요소의 경우 0.7%, LCU의 경우는 5.5%로 차이가 있었으나 이들 모두 매우 낮은 수준이었다. 질소손실의 경우 암모니아 휘산에 의한 손실은 시비량의 1%내외로 양 비종 모두 매우 낮았으나 용탈 및 탈질에 의한 손실이 커서 요소와 LCU 모두 기비질소의 90%이상이 건답기간중에 손실되었고 비종간에 차이도 크지 않았다. 즉, 요소와

LCU 모두 건답기간중 대부분이 손실되는 것으로 나타났다.

표 3-21. 기비로 사용한 요소 및 LCU의 관개시(4엽기) 질소이용효율 비교(1998)

Fertilizer	Applied N	Plant N uptake		Remaining N in soil		Ammoniacal N volatilized		Apparent N loss	
	kg/10a	kg/10a	%	kg/10a	%	kg/10a	%	kg/10a	%
Urea	7.5	0.19	2.53	0.05	0.71	0.09	1.2	7.17	95.6
LCU	11	0.13	1.18	0.61	5.52	0.07	0.6	10.19	92.6

(2) 질소의 흡수 및 이용

(가) 질소흡수량상

요소와 LCU의 질소흡수 양상을 나타낸 것이 그림 3-38이다. 4엽기 추비전의 생육초기를 제외하고는 모든 생육기간중에 요소의 경우 추비중점시비가 질소흡수량이 많았고 LCU의 경우는 기비중점시비와 추비중점시비간에 큰 차이가 없었다.

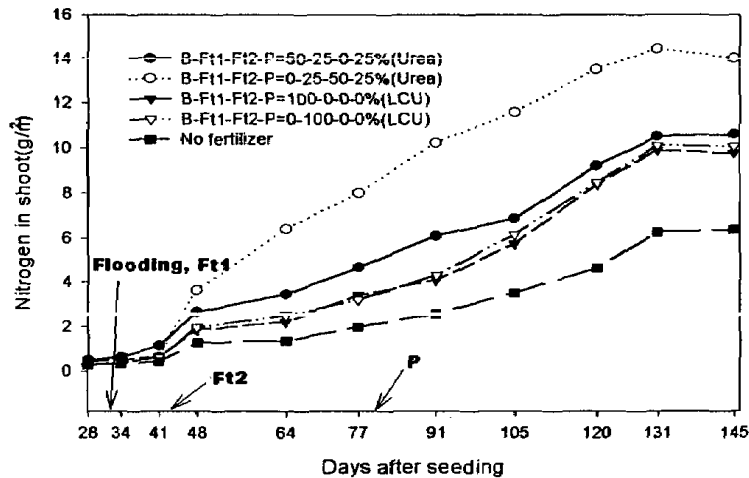


그림 3-38. 요소와 LCU 처리시 지상부 질소흡수량의 경시적 변화

(나) 시비질소의 식물체 이용효율

비료형태에 따른 시비질소의 식물체에 의한 회수, 토양잔류 및 손실 등 시비질소의 수지를 수확기에 차인법으로 계산하여 나타낸 것이 표 3-22이다. 요소와 LCU를 기비중점 사용하였을 때 식물체의 회수율은 각각 28.4%와 33.0%였고 추비중점 사용하였을 때는 각각 54.6%와 35.1%로 요소의 경우는 추비중점 시비가 높았고 LCU의 경우는 기비 및 추비중점 시비간에 차이가 크지 않았다. 또한 요소가 LCU보다 회수율이 높았다. 토양잔류 질소의 양은 모든 처리에서 2%미만으로 적었다. 질소손실의 경우 암모니아휘산에 의한 손실은 비종과 처리에 관계없이 1.5%미만으로 매우 낮았으며 대부분은 용탈과 탈질에 의하여 손실이 되었는데 손실은 추비중점시비에 비하여 기비중점시비가 많았으며 또한 기비중점시비의 경우 비종간에 손실율에 큰 차이가 없었으나 추비중점 사용의 경우 LCU가 손실이 많았다. 지금까지 연구결과에 의하면 LCU와 같은 완효성비료가 회수율이 높고 손실률이 낮다고 하는데, 본 연구 결과는 상반된 결과로서 보다 구체적인 검토가 있어야 할 것으로 판단된다.

표 3-22. 요소와 LCU의 수확시 질소이용효율 비교(1998)

Fertilizer	Treatment (B-Ft1-Ft2)	Applied N kg/10a	Recovered N(%) in			Remaining N in soil	Volatilized ammonia	Nitrogen loss
			Grain	Shoot	Total plant			
- kg/10a(%) -								
Urea	50-25-0%	15	0.66(4.4)	3.61(24.0)	4.26(28.4)	0.10(0.7)	0.2(1.3)	10.44(69.6)
	0-25-50%	15	1.56(10.4)	6.63(44.1)	8.18(54.6)	0.14(0.9)	0.16(1.1)	6.52(43.5)
LCU	100-0-0%	11	0.89(8.1)	2.74(25.0)	3.64(33.0)	0.04(0.4)	0.2(1.5)	7.12(64.7)
	0-100-0%	11	0.87(7.9)	3.00(27.2)	3.86(35.1)	0.21(1.9)	0.1(0.8)	6.83(62.1)

(3) 벼의 생육 및 수량

(가) 벼의 생육

요소와 LCU를 기비중점 및 추비중점 시비한 경우 분얼과 지상부 건물중의 경시적 변화를 나타낸 것이 그림 3-39, 3-40이다. 분얼수와 지상부건물중은 4엽기까지는 기비중점시비구가 추비중점시비구에 비하여 다소 많았으나 추비후 최고분얼기, 출수기 및 수확기의 분얼수와 건물중은 요소 추비중점시비구가 많았다. LCU의 경우는 기비중점시비구가 추비중점시비구에 비하여 초기 분얼은 많았으나 출수기 이후 최종 분얼수에는 차이가 없었으며 건물중은 초기에는 큰 차이가 없었으나 후기에는 추비중점시비구가 많아지는 경향이였다. 한편 요소에 비하여 LCU 처리에서 분얼 및 건물중 모두 작았다.

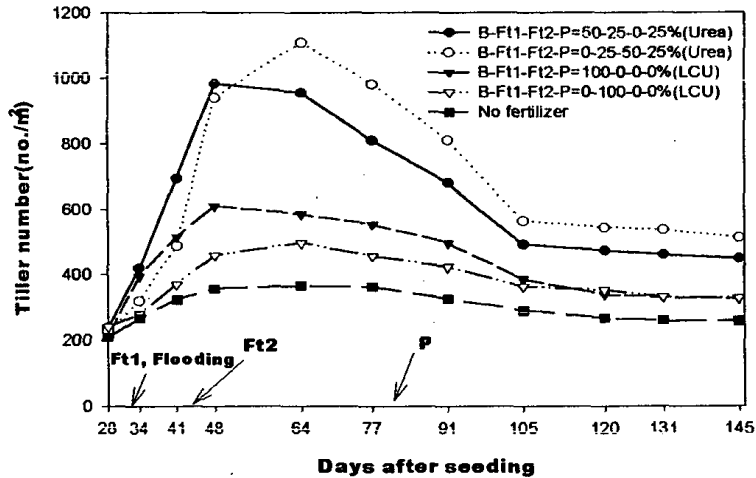


그림 3-39. 요소와 LCU처리시 분얼수의 경시적 변화

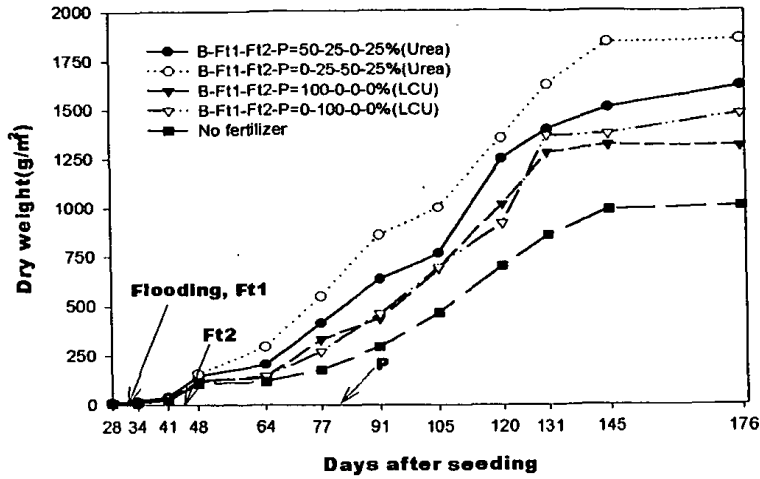


그림 3-40. 요소와 LCU 처리시 지상부건물중의 경시적 변화

(나) 수량 및 수량구성요소

수량과 수량구성요소를 나타낸 것이 표 3-23이다. 요소와 LCU 모두 기비중점시비보다 추비중점시비가 또한 LCU보다 요소시용이 수량이 많았는데, 이는 주로 단위면적당 수수가 유의하게 많았기 때문이다. LCU의 경우 추비중점 시비가 기비중점보다 수량이 높은 것은 수수가 많았기 보다는 수당 영화수가 유의하게 많았기 때문이다.

표 3-23. 수량 및 수량구성요소

비종	처리 (B-F11-F12)	단위면적당(m ²) 이삭수	이삭당 영화수	등숙률 (%)	천립중 (g)	수량 (kg/10a)
Urea	50-25-0%	416.8 b	75.4	92.7 b	25.6 b	745.5 b
	0-25-50%	506.5 a	73.3	90.8 c	24.7 c	830.8 a
LCU	100-0-0%	289.9 c	73.5	96.1 a	28.3 a	579.6 d
	0-100-0%	313.3 c	77.4	95.9 a	28.1 a	654.8 c

나. 결과 및 고찰(2000년 실험)

(1) LCU용출

동부한농의 완효성 비료인 LCU(latex coated urea, N 43%)의 토양내 용출특성을 1999년과 2000년 2년간에 걸쳐 나타낸 것이 그림 3-41이다. 99년은 LCU를 100ml 삼각플라스크에 LCU를 토양과 혼합한 처리(LCU+soil)와 LCU를 100ml 증류수와 혼합하여 실내에서 용출특성을 살펴 보았고, 2000년은 LCU 2g을 토양 25-30g과 혼합하여 망사(L×H=6×12cm)에 넣어 건담포장 10cm 깊이에 묻어 포장조건에서의 용출특성을 살펴본 것이다. 실내에서 단지 토양과 혼합할 경우 초기에는 급격히 감소하는 경향이었으나 이후 그 용출속도가 매우 완만해진 반면, 포장조건에서는 파종후 10일까지 전체의 약 40%, 파종후 23일까지 전체의 약 50%가 용출되었으며 특히 관개이후에는 용출속도가 감소하였으나 출수전까지는 모두 용출이 되었다.

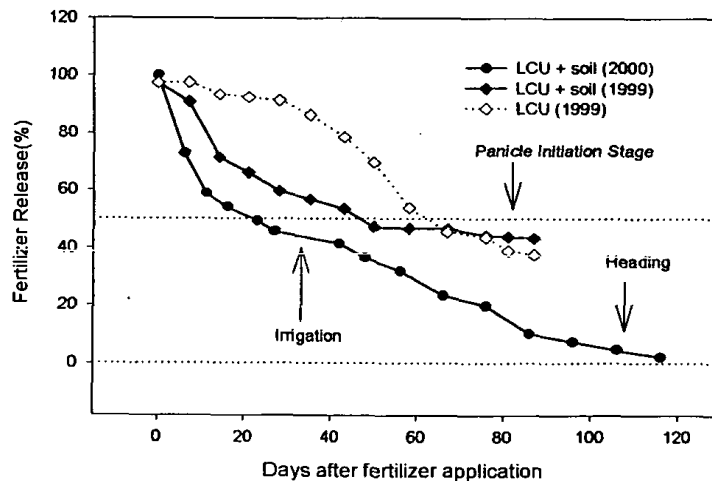


그림 3-41. LCU의 실내 및 토양내 용출특성

(2) 토양중 무기태질소의 동태

토양중 무기태질소의 동태를 나타낸 것이 그림 3-42이다. LCU 전량기 비처리구(T1)에서 건담기간중 높게 유지되었는데, 요소처리구(T3)는 시비 6일후

에 가장 높았다가 급격히 낮아진 반면 T1은 시비 11일후까지 계속 높아지다가 감소하였다. LCU를 전량 분얼비로 처리하였을 경우에는 시비후 5일후에 LCU 전량 기비처리구(T1)보다도 질소농도가 높았고 이후 급격히 감소하였으며 출수기 전에는 거의 모든 처리구의 토양내 질소가 무비와 비슷한 경향이었다.

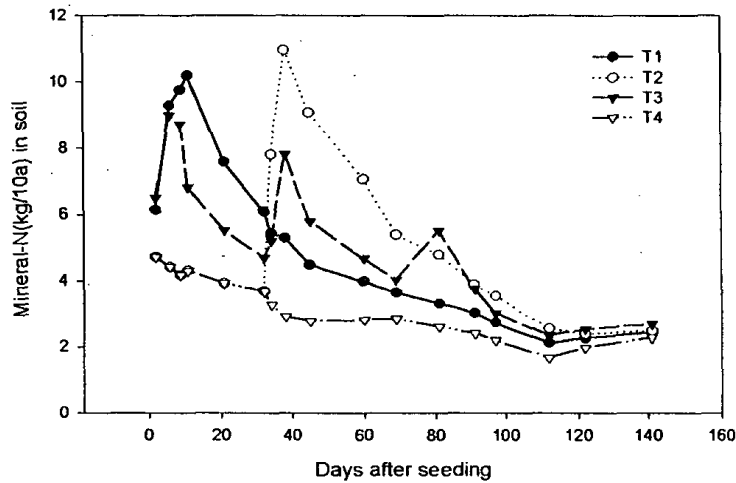


그림 3-42. 토양내 무기태질소의 동태

(3) 건물중 및 지상부 질소흡수량

건물중 및 지상부 질소흡수량을 나타낸 것이 그림 3-43이다. 지상부 건물중과 질소흡수량은 요소관행처리구(T3)>LCU 전량 분얼비처리구(T2)>LCU 전량 기비처리구(T1)>무비구(T4)의 순이었다. 특히 건물중과 질소흡수량은 출수이전까지는 LCU 전량 분얼비처리구에서 가장 높았으나 유수형성기 이후부터는 수비를 시용한 요소관행구가 가장 많았다.

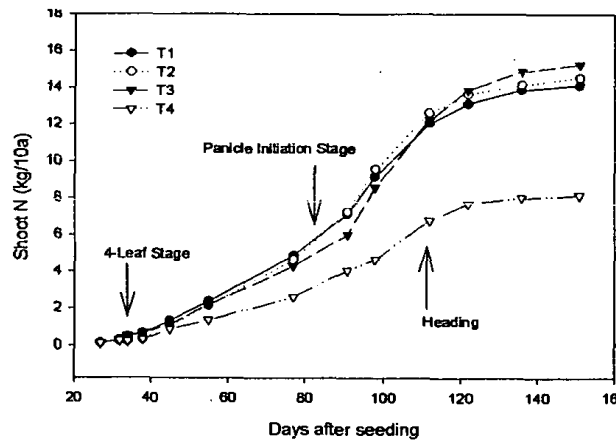
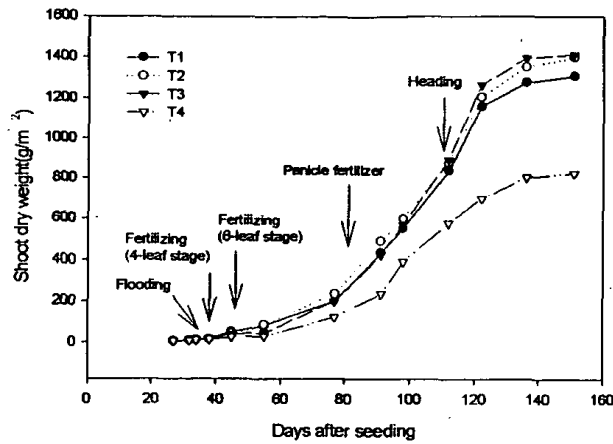


그림 3-43. 건물중(왼쪽) 및 지상부 질소흡수량(오른쪽)

(4) 수량 및 수량구성요소

LCU를 전량기비로 처리한 T1이 수량이 가장 높았는데, 이는 단위면적당 이삭수와 이삭당 영화수가 LCU를 전량 분얼비로 처리한 T2보다 많았고 등숙률 또한 높았기 때문이다. 수량은 LCU전량기비(T1)>관행시비(T3)>LCU전량분얼비(T2)>무비구(T4)의 순이었다(표 3-24). 비록 건물중과 지상부 질소흡수량이 요소관행시비(T3)에서 가장 많았음에도 불구하고 수량은 LCU전량 기비구(T1)에서 가장 높았는데, 이는 요소처리구가 단위면적당 이삭수가 많음에도 불구하고 이삭당 영화수가 적었기 때문으로 판단되어진다.

표 3-24. 수량 및 수량구성요소

처리	단위면적(m ²)당 이삭수	이삭당 영화수	등숙률 (%)	천립중 (g)	수량 (kg/10a)
T1	327.67 b	75.65 a	82.60 b	27.31 a	587.26 a
T2	318.33 b	73.89 a	81.35 b	27.89 a	520.76 b
T3	353.62 a	67.95 b	81.58 b	27.34 a	529.33 b
T4	232.96 c	58.84 c	85.78 a	27.62 a	327.91 c

이상의 결과를 요약하면, 1998년에는 요소관행처리구>LCU전량분얼비처리구>LCU전량기비처리구의 순으로 수량이 높았던 반면 2000년에는 LCU전량기비처리구>요소관행처리구>LCU전량분얼비처리구의 순으로 수량이 높게 나타났다. 1998년의 실험에서는 요소와 LCU를 기비시용한 경우에는 비종에 관계없이 이용효율이 매우 낮았으나 2000년의 실험에서는 LCU를 전량 기비시용한 경우가 요소 관행처리구보다 이용효율이 높았다. 또한 LCU를 전량기비로 시용한 경우가 1998년에는 LCU를 전량 분얼비로 시용한 경우보다 시비효율이 낮았으나 2000년에는 반대의 결과가 나타나 이에 대한 보다 종합적인 검토가 필요할 것으로 보인다. 하지만 LCU를 전량 기비로 시용한 경우나 전량 분얼비로 시용한 경우는 요소를 시용한 경우와 비교하여 볼 때 생육이나 수량성면에서 큰 차이가 없기 때문에 생력화측면에서 매우 유리할 것으로 보인다.

제3절 질산화억제제 처리시 질소이용효율

1. 재료 및 방법

가. 요소와 DCD처리

벼 건답직파재배에서 요소분시와 질산화억제제(DCD, dicyandiamide, C₄H₄N₄) 처리가 窒素 損失 및 吸收利用과 벼의 생육 및 수량에 미치는 영향을 비교·검토하고자 본 시험을 1997년에 수행하였으며 질소분시 및 질산화억제제 처리는 표 3-25에서 보는 바와 같다. 질소는 요소를 분시하였고 DCD는 각 시기에 사용한 질소성분량의 10%에 해당하는 양을 물에 녹여서 논 표면에 분무처리한 후 흙을 교반하여 작토층에 잘 섞이도록 하였다. 그밖에 인산과 가리는 각각 성분량으로 10kg/10a을 용과린과 염화가리로 전량 기비로 사용하였다. 파종은 5월 20일에 하였으며 기비는 파종 1일전(5월 19일), 4엽기 추비는 파종후 30일(6월 20일), 6엽기 추비는 파종후 40일(6월 30일), 수비는 7월 18일에 시비하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 실시하였다. 토양 및 토양용액중의 무기태질소, 암모니아 휘산 등과 생육 및 수량 등의 조사는 2장 2절의 방법에 따랐다.

표 3-25. 요소와 질산화억제제(DCD, dicyandiamide) 처리(1997)

Treatment	Nitrogen applied (kg/10a)	Split application rate of nitrogen(%)				
		Basal		4th leaf stage		Panicle initiation stage
		Urea	DCD	Urea	DCD	Urea
T1	12	50	0	25	0	25
T1D	12	50	10%*	25	0	25
T2	12	0	0	75	0	25
T2D	12	0	0	75	10%*	25
T0	0	0	0	0	0	0

* DCD was applied at the rate of 10% of the nitrogen applied.

나. 중질소(¹⁵N)를 이용한 질소동태 조사

실험처리는 표 3-25와 같으며, 건답직파 포장에 plastic pipe(직경 30cm, 길이 30 cm)를 논에 20cm 깊이로 박고 시비처리 하였다. 수확기에 plastic pipe 식물체 전체를 수확하여 건물중, 수량, 전질소함량 및 N¹⁵ 함량을 조사하였으며

또한 포트내의 토양을 5cm 간격으로 30cm 까지 채취하여 전질소 및 N^{15} 함량을 측정하였다. N^{15} 분석은 시료를 Kjeldahl법에 의해 암모니아로 전환된 것을 증류하여 농축한 후 Rittenberg method에 의해 공기가 없는 상태(진공펌프사용, 아르곤가스로 치환)에서 NaOBr로 산화시켜 암모니아태 질소를 질소가스로 전환하여 OPTIMA(Isotope Ratio Mass Spectrometers)분석기에 의해 N_2 의 동위원소 조성 분석을 하였다. 질소는 성분량으로 12kg/10a을 사용하였는데 기비와 분얼비 질소는 ^{15}N 표지 요소(^{15}N atom 98%)와 시판 요소(^{15}N atom 0.366%)를 혼합하여 ^{15}N 원자가 4%가 되도록 용액을 만들어 사용하였고 수비는 시판요소만으로 사용하였다. 질산화억제제 DCD는 질소사용량의 10%를 요소와 함께 물에 녹여 사용하였다. 인산과 가리는 각각 성분량 10kg/10a을 용과린과 염화가리로 전량 기비로 사용하였다. 추비는 4엽기인 6월 21일, 수비는 7월 19일에 사용하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 실시하였다.

포트 식물체 전체를 수확한 후 이삭, 잎 및 줄기 부분으로 나누어 80℃ 건조기에서 48시간 건조 후 건물중을 측정하고 마쇄한 시료를 이용하여 전질소 함량 및 ^{15}N 함량을 조사하였다. 또한 포트내의 토양을 20cm간격으로 60cm까지 채취하여 전질소 및 ^{15}N 함량을 조사하였다. 전질소분석은 Kjeldahl(Kjeltec auto sampler system 1035 analyzer)로 분석하였고 ^{15}N 함량은 ICP Optical Emission Spectrometer로 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 기비와 추비질소의 건답기간 및 담수초기 손실 및 이용

(1) 토양용액 중 무기태질소의 경시적 변화

기비 사용시 요소 단독처리와 요소와 DCD 혼합처리 요소의 형태변화와 토양중에서의 행동을 파악하기 위하여 작토층에 해당하는 토중 10cm와 심토층인 50cm에서 주기적으로 토양용액을 채취하여 NO_3-N 과 NH_4-N 을 분석하였다(그림

3-44).

작토층의 토양용액중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 요소단독처리구는 파종후 11일에 12.7ppm으로, DCD혼합처리구는 13일에 14.3ppm으로 최대였으며 이후 두처리 모두 급격히 감소하여 파종후 21일에는 각각 0.7ppm과 3.9ppm으로 급격하게 낮아졌고 심토층의 경우는 두처리 모두 무질소구와 기비시용구 사이에 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도의 차이가 없었는데 이는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 으로는 건답기간중 거의 용탈이 일어나지 않았음을 의미한다. 기비로 요소를 단독시용한 구의 작토층 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 파종후 계속 증가하여 11일에는 38.9ppm까지 증가하였다가 13일에는 50ppm으로 최대에 달하였으며 DCD 혼합처리구는 요소 단독 처리구에 비하여 현저히 농도가 낮았다. 이와 같이 DCD 처리를 한 경우 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 높고 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 요소 단독 처리에 비하여 낮아 DCD 처리가 질산화를 억제하여 지연시켰음을 알 수 있다.

답수이후 작토층의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 급격히 감소하기 시작하였으나 심토층의 경우는 오히려 증가하여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 용탈이 심하게 일어났으며 그 정도는 DCD처리에서 적었다. 이상의 결과들로부터 볼 때 DCD 처리는 질산화를 억제하여 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로의 산화가 지연되어 건답기간중 탈질과 용탈에 의한 손실이 감소되었을 것으로 유추할 수 있다. 그러나 건답기간이 끝나고 답수한 시기에는 DCD를 처리한 경우라도 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 거의 남아있지 않고 모두 이동성이 좋은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 존재하여 답수후 투수와 함께 용탈되어 작토층의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 답수 10일이내에 무질소구와 같은 수준으로 낮아졌다. 한편 다른 연구자들(Bronson 등, 1991; Norman 등, 1989)도 DCD 처리에 의하여 건답기간중 질소의 용탈 및 탈질에 의한 손실이 감소되었음을 보고하였다. 파종후 30일에 답수를 하고 추비를 하였을 때 추비중점시비구의 경우 추비 후 암모니아태질소나 질산태질소의 농도가 건답기간과 달리 뚜렷한 변화를 보이지 않았는데 이는 관개수에 의한 희석 효과뿐만 아니라 이동성이 큰 요소가 그 자체로 용탈이 심하게 일어났기 때문인 것 같으로 판단되며, 요소 단독 추비중점구의 경우 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 작토 및 심토층에서

모두 DCD 혼합처리구보다 높아 요소 단독처리시 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 용탈도 상당량 일어난 것으로 판단된다.

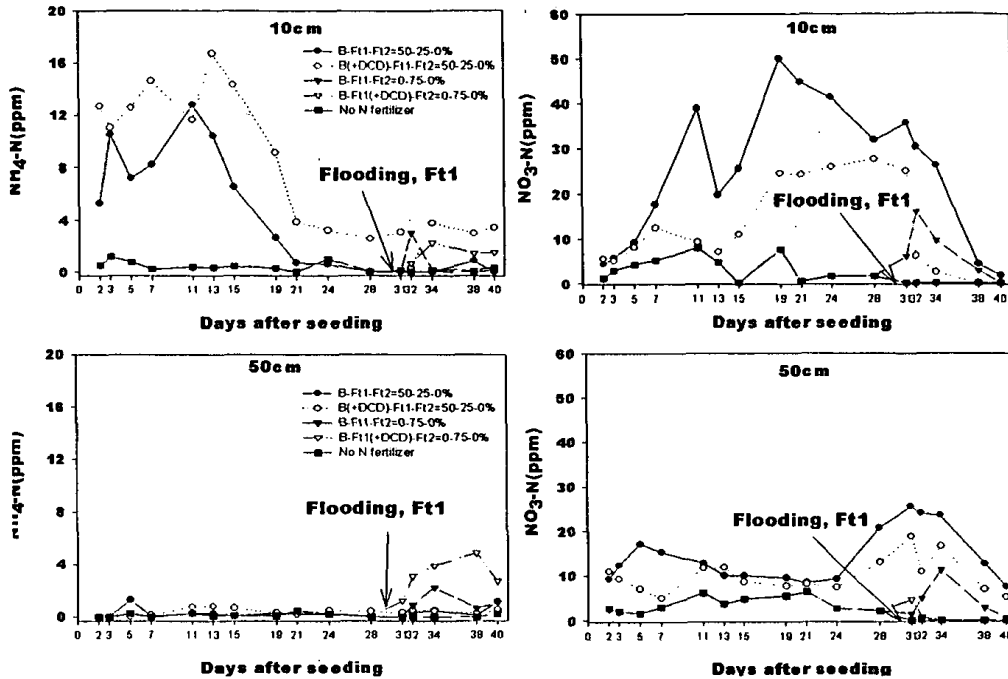


그림 3-44. 요소와 DCD처리시 토양용액중 무기태질소의 경시적 변화(1997)

(2) 암모니아 휘산에 의한 손실

토양중에 사용된 요소는 자체로 용탈되거나 가수분해되어 암모니아 가스로 휘산하여 손실되거나 질산화되어 용탈하는 과정에 의하여 많은 손실이 일어난다. 그림 3-45는 기비와 4엽기 추비시에 요소를 단독으로 사용하거나 DCD를 첨가하여 사용한 경우에 암모니아휘산에 의한 손실을 누적하여 나타낸 것이다. 건답기간중 사용된 기비질소의 휘산에 의한 손실은 요소만 처리한 것은 0.66kg/10a이었고, DCD 첨가를 한 것은 0.98kg/10a으로 5%정도 DCD 처리한 경우에 증가하였으며 또한 4엽기 추비 이후도 DCD 혼합처리의 경우가 암모니아 휘산이 많았는데 이는 DCD 첨가에 의하여 토양중 암모니아태 질소의 농도가 증가한

데 기인된 것으로 생각된다(그림 3-44).

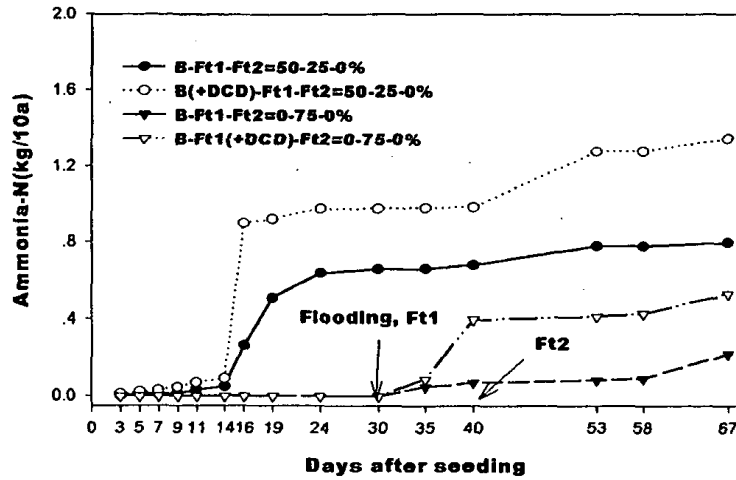


표 3-45. 요소와 DCD처리시 암모니아취산의 경시적 변화(1997)

(3) 토양내 무기태질소의 동태

요소를 기비로 사용하였을 때 DCD 첨가의 유무에 따른 시비질소의 토양중 殘存量을 나타낸 것이 그림 3-46이다. 시비질소 잔존량은 기비구의 작토 20cm중 총 무기태질소에서 무질소구의 작토 20cm중 총 무기태질소를 빼어서 계산하였다. 건답기간중 시비질소의 잔존량은 요소단독으로 시비한 경우 파종후 계속하여 감소하였으며 4엽기 담수직전에 0.33kg/10a가 남아있었으며 요소와 DCD를 혼합처리하였을 때는 0.72kg/10a가 남아있었는데 이는 DCD 처리구의 경우 질산화가 억제·지연되어 암모니아태 질소의 농도가 요소단독 시용구보다 높고 질산태질소 농도가 낮아(그림 3-44) 이에 따른 용탈과 탈질에 의한 손실이 더 적었기 때문인 것으로 판단된다.

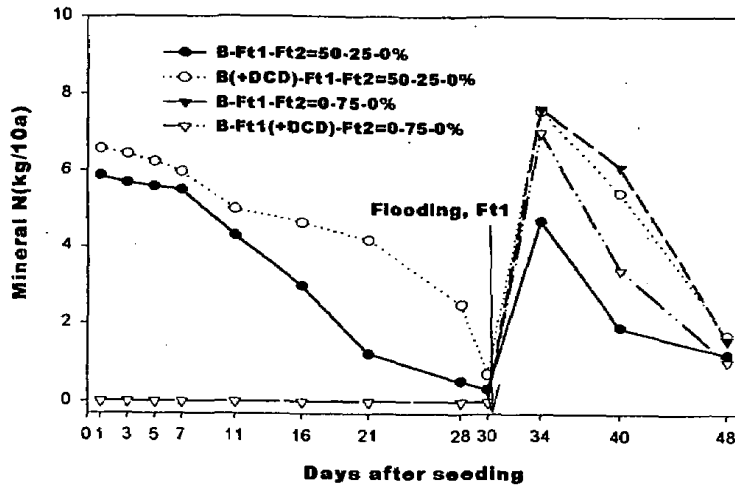


그림 3-46. 요소와 DCD처리시 토양내 무기태질소의 변화

(4) 기비질소의 식물체 이용효율

기비로 요소를 단독 사용한 경우와 요소와 DCD를 혼합 처리하여 건답 기간중 식물체와 토양에 의한 회수율과 손실률을 차인법으로 계산하여 나타낸 것이 표 3-26이다. 식물체의 흡수율은 요소 단독처리가 3.2%였고 DCD 혼합처리가 3.8%로 다소 높았으나 큰 차이는 아니었다. 토양중 잔존 질소는 DCD 처리를 한 경우가 요소 단독 사용구에 비하여 6.5% 정도 높은 12%였고, 암모니아에 의한 휘산 손실량은 DCD를 처리한 경우가 요소 단독 사용구에 비하여 5% 높은 16.3%였다. 요소 단독사용구와 요소와 DCD 혼합처리구의 건답기간중 총 질소 손실률은 각각 91.2%와 84.2%로 DCD 처리구가 약 7% 손실이 적었는데 이는 용탈 및 탈질에 의한 손실이 적었기 때문이었다.

표 3-26. 기비로 사용한 요소와 DCD의 관개시(4엽기) 식물체 이용효율

Treatment (Applied N+DCD) kg/10a	Plant N uptake		Remaining N in soil		Ammoniacal N volatilized		Apparent total N loss	
	kg/10a	%	kg/10a	%	kg/10a	%	kg/10a	%
6.0	0.19	3.2	0.33	5.5	0.66	11.0	5.48	91.2
6.0+DCD	0.23	3.8	0.72	12.0	0.98	16.3	5.05	84.2

*DCD was applied at the rate of 10% of applied nitrogen.

나. 질소흡수 및 이용

(1) 1차 분얼비의 질소이용효율

벼 4엽기에 답수를 한 다음 추비를 한후 10일간 작토층에 잔존하는 질소와 식물체의 질소흡수율을 차인법에 의하여 계산한 것이 표 3-27이다. 식물체에 의한 흡수율, 토양잔존율은 요소 추비시 DCD를 혼합처리한 것이 다소 높으며 암모니아휘산에 의한 손실률은 DCD 처리구가 높았다. 암모니아휘산, 용탈 및 탈질에 의한 총 질소의 손실은 요소 단독처리의 경우 시비 질소의 51.1%였고 DCD 첨가처리는 46.4%로 약 5% 정도 DCD 혼합처리가 적었다. 답수후 초기에는 토양의 산화·환원충분화가 발달되지 않고 관개수의 투수량이 많으며, 요소가 가수분해되기전에 요소질소로 용탈이 심하게 일어나기도 하지만 질산화작용도 활발하게 일어나서 질산태질소에 의한 용탈손실이 많은데 DCD 처리는 질산화작용을 억제하여 NO₃-N 용탈을 감소시켜 손실이 줄어든 것으로 판단된다.

표 3-27. 1차로 시비한 분얼비(4엽기)의 시비 10일후의 질소이용효율

Treatment (Applied N+DCD) kg/10a	Plant N uptake		Remaining N in soil		Ammoniacal N volatilized		Apparent total N loss	
	kg/10a	%	kg/10a	%	kg/10a	%	kg/10a	%
9.0	1.28	14.2	3.12	34.7	0.07	0.8	4.60	51.1
9.0+DCD	1.41	15.7	3.41	37.9	0.40	4.4	4.18	46.4

(2) 지상부 질소흡수량

요소와 DCD처리를 한 요소의 기비 및 추비시 DCD 첨가처리에 따른 벼 지상부의 질소 흡수량의 생육기간중 경시적 변화를 나타낸 것이 그림 3-47이다. 요소 분시는 질소 시비량을 12kg/10a로 하여 기비중점시비(기비-4엽기추비-수비=50-25-25%)와 4엽기추비중점시비(기비-4엽기추비-수비=0-75-25%)를 하였으며 DCD를 첨가한 구와 첨가하지 않은 대조구를 두었다. 질소 흡수량은 생육초기를 제외하고는 4엽기 추비중점시비가 기비중점시비에 비하여 전 생육기간을 통하여 높았으며, 수확기 질소 흡수량은 4엽기추비중점시비가 7.5-8.8kg, 기비중점시비는 5.6-6.3kg 범위였으며, 기비 및 추비중점 시비 모두 DCD를 첨가하였을 때 흡수량이 많았다.

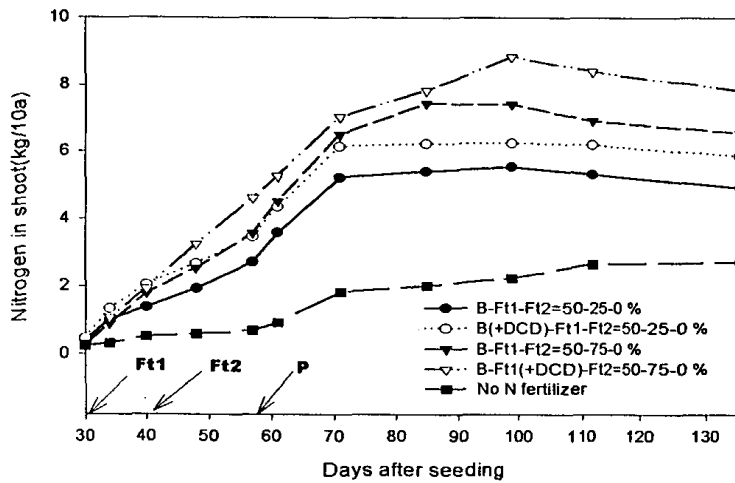


그림 3-47. 요소와 DCD처리시 지상부 질소흡수량의 경시적 변화(1997)

(3) 시비질소의 수확시 질소이용효율 검토

수확후 시비질소의 식물체에 의한 회수, 토양잔류 및 손실 등 질소의 수지를 수확기에 차인법으로 계산하여 나타낸 것이 표 3-28이다. 기비중점시비보다 추비중점시비에서 질소의 식물체 흡수와 토양 잔류량이 많았으며 분시방법

에 관계없이 DCD 첨가에 의하여 증대하였다. 암모니아휘산에 의한 손실은 처리에 따라 2.5~11.3%이었는데 추비중점보다는 기비중점시비가 요소 단독처리보다는 DCD 첨가가 암모니아 휘산량이 높았지만 전체적으로 용탈이나 탈질에 의한 양보다는 적었다. 전체 질소손실량과 용탈 및 탈질에 의한 손실은 기비중점시비보다 추비중점시비가 적었으며 DCD 처리에서 감소되었다.

표 3-28. 시비질소의 수확시 질소이용효율

Treatment (B-Ft1-Ft2, DCD)	Applied N kg/10a	Recovered N in			Remaining N in soil	Volatilized ammonia	Apparent N loss
		Grain	Shoot	Total plant			
50-25	12	0.53(4.4)	2.80(23.3)	3.32(27.7)	0.08(0.7)	0.85(7.1)	7.70(64.2)
50(+DCD)-25	12	0.59(4.9)	3.44(28.6)	4.02(33.5)	0.14(1.2)	1.36(11.3)	6.48(54.0)
0-75	12	0.62(5.2)	4.56(38.0)	5.18(43.2)	0.31(2.6)	0.3(2.5)	6.21(51.8)
0-75(+DCD)	12	1.33(11.1)	5.27(43.9)	6.60(55.0)	0.55(4.6)	0.6(5.0)	4.25(35.4)

(4) N^{15} 을 이용한 시비질소의 회수율과 질소이용효율

프라스틱 원통을 포장에 박아 설치한 microplot에서 ^{15}N 표지 요소를 이용하여 요소 분시 및 DCD 처리실험을 실시하여 수확시 ^{15}N 의 식물체에 의한 회수율과 60cm까지의 토양 중 잔류율을 조사한 것이 표 3-29이다. 식물체에 의한 ^{15}N 회수율은 포장실험과 마찬가지로 기비중점보다 추비중점시비에서 높았고 비료의 손실 역시 기비중점시비에서 많았다. 한편 DCD 처리 유무에 따라서는 식물체에 의한 회수율은 DCD 처리가 통계적으로 유의한 차이는 아니나 다소 높고, 질소의 전체 손실은 같거나 DCD 처리(추비중점)에서 유의하게 낮았다. 이와 같은 경향은 앞서 설명한 차인법에 의한 결과와 비슷하다. 다만 식물체에 의한 회수율은 차인법에 비하여 낮게 손실률은 높게 평가되었는데 이는 priming effect에 의한 것으로 판단된다(Hauk와 Bremmer, 1976; Jenkinson 등, 1985). 토양에

서 질소 잔류율은 분얼비 시용시 DCD를 첨가한 구에서 14.5%로 가장 높았는데 토양에 잔류한 질소는 다음에 재배되는 작물에 흡수되기 보다는 작물이 생육하지 않는 기간 동안에 손실되고(Bouwmeester 등, 1984), 또한 이렇게 손실되는 질소는 수질오염의 문제를 제기할 것으로 판단된다.

표 3-29. 요소와 DCD처리시 중질소(¹⁵N)를 이용한 질소이용효율

Treatment (B-Ft1-Ft2, DCD)	Recovered N(%) in			Recovered in soil (%)	Fertilizer loss(%)
	Panicle	Shoot	Total		
50-25-0	6.9 b	5.0 b	11.9 b	9.0 b	79.1 a
50(+DCD)-25-0	8.7 b	6.5 b	15.2 b	3.4 c	81.9 a
0-75-0	17.3 a	12.8 a	30.1 a	3.4 c	66.5 ab
0-75(+DCD)-0	18.9 a	14.0 a	32.9 a	14.5 a	52.4 b

다. 벼의 생육 및 수량

(1) 벼의 생육

요소와 질산화억제제(DCD)에 따른 분얼과 지상부건물중을 나타낸 것이 그림 3-48, 3-49이다. 분얼수와 지상부건물중은 4엽기에 추비하기 직전에는 기비중점시비구가 추비중점시비구에 비하여 다소 많았으나 추비를 한 후에는 추비중점시비구가 기비중점시비구를 상회하여 최고분얼기, 출수기 및 수확기 분얼수는 추비중점시비구가 많았다. 또한 동일한 시비처리에서는 DCD를 첨가한 것이 많았는데 DCD 처리에 따른 차이는 기비중점시비에서 컸다.

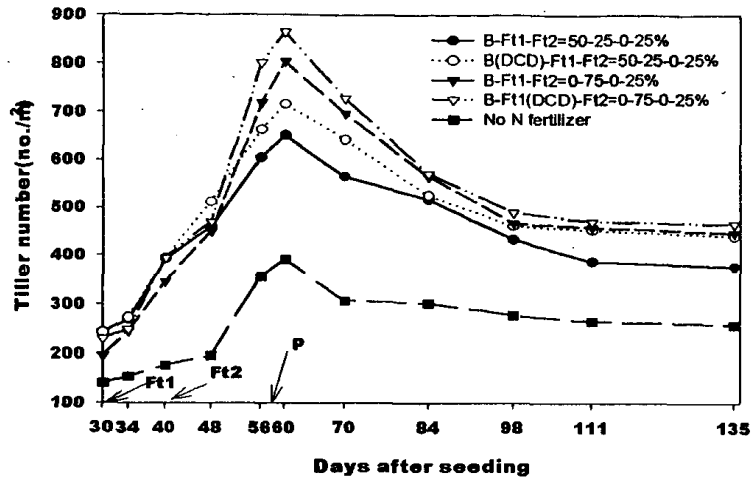


그림 3-48. 요소와 DCD처리시 분얼수의 경시적 변화(1997)

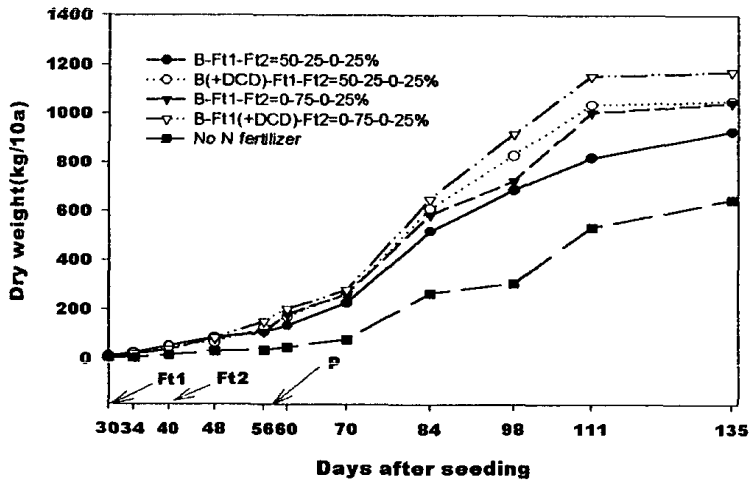


그림 3-49. 요소와 DCD처리시 지상부 건물중의 경시적 변화(1997)

(2) 수량 및 수량구성요소

수량 및 수량구성요소를 나타낸 것이 표 3-30이다. 수량은 기비중점시비보다 추비중점시비가 DCD 무처리보다는 DCD 처리가 많았는데 이는 수량구성요소중 수수가 유의하게 많았기 때문이었다. DCD 처리에 따른 수량은 추비 시용시보다 기비 시용시에 처리한 것이 컸다.

표 3-30. 수량 및 수량구성요소

처리 (B-Ft1-Ft2, DCD)	단위면적(m ²)당 이삭수	이삭당 영화수	등숙률 (%)	천립중 (g)	수량 (kg/10a)
50-25-0	398 c	59.3 ab	92 ab	26.3 a	568.6 b
50(+DCD)-25-0	539 a	56.2 ab	90 ab	24.7 c	664.2 a
0-75-0	455 b	56.3 ab	91 ab	25.9 ab	598.9 ab
0-75(+DCD)-0	547 a	53.0 b	88 b	24.8 c	630.4 ab

이상의 결과를 요약하면, 질소의 질산화과정을 억제하기 위해 DCD를 처리한 경우 요소단독 처리구에 비해 암모니아태질소 농도는 높고 질산태질소 농도는 낮아 DCD처리가 질산화과정을 억제하는 효과를 나타내었다. DCD를 처리한 경우가 무처리구에 비해 질소이용효율과 수량이 높았다. DCD를 기비에 처리한 경우가 분얼비로 처리한 경우보다 효과가 더욱 컸는데, 이는 건답기간중 대부분의 질소가 질산화과정을 거쳐 용탈·탈질되어 손실되는 것을 억제시켰기 때문으로 판단되어진다.

제4절 적요

건답직파재배에서 질소의 이용효율을 높이고 생력화재배를 도모하기 위해서 완효성비료 LCU(latex coated urea)를 가지고 1998년과 2000년에 걸쳐 실험하였다. 1998년에는 요소관행처리구>LCU전량분얼비처리구>LCU전량기비처리구의 순으로 수량이 높았던 반면 2000년에는 LCU전량기비처리구>요소관행처리구>LCU전량분얼비처리구의 순으로 수량이 높게 나타났다. 1998년의 실험에서는 요소와 LCU를 기비시용한 경우에는 비중에 관계없이 이용효율이 매우 낮았으나 2000년의 실험에서는 LCU를 전량 기비시용한 경우가 요소 관행처리구보다 이용효율이 높았다. 또한 LCU를 전량기비로 시용한 경우가 1998년에는 LCU를 전량 분얼비로

사용한 경우보다 시비효율이 낮았으나 2000년에는 반대의 결과가 나타나 이에 대한 보다 종합적인 검토가 필요할 것으로 보인다. 하지만 LCU를 전량 기비로 사용한 경우나 전량 분얼비로 사용한 경우는 요소를 사용한 경우와 비교하여 볼 때 생육이나 수량성면에서 큰 차이가 없기 때문에 생력화측면에서 매우 유리할 것으로 보인다.

건답기간중 기비로 사용된 요소는 대부분이 질산화과정을 거쳐서 용탈되거나 환원되어 탈질되는데 이러한 질산화과정을 억제시키는 것으로 알려져 있는 DCD(dicyandiamide)로써 질소이용효율을 높이고자 1997년에 실험을 수행하였다. 질소의 질산화과정을 억제하기 위해 DCD를 처리한 경우 요소단독 처리구에 비해 암모니아태질소 농도는 높고 질산태질소 농도는 낮아 DCD처리가 질산화과정을 억제하는 효과를 나타내었다. DCD를 처리한 경우가 무처리구에 비해 질소이용효율과 수량이 높았다. DCD를 기비에 처리한 경우가 분얼비로 처리한 경우보다 효과가 더욱 컸는데, 이는 건답기간중 대부분의 질소가 질산화과정을 거쳐 용탈·탈질되어 손실되는 것을 억제시켰기 때문으로 판단되어진다.

참고문헌

- Bhuiyan, N. I., R. T. Crasswell, and D. R. Bouldin. 1984. Yield and crop parameters of wetland rice as influenced by soil and fertilizer nitrogen. *Plant and Soil*. 79 : 369-381.
- Carreres, R., R. Gonzalez T., J. Sendra, R. Ballesteros, E. Fernandez V, A. Quesada, M. Nieva, and F. Leganes. 1996. Effect of nitrogen rates on rice growth and biological nitrogen fixation. *Journal of Agricultural Science*. 127 : 295-302

- De Datta, S. K. 1986. Improving nitrogen fertilizer efficiency in lowland rice in tropical Asia. *Fert. Res.* 9 : 171-186
- De Datta, S. K. 1987. Nitrogen transformation process in relation to improved cultural practices for lowland rice. *Plant and Soil.* 100 : 47-69
- Fillery, I. R. P., P. L. G. Vlek, J. R. Simpson, and S. K. De Datta. 1986. Contribution of ammonia volatilization to total nitrogen loss after application of urea to wetland rice fields. *Fert. Res.* 8 : 193-202.
- Hongprayoon, C., C. M. Lindau, W. H. Patrick, Jr., D. R. Bouldin, and K. R. Reddy. 1991. Urea transformations in flooded soil columns : 1. Experimental results. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55 : 1130-1134.
- Humphreys, E., W. A. Muirhead, F. M. Melhuish, R. J. G. White, P. M. Chalk, and L. A. Douglas. 1987. Effects of time of urea application on combine-sown Calrose rice in south-east Australia. II. Mineral nitrogen transformations in the soil-water system. *Aust. J. Agric. Res.* 38 : 113-127.
- Humphreys, E., P. M. Chalk, W. A. Muirhead, F. M. Melhuish, and R. J. G. White. 1987. Effects of time of urea application on combine-sown Calrose rice in south-east Australia. III. Fertilizer nitrogen recovery, efficiency of fertilization and soil nitrogen supply. *Aust. J. Agric. Res.* 38 : 129-138.
- Moore, P. A., Jr., J. T. Gilmour, and B. R. Wells. 1981. Seasonal pattern of growth and soil nitrogen uptake by rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45 : 875-879
- Norman, R. J., B. R. Wells, and K. A. K. Moldenhauer. 1989. Effect of application method and dicyandiamide on urea-nitrogen-15 recovery in rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53 : 1269-1274.
- Norman, R. J., D. Gunido, B. R. Wells, and C. E. Wilson, Jr. 1992. Seasonal accumulation and partitioning of nitrogen-15 in rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56 : 1521-1527.
- Norman, R. J., B. R. Wells, and R. S. Helms. 1988. Effect of nitrogen

- source, Application time and dicyandiamide on rice yields. *J. Fert. Issues* 5 : 78-82.
- Peng, S., F. V. Garcia, A. L. Sanico, R. M. Visperas, and K. G. Cassman. 1996. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. *Field Crops Research*. 47 : 243-252.
- Reddy. K. R. M., and W. H. Patrick. Jr. 1976. Yield and nitrogen utilization by rice as affected by method and time of application of labelled nitrogen. *Agron. J.* 68 : 965-969
- Schnier. H. F., M. Dingkuhn, S. K. De Datta, K. Mengel, and J. E. Faronilo. 1990a. Nitrogen fertilization of direct-seeded flooded vs. transplanted rice; I. Nitrogen uptake, photosynthesis, growth, and yield. *Crop Sci.* 30 : 1276-1284.
- Shoji, S., H. Ando, and G. Wada. 1986. Fate of nitrogen in paddy fields and nitrogen absorption by rice plants. *J. A. R. Q.* 20(2) : 127-134.
- Shoji. S., G. Wada., K. Saito, and I. Shinbo. 1971. The fate of fertilizer nitrogen applied to the paddy field and its absorption by rice plant. II. The fate of basal nitrogen in the paddy field. *日作誌.* 40 : 278-286.
- Stutterheim, N. C., and J. M. Barbier. 1995. Growth and yield formation of irrigated, directed seeded rice as affected by nitrogen fertilizer. *Eur. J. Agron.* 4(3) : 299-308.
- Ten Berge, H. F. M., T. M. Thiyagarajan, Qunghua Shi, M. C. S. Wopereis., H. Drenth, and M. J. W. Jansen. 1997. Numerical optimization of nitrogen application to rice. Part I. Description of Manage-N. *Field Crops Research*. 51 : 29-42.
- Vlek, P. L. G., and B. H. Byrnes. 1986. The efficiency and loss of fertilizer N in lowland rice. *Fertilizer Res.* 9 : 131-147
- Wada, G., S. Shoji, and T. Mae. 1986. Relationship between nitrogen absorption and growth and yield of rice plants. *J. A. R. Q.* 20 : 135-145.
- Wada, G., S. Shoji, and J. Takahashi. 1971. The fate of fertilizer nitrogen applied to the paddy field and its absorption by rice plant. I.

- Absorption of basal nitrogen by rice plant. 日作誌. 40 : 275-280.
- Westcott, M. P., D. M. Brandon, C. W. Lindau, and W. H. Patrick, Jr. 1986. Effects of seeding method and time of fertilization on urea-nitrogen-15 recovery in rice. Agron. J. 78 : 474-478.
- Wilson, C. E. Jr., R. J. Norman, and B. R. Wells. 1989. Seasonal Uptake Patterns of Fertilizer Nitrogen Applied in Spilt Applications to Rice. Soil Sci. Soc. Am. J. 53 : 1884-1887.