

## 질소 용출속도가 다른 피복요소를 혼합한 완효성비료 시용이 벼 생육 및 쌀 품질에 미치는 영향

이동욱\*<sup>†</sup> · 박기도\* · 박창영\*\* · 강위금\* · 손일수\* · 박성태\*

\*농촌진흥청 작물과학원 영남농업연구소, \*\*고령지농업연구소

### Effects of Application of Controlled Release Fertilizer Blended with Different Nitrogen Releasing Latex Coated Ureas on Rice Growth and Grain Quality

Dong-Wook Lee\*<sup>†</sup>, Ki-Do Park\*, Chang-Young Park\*\*, Ui-Gum Kang\*, Il-Soo Son\*, and Sung-Tae Park\*

\*Yeongnam Agricultural Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA, Milyang 627-803, Korea

\*\*National Institute of Highland Agriculture, RDA, 232-955, Korea

**ABSTRACT** This study was conducted to estimate effects of application of controlled release complex fertilizer with latex coated urea (LCU-complex) on growth and grain quality of rice under direct seeded on dry paddy (DS) and transplanted on flooding paddy (TP). Three types of latex coated urea different nitrogen (N) releasing were LCU40, LCU80 and LCU100. The time of N releasing of LCU formulations in water at both 20 and 30°C was faster in the order of LCU40, LCU80, LCU blend (LCU40, LCU80 and LCU100 was mixed in ratio of 2 : 2 : 1), and LCU100. The number of tillers and dry matter weight were great in order of LCU-complex100% > LCU-complex80% > urea and plant height was not significant. Grain yields at LCU-complex80% in both DS and TP plot were similar to those of urea application. N recovery of LCU-complex80% and 100% was improved 8 and 6% compared to that of conventional urea split application in DS plot and 9 and 4% in TP. Content of protein of grain at applied LCU-complex was less 0.8% and 0.1~0.7% than that of urea in DS and TP, respectively. Content of amylose and Mg/K ratio in rice grain was not significant. Consequently application of LCU-complex blended types of coated urea different N releasing can be reduced 20% of N without yield reduction and improved grain quality compared with urea application.

**Keywords** : controlled release fertilizer, rice, N recovery, grain quality

**지금까지** 논에서 질소비료의 이용률을 높이기 위하여 전층시비, 심층시비, 분시 등 재배적인 방법과 요소 가수분해억제제 및 질산화억제제 이용 등 화학적 방법들이 시도되어 질소 이용율 향상의 효과가 인정되고 있다(Buresh *et al.*, 1988; Creason *et al.*, 1990; Phongpan *et al.*, 1990). 그러나 노동력의 부족과 생력화의 필요성 증대로 비료의 개발이 필요하였고, 시비노력을 절감할 수 있는 시비방법의 개선이 요구되고 있다. 따라서 비료의 전량을 기비로 사용하더라도 작물에 비료의 장해가 없고, 생육에 알맞게 분해되어 양분이 공급되고 분시하는 노력과 비료의 손실을 줄일 수 있는 완효성 질소비료가 개발되면서 이용에 관한 연구가 많이 이루어졌다(Lee & Lee, 2001; Park, 1993; Shoji, 1997). 완효성 질소비료의 시비방법별 질소 이용율을 보면 표면시용 시 60.5%, 측조시비는 78.9%로 유안의 표면시비의 9.3%, 측조시비 32.5% 보다 훨씬 높았다(Shoji, 1997). 그러나 지금까지 대부분의 연구는 벼 생육기간 동안 질소의 용출속도가 단일 형태인 피복요소 또는 그것이 포함된 완효성복합비료에 관한 것이었다. 질소의 용출속도가 한가지로 조성된 완효성비료 사용은 관행 요소 사용에 비해 생육초기에 분얼수가 다소 감소하였고, 생육후기까지 지속적인 질소 공급에 의해 쌀의 단백질 함량이 증가되는 결과를 보였다(Park, 1993). 또한 Park (1993)은 피복요소와 속효성비료의 조성비율을 달리한 시험에서 피복요소의 함량이 많을수록 관행의 속효성 비료를 사용했을 때보다 완전미율이 감소되는 결과를 보였으며, 특히 불완전미중의 동할미율을 현저하게 증가시켰다고 하였다.

쌀의 식미는 단백질, amylose, Mg/K비 등 화학적 요소와 경도 및 호화특성 등의 물리적 요소와 관계가 깊다. 쌀의 amylose와 단백질 함량은 질소비료의 사용량, 시비방법 및 시

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-55-350-1282

(E-mail) lee4761@hanmail.net <Received July 12, 2007>

비시기 등 재배방법에 따라서 변이가 크고(Choi *et al.*, 1990; Heu & Moon, 1974), 등숙기간중의 일사량, 온도 및 식물체 질소함량의 영향을 받는다(Heu & Moon, 1974). 일반적으로 단백질은 밥을 딱딱하게 하고, amylose는 밥의 부착성을 떨어뜨리며(Kim *et al.*, 1988) 쌀의 소화특성은 밥맛이 좋은 품종일수록 낮은 온도에서 호화가 잘되는 것으로 알려져 있다(Juliano, 1979). 현재 벼 이앙재배시 질소 표준시비량이 10 a 당 11 kg에서 9 kg으로 변경됨에 따라 미질을 향상시킬 수 있는 연구가 진행되고 있으며, 고품질 쌀 생산을 위한 단백질 함량을 낮추는 기술이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 벼의 생육시기에 맞추어 질소성분이 용출될 수 있는 용출속도가 다른 3가지 제형의 피복요소가 함유된 완효성비료를 벼 건답직파 및 이앙재배논에 사용하여 벼 생육과 질소이용율을 조사하였고, 단백질 함량 및 쌀의 소화특성 등 미질에 미치는 영향을 조사하여 이들 비료의 효과적인 이용방법을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### LCU의 질소 용출 양상

본 시험에 사용한 완효성 질소비료는 요소에 latex 수지를 피복하여 질소의 용출을 조절하는 latex coated urea(LCU)이었다. LCU 40, 80, 100은 질소의 80%가 용출되는 시기가 사용 후 각각 40, 80, 100일인 완효성 질소비료이며, LCU 혼합(LCU mixture)은 LCU 40, 80, 100의 3가지 제형을 각각 2:2:1의 비율로 혼합하였다. 또 LCU-복비(LCUC)는 LCU 혼합과 일반복비를 섞은 비료인데 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 성분이 각각 18-7-9%이며, 질소의 50%는 LCU이었고, 50%는 속효성인 요소이었다.

### 수중 및 토양 중 질소 용출

수중 용출특성을 조사하기 위해서 LCU 40, LCU 80, LCU 100, LCU 혼합을 각각 5 g씩 500-ml 플라스틱 병에 넣고, 증류수 200 ml를 가한 후 마개를 막았다. 그리고 각각 20 및 30°C의 항온기에서 5, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 80, 100 일 정지한 후 비료용액을 Whatman #42 여지로 여과한 후 비료분석법에 준하여 Kjeldahl법으로 전 질소(total nitrogen, T-N)를 분석하였다(NIAST, 2000). 완효성 질소비료의 토양 중 용출 특성을 조사하기 위해서 LCU-복비 5 g을 망사주머니(가로×세로 = 10×5 cm)에 넣고, 건답직파 및 이앙재배 포장에 5 cm 깊이로 매몰하였다. 망사주머니를 10일 간격으로 채취하여 주머니에 남아있는 비료를 분리하여 T-N을 Kjeldahl법으로 분석하였다.

### 재배방법 및 처리내용

재배양식은 건답직파재배와 이앙재배였고, 시험품종은 ‘주남벼’이었다. 건답직파재배는 2003년은 5월 13일에 트랙터 부착용 6조 조파기를 이용하여 10 a당 5 kg 수준으로 휴립조 파하였고, 파종 후 26일부터 담수하였다. 비료처리는 질소 성분으로 표준시비량을 사용한 LCU-복비 100%(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 15-5.8-7.5 kg 10 a<sup>-1</sup>), 표준시비량의 80%를 사용한 LCU-복비 80%(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 12-4.6-6.0 kg 10 a<sup>-1</sup>), 요소구(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 15-4.5-5.7 kg 10 a<sup>-1</sup>), 무비구의 4 처리이었다. LCU-복비는 전량 기비로 사용하였고, 요소 사용구의 질소는 기비-4엽기-수비를 각각 40-30-30%로, 칼리는 기비-수비를 70-30%의 비율로 분시하였고, 인산은 전량 기비로 사용하였다.

이앙재배는 2003년 6월 3일에 30일 모를 30×14 cm 간격으로 기계이앙하였다. 비료처리는 질소성분으로 표준시비량을 사용한 LCU-복비 100%(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 11-4.3-5.5 kg 10 a<sup>-1</sup>), 표준시비량의 80%를 사용한 LCU-복비 80%(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 8.8-3.4-4.4 kg 10 a<sup>-1</sup>), 요소구(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 11-4.5-5.7 kg 10 a<sup>-1</sup>), 무비구의 4 처리이었다. LCU-복비는 전량 기비로 사용하였고, 요소 사용구의 질소는 기비-분얼비-수비를 각각 40-30-30%, 칼리는 기비-수비를 70-30%의 비율로 분시하였고, 인산은 전량 기비로 사용하였다.

벼 재배양식별 시험구 배치는 각각 난괴법 3반복으로 실시하였고, 통계분석은 SAS 프로그램 9.1버전을 이용하였다.

### 수량 및 수량구성요소

수량은 각 구마다 연속된 10주를 수확한 후 현미수량을 구하여 10 a당 수량으로 환산하였다. 수량구성요소는 수수가 평균되는 5주를 수확하여 풍건한 후 손으로 탈곡하여 이삭수, 이삭당 영화수, 등숙율 및 현미 천립중을 농촌진흥청 농사 시험연구조사기준에 따라 조사하였다.

### 질소의 흡수량 및 이용율

성숙기에 건물중을 조사한 5주를 Willy mill(Tomas Scientific, U.S.A.)에서 분쇄하여 20 mesh 체를 통과한 시료를 Kjeldahl법 분해 후 질소자동분석기(FOSS 2300 Kjeltac U.S.A.)으로 질소함량을 분석하였다. 질소 흡수량은 건물중에 질소함량을 곱하여 계산하였으며, 시비질소의 이용율은 다음의 식으로 계산하였다(Cassman *et al.*, 1998; Novoa & Loomis, 1981).

$$\text{Agronomic N use efficiency}(AE_N) = (GY_F - GY_0)/N_F$$

$$\text{Apparent recovery efficiency of applied N}(RE_N)$$

$$= [(TN_F - TN_0)/N_F] \times 100$$

$$\text{Partial factor productivity for applied N}(PFP_N) = GY_F/N_F$$

여기서 GY<sub>F</sub>는 시비구의 종실수량, GY<sub>0</sub>는 무비구의 종실

수량,  $N_F$ 는 질소시비량,  $TN_F$ 는 시비구의 총 질소흡수량,  $TN_0$ 는 무비구의 총 질소흡수량을 나타낸다.

**미 질**

미질은 백미에서 싸라기나 불완전미를 제거한 완전미를 대상으로 하였다. 단백질 함량은 T-N을 Kjeldahl법으로 질소 함량을 구한 후 5.95를 곱하여 계산하였다.

Amylose 함량은 Juliano의 비색법에 따라 분석하였다(Juliano, 1979). 완전미를 분쇄기(Cyclotec 1093 sample mill, U.S.A.)로 분쇄하여 80 mesh의 체를 통과한 쌀가루를 50°C에서 24시간 건조시켜 100 mg을 100-ml mass flask에 넣고 95% EtOH 1 ml과 1 N NaOH 9 ml을 첨가하여 95°C에서 7분간 호화시킨 후 증류수 100 ml을 가하여 잘 흔들어 정지시켜 호화 시료를 만들었다. 다시 증류수 50 ml가 들어있는 다른 100-ml mass flask에 호화시료 5 ml, 1N  $CH_3COOH$  1 ml,  $I_2-KI$  용액 2 ml을 첨가하여 상온에서 20분간 발색시킨 후 분광광도계(Spectronic 20 Genesys, U.S.A.)를 이용하여 620 nm에서 흡광도를 측정하여 amylose 함량을 계산하였다.

K와 Mg 함량은 쌀가루 200 mg을 100 ml 분해관에 넣은 후 8 ml의 분해액( $HSSO_4 : HClO_4 : H_2OS = 2:5:9$ )을 첨가하여 380°C의 분해로(Tecator 2020 Digester, U.S.A.)에서 3시간 분해한 후 증류수를 넣어 100 ml로 희석하여 ICP(Perkin Elmer 3300DV, U.S.A.)로 측정하였다.

쌀의 amylogram 특성을 조사하기 위하여 분석용 알루미늄 캔(38 mm Ø×68 mm)에 쌀가루 3 g, 증류수 25 ml을 넣고, Rapid visco analyser(Newport Scientific, Australia)에서 50°C부터 95°C까지 온도를 단계적으로 상승시킨 후 95°C에서 2분 30초간 유지하였다. 다시 95°C부터 50°C까지 단계적으로 냉각시키면서 점도변화를 측정하여 13분 동안 호화특성을 조사하였다. Amylogram 특성은 농촌진흥청(2002)의 쌀 품질 및 식미평가 자료에 따라 최고점도, 최저점도, 최종점도, 강하점도(최고점도-최저점도), 취반점도(최종점도-최고점도)를 구하였다.

**결과 및 고찰**

**LCU 제형별 질소 용출 양상**

수중 온도에 따른 LCU 40, LCU 80, LCU 100 및 LCU 혼합 등 LCU type별 질소의 용출 속도는 그림 1과 같다. 질소의 용출 속도는 LCU type에 관계없이 20°C보다는 30°C에서 빨랐다. 이는 높은 온도에서는 피복된 입자 안으로의 물의 투과성이 증가되고, 또한 입자 안에서의 요소의 용해성이 높아

지기 때문으로 생각된다.

한편, LCU type 간 질소 용출속도는 LCU 40이 가장 빨랐으며, LCU 80, LCU 100의 순이었고, LCU 혼합은 LCU 80과 LCU 100의 중간이었다. LCU 혼합은 처음 30일까지는 LCU 80 보다 질소 용출속도가 빨랐지만 30일 이후부터는 용출속도가 늦었다. 그리고 100일 간 질소 용출율은 20°C에서는 약 75%, 30°C에서는 92%이었다. 이는 생육후기까지 질소를 공급하기 위하여 LCU 100의 단일 제품을 사용할 때 발생할 수 있는 초기 분얼확보의 어려움을 극복할 수 있다. 따라서 용출속도가 다른 LCU를 적절히 혼합하여 사용할 경우 벼 생육단계별 작물의 질소흡수 양상에 맞추어 질소를 공급할 수 있을 것으로 생각된다.

**LCU-복비 벼 재배양식별 토양 중 질소 용출 속도**

LCU-복비의 포장에서 질소 용출양상은 그림 2와 같다. 질소 용출율은 시비 후 10일부터 60일까지는 이양재배가 건답직파재배보다 다소 높았지만 그 차이는 점점 적어져서 80일 경에는 차이가 없었다. 이것은 건답직파재배는 이양재배의

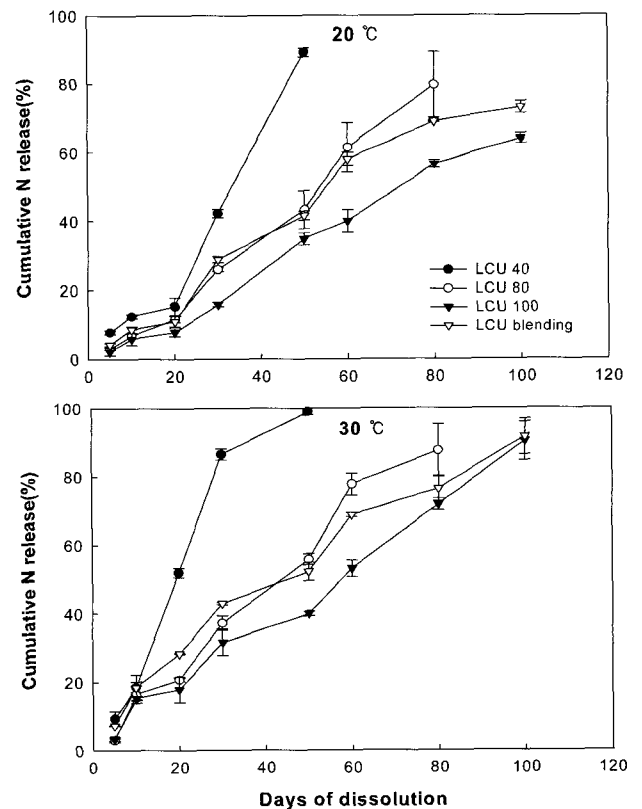


Fig. 1. Nitrogen releasing patterns of LCU 40, LCU 80, LCU 100, and LCU blend types in water at 20°C and 30°C. Bars represent mean ± S.D. (n=3).

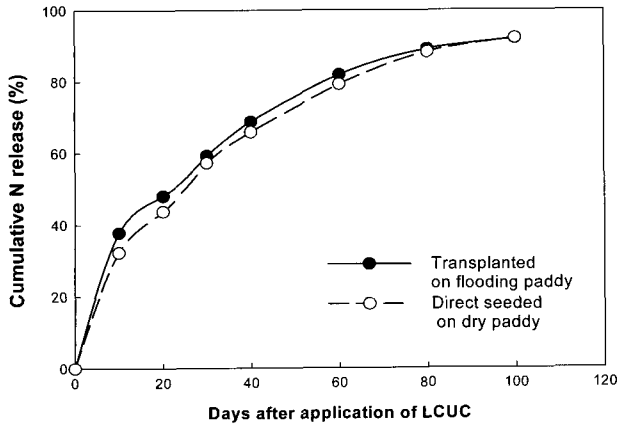


Fig. 2. Nitrogen releasing patterns of LCU-complex fertilizer (LCUC) in transplanting on flooding paddy and direct seeding on dry paddy.

이앙기보다 20일 정도 빠른 파종기에 시비되었기 때문에 초기에는 지온이 낮았고, 이후 입모시기까지 건답상태로 유지하였으므로 토양수분 함량이 낮았기 때문으로 생각된다. 이와 같은 결과는 그림 1에서와 같이 수중 온도가 높을 때 질소의 용출속도가 빠른 결과와 같은 것으로 생각되며, 완효성비료의 용출속도는 온도조건과 수분함량에 영향을 받으며 고온다습한 조건에서 질소의 용출량이 많다는(Kochba *et al.*, 1990) 보고와 같은 경향이였다.

**벼 재배양식 및 시기별 생육 특성**

건답직파재배와 이앙재배의 생육시기별 벼 생육특성은 그림 3과 같다. 건답직파재배에서는 초장, 분얼 및 건물중 등이 생육시기에 관계없이 LCU-복비 100%, 80%, 관행 요소 구 순으로 높았으며, LCU-복비 80%는 관행 요소보다 20%

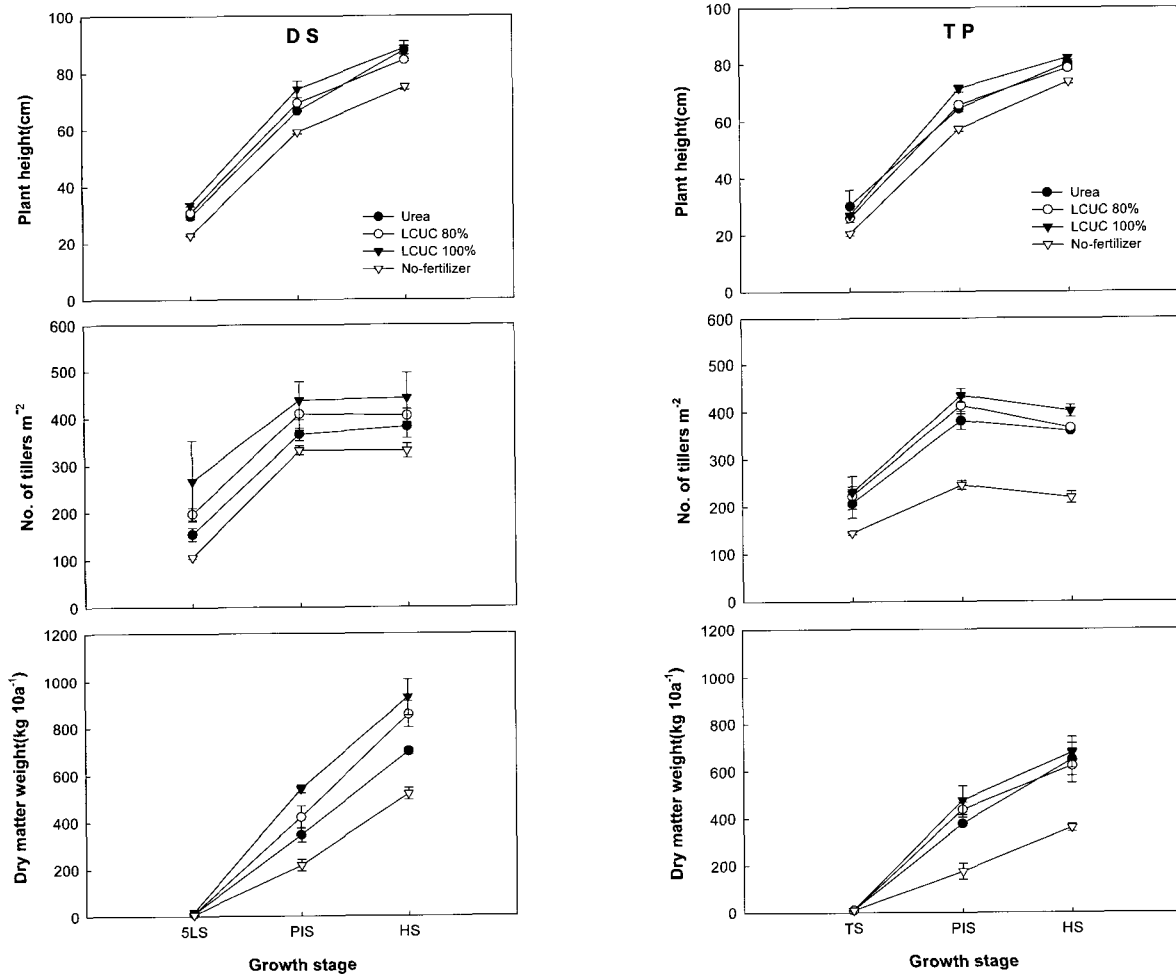


Fig. 3. Changes in plant height, tiller and dry matter at different growth stage under direct seeding on dry paddy (DS) and transplanting on flooding paddy (TP). Bars represent mean±S.D. (n=3).

<sup>1)</sup>5LS : 5-leaf stage, TS : tillering stage, PIS : panicle initiation stage, HS : heading stage

감비 수준이었는데도 생육량이 많은 경향이었는데 이는 기존의 연구 결과들과도 같은 경향이였다(Park, 1994; Yoo *et al.*, 1997). 이앙재배에서는 생육량이 건답직파와 같은 경향이지만 비료처리간 차이는 건답직파에서 보다 작은 경향이였다.

**수량 및 수량구성요소**

벼 재배양식 및 비료 처리간 수량 및 수량구성요소를 표 1에 나타내었다. 재배양식별 수량 차이는 무비구를 제외하면 이앙재배가 건답직파재배보다 큰 경향이였다. 건답직파 재배에서 비료 처리간 현미수량은 요소 시용구, LCU-복비 80% 및 LCU-복비 100% 시용구 간에 유의성은 없었으나 요소구 < LCU-복비 80% < LCU-복비 100% 순위였다. LCU-복비 80 및 100% 시용구가 요소구보다 유의성은 없었지만 현미수량이 높았다. 이것은 질소의 손실량이 요소구보다 적었기 때문으로 생각되며 표준 질소소비량의 20%를 감비하여도 수량은 증가되었다. 수량구성요소를 보면 등숙율과 1,000립중은 처리구 간에 차이가 없었으나 요소 및 LCU-복비 시용구는 모두 단위면적당 이삭수의 증가로 수량이 증가하였다. 이삭당 영화수는 이삭수가 가장 많았던 요소 시용구에서 현저히 적었다.

이앙재배에서 수량 및 수량구성요소를 보면 현미수량은 건답직파재배에서와 같은 경향이였고, 이삭당 영화수, 등숙율, 1,000립중은 모든 처리구 간에 차이가 없었다. 요소 및 LCU-복비 시용구에서 수량이 높았던 것은 단위면적당 이삭수가 많았기 때문이며, LCU-복비를 사용할 경우 요소 시용량의 80%만 사용하여도 수량감소가 없었던 것은 다른 연구자들의 결과와 비슷하였다(Park, 1994; Yoo *et al.*, 1997).

**질소흡수량 및 이용율**

벼 재배양식 및 생육시기별 질소흡수량은 그림 4와 같다. 재배양식간 질소흡수량을 보면 건답직파에서는 유수형성기까지는 급격히 증가되고 이후 출수기까지는 완만하게 증가되었고 출수 후 수확기까지의 등숙기간에는 질소흡수량의 증가가 매우 적었다. 그러나 이앙재배에서의 질소흡수량은 유수형성기까지는 급격히 증가하고 이후 출수기까지는 매우 적었으며 출수 후 등숙기간에는 계속 증가되는 경향으로 재배양식간 차이가 뚜렷하였다. 이는 그림 3에서와 같이 건답직파는 이앙재배와 달리 유수형성기부터 출수기까지의 건물중 증가가 분얼기때 건물중 증가속도와 같을 정도로 증가되었기 때문에 출수기 생육이 과번무상태가 되었고 이후 등숙기 생육이 원만하지 못했기 때문으로 생각된다.

건답직파재배에서 생육시기별 요소와 LCU-복비 시용에 의한 식물체의 질소 흡수량은 5엽기까지는 비료처리에 관계없이 극히 낮았는데 이것은 생육초기 식물체의 생육량이 적었기 때문이고, 5엽기 이후 유수형성기까지 질소 흡수량은 무비구 < 요소 시용구 < LCU-복비 80% < LCU-복비 100% 순으로 많았으며, 유수형성기이후 출수기까지의 질소흡수량은 추비를 사용한 요소시용구에서 급격히 증가되어 LCU-복비 80%와는 같은 수준이었으나 LCU-복비 100% 보다는 적었다.

한편 출수기부터 수확기까지 식물체 총 질소흡수량은 LCU-복비 100% 처리구에서 감소하였는데 이는 유수형성기부터 출수기까지 영양생장량이 많았고 벼가 질소 성분을 과잉 흡수하여 과번무 되었으나, 출수기 이후에 식물체의 잎이 고사하였기 때문으로 생각된다. 또한 요소와 LCU-복비를 같은 양을 사용하더라도 요소 시용구의 총 질소 흡수량이 낮았는데

**Table 1.** Yield and yield components from the different fertilizers in direct seeding on dry paddy (DS) and transplanting on flooding paddy (TP).

Cultivation	Treatments	No. of panicles/m <sup>2</sup>	No. of spikelets/panicle	Ripened grains (%)	1000 grain wt. (g)	Yield in brown rice (kg 10 a <sup>-1</sup> )
DS	Urea	393 a	74.5 b	78.0 ns	23.5 ns	422 a
	LCUC 80%	388 a	74.7 b	78.6	23.8	421 a
	LCUC 100%	405 a	95.4 a	83.3	23.3	435 a
	No-fertilizer	188 b	92.8 a	87.5	23.5	337 b
TP	Urea	355 a	70.2 ns	85.8 ns	24.8 ns	436 a
	LCUC 80%	360 a	80.6	80.6	24.6	441 a
	LCUC 100%	370 a	87.1	73.4	23.9	440 a
	No-fertilizer	206 b	76.1	87.8	25.0	306 b

<sup>1)</sup>Means within a column followed by same letter are not significantly different at the 5% level by DNMR

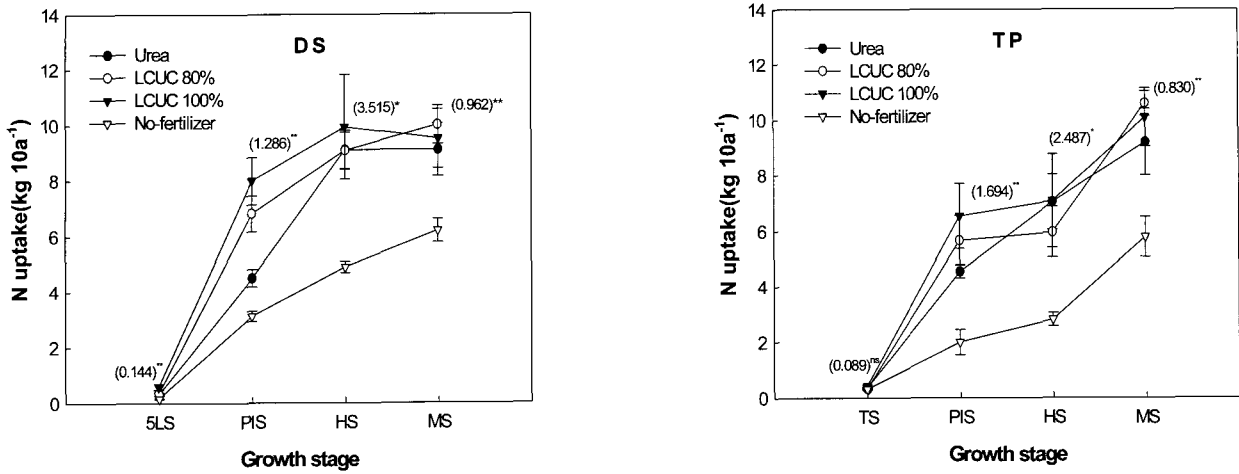


Fig. 4. Patterns of N uptake from LCU-complex fertilizer (LCUC) and urea at the different growth stages under direct seeding on dry paddy (DS) and transplanting on flooding paddy (TP). Bars represent mean±S.D. (n=3). Values in parenthesis represent LSD value (0.05). ns, \*, \*\* ; not significant, significant at p<0.05 or 0.01, respectively.

<sup>1</sup>5LS ; 5-leaf stage, TS ; tillering stage, PIS ; panicle initiation stage, HS ; heading stage, MS ; maturing stage

이것은 현행 요소의 분시방법은 기비사용의 비율이 높아 상당량이 용탈, 휘산, 탈질 등으로 손실되므로 흡수율이 낮았던 것으로 생각된다(De Datta *et al.*, 1991; Norman *et al.*, 1989).

이앙재배에서 벼 생육시기별 질소흡수량은 생육초기인 이앙 후부터 분얼기 시용 전까지는 모든 비료처리구에서 식물체의 질소흡수량이 적었으나 분얼기 이후 급격히 증가하였고, 무비구 < 요소 시용구 < LCU-복비 80% < LCU-복비 100% 순으로 많았다. 그러나 요소 시용구에서는 추비 후 생육시기가 진전될수록 식물체의 질소흡수량은 급격히 증가하여 출수기의 총 질소 흡수량은 요소 시용구와 LCU-복비 시용구 간에는 비슷하였다. 생육시기별로 보면 모든 처리에서 분얼기 이후 유수형성기까지의 질소흡수량이 가장 많았고, 이앙 후 분얼기까지의 흡수량이 가장 적었는데 이것은 벼의 질소 흡수는 이앙 후 30일부터 유수형성기 사이에 빠르게 일어난다고 한 Obcema *et al.*(1984)의 보고와 같은 경향이었다.

시비질소의 이용율은 시비질소에 의한 질소흡수량으로 나타내는데, 질소이용효율(agronomic N use efficiency, AE<sub>N</sub>), 또는 시비질소에 대한 질소회수율(apparent recovery efficiency, RE<sub>N</sub>), 질소시비에 대한 종실량 비율인 부분요소생산효율(partial factor productivity, PFP<sub>N</sub>) 등으로 나타낼 수 있다(Cassman *et al.*, 1998; Novoa & Loomis, 1981; Peng *et al.*, 1996). 시비질소의 효율을 평가하는데 있어서는 질소 이용효율보다 RE<sub>N</sub>이 더 효과적인 지표가 되는데, RE<sub>N</sub>는 근계 특성에 의존하는 흡수효율과 질소의 용탈, 탈질, 부동화 등과 유

기물질의 무기화, 토양수분 등의 토양조건에 의해 지배된다. 또한 PFP<sub>N</sub>은 시용질소의 한계효율과 토양 및 관개수로부터 공급되는 토착질소공급력을 반영하기 때문에 질소이용효율을 나타내는데 적절한 지표가 될 수 있다(Cassman *et al.*, 1994; Novoa & Loomis, 1981; Peng *et al.*, 1996).

벼 재배양식별 비료처리에 따른 수확 후 식물체의 AE<sub>N</sub>, RE<sub>N</sub>, PFP<sub>N</sub> 등을 비교하여 표 2에 나타내었다. 재배양식별 질소이용율은 건답직파보다는 이앙재배에서 AE<sub>N</sub>, RE<sub>N</sub> 및 PFP<sub>N</sub> 등 모든 평가지표에서 높은 값을 나타냈다. 이것은 건답직파 재배의 경우 이앙재배에 비하여 시비량이 30~50% 많으며 기비로 시용된 질소가 초기 건답 기간 중 용탈 및 탈질 등으로 손실되는 양이 많기 때문으로 생각된다(De Datta, 1987; Stangel & Harris, 1987). 비료처리간에 이용효율을 보면 LCU-복비 및 요소 처리 간에 AEN는 차이가 없었으나 RE<sub>N</sub>은 LCU-복비에서 요소보다 높았다. PFP<sub>N</sub>은 LCU-복비 100%와 요소 시용구는 비슷하였으나 LCU-복비 80%는 더 높았다. 이는 LCU-복비 시용으로 단위시비질소의 생산성이 높으며, 또 표준시비량의 20%를 감비하여도 질소이용율 및 생산성이 향상된 것을 의미한다. 이와 같이 LCU-복비를 사용 했을때 요소의 분시에 비하여 질소이용효율이 높은 이유는 질소의 용출속도가 다른 3가지 형태의 피복요소를 사용하였기 때문에 질소성분이 작물의 생육단계에 맞게 용출되어 흡수율을 높이고, 손실을 줄였기 때문으로 생각된다.

**Table 2.** N use efficiency from LCU-complex fertilizer (LCUC) and urea under direct seeding on dry paddy (DS) and transplanting on flooding paddy (TP).

Fertilizer	DS			TP		
	AE <sub>N</sub> <sup>†</sup> (kg grain/kg N)	RE <sub>N</sub> (%)	PFP <sub>N</sub> (kg grain/kg N)	AE <sub>N</sub> (kg grain/kg N)	RE <sub>N</sub> (%)	PFP <sub>N</sub> (kg grain/kg N)
Urea	7.6 ns <sup>‡</sup>	20.7 b	34.0 b	14.5 ns	33.3 b	47.7 b
LCUC 80%	8.7	27.8 a	42.4 a	18.8	45.8 a	60.3 a
LCUC 100%	8.1	24.5 a	35.1 b	15.3	44.6 a	48.6 b

<sup>†</sup>Agronomic N use efficiency (AE<sub>N</sub>) = (GY<sub>F</sub>-GY<sub>0</sub>)/N<sub>F</sub>  
 Apparent recovery efficiency of applied N (RE<sub>N</sub>) = [(TN<sub>F</sub>-TN<sub>0</sub>)/N<sub>F</sub>] × 100  
 Partial factor productivity for applied N (PFP<sub>N</sub>) = GY<sub>F</sub>/N<sub>F</sub>  
 GY<sub>F</sub> = yield in N applied, GY<sub>0</sub> = yield in no N applied  
 N<sub>F</sub> = amount of N applied, TN<sub>F</sub> = amount of N absorbed in N applied  
 TN<sub>0</sub> = amount of N absorbed in no N applied

<sup>‡</sup>Means within a column followed by same letter are not significantly different at the 5% level by DNMR

**Table 3.** Content of protein and amylose and Mg/K ratio of rice grain at different fertilizers and cultural methods.

Cultural methods	Fertilizer	Protein (%)	Amylose (%)	Mg/K ratio
Direct seeding on dry paddy	Urea	7.3 a	19.1 ns	0.71 ns
	LCUC 80%	6.5 b	18.7	0.59
	LCUC 100%	6.5 b	18.9	0.62
	No-fertilizer	6.3 b	18.9	0.63
Transplanting on flooding paddy	Urea	7.4 a <sup>†</sup>	18.9 ns	0.69 ns
	LCUC 80%	6.7 b	19.0	0.61
	LCUC 100%	7.3 a	19.2	0.69
	No-fertilizer	6.6 b	18.7	0.58

<sup>†</sup>Means within a column followed by same letter are not significantly different at the 5% level by DNMR

**미 질**

쌀의 식미와 관계가 깊은 단백질, amylose 함량 및 Mg/K 비율을 표 3에 나타내었다. 단백질 함량은 건답직파와 이앙 재배에서 모두 질소 시비량이 많은 요소 시용구와 LCU-복비 100% 처리에서 LCU-복비 80%나 무비구보다 높았으며, amylose 함량과 Mg/K 비율은 모든 처리 간에 차이가 없었다. 이전의 연구 결과들에서는 완효성비료 시용시 벼 생육후기 까지 지속적인 질소공급으로 인해 쌀의 단백질 함량이 관행 요소 시용에 비해 다소 증가하였으나(Park, 1993; Park, 1994) 본 시험의 결과에서는 LCU-복비 시용에 의해 단백질 함량이 낮았다. 이것은 그림 2에서 보는 것처럼 본 시험에 사용한 완효성비료는 이앙 후 생육이 왕성한 최고분얼기까지는 질소의 용출량이 많으나 출수기 이후에는 용출되는 질소가 적었기 때문에 성숙기에 이삭으로 이동된 질소가 적었기 때문으로 생각된다.

쌀의 식미와 관계가 깊은 쌀가루의 호화특성을 표4에 나타내었다. 재배양식간에 보면 건답직파는 이앙재배에 비해

최고점도와 최종점도는 높고 취반점도는 낮은 경향을 나타내었다. 재배양식별 비료처리에서 보면 건답직파재배에서는 최고점도, 최종점도, 강하점도, 취반점도 모두 비료 종류와 무비구간에 차이가 없었고, 이앙재배에서는 최고점도와 강하점도는 모든 비료 시용구가 무비구보다 낮았으나 요소와 LCU-복비 시용구 간에는 차이가 없었다. 그러나 강하점도는 LCU-복비 100%가 다른 것보다 높았으나 그 차이는 크지 않았고, 취반점도는 비료 종류 간에 차이가 없었다. 쌀의 호화특성에서 최고점도와 강하점도가 높은 것이 양질미에 속하고(Kim *et al.*, 1988) 전분의 노화경향을 나타내는 취반점도가 높으면 전분의 노화속도가 빨라지는데 요소 시용구에 비해 LCU-복비 시용구에서 최고점도와 강하점도가 다소 높았으나 유의성은 없었다. 질소시용량이 많으면 쌀의 단백질 함량이 증가되고 호화특성 중 최고점도와 강하점도가 낮아지는데(Mattin & Fitzgerald, 2002), LCU-복비를 요소 시용구와 같은 양을 시용하더라도 최고점도 및 강하점도가 다소 높게 나타나는 것은 LCU-복비에 함유된 3가지 제

**Table 4.** Characteristics of rapid viscosity analyses (RVA) of rice grain at different fertilizers and cultural methods.

Cultural methods	Treatments	Peak viscosity	Final viscosity	Break down	Setback
Direct seeding on dry paddy	Urea	194 ns	174 ns	100 ns	-19.7 ns
	LCUC 80%	205	180	103	-24.5
	LCUC 100%	197	177	99	-19.3
	No-fertilizer	204	179	104	-25.3
Transplanting on flooding paddy	Urea	185 b <sup>1)</sup>	156 b	98 b	-28.3 ns
	LCUC 80%	189 b	160 b	98 b	-28.8
	LCUC 100%	188 b	156 b	102 a	-31.3
	No-fertilizer	201 a	174 a	99 b	-27.0

<sup>1)</sup>Means within a column followed by same letter are not significantly different at the 5% level by DNMR

형의 피복요소의 용출특성 때문에 생육후기로의 질소용출이 감소되었기 때문이다. 따라서 용출속도가 다른 피복요소가 혼합된 LCU-복비를 20% 줄여 사용하면 미질 향상에 긍정적인 영향을 미친다고 할 수 있을 것이다.

### 적 요

본 시험은 질소 용출 속도가 다른 3가지 피복요소가 포함된 완효성 복합비료를 관행 요소시비량의 80 및 100% 수준으로 사용하여 벼 건답직파 및 이앙재배에서 벼 생육, 수량 및 질소이용율을 알아보고 쌀의 품질에 미치는 영향을 조사하였다.

1. LCU의 제형별 20°C 및 30°C에서 수중 용출 속도는 LCU40 > LCU80 > LCU혼합 > LCU100 순으로 빨랐다.
2. 벼 생육 및 수량은 건답직파 및 이앙재배 모두에서 LCU-복비100% > LCU-복비80% > 관행 순으로 높았다.
3. LCU-복비 사용에 의한 질소이용율은 요소사용에 비해 건답직파재배에서는 4~7%, 이앙재배에서는 11~13% 향상되었으며, 표준시비량의 20%를 감비한 LCU-복비 80% 사용이 단위시비질소의 생산성이 가장 높았다.
4. 단백질 함량은 건답직파 및 이앙재배의 무질소구에서 6.3 및 6.6%로 가장 낮았고, 비료 처리간에는 LCU-복비 80% 사용구에서 각각 6.5 및 6.7%로 관행 요소사용 7.3 및 7.4%에 비해 낮았다.
5. 아밀로즈 함량 및 Mg/K 비는 모든 처리간에 유의성이 없었다. 또한 쌀의 호화특성 중 최고점도 및 강하점도는 LCU-복비 사용에 의해 다소 높았지만 통계적인 유의성은 없었다.

### 인용문헌

Buresh, R. J., S. K. De Datta, J. L. Padilla, and T. T. Chua.

1988. Potential of inhibitors for increasing response of lowland rice to urea fertilization. *Agron. J.* 80 : 947-952.

Cassman, K. G., S. Peng, D. C. Olk, J. K. Ladha, W. Reichardt, A. Dobermann, and U. Singh. 1998. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems. *Field Crop Research.* 56 : 7-39.

Choi, H. C., S. Y. Cho, and K. H. Kim. 1990. Varietal difference and environmental variation in protein content and/or amino acid composition of rice seed. *Korean J. Crop Sci.* 35(5) : 379-386.

Creason, G. L., M. R. Schmitt, E. A. Douglass, and L. L. Hendrickson. 1990. Ureas inhibitory activity associated with N-(n-butyl) thiophosphoric triamide is due to formation of its oxon analog. *Soil Biol. Biochem.* 22 : 209-211.

De Datta, S. K. 1987. Nitrogen transformation process in relation to improved cultural practices for lowland rice. *Plant Soil.* 100 : 47-69.

De Datta, S. K., R. J. Buresh, M. I. Samson, W. N. Obcemea, and J. G. Real. 1991. Direct measurement of ammonia and denitrification fluxes from urea applied to rice. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 55 : 543-548.

Heu, M. H. and H. P. Moon. 1974. Basic studies for the breeding of high protein rice. IV. Effect of short-day high-temperature treatment on the amylose and crude protein content of rice. *Korean J. Crop Sci.* 15 : 129-133.

Juliano, B. O. 1979. Amylose analysis in rice. *Proceeding of The Workshop. IRRI. Los Baños, Pilippines.* pp. 251-260.

Kim, B. I., Y. S. Im, and S. Y. Ahn. 1988. Physicochemical properties of rice starch and cooked rice hardness. *J. Korean Agri. Chemical Sci.* 31(3) : 249-254.

Kochba, M., S. Gambash, and Y. Avnimelech. 1990. Studies on slow release fertilizers. 1. Effects of temperature, soil moisture, and water vapor pressure. *Soil Sci.* 149 : 339-343.

Lee, S. S. and D. W. Lee. 2001. Growth of seedlings and transplanted rice affected by slow release nitrogen fertilizers mixed with soil in seeding box. *Korea J. Crop Sci.* 43(4) : 289-295.

Martin, M. and M. A. Fitzgerald. 2002. Protein in rice grain



- influence cooking properties. *J. Cereal Sci.* 36 : 285-294.
- NIAST. 2000. Methods of soil and crop plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- 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.
- Novoa, R. and R. S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant Soil.* 58 : 177-204.
- Obcema, W. N., S. K., De Datta, and F. E. Broadbent. 1984. Movement and distribution of fertilizer nitrogen as affected by depth of placement in wetland rice. *Fert. Res.* 5 : 125-148.
- Park, K. B. 1993. Influence of coated urea complex fertilizer application on growth and grain quality of paddy rice. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 26(2) : 72-77.
- Park, K. B. 1994. Effect of coated urea complex fertilizer application levels on growth and grain quality in rice cultural methods. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 27(3) : 226-231.
- Peng, S., F. V. Garcia, H. C. Gines, R. C. Laza, M. I. Samson, A. L. Sanica, R. M. Visperas, and K. G. Cassman. 1996. Nitrogen use efficiency of irrigated tropical rice established by broadcast wet-seeding and transplanting. *Fert. Res.* 45 : 123-135.
- Phongpan, S. and B. H. Byrnes. 1990. The effect of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide on the efficiency of urea application in a flooded rice field trial in Thailand. *Fert. Res.* 25 : 145-151.
- RDA. 2002. Evaluation of grain quality and taste of rice
- Shoji, S. 1997. New Environment Protecting Agriculture. Seunil-sa, (Japanese and translated into Korean by K. B. Park).
- Stangel, P. J. and G. T. Harris. 1987. Trends in the production, trad, and use of fertilizers : A global perspective. Effective of nitrogen fertilizers for rice. IRRI, Los Banos, Pillippines., 1-26.
- Yoo, C. H., B. W. Shin, S. B. Lee, J. H. Jeong, S. S Han, and S. J. Kim. 1997. Effect of latex coated urea on nitrogen use efficiency and yield on drill seeded rice. *J. Korean Soc. Soil. Sci. Fert.* 30 : 114-121.