

## 중질소와 순수규산 시비수준이 벼의 양분흡수 및 생리적 특성에 미치는 영향

조영손\*<sup>†</sup> · 전원태\* · 박창영\*\* · 박기도\*\* · 강위금\*\*

\*농촌진흥청 작물과학원, \*\*농촌진흥청 작물과학원 영남농업 연구소

### Study of Nutrient Uptake and Physiological Characteristics of Rice by <sup>15</sup>N and Purified Si Fertilization Level in a Transplanted Pot Experiment

Young-Son Cho\*<sup>†</sup>, Won-Tae Jeon\*, Chang-Young Park\*\*, Ki-Do Park\*\*, and Ui-Gum Kang\*\*

\*National Institute of Crop Science, RDA. Suwon 441-857

\*\*Yeongnam Agricultural Research Institute, RDA. Milyang

**ABSTRACT** A pot experiment was conducted for two years to evaluate the effects of purified Si fertilization combined with <sup>15</sup>N on the nutrient uptake, plant growth characteristics, and photosynthetic characteristics of rice in water melon cultivated soil. In 2002, plant height was positively affected at 25 DAT (Day After Transplanting) by Si fertilization in 100%N treatment. However, in 2003, plant height at 25 DAT was negatively affected by Si fertilization in low N level but it was reversed in high N level with initial increase of plant height. Tiller number per pot was positively affected by N and Si fertilization level, especially for high N fertilized treatment. Leaf color was positively affected by Si fertilization in no N fertilized pots, however, Si was not effected in 50%N and 100%N fertilized treatments. N harvest index (NHI) increased with increased Si fertilization in no N plots, however it decreased with increasing of N fertilization level. Nitrogen use efficiency (NUE) decreased with increasing of fertilized N but Si fertilization increased NUE in 50%N plots, however, it was not different by the Si fertilization level in 100%N plots. In 50%N+200%Si plots, NUE was greatest with 130 and shoot N content was 16.2 g-N/m<sup>2</sup>. N content (g/m<sup>2</sup>) in rice plant increased with increasing Si fertilization in no N plots at panicle initiation stage, 50 and 100%N plots at heading stage and all N treatment at harvesting time. This was mostly more efficient in late growth stage than early growth stage. The concentration (%) of P and K increased with increasing N fertilization level at heading and harvesting but it was not significantly

different by the Si fertilization treatment except a little decreasing with increasing Si fertilization level at heading. Potassium content was also not significantly related with N fertilization level except increasing with Si fertilization level at panicle initiation stage. Plant Ca content (%) decreased with increasing of Si fertilization at heading stage and Si fertilization increased Ca content at panicle initiation stage and heading stage and it increased with increasing of Si fertilization level. Photosynthetic activity was not directly related with Si fertilization amount, however, Fluorescent factors, Fv'/Fm' and PsII, were positively affected by Si fertilization level. In conclusion, N fertilization in Si 200% fertilized condition should be reduced by about 50% level of recommended N fertilization for rice cropping in green-house water-melon cultivated paddy field. However, improvement of Ps by Si fertilization could not be attributed to Ps activity in the same leaf area but because of increased total leaf area per pot improved fluorescent characteristics.

**Keywords** : grain quality, N, Ps (Photosynthesis), Fluorescent, rice, silicate fertilizer (SF)

### 연구배경

자연 상태에서 규산은 주로 벼과 식물에 의해 흡수되어 유기물의 구성분으로 토양에 환원되어진다. 그러나 최근에는 벼 등의 식물체가 가축사료로 많이 이용되면서 제철공장의 부산물인 slag 형태로 벼농사에 시용되고 있다. Slag의 구성성분은 SiO<sub>2</sub>는 36.0-37.1, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 13.1-15.7%, CaO가

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6687  
(E-mail) choyoungson@hanmail.net <Received August 17, 2006>

37.9-40.4% 그리고 MgO가 5.2% 정도이며 알칼리도가 높아 pH가 9.7-10.7에 이른다(Kang and Jung, 2002). 1995년도엔 한국의 논토양은 31.5%가 규산함량이 50 mg · kg<sup>-1</sup>이 하이고, 42.1%가 50-100 mg · kg<sup>-1</sup>이었으며 정부의 무상 지원 등에 꾸준히 증가하여 2000-2004년 사이 전국평균 규산함량은 109 mg · kg<sup>-1</sup>(Jang *et al.*, 2004)으로 높아졌으나, 적정수준인 130 mg · kg<sup>-1</sup> 벼의 최대수량과 미질을 나타낼 수 있는 180 mg · kg<sup>-1</sup>에는 못 미치고 있다. 현재까지 질소의 시비수준별 벼 수량특성 및 품질(Lee, 1986)과 규산질비료의 사용에 따른 벼의 수량증수와 병해충 방제효과(Deren *et al.*, 1994; Cho *et al.*, 2006) 및 미질 향상 등은 많이 알려져 있다(Cho *et al.*, 2006). 이 등(Lee *et al.*, 1975)도 규산 시비량에 의한 질소 흡수량 등에 관한 연구를 수행하였고, 강 등(1981)은 냉온 하에서 규산과 인산의 흡수 양상을 구명하였고, 현재는 논외의 규산함량과 유기물 함량에 따른 시비 모델까지 만들어져 있다. 하지만 규산질비료에는 Ca가 40% 그리고 다른 미량원소들이 함유되어 있어서 실제로 그 효과가 규산의 효과인지 아니면 칼슘의 효과인지 정확히 규명되어 있지 않은 실정이다. 규산의 흡수는 측근(lateral root)을 통해 이루어지므로 유수형성기에서 출수기 사이에 규산의 흡수가 많을 것으로 알려져 있는데(Ma *et al.*, 2001) 이에 대한 구체적인 시비수준별 연구는 없다. 이에 본시험에서는 순수규산 powder를 사용하여 규산의 효과를 중질소와 함께 시비하여 규산 단독효과와 질소의 흡수 양상과의 상호 작용을 동시에 구명코자 하였다. 아울러, 광합성량은 규산질비료 사용에 의해 증가한다고 보고되고 있다(Takahashi *et al.*, 1990; Ma and Takahashi, 2001a,b). 그러나 형광에 관해서는 벼의 관수기간에 따른 광합성과 형광(Lee and Kang, 2001), 보리의 한발에 따른 형광특성(Fu *et al.*, 2003)에 관한연구는 있으나 질소와 규산사용에 따른 벼의 형광특성에 관한 보고는 아직 없다. 실제 벼 생육기간에 규산사용에 따른 단위면적당 광합성량 증가가 엽면적의 증가에서 기인하는지 아니면 형광에서 2차적인 대사과정의 효율성에서 기인하는지에 대한 명확한 연구가 없으므로 본 시험에서는 질소와 규산사용에 따른 질소 이용효율과 규산이 광합성과 형광에 미치는 영향을 동시에 규명하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 시험설계 및 처리

시험 1년차(2002년도)에는 완전임의 12 반복으로 처리수준은 질소시비 세 수준(0, 50 and 100% : 0, 57, 114 g · m<sup>-2</sup>)

그리고 규산(SiO<sub>2</sub>: 99.9%) 세 수준으로(100, 150, 200% : 0, 520 and 790 g · m<sup>-2</sup>) 하였다. 엽면적과 건물중 등의 측정을 위하여 유수형성기, 출수기, 수확기로 구분하여 시료를 채취하였으며, 유수형성기와 출수기에는 3반복으로 하였으며, 수확기에는 6반복으로 수확하였다. 시험 2년차(2003년도)에는 같은 pot 시험장에서 질소(Urea-15N: 10.2 Atom % N) 시비수준만 5수준(0, 25, 50, 75, and 100% : 0, 2.8, 5.7, 8.4, 11.4 N g · m<sup>-2</sup>)으로 하였으며, 규산 수준은 1차년도와 동일하게 유지하였고 나머지 재배방법은 1년차 시험과 동일하게 하였다. 인산(Calcium super phosphate)과 칼리(Potassium chloride)는 각각 3.0과 2.1 g · m<sup>-2</sup>으로 기비로 사용하였다. 질소와 칼리의 분시비율은 70% : 30%(기비 : 추비)로 질소 추비는 유수형성기에 1년차에는 17과 34 N g · m<sup>-2</sup>으로 하였고, 시험 2년차에는 0.85, 1.7, 2.55, 3.4 g · m<sup>-2</sup>로 사용하였으며 칼리는 1, 2차년도 공히 0.7 Kg · m<sup>-2</sup>을 질소와 같은 시기에 시비하였다.

### 시험토양, 시비, 재배방법 및 관리

본시험은 시설재배 후작지 토양으로 2002년에서 2003년까지 2개년에 걸쳐서 영남농업연구소 Pot 시험장에서 시행되었다. 토양은 수박-벼 재배 시험포장에서 0-10 cm와 10-30 cm로 구분하여 운반하였으며, 이를 깊이 35 cm 직경 16 cm의 플라스틱 pot에 30 cm 가량 채우고 가비중은 표토(0-10 cm)는 1.2 g · cm<sup>-3</sup>, 심토(10-30 cm)는 1.5 g · cm<sup>-3</sup>로 조절하여 흙을 채웠다. 시험에 사용된 흙은 사양질(모래, 68.0%; 미사, 27.5%; 점토, 4.5%)이며 pH는 5.9(1:5, soil : water), 인산함량은 350 mg · kg<sup>-1</sup>, 칼리함량은 1.14 cmol · kg<sup>-1</sup>, 칼슘은 2.6 cmol · kg<sup>-1</sup>, 마그네슘은 1.1 cmol · kg<sup>-1</sup>, 가용성규산은 75 mg · kg<sup>-1</sup> 그리고 유기물함량은 23 g kg<sup>-1</sup>인 시설재배지 3년차(2002년), 4년차(2003년) 포장이었다. 규산 사용량 결정에 사용된 계산식은 다음과 같다.

$$\text{Si 사용량 (kg/10a)} = [(\text{Target uptake} - \text{Natural supply}) - (\text{Si concentration in soil (ppm)})] \times 3.8 \text{ kg}$$

전 시험기간에 Pot는 30 cm × 20 cm 간격으로 배치하였으며, 각 pot당 30일 묘를 1주 2본씩 약 2 cm 깊이로 손이 양하였다. Pot 시험장 바닥은 온도의 급격한 변화를 막기 위하여 25 cm 정도 담수상태를 유지 하였다. 그리고 Pot는 추비시용시기에는 0-2 mm 정도의 담수심을 유지 하였으며, 그 외의 기간에는 3-4 cm 상시 담수상태를 유지 하였다. 완전 물 떼기는 출수 후 25일에 실시하였다. 시비전후에 폭우

로 인한 양분의 손실을 막기 위하여 폭우 등이 예상 될 때는 비닐 덮개를 설치하였다.

벼의 엽면적은 Leaf Area Meter(AMM-7, Japan)를 사용하였으며, 광합성 및 형광 측정은 LI-6400(LICO, USA)를 사용하였다. 건물중은 70°C에서 3일간 건조 후 무게를 측정하였으며, 나머지 토양 등의 분석법은 포장시험과 동일하게 수행하였다.

출수기에 벼의 뿌리활력을 간접적으로 측정하기 위하여 야간(6 pm to 6 am)에 물관부를 통한 양분과 수분의 이동량을 조사하였다. 이는 지상부 10 cm 위치의 벼 줄기를 절단한 후 2 ml의 솜이 든 3 ml의 플라스틱 튜브를 절단부위에 거꾸로 설치후 채취된 총량을 단위시간당으로 환산하여 표시하였다.

### 결과 및 고찰

#### 벼 주요 생육시기별 초장 변화

벼 초장은 질소시비량이 증가할수록 증가하였으며, 무질소구에서는 무규산구가 규산구보다 높았다(Fig. 1a). 그리고 질소 50% 시용구에서는 무규산구와 100% 규산구 간에 비슷한 양상을 나타냈으며, 질소 100% 시용구에서는 이양후 25일과 50일경에 규산 200% 시용구에서 가장 높았으나 무규산구와 규산 150% 처리구간에는 뚜렷한 차이가 없었다.

2년차 시험에서도 질소시비량이 증가할수록 초장은 길었다(Fig. 1b). 1년차 결과와 마찬가지로 규산사용에 따라서 무질소구에서는 초장이 감소하는 경향을 보였다. 그리고 질소 25% 시용구에서는 초기에는 무규산구의 벼 초장이 길었

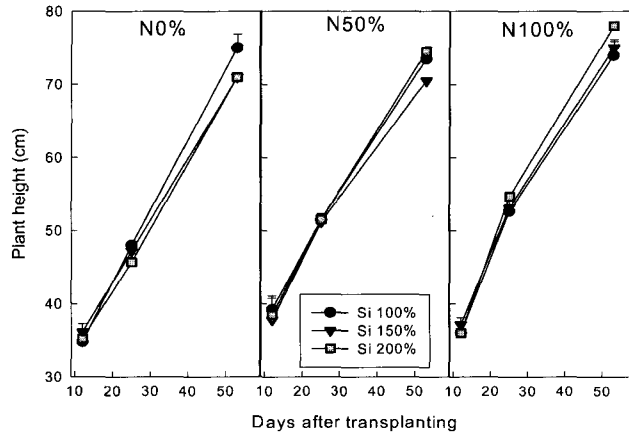


Fig. 1a. Changes of plant height of rice plant as affected by N and Si fertilization level in pot experiment in 2002. Bars indicate the S.D. of the mean.

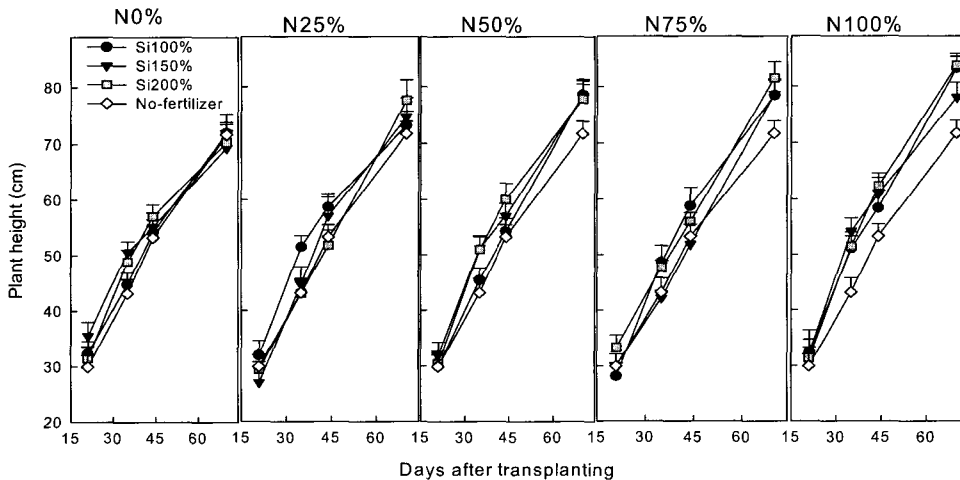


Fig. 1b. Changes of plant height of rice plant as affected by N and Si fertilization level in a pot experiment in 2003. Bars indicate the S.D. of the mean.

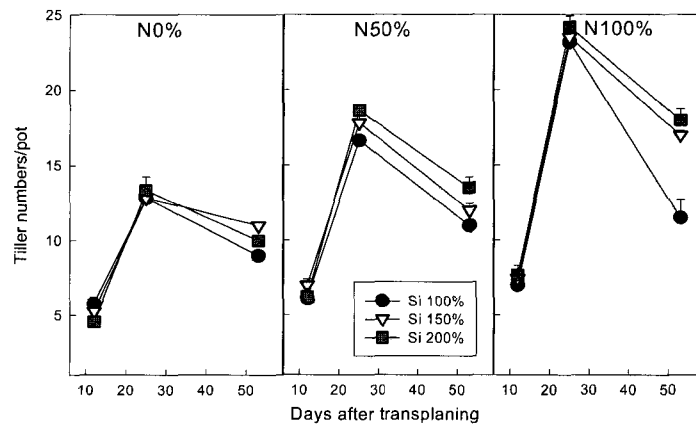
으나, 이양후 70일경에는 규산 처리구의 벼 초장이 길었다. 질소 50% 시용구에서는 이양후 35일경에 규산시용구에서 초장이 긴 경향이였으나 그 이후에는 규산시용에 따른 초장의 뚜렷한 차이가 없었다. 질소 75% 시용구에서는 이양후 35일경부터 70일까지 규산시용구에서 초장이 길었다. 질소 100% 시용구에서는 이양후 44일까지는 규산시용량이 증가할수록 초장이 긴 편이었으나 77일째에는 규산 150%구에서 가장 짧았고 무규산구와 200%구에서는 뚜렷한 차이가 없었다.

**벼 주요 생육시기별 분얼수 변화**

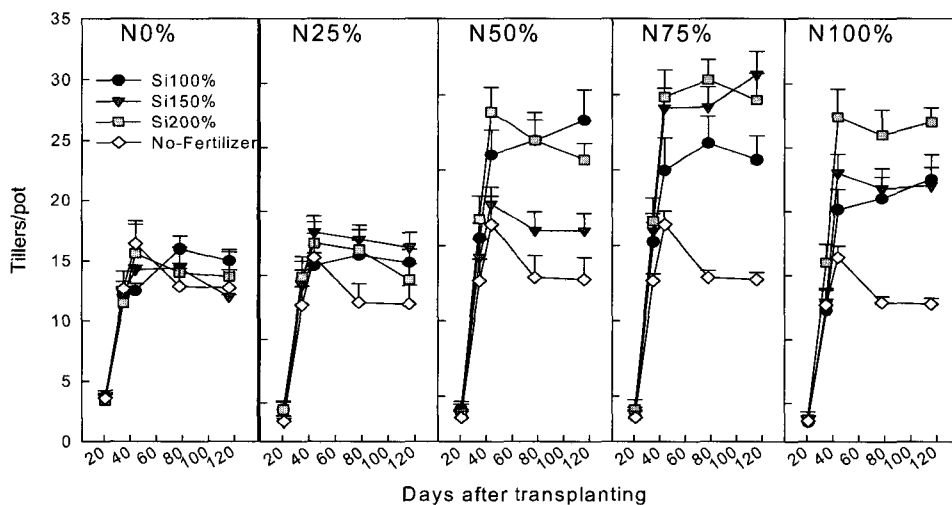
1차년도 시험결과 질소시비량이 증가할수록 분얼수는 증

가하였다(Fig. 2a). 이양후 12일경에는 무질소구의 경우 무규산구에서 규산시용구보다 분얼수가 많았으며, 이양후 25일과 55일경에는 규산시용구가 분얼수가 많았다. 질소 50%와 100% 시용구에서는 전 조사시기에서 규산시용구가 무규산구보다 분얼수가 많았다. 이러한 결과는 질소시비량이 많을수록 규산시용의 효과가 더 높게 나타날 수 있음을 뜻하는 것으로 사료된다.

2년차 시험결과 질소 시비량이 증가할수록 분얼수가 증가하였다(Fig. 2b). 무질소구의 경우 이양후 44일경에는 규산처리구에서 분얼수가 많았으나, 그 이후에는 오히려 무규산구에서 높았다. 질소 25% 시용구에서는 이양후 44일과 77일경에는 무규산구에 비해 규산시용구가 분얼수가 많았



**Fig. 2a.** Changes of tiller numbers/pot of rice plant as affected by N and Si fertilization level in a pot experiment in 2002. Bars indicate the S.D. of the mean.



**Fig. 2b.** Changes of tiller numbers/pot of rice plant as affected by N and Si fertilization level in a pot experiment in 2003. Bars indicate the S.D. of the mean.

으나, 116일 경에는 규산 200% 시용구에서 가장 적었다. 질소 50% 시용구에서는 이양후 35일 경부터 분얼수에 차이가 나타났으며, 규산 150% 시용구에서 가장 적었고 규산 200% 시용구에서 높게 유지되다가 118일경에는 무규산구에서 가장 많았다. 질소 75% 시용구에서는 이양후 35일경부터 규산처리구가 무규산구에 비하여 Pot당 분얼수가 약 5개 이상 많았다.

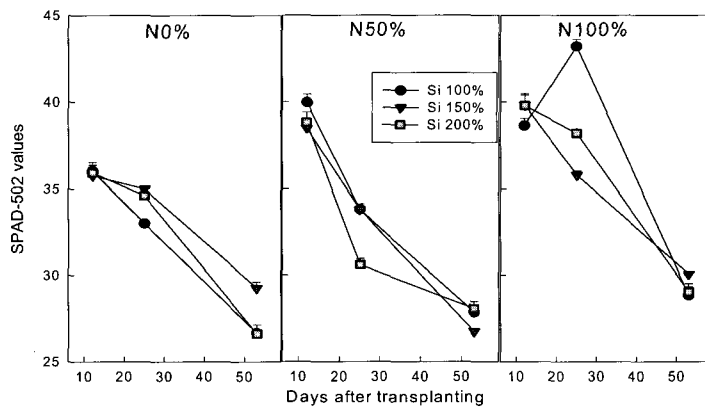
질소 100% 시용구에서도 75% 시용구와 비슷한 경향을 보였으나, 이양후 118일경에는 150% 시용구와 무규산구간에 뚜렷한 차이가 없었다.

**벼 주요 생육시기별 엽색도 변화**

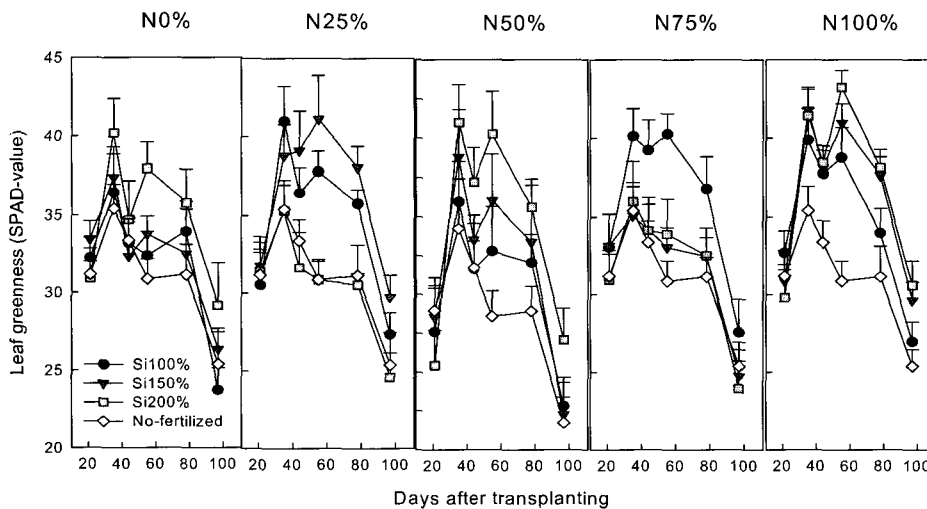
1차년도 시험에서 엽색도는 질소시비량이 증가할수록 높

았다(Fig. 3a). 무질소구에서는 규산사용에 의해서 엽색도가 높았으나, 질소 50%와 100% 시용구에서는 규산사용에 따른 엽색도의 차이가 명확하지 않았다. 오히려 이양후 15일경 질소 50%구와 이양후 25일경 질소 100% 시용구에서는 무규산구의 벼가 규산구의 벼 보다 높은 엽색도를 나타내었다. 하지만 엽색도계(SPAD-502)의 특성상 유수형성기 20일전까지는 엽신의 질소함량을 대표하기 어렵기 때문에, 이양후 55일경에 조사된 성적으로 볼 때 질소 50%구를 제외한 무질소구와 100%구에서 규산사용에 따른 엽색도의 증가가 인정되었다.

2차년도 시험에서의 벼 엽색도는 질소 시비량이 증가할수록 증가하는 경향이였다(Fig 3b). 무질소구의 경우 이양후 44일과 55일경에는 규산 200% 시용구에서 엽색도가 가



**Fig. 3a.** Changes of SPAD-values of rice plant as affected by N and Si fertilization level in a pot experiment in 2002. Bars indicate the S.D. of the mean.



**Fig. 3b.** Changes of SPAD-values of rice plant as affected by N and Si fertilization level in a pot experiment in 2003. Bars indicate the S.D. of the mean

장 높게 유지 되었으나, 그 이외의 조사시에는 무규산구에서 높았다. 질소 25%, 50% 시용구에서도 비슷한 양상을 나타냈다. 질소 75% 시용구에서는 이양후 21일경을 제외하고는 전생육 기간에 걸쳐 규산시용량이 증가할수록 엽색도가 높게 나타났다. 질소 100% 시용구의 경우 규산 200%구에서만 전체적으로 엽색도가 높았으나, 규산 무시용구에서는 생육 후기에 그리고 규산 150% 시용구에서는 초기에 대체로 높은 엽색도를 나타냈다. 뿌리의 활력이 가장 왕성한 시기에 규산흡수량이 증가하고 동시에 질소의 흡수량이 증가하여 엽색도가 높게 나타난 것은 생육 중·후반기에 규산의 효과가 두드러짐을 의미한다. 이는 Ma등(2001b)이 이미 발표한 규산의 흡수는 측근을 통해서 이루어진다는 것에서 해석이 가능하였다.

**벼 엽신의 광합성 및 형광 관련 요소의 특성**

Light 커브는 각 광의 강도별로 광합성능을 측정하는 방법인데 Rubisco의 활성을 간접적으로 측정하는 비파괴적인 유용한 방법으로 알려져 있다. 질소 시용량이 증가할수록 광합성량은 증가하였다(Fig. 4). 무질소구와 질소 100%구에서는 무규산구가 규산구보다 광합성량이 높았으나, 질소50% 시용구에서는 규산구가 무규산구보다 높았다. 이 같은 결과는 Takahashi등(1990)이 제시한 규산 시용에 따른 불필요한 증산량 억제로 광합성량이 증가한다는 보고와는 다른데, 그 원인은 기상환경의 불량으로 인하여 규산시용구에서 엽신의 두께(Table 2)보다는 엽면적이 상대적으로 증가하여 식물

체전체의 광합성량은 높으나 단위면적당의 광합성량은 오히려 감소하거나 비슷한 수준을 나타낸 것으로 사료되었다.

광커브에서는 질소 50% 시용구에서만 대표적으로 표시하였는데, 무규산구가 규산구보다 전체 조사 파장범위에서 높게 나타났다(Fig. 5a). 형광요소중에서 Fv/Fm(Photosynthetic Efficiency : 광합성효능) 역시 측정파장 모든 범위에서 무규산구가 규산구보다 높게 나타났다. 질소 100% 시용구에서는 규산 200% 시용구에서 광포화점이 가장 높았으며, 질소 50%시용구와는 다르게 규산 150% 시용구에서는 모든 조사파장에서 가장 낮은 광합성 활성을 나타냈다(Fig. 5b). 또한 질소 100% 시용구에서는 비교적 낮은 광강도(<900  $\mu\text{mol}^{-1} \text{sec}^{-1}$ )까지는 무규산구가 광합성효능이 높았고, 파장 900이상에서는 규산시용간 유의적인 차이는 없었으나 규산 200% 시용구에서 높은 경향을 나타내어 규산 시용량이 많을수록 광합성효능이 높은 것으로 사료되었다.

무질소구에서 형광특성을 규산무시용과 150% 시용으로 구분하여 조사한 결과 Fv/Fm(Optimum Quantum Yield = Chlorophyll Fluorescence Ratio : 최대 광양자 수율)은 비슷하였는데, 모두 0.80-0.83부근에 위치하여 건전한 생육을 하는 것으로 나타났다(UTS, Science web site : Fig. 6). 광합성효능은 규산시용구에서 현격히 증가하였으며, PhiPS2 (Electron Conductivity Speed : 전자전달속도)에서도 규산 시용의 효과가 높게 나타났다. 위 결과들은 광합성량은 규산처리구에서 불리하지만 순광합성량을 계산하면 오히려 유리하다는 새로운 결과를 제시한 것으로 사료된다.

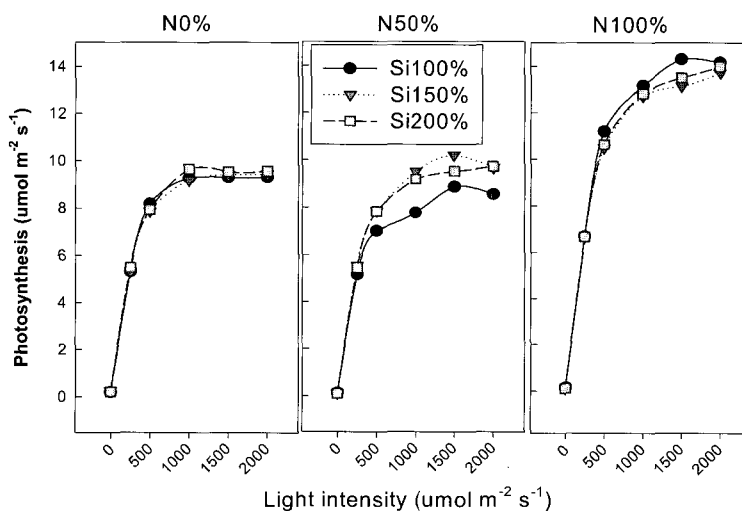


Fig. 4. Changes of photosynthetic activity of rice plant as affected by N and Si fertilization level in a pot experiment in 2002. Bars indicate the S.D. of the mean.

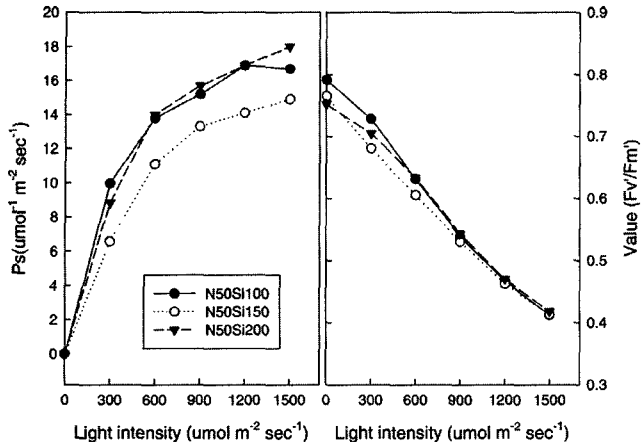


Fig. 5a. Changes of photosynthetic activity and  $F_v/F_m'$  of rice plant as affected by N and Si fertilization level in 50%N fertilized level in a pot experiment in 2003.

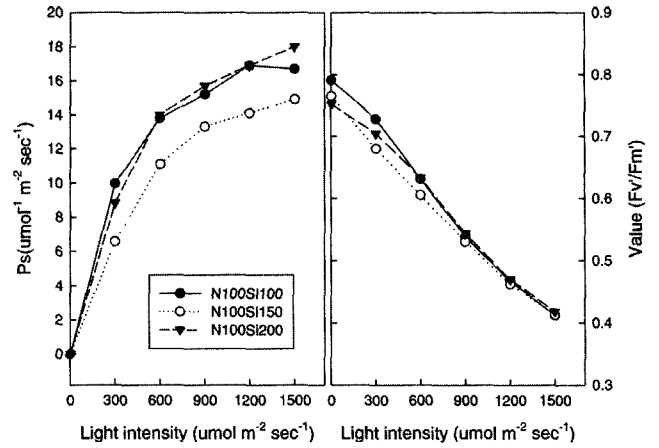


Fig. 5b. Changes of photosynthetic activity and  $F_v/F_m'$  of rice plant as affected by N and Si fertilization level in 100%N fertilized level in a pot experiment in 2003.

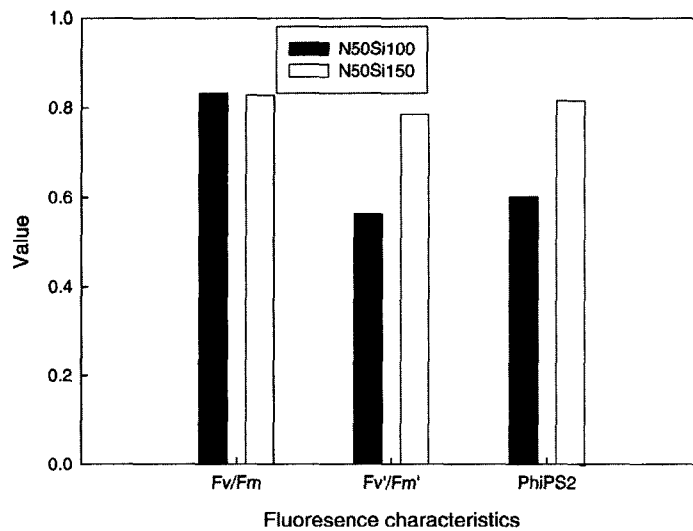


Fig. 6. Changes of fluorescence characteristics ( $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_m'$ ,  $\Phi_{PS2}$ ) of rice plant as affected by N and Si fertilization level in 50%N fertilized level in a pot experiment in 2003.

**벼 물관부액의 이동량**

벼의 출수기에 단위시간당 야간에 물관부를 통한 수분(Xylem sap)의 이동량은 질소시비량이 증가할수록 각 pot 당 이동량이 증가하는 경향이였다(Fig. 7). 규산시용에 따른 이동량은 무질소구를 제외한 전 질소 시비 수준에서 높게 나타났다. 이를 각 분얼수당으로 환산하였을 경우의 결과는 질소 각 시비수준간에 뚜렷한 차이가 없었고 질소 50%와 75, 100%구에서만 규산 시용에 따른 Xylem sap의 량이 증

가하였다. 이는 상대적으로 뿌리의 활력과의 관계가 깊은데 규산 시용에 따른 뿌리의 활력이 증가되었음(Furubayashi *et al.*, 2002)을 암시하고 있어서 규산의 역할은 지상부와 더불어 지하부에도 중요한 기능을 하는 것으로 파악되었다.

**질소 흡수율**

중질소를 처리한 시험에서 질소회수율을 비교한 결과 유수형성기(Panicle Initiation Stage)와 수확기(Harvesting) 모

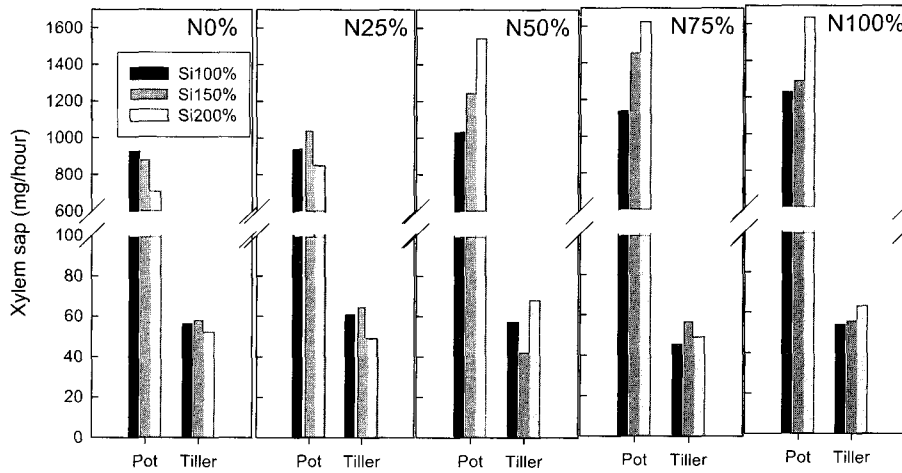


Fig. 7. Xylem sap of rice plant as affected by N and Si fertilization level in a pot experiment in 2003.

Table 1. Nitrogen uptake as affected by N and Si fertilization level in a pot experiment in 2003.

N (%)	Si (%)	Panicle Initiation (N <sup>15</sup> %)	Harvesting (N <sup>15</sup> %)
50	100	33	38
	150	35	40
	200	38	45
Average		35.5	41.3
S.D.		1.1	1.7
100	100	30c	34
	150	32b	37
	200	36ab	41
Average		33.2	37.3
S.D.		1.4	1.8

두 질소 시비량이 증가할수록 감소하는 경향이었으나, 규산 사용량이 증가할수록 역으로 높아지는 경향을 나타냈다 (Table 1). 이는 규산사용으로 인한 질소의 시비효율을 크게 증가시키는 유수형성기에서 출수기에 크게 기여한 것(Cho and Kobata, 2002; Chun and Lee, 2006) 으로 사료되며, 결국 화학비료 사용으로 인한 수질 오염 및 토양오염을 줄이고 고품미를 생산할 수 있는 좋은 방법으로 사료된다.

**엽면적 및 엽신 건물중**

엽신과 줄기의 건물중은 질소시비량이 증가할수록 증가하였다(Table 2). 규산 사용에 따른 엽신의 증가는 질소 0, 25% 사용구에서는 인정되지 않았으나, 질소 50% 사용구 이상에서는 대체로 규산 150%사용구보다 200% 사용구에

서 급격히 증가하였다. 줄기 건물중은 무질소구를 제외한 모든 처리구에서 규산 200% 사용구는 높은 경향을 나타냈으나, 규산 150% 사용구에서는 그 효과가 인정되지 않았다.

엽면적은 질소시비량이 증가함에 따라서 현격하게 증가하였다. 규산사용의 효과도 엽신건물중과 비슷한 경향을 나타내어 규산 200% 사용구에서 높은 경향을 나타냈다. 벼 엽신중은 질소시비량이 증가할수록 대체로 감소하는 경향이었고, 규산처리에 의한 효과는 인정되지 않았으며 오히려 무 규산구가 규산 200% 사용구보다 높았다. 이는 단위면적당 광합성능력은 무규산구가 높으나 단위면적당 전체 광합성량과 순광합성량이 규산 사용구에서 높다는 결론을 도출할 수 있었다.

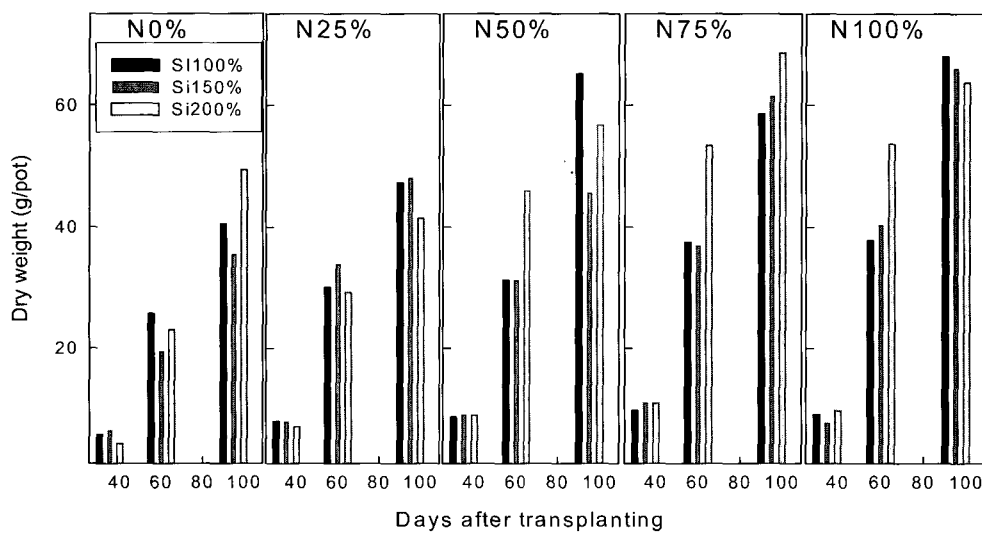
**벼의 지상부 건물중 변화**

질소 시비량이 증가할수록 지상부 건물중은 증가하는 경향이었으나, 질소 75%와 100% 사용구간에는 뚜렷한 차이가 없었다(Fig. 8). 이는 질소 50%에서 75% 사이가 시비효율을 극대화할 수 있는 Critical point로 사료된다. 규산 사용에 따른 건물중 변화는 무질소구의 수확기, 질소 50%구의 출수기, 질소 75%구의 전 생육 시기에서, 그리고 질소 100%구는 출수기에서 무규산 처리구에 비하여 높은 건물중을 나타냈으나, 그 외의 질소사용량과 사용 시기에서는 뚜렷한 차이가 없거나 오히려 무규산구보다 낮았다. 이는 질소시비량이 많은 조건에서 규산사용의 효과가 인정되는 것으로 사료된다.



**Table 2.** Dry weight, leaf area, and specific leaf weight of rice plant as affected by N and Si fertilization level in a pot experiment in 2003.

N (%)	Si (%)	Dry weight (g/pot)		Leaf area (cm <sup>2</sup> )/pot	Specific leaf weight (g/m <sup>2</sup> )
		Leaf blade	Stem		
0	100	25.7	5.8	1013	57.5
	150	19.6	4.2	742	56.3
	200	23.0	5.8	1031	56.6
	Average	22.8	5.3	928.3	56.8
	S.D.	1.8	0.5	93.3	0.4
25	100	30.1	5.6	1004	56.1
	150	34.0	6.2	1135	54.6
	200	29.2	6.1	1440	42.6
	Average	31.1	6.0	1192.5	51.1
	S.D.	1.5	0.2	129.2	4.3
50	100	31.3	6.9	1277	54.8
	150	31.3	6.9	1271	54.3
	200	46.1	10.2	2031	51.3
	Average	36.2	8.0	1526.2	53.5
	S.D.	4.9	1.1	252.2	1.1
75	100	37.5	7.6	1542	49.5
	150	37.0	7.8	1579	50.0
	200	53.4	12.1	2570	47.0
	Average	42.7	9.2	1896.8	48.8
	S.D.	5.4	1.5	336.5	0.9
100	100	37.8	10.2	3153	39.2
	150	40.5	9.8	2326	42.5
	200	53.7	12.4	4072	34.1
	Average	44.0	10.8	3183.2	38.6
	S.D.	4.9	0.8	504.3	2.4



**Fig. 8.** Changes of shoot dry weight of rice plant affected by N and Si fertilization level in a pot experiment in 2003. Bars represent 35, 60, and 95 days after transplanting, Panicle initiation, Heading, and time of harvest, respectively.

**수량 및 수량구성 요소**

벼 수량 구성요소 중에서 Pot당 이삭수는 질소시비량이 증가함에 따라서 증가하는 경향이였다(Table 3). 규산시용의 효과는 질소 0, 25, 50%구에서는 인정되지 않았고 75와 100% 시용구에서만 인정되었다. 수당립수는 질소시비량에 크게 영향을 받지 않았는데 시비 수준별로 보면, 질소 50, 75%구가 56과 57개로 가장 낮았으며 나머지 질소 시비수준에서는 60-62개로 비슷한 경향을 나타냈다. 규산시용의 효과는 무질소구에서만 인정되었으며, 나머지 질소시비수준에서는 무규산구가 규산시용구보다 오히려 높은 경향을 나타냈다.

등숙률은 질소시비량에 비례적으로 증가하였으나 소폭 증가에 그쳤다. 질소 무시용과 25% 시용구에서는 규산 150% 구에서 높아지는 경향이였으나 200%구에서는 그 차이가 없었다. 그리고 질소 50%와 75% 시용구에서는 유의적인 차이가 없었으며, 질소 100% 시용구에서는 규산 시용에 따라 등숙률이 감소하는 경향이였다.

천립중은 질소시비수준이 50% 이하의 경우가 그 이상인 경우보다 높았다. 규산시용에 따라서는 질소 25%시용구에서는 조금 높았으나, 그 외의 질소시비수준에서는 효과가 없었고 오히려 질소 100%구에서는 무규산구가 규산시용구보다 높았다. 정조중은 질소시비량이 증가할수록 높아지는 경향이였다. 질소 0%와 25%구에서는 규산시용에 따른 수량의 증가가 인정되었으나, 질소 50% 이상 시용구에서는 규산시용구와 무규산구가 비슷하였고 질소 100% 시용구에서는 오히려 무규산구가 더 높았다. 수량지수에서는 모든 처리구에서 관행시비체계의 수량보다 낮았다. 특이할 점은 질소 50% 시비구에 무규산처리가 관행대비 92%의 수량을 나타냈는데 이는 수수와 수당립수가 크게 기여하였다. 무질소구에서는 수당립수가 수량에 가장 큰 영향을 끼쳤고, 질소 50%구는 이삭수, 75%구에서는 수당립수가, 100%구에서는 천립중이 수량에 가장 큰 영향을 끼친 것으로 평가되었다.

1차년도에 비해 2차년도의 성적은 기후조건이 불량했던

**Table 3.** Grain yield and yield components of rice as affected by N and Si fertilization level in a pot experiment in 2003.

N (%)	Si (%)	Panicles/pot	Spikelets/panicle	Ripened grain (%)	1,000-grain weight(g)	Grain Yield (g/pot)	Yield Index
0	100	13.0	47.5	88.2	23.8	11.5	40
	150	12.0	60.5	95.1	23.8	13.7	47
	200	14.0	74.0	88.7	23.0	18.5	64
	Average	13.0	61.0	90.7	23.5	14.6	
	S.D.	1.0	13	3.8	0.5	3.6	
25	100	16.0	61.1	89.0	22.9	17.6	61
	150	17.0	59.9	92.5	24.5	19.9	68
	200	15.5	61.3	89.5	24.1	18.1	62
	Average	16.2	61.0	90.3	23.8	18.5	
	S.D.	0.8	1	1.9	0.9	1.2	
50	100	23.3	64.3	93.3	23.0	26.7	92
	150	16.0	59.0	90.1	24.4	18.3	63
	200	23.0	44.0	91.7	23.2	18.2	63
	Average	20.8	56.0	91.7	23.5	21.1	
	S.D.	4.1	11	1.6	0.8	4.9	
75	100	22.0	66.0	91.8	22.7	25.6	88
	150	29.5	43.5	89.4	21.9	21.6	74
	200	25.0	61.6	91.8	22.7	26.2	90
	Average	25.5	57	91.0	22.4	24.5	
	S.D.	3.8	12	1.4	0.5	2.5	
100	100	22.5	68.0	93.6	24.0	29.1	100
	150	22.0	68.1	91.9	22.0	25.0	86
	200	27.0	50.8	90.8	22.6	24.2	83
	Average	23.8	62	92.1	22.9	26.1	
	S.D.	2.8	10	1.4	1.0	2.6	

점을 고려할 때 평년의 결과로 단정 지을 수는 없지만 규산 자체가 수량에 미치는 직접적인 영향이 미미한 것으로 사료되고 앞에서 지적된 수광태세의 개선, 병해충발생감소, 미질향상(Cho *et al.*, 2006) 및 형광특성과 근활력등의 개선에는 분명한 역할을 하는 것으로 평가된다.

## 적 요

유기물 함량이 높은 토양에서는 질소 감비조건에서 관행 시비구와 유사한 수량을 확보할 수 있었던 원인은 토양중의 유기물의 무기화에 의한 암모늄태 질소의 효과적인 방출과 수량구성요소에서 초기에 충분한 분얼수의 확보 그리고 생육후반기에 등숙률의 향상이 그 주요 원인이었다. 결국 수박재배에서 시용한 유기물과 비료성분들이 벼 재배에 일정량 이용될 수 있고 이로 인하여 벼 재배에서는 질소시비량을 줄일 수 있었으며, 추가로 병해충 발생감소와 미질향상의 효과를 규산질비료 시용을 통해서 가능한 것으로 사료되었다. 규산시용에 따른 미질의 향상은 수량이 관행보다 높은 경우에는 유의적인 차이를 보이지 못하였고 비슷한 수량 조건에서는 관행구보다 우수한 미질을 나타내어 적절한 수량과 미질이 우수한 시비체계는 질소 50% 감비에 규산 200% 시용방법이 유리한 것으로 사료된다.

규산 시용에 의한 단위면적당의 광합성활성은 효과가 없었으나, 식물체 전체의 광합성량은 엽면적과 엽신건물중의 증가로 무 규산구보다 높았으며, 순광합성량에 가장 큰 영향을 미치는 형광은 규산 처리구에서 효과적이었다. 결국 규산 시용으로 인한 형광특성의 개선이 벼 식물체 전체 광합성 효율을 높였고 또한 근활력과 건물중의 증가를 고려해 볼 때 수량을 증가시킬 수 있는 포텐셜을 충분히 내재하고 있는 것으로 사료되었다. 결국 포장조건에서의 규산질비료의 시용은 칼슘과 마그네슘 등의 공조효과가 규산질 단독시용보다는 크며, 규산단독의 효과는 초장과 분얼수, 근활력, 건물중 등에서 낮은 질소시비조건보다는 높은 질소시비조건에서 더욱 유의적인 차이를 나타내는 것은 시비모델식과 일치하였다.

## 사 사

이 논문은 2002-2003년도 농촌진흥청 영남농업연구소 식물환경과 포스닥 과제 지원에 의해 수행되었으며 본 연구를 지원해주시고 도와주신 저자에 참여하지 못한 영남농업연구소 식물환경과 과장님을 비롯하여 모든 직원들과 보조원

여러분, 손호득 농감님, 그리고 광합성과 형광에 대해 많은 조언과 기술을 지도해주신 손 양 선생님과 본 과제 수행을 위해 시험장소를 흔쾌히 제공해주신 김상열 박사님께도 깊은 감사를 드립니다.

## 인용문헌

- Cho, Y.S. and T. Kobata. 2002. N top-dressing and rice straw application for low-input cultivation of transplanted rice in Japan. *Korean Journal of Crop Science*. 47(4) : 273-278.
- Cho Y.S., W.T. Jeon, S.D. Bae, and C.Y. Park, K.D. Park., U.G. Kang., R. Muthukumarasamy. 2006. Determination and effects of N and Si fertilization levels on grain quality and pests of rice after winter green-house water-melon cropping. *Kor. J. Crop Sci.* 51(4) : 274-281.
- Chun, A. and H.J. Lee. 2006. Absorption and partition of <sup>15</sup>N-labeled fertilizer in rice under different nitrogen application time and rate conditions. *Korean Journal of Crop Science*. 51(1) : 32-40.
- Deren, C.W., L.E. Datnoff, G.H. Snyder, and F.G. Martin. 1994. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosols. *Crop Sci.* 34 : 733-737.
- Fu, D.J., N.C. Paek, J.G. Kim, and B.W. Lee. 2003. Changes in physiological characteristics of barley genotypes under drought stress. *Korean Journal of Crop Science*. 48(6) : 506-515.
- Furubayashi, S., J. Abe, S. Morita, and J. Yamagishi. 2002. The effect of modeling treatment on the growth, yield and bleeding sap rate of soybean (*Glicine max*) in two years with different precipitation. *Bulletin of Kanto Branch of the Japanese Journal of Crop Science* 17, 60-61. in Japanese.
- Jang, G.S., S.J. Jung, Y.H. Kim, S.K. Rim, and S.Y. Hong. 2004. Soil testing of regional major crops for web service. *농업과학기술원 완결보고서* 272-280.
- Kang, Y.S., Y.T. Jung, and R.K. Park. 1981. Investigation on uptake of silica and phosphorous and rice fertilization impediment occured in Yeongnam area under the cool weather of 1980. *Korean Journal of Crop Science*. 26(3) : 226-232.
- Kang, Y.S. and Y.T. Jung. 2002. Research on agricultural utilization of silicon in Korea : Progress and prospects. *Second Silicon in Agriculture Conference*. pp. 262-265.
- Lee, C.S. 1986. Studies on determination of N-fertilizer rates for increasing rice field in paddy soils. *Res. Rep. RDA (P.M & U)*. 28(2) : 6-21.
- Lee, S.G. and B.H. Kang. 2001. Effect of overhead flooding stress on photosynthesis and growth in rice. *Korean Journal of Crop Science*. 46(3) : 209-214.
- Lee, S.K., Yu, J.C, and M. Kohno. 1975. Fate of inorganic nitrogen by addition of silica materials on the fresh soil

- condition. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 8(2) : 61-68.
- Ma, J.F., Y. Miyake, and E. Takahashi. 2001a. Silicon as a beneficial element for crop plants. 2001 ELSEVIER. *Studies in Plant Science*, 8. *Silicon in Agriculture*. pp. 17-39.
- Ma, J.F., S. Goto, K. Tamai, and M. Ichii. 2001b. Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. *Plant Physiology*. 127(4) : 1773-1780.
- Takahashi, E., J. Ma, and Y. Miyake. 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Comm. Agric. Food Chem.* 2. 99-122.
- UTS, <http://www.science.uts.edu.au/des/StaffPages/PeterRalph/fluorescence.html>.