

## 규산과 질소형태별 처리에 따른 벼의 수분 및 질소흡수와 이용효율 비교

최경진\*<sup>†</sup> · 이정일\*\* · 정남진\*\*\* · 양원하\* · 이충근\* · 오세관\* · 김제규\*\*\*\*

\*농촌진흥청 국립식량과학원, \*\*농업기술실용화재단, \*\*\*전북대학교, \*\*\*\*전남대학교

## Comparison of Water, Nitrogen Uptake and Use Efficiency Treated with Silica and N Application Forms

Kyung-Jin Choi\*<sup>†</sup>, Jung-Il Lee\*\*, Nam-Jin Chung\*\*\*, Won-Ha Yang\*, Chung-Keun Lee\*, Se-Kwan Oh\*, and Je-Kyu Kim\*\*\*\*

\*National Institute of Crop Science, RDA, Suwon Korea

\*\*Foundation of Agri. Tech. Commercialization Transfer, Suwon Korea

\*\*\*Chonbuk National University, Jeonju, Korea

\*\*\*\*Chonnam National University, Gwangju, Korea

**ABSTRACT** This experiment was carried out to elucidate the effects of silicate and different application forms of N on the uptake of water and N by rice plants. Three rice cultivars, Ilpum, Anda and M202, were grown under the hydroponics in a phytotron. One-hundred ppm silica was applied for silicate treatment. For nitrogen application forms were 100% NH<sub>4</sub> and NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub> in 2:1 ratio were applied. Silica treatment, compared to silica free, was very effective on the nitrogen uptake and dry weight increase of rice plants. Although silica application demonstrated no significant effect on the amount of water uptake, it improved increased water and nitrogen use efficiency. Therefore, sufficient application of silicate in paddy field will be useful for the growth of rice plants and water saving.

**Keywords** : rice, hydroponics, silica, ammonium, nitrate, water uptake, n uptake, use efficiency

**많은** 연구자들에 의해 벼에 대한 규산의 효과는 일찍부터 인정되어 왔다. 논토양에 필요한 규산의 최저함량은 130 ppm (Park, 1984)으로 벼는 규산을 잘 흡수하며 규산을 사용하면 벼 체내의 질소흡수량도 증가하여 수확량을 증대시키고 (Ro, 1975) 흡수된 규산은 주로 벼의 체내에 집적되어 생육을 건실하게 하고 이화명충 등의 해충 저항성을 증대시킨다고 한다(Sohn and Kim, 1982). 그러나 토양중 규산이 과다

하면 벼의 인산흡수를 억제시키는 상호 길항작용도 있지만 (Lim and Baek, 1983) 규산사용에 의해 벼의 엽면적과 엽 신건물중이 증가하여 식물체 전체의 광합성량은 증가하며 수량이 비슷할 경우 규산사용으로 쌀의 품질이 향상된다고 하였다(Cho *et al.*, 2006). 특히 생식생장기 냉수관개로 인한 영화의 착생수, 기경과 영화의 퇴화율 및 불임율은 인산, 칼리 및 규산의 증비로 피해가 경감되며 특히 규산의 증비 효과가 탁월하였다고 하였다(Choi and Hwang, 1986). 과거 우리나라 논은 유효규산이 부족하여 수량증대에 큰 제한요인이 되었지만 많은 연구결과와 정부의 지원으로 대부분의 논은 비교적 충분한 유효규산을 함유하고 있으나 수량증대를 위한 충분한 유효규산함량은 200 ppm까지 증대시키는 것이 좋다고 한다(Lee *et al.*, 1987).

우리나라의 강수량과 인구밀도를 대비하여 조사 분석된 자료에서 우리나라의 강수량은 연평균 1,283 mm로 세계평균 973 mm보다 많지만 인구밀도로 대비한 경우 1인당 강수량은 2,705 m<sup>3</sup>로 세계평균 26,800 m<sup>3</sup>의 약 1/10수준에 불과하다고 하여 벼농사에도 물절약 재배기술이 필요하다고 하였다(Cheong, 2003). Jodo(1986)는 여러 작물의 기공 밀도와 건물생산에 필요한 물의 소요량이 유의적인 상관성이 있음을 산출한 바 있고, 벼의 영양생장기 요수량은 품종에 따라 다소 다르지만 평균적으로 약 250내외이며(Matsuo *et al.*, 1995), 담수심을 2~4 cm로 얇게 재배하여도 수량성에는 차이가 없으면서 관행대비 관개수량을 15.9~32.2%까

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6705 (E-mail) choichoi@korea.kr  
<Received 5 November, 2012; Revised 12 July, 2013; Accepted 23 July, 2013>

지 절약할 수 있다고 하였다(Choi *et al.*, 2004).

시비질소의 과다 사용에 의한 오염방지와 이용성 증대를 위한 연구에서 질소이용효율 측면으로는 진주조(Alagaraswamy *et al.*, 1988)와 사료작물(Anthony *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2001) 등에서 많이 이루어졌고, 질소이용 효율의 품종간 차이도 호박(Swiader *et al.*, 1994) 및 옥수수(Chevalier and Schrader, 1977) 등 여러 발작물에서 진행되었으며, 우리나라에서도 질소의 이용효율 증가를 위해 수경재배를 통한 질산태와 암모늄태의 질소형태별 적합혼합비율도 상추(Kim and Kim, 2001)와 벼(Choi and Swiader, 2005) 등에서 제시되어 왔다. 벼는 질소형태 중 암모늄태 질소를 선호하지만 요소형태로 시비하면 토양중에서 암모늄태 및 질산태로 변화되어 벼에 이용되지만 상당량이 유실되기도 한다. 벼가 가장 선호하는 질소형태는 생육시기별로 다소 차이는 있지만 암모늄태질소와 질산태질소의 비율이 2:1 정도일 때 벼의 생육을 가장 촉진시켰다(Choi and Swiader, 2005).

따라서 본 연구는 규산의 사용 여부 및 질소형태별 처리에 따른 영양생장기 벼의 수분 및 질소흡수 정도와 이용효율의 차이를 살펴보고, 벼의 생육에 미치는 규산처리와 질소형태별 처리의 상호효과를 알아보고자 실험을 수행하였다.

**재료 및 방법**

본 실험은 2001년 국립식량과학원(구 작물시험장) 인공기상연구동의 정밀유리실에서 수행하였으며 수경재배에 이용된 벼는 생육형이 서로 다른 품종을 사용하였으며, 우리나라에서 미질이 우수하다고 인정된 일품벼와 미국에서 심수 직파재배에 적합토록 육성된 M-202, 통일형이면서 초다수성인 안다벼 등 3품종을 사용하였다.

재배환경은 평균기온 24℃(최고 28/최저 20℃)로 설정하여 자연광을 이용하는 온실을 사용하였으며, 처리내용으로는 water glass를 이용하여 규산 100 ppm 처리 및 규산 무처리, 질소 5 mM 농도로 조절된 암모늄태와 질산태의 혼합용액(NH<sub>4</sub>:NO<sub>3</sub>=2:1) 및 벼가 선호하는 질소형태인 암모늄태 단독용액으로 하였는데 각 처리별 4반복으로 실험이 수행되었다. 조제된 수경액은 변형된 Hogland 방식을 이용하였고 N, P, K가 각각 70, 31, 100 ppm, Ca 및 Mg는 각각 70 및 32 ppm이었고 B, Mo, Mn, Cu, Zn 및 Fe는 각각 0.5, 0.01, 0.5, 0.02, 0.1, 5.0 ppm 농도로 처리하였다.

발아된 벼 종자를 성묘상자에 파종하여 30일이 경과한 모를 수경재배에 이용하였는데 1/3,000a 포트에 8,500 ml의 수경액을 공급하고 이앙~이앙 후 30일까지는 포트당 4주씩 유지하였으며, 이앙 후 30일이 경과하면서 벼의 생장에

의해 포트당 4주씩 유지가 어려워 그 이후는 2주씩 유지하였다. 재배기간 중 포트 내의 수분증발을 방지하기 위해 포트 상부에는 포트의 직경보다 크기가 조금 더 큰 아크릴 뚜껑을 원형으로 제작하여 덮개로 활용하였고 덮개 내부에는 벼 재배가 가능토록 구멍을 뚫어 원예용 스펀지로 벼를 감싸 내부의 구멍에 밀착되도록 하였다. 수경액 pH의 극심한 변화를 막기 위해 포트별로 2일에 한번씩 pH를 조사하였으며 0.5N KOH 용액으로 수경액의 pH를 항상 5.0~5.5사이에 유지되도록 하였으며 수시로 수경액의 질소농도를 측정하여 질소의 추가공급이 필요한 시기에 수경액을 전량 교체하였다. 수경액에 함유된 각종 성분들이 비중에 따라 층이 생기는 것을 방지하기 위해 포트마다 어항용 기포발생기를 1개씩 삽입하여 계속적으로 주입되는 공기가 수경액을 잘 섞어 주도록 하였다. 벼의 생육에 사용되어 감소된 수분량은 1주일에 2회씩 측정하였고 수경액내의 질소형태별 농도는 암모늄태질소와 질산태질소로 구분하여 spectrophotometer를 이용(Cataldo *et al.*, 1974)하여 측정하였다.

**결과 및 고찰**

이앙 후 67일간 규산처리 여부에 의한 벼의 수분흡수량

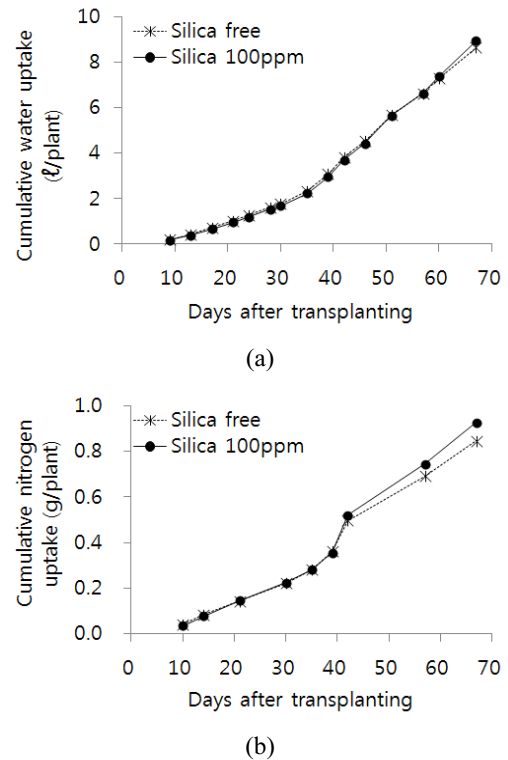


Fig. 1. Changes of cumulative water and nitrogen uptake as affected by different silicate treatments.

및 질소흡수량은 Fig. 1에서 보는 바와 같으며 영양생장기 조사시기별로 측정된 누적 수분흡수량은 규산처리 여부에 관계없이 비슷하여 규산시용 여부에 따른 벼의 수분흡수량은 차이가 없었다. 그러나 질소흡수량은 생육이 진전됨에 따라 규산처리에서 많은 것으로 나타났는데, 이는 규산을 처리한 벼가 규산을 처리하지 않은 벼에 비해 같은 양의 수분을 흡수하면서도 더욱 많은 질소를 흡수한 결과였다. 수분흡수량 Fig. 1(a)와 질소흡수량 Fig. 1(b)에서 선의 기울기

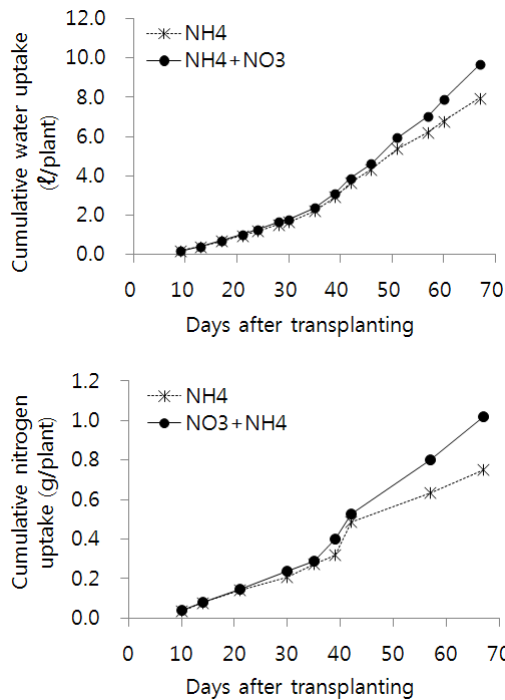


Fig. 2. Changes of cumulative water and nitrogen uptake as affected by different N application forms.

Table 1. Dry weights of rice plants as affected by different silicate concentrations and N application forms (g/plant).

Silicate level/ N application forms	Days after transplanting(days)	
	30	67
Silicate level	----- g/plant -----	
100ppm	6.41 a	34.0 a
free	6.40 a	27.8 b
N application forms	----- g/plant -----	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub>	6.56 a	33.8 a
NH <sub>4</sub>	6.25 a	27.8 b
Silicate × N forms	ns	ns

\* Same letters indicate no significant difference at probability level of 0.05 by Duncan's multiple range test.

가 다소 불규칙적으로 나타난 부분은 수경액 전체를 교체함에 따른 생육환경 변이에 의해 일시적으로 발생한 오차였다.

Fig. 2는 질소성분을 암모늄태와 질산태로 분리하여 형태별로 처리한 후 수분흡수량과 질소흡수량의 변이를 누적적으로 나타내었다. 일반적으로 벼는 암모늄태를 선호하지만 암모늄태만을 공급한 것 보다 질산태와 암모늄태를 혼합 공급한 처리의 생육이 매우 우수하였던 다른 실험의 결과와 같이(Choi, 2005) 암모늄태와 질산태의 혼합공급에서 암모늄태의 단독공급 보다 수분흡수량 및 질소흡수량이 증가정도는 생육이 진전될수록 뚜렷하였는데 이는 Table 1에서 나타난 바와 같이 질소성분을 혼합한 처리에서 벼의 생육량이 증가한 것이 주원인인 것으로 판단되었다.

시험품종별 수분흡수량과 질소흡수량의 누적적 변이는 Fig. 3에서 보는 바와 같으며 수분흡수량에서는 미국품종인 M-202가 가장 많았고 그 다음으로 일품벼>안다벼 순이었다. 그러나 질소흡수량은 수분흡수량과 다른 양상을 나타내어 안다벼의 흡수량이 가장 많았고 그 다음으로 M-202>일품벼의 순이었다. 따라서 미국품종인 M-202는 수분은 많이 흡수하였지만 질소는 보통 수준으로 흡수하였고, 일품벼는 수분은 보통 수준으로 흡수하였지만 질소의 흡수량은 적었다. 그러나 초다수성인 안다벼는 수분흡수량은 가장 적으면서 질소의 흡수량은 가장 많아 다수확을 할 수 있는 생리적 특성을 가지고 있었고 수분의 요구정도도 상대적으로 적어

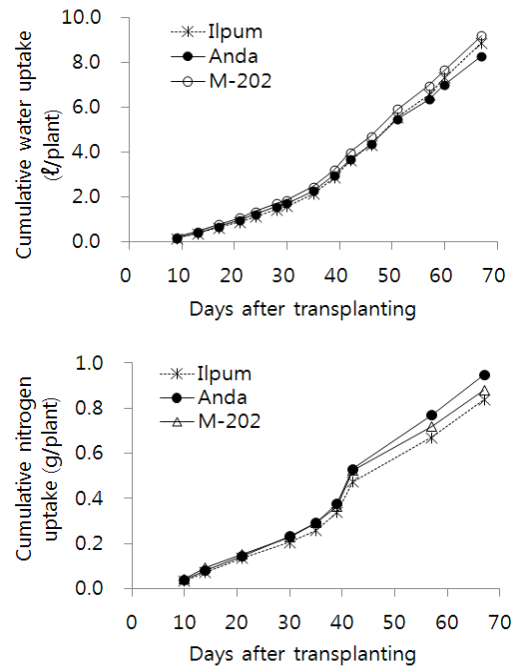


Fig. 3. Changes of cumulative water and nitrogen uptake according to rice cultivars.

물 절약이 필요한 재배에 유리할 것으로 판단되었다.

규산처리 여부 및 공급된 질소형태별로 처리된 시험품종들의 처리 30일 후 및 처리 67일 후의 식물체 건물중은 Table 1에서 보는 바와 같다. 처리 30일 후 건물중은 규산 100 ppm 처리에서 벼 식물체당 6.41 g으로 규산을 처리하지 않은 시험구인 6.40 g과 차이가 없었으나 처리 67일 후의 건물중은 규산을 100 ppm 처리한 시험구의 건물중이 34.0 g으로 규산을 처리하지 않은 시험구 27.8 g보다 유의하게 높아 규산처리효과는 생육 중기로 갈수록 뚜렷하게 나타나는 경향이였다. 질소형태별 처리에서 질소 형태의 혼합처리는 암모늄태 단독처리보다 건물중이 증가하였으나 처리 30일 후에는 유의적인 차이는 인정되지 않았으나 처리 67일 후에는 유의성이 인정되었다. 따라서 규산과 질소 형태의 혼합처리 효과는 벼의 생육이 진전됨에 따라 더욱 뚜렷이 나

타나는 것으로 판단되었다.

전체 처리기간 동안 벼 식물체당 누적 수분흡수량을 조사한 결과는 Table 2에서 나타난 바와 같으며 처리 후 30일 및 67일까지 식물체가 흡수한 누적 수분흡수량은 규산처리 여부에 따른 차이를 볼 수 없었다. 그러나 질소형태별 처리에서 암모늄태 단독처리보다 질소형태의 혼합처리가 수분흡수량이 전반적으로 많은 것으로 나타났으며 처리 후 30일에는 차이가 인정되지 않았지만 처리 후 67일에는 유의적인 차이가 인정되었다. 이 또한 질소형태 혼합 처리가 암모늄태 단독처리보다 벼 생육량이 증가한 것이 원인이었던 것으로 나타났다.

**Table 2.** Water uptake of rice cultivars as affected by different silicate concentrations and N application forms (ml/plant).

Silicate level/ N application forms	Days after transplanting (days)	
	30	67
Silicate level	----- ml/plant -----	
100ppm	1,676a	8,945a
free	1,764a	8,651a
N application forms	----- ml/plant -----	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub>	1,788a	9,651a
NH <sub>4</sub>	1,652a	7,945b
Silicate × N forms	ns	ns

\* Same letters indicate no significant difference at probability level of 0.05 by Duncan's multiple range test.

**Table 3.** Water use efficiency of rice cultivars as affected by different silicate concentrations and N application forms (g/1,000 ml).

Silicate level/ N application forms	Days after transplanting (days)	
	30	67
Silicate level	----- g/1,000 ml -----	
100ppm	3.81a	3.81a
free	3.63a	3.20b
N application forms	----- g/1,000 ml -----	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub>	3.66a	3.49a
NH <sub>4</sub>	3.78a	3.52a
Silicate × N forms	ns	ns

\* Same letters indicate no significant difference at probability level of 0.05 by Duncan's multiple range test.

Table 3은 식물체가 흡수한 수분 1 L당 생산한 건물량을 g 단위로 표시한 수분이용효율을 나타낸 것으로 처리 후 30일 후 및 67일 후 모두 규산 100 ppm 처리가 규산을 처리하지 않은 시험구에 비해 건물생산이 많았으나 유의적인 차이는 처리 67일 후에만 나타났다. 따라서 수분이용효율면에서 보면 규산을 처리하는 것이 유리한 것으로 판단되므로 앞으로 물 절약을 위해서는 반드시 규산을 사용하는 것이 유리할 것이나 그 사용량에 대한 연구는 추가적으로 필요할 것으로 보인다. 그러나 질소형태별 처리에서 암모늄태 단독 처리와 질소형태의 혼합처리는 일정한 경향 없이 수분이용효율이 비슷하게 나타났으므로 질소처리는 형태에 관계없이 모두 수분이용효율이 비슷한 것으로 나타났다.

규산처리 여부 및 질소형태별 처리에 따른 시험품종들의 질소흡수량은 Table 4에 나타낸 바와 같으며 규산 100 ppm 처리구가 규산을 처리하지 않은 시험구에 비해 처리 30일 후 및 67일 후의 질소흡수량이 증가하였으나 유의적인 차이는 인정되지 않았다. 그러나 질소의 형태별 처리에서 질

**Table 4.** Nitrogen uptake of rice cultivars as affected by different silicate concentrations and N application forms (mg/plant).

Silicate level/ N application forms	Days after transplanting (days)	
	30	67
Silicate level	----- mg/plant -----	
100ppm	223a	942a
free	221a	871a
N application forms	----- mg/plant -----	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub>	238a	1,024a
NH <sub>4</sub>	206b	789b
Silicate × N forms	ns	ns

\* Same letters indicate no significant difference at probability level of 0.05 by Duncan's multiple range test.

**Table 5.** Nitrogen using efficiency of rice cultivars as affected by different silicate concentrations and N application forms (g/g).

Silicate level/ N application forms	Days after transplanting(days)	
	30	67
Silicate level	----- g/g -----	
100 ppm	29.0a	36.4a
free	29.3a	32.1b
N application forms	----- g/g -----	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub>	27.5b	32.9a
NH <sub>4</sub>	30.8a	35.7a
Silicate × N forms	ns	ns

\* Same letters indicate no significant difference at probability level of 0.05 by Duncan's multiple range test.

소성분 혼합처리는 암모늄태 단독처리보다 처리 30일 후 및 처리 67일 후 모두 질소흡수량이 고도로 유의하게 증가하는 것으로 나타나 식물체의 질소흡수량은 처리한 질소의 형태에 의해 크게 좌우되었다.

흡수질소 1 g당 생산되는 식물체의 건물중을 g으로 나타내는 질소이용효율을 각 처리별로 나타낸 결과는 Table 5에서 보는 바와 같으며 처리 후 30일에는 규산처리 여부에 따른 차이는 볼 수 없었으나 처리 후 67일에는 규산 100 ppm 처리가 36.4로 규산을 처리하지 않은 시험구 32.1에 비해 질소이용효율이 유의하게 높은 것으로 나타났다. 또한 질소형태별 처리는 처리 후 30일 및 처리 후 67일 모두 암모늄태 단독처리가 질소형태의 혼합처리보다 질소이용효율이 높은 것으로 나타났으나 유의적인 차이는 처리 후 30일에만 인정되었다. 이는 작물들이 질소를 많이 흡수하게 되면 체내의 질소 축적비율은 흡수된 질소량에 비하여 상대적으로 감소하여 효율성이 낮아진다는 보고들(Swiader, 1994; Choi and Swiader, 2005)과 같은 경향을 나타내었으며 과다하게 흡수된 질소의 체내 이동 등은 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 앞의 여러 결과를 종합하면, 논에서도 규산을 사용하면 같은 수분흡수량으로 질소의 흡수를 향상시켜 벼의 건물중을 증가시키며 수분이용효율과 질소이용효율도 향상시킬 것으로 여겨지므로 충분한 규산시용은 농업적 활용 가치가 매우 높을 것으로 여겨진다.

## 적 요

2001년 국립식량과학원 인공기상실에서 수경재배로 규

산의 시용 여부가 영양생장기 벼의 수분과 질소흡수량에 미치는 효과를 조사하여 규산시용 여부 및 공급된 질소의 형태별 처리에 의한 시험품종들의 수분과 질소이용효율을 산출한 결과는 다음과 같다.

1. 처리 67일 후의 벼 건물중은 규산처리 시험구 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>NO<sub>3</sub> 혼합시용 처리구가 규산을 처리하지 않은 시험구 및 NH<sub>4</sub> 단독시용 처리구보다 유의하게 증가하였다.
2. 이앙 후 67일간 조사된 벼의 수분흡수량은 규산처리와 규산 무처리 간의 차이가 없었으나 질소흡수량은 규산 무처리에 비해 규산처리구에서 유의하게 증가하였다.
3. 질소형태별로는 NH<sub>4</sub> 단독 시용보다 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>NO<sub>3</sub> 혼합시용에서 규산처리 여부와 관계없이 수분과 질소흡수량이 월등히 많았다.
4. 수분이용효율은 규산처리 시험구가 규산을 처리하지 않은 시험구에 비해 유의하게 증가하였으나 질소형태별 처리에서는 차이가 없었다.
5. 질소형태의 혼합처리가 암모늄태 단독처리보다 질소흡수량은 유의하게 많았으나 질소이용효율은 감소하였다.

## 사 사

본 논문은 국립식량과학원 기관기획과제(과제번호: PJ0086872013)의 지원에 의해 수행된 결과입니다.

## 인용문헌

- Alagarwamy G., J. C. Gardner, J. W. Maranville, and R. B. Clark. 1988. Measurement of instantaneous nitrogen use efficiency among pearl millet genotypes. *Crop Sci.* 28: 681-685.
- Anthony F. Bertauski, John M. Swiader, and David J. Wehner. 1997. Dry weight production and nitrogen efficiency trait in Kentucky bluegrass cultivars in nutrient solution and soil. *Crop Sci.* 37(5) : 1548-1553.
- Cataldo, D. A., L. E. Schrader, and V. L. Youngs. 1974. Analysis by digestion and colorimetric assay of total nitrogen in plant tissues high in nitrate. *Crop Sci.* 14: 854-856.
- Cheong, B. H. 2003. Recent status of water resources and its prospect and efficient use of agricultural water resources of in Korea. International symposium on enhancement of water use efficiency in low-land rice cultivation. NHAES pp. 19-38.

- Chevalier, P. and L. E. Schrader. 1977. Genotypic differences in Nitrate absorption and partitioning of N among plant parts in maize. *Crop Sci.* 17 : 897-901.
- Cho, Y., W. Jeon, C. Park, K. Park, and U. Kang. 2006. Study of nutrient uptake and physiological characteristics of rice by  $^{15}\text{N}$  and purified Si fertilization level in a transplanted pot experiment. *Korean J. Crop Sci.* 51(5): 408-419.
- Choi, J. S., J. G. Won, D. J. Ahn, S. G. Park, and S. P. Lee. 2004. Growth and yield of rice by field water management for water-saving irrigation. *Korean J. Crop Sci.* 49(6) : 441-446.
- Choi, K. J. and John M. Swiader. 2005. Ammonium and nitrate uptake and utilization efficiency of rice varieties as affected by different N-concentration. *Korean J. Crop Sci.* 50(1) : 22-27.
- Choi, S. I. and C. J. Hwang. 1986. Studies on the growth characters and nutrient uptake related to source and sink by cool water temperature at reproductive growth stage IV. Influence of growth characters and nutrient uptake of leaf blade, rachis branches and chaff by nitrogen, phosphate, potassium and silicate. *Korean J. Crop Sci.* 31(3) : 326-335.
- Jodo, S. 1986. Eco-physiological studies on crop water relations and stomatal characteristics. *Memoirs College Agri. Ehime Univ.* 31 : 1-130.
- Kim, H. J. and Y. S. Kim. 2001. Effect of  $\text{NO}_3:\text{NH}_4$  on the  $\text{NO}_3$  content in leaf lettuce cultured by a deep flow technique. *Korean J. Bio-Environment Control* 10(1) : 50-54.
- Lee, Bok-Rye et al. 2001. Uptake, assimilation and translocation of ammonium or nitrate in Italian ryegrass. *Korean J. Crop Sci.* 46(4) : 303-308.
- Lee, C. S., K. S. Hwang, H. K. Kwak, I. K. Park, K. H. Han, and Y. S. Kim. 1987. Effect of organic matter and silica on N-fertilizer response in paddy soils. *Res. Rept. RDA(P·M & U)* 29(1) : 172-178.
- Lim, S. and N. Baek. 1983. Interaction between silicate and phosphate fertilizers applied in the paddy soils. *Korean J. Soil Sci. and Fert.* 16(4) : 325-332.
- Matsuo, T., K. Kumazawa, R. Ishii, K. Ishihara, and H. Hirata. 1995. *Science of the rice plant. Vol. 2. Physiology.* pp. 468.
- Park, C. S. 1984. Studies on the relation between available silica content and the effect of silicate, the distribution pattern of available silica content and requirement in Korean paddy top soil. *Res. Rept. RDA(P·M & U)* 13 : 1-29
- Ro, C. J. 1975. Studies on effect of silicate and calcium application in rice plant. (1) Studies on effect of applied calcium and silicate using tagged nitrogen( $^{15}\text{N}$ ). *Korean J. Crop Sci.* 19 : 21-24.
- Sohn, S. M. and K. J. Kim. 1982. Variation in larvae development and moth emergence of striped rice borer(*Chilo suppressalis* Walker) and damages in rice cultivars under different levels of nitrogen and silicate fertilizers. *Korean J. Crop Sci.* 27(1) : 11-19.
- Swiader J. M., Y. Chyan, and F. G. Freiji. 1994. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *J. Plant Nutrition* 17(10) : 1687-1699.