

Weed & Turfgrass Science was renamed from both formerly Korean Journal of Weed Science from Volume 32(3), 2012, and formerly Korean Journal of Turfgrass Science from Volume 25(1), 2011 and Asian Journal of Turfgrass Science from Volume 26(2), 2012 which were launched by The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea found in 1981 and 1987, respectively.

## 한국잔디 재배에 규산질 비료 시비가 생육과 질소이용효율에 미치는 영향

한정지 · 이광수 · 박용배 · 배은지\*  
국립산림과학원 남부산림자원연구소

### Effect of Growth and Nitrogen Use Efficiency by Application of Mixed Silicate and Nitrogen Fertilizer on Zoysiagrass Cultivation

Jeong-Ji Han, Kwang-Soo Lee, Yong-Bae Park, and Eun-Ji Bae\*

Southern Forest Resources Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 600-300, Korea

**ABSTRACT.** This study was conducted to investigate the effect of silicate mixed with nitrogen fertilizer on improving the growth and reducing nitrogen input of zoysiagrass. Plant height, fresh and dry weight of shoots, roots, and stolons, the number of shoots and total of stolons length were increased with highest in silicate mixed with nitrogen 24 kg/10a than nitrogen 24 kg/10a, and it showed no significance in silicate mixed with nitrogen 18 kg/10a. Nitrogen use efficiency in mixed silicate fertilizer was increased by 25-30% than single nitrogen fertilization. Moreover, the contents of available SiO<sub>2</sub>, and organic matters of silicate fertilization on soil was higher than not silicate fertilization on soil. The silicate enhanced the growth and density of zoysiagrass, while it was a crucial factor to affect the chemical property of the soil.

**Key words:** Available SiO<sub>2</sub>, Nitrogen fertilizer, Silicate, Zoysiagrass

Received on May 12, 2014; Revised on June 4, 2014; Accepted on June 17, 2014

\*Corresponding author: (Phone) +82-55-760-5026, (Fax) +82-55-759-8432; E-mail) stop0511@hanmail.net

© 2014 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License & #160; (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, & #160; and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

잔디의 생육과 품질은 기후, 기상, 토양과 같은 생육환경과 시비와 같은 관리기술에 따라 결정된다(Carrow, 1980). 특히 잔디는 일반작물과 달리 한 장소에서 계속 재배를 하기 때문에 전면적인 토양 및 잔디갱신이 어렵고, 양질의 잔디를 유지시키기 위한 과다한 화학비료의 사용으로 토양의 물리성과 화학성이 악화되어 잔디생육에 영향을 미친다(Hwang and Choi, 1999). 잔디에서는 규소가 고농도로 축적할 수 있는 중요한 요소로 기동세포, 공변세포 등에 침전하며, 규질화를 이루어 잎을 깨끗히 세우고, 수광 태세를 좋게 하여, 잎의 광학적 특성에 영향을 준다(Klančnik et al., 2014). Kang et al. (2007)은 한지형 잔디 재배 시 규소 농도가 높아질수록 생육이 좋아졌으며, Bae

et al. (2012)은 난지형 잔디 재배 시 규산 시비효과는 생장량, 지상부 및 포복경 밀도가 증가하고 식물체와 토양의 유효규산 함량이 증가한다고 보고하였다.

지각에 존재하는 규소는 산소 다음으로 풍부한 원소로 분류되지만(Epstein, 1994), 작물의 오랜 연작과 화학비료의 끊임없는 시용으로 인해 토양에 풍부하게 존재하던 규소가 불용화 되기 시작하였으며, 이로 인해 작물의 생산성을 크게 저하시키는 요인이 되었다(Ma and Naoki, 2006). 규소는 필수영양원소는 아니지만 일반적으로 식물의 발달과 작물의 수량에 영향을 미치는 유익한 원소로 규정되고 있다(Epstein, 1994; Liang, 1999; Ma and Yamaji, 2006; Takahashi et al., 1990). 화분과 작물에서는 식물조직에 축적되어 내구력과 강도를 증가시키고, 병에 대한 저항성을 높여 수확량을 향상시킬 수 있다(Ma and Yamaji, 2006).

특히 벼의 경우 규소가 필수원소로 인정되고 있으며, 규산질 비료를 사용하면 엽각 직립 유지, 질소 이용률 증진 등의 효과로 수량증가에 기여한다(Lewin and Reimann, 1969; Parry and Smithson, 1964). 또한 논 토양에 대한 규산의 시용효과로 벼 식물체 조직내의 가용태 질소 등의 양분균형 조절에 의한 수량 증대 효과가 보고되었다(Kang and Stutte, 1982). 규산질 비료 시용은 질소의 흡수 이용률을 증진시켜 질소 시비량을 저감할 수 있고(Lee et al., 2005), 토양 pH 개선에 효과가 있어 목초재배에 유리하며, 토양 교정제로서 효과가 있다고 보고되어 왔다(Sauza et al., 2011).

현재 잔디재배 농가는 오랫동안 연작과 생산량 증대를 위해 과도한 질소비료를 시비하고 있으며, 일정한 기준 없이 경험에 의존하여 토양의 화학성이 점차 악화되고 있다. 규산질 비료 시용은 질소의 흡수 이용률 증대와 토양의 물리, 화학성 개선이 가능하다. 국내에서는 잔디재배에 영향을 미치는 비배관리에 대한 연구가 아직 부족한 실정으로 잔디 생육상태를 고려한 시비기술이 필요하다(Kim et al., 2003). 따라서 본 연구는 규산질 비료 시용에 따른 한국잔디의 생육과 질소비료 경감효과를 알아보고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료 및 시비관리

본 실험은 2013년 2월부터 8월까지 규산질 비료 시용 시 질소비료의 경감효과를 알아보기 위해 국립산림과학원 남부산림자원연구소 잔디 유전자원 보존원(경상남도 진주시 진주대로)에서 수행하였다. 공시재료인 들잔디(*Zoysia japonica* Steud.)를 이용하여, 1/2000a 와그너 포트에 사토(sand 96%, silt 4%, clay 0%)를 동일한 양으로 채운 후 슬래그 규산질 비료( $\text{SiO}_2$  25%, CaO 40%, MgO 2%)를 무처리구를 제외한 나머지 처리구에 400 kg(0.4 Mg)/10a의 양으로 심층시비 하였다(2013년 2월 28일). 규산질 비료 시비 후 2013년 3월 7일에 포트당 길이 10 cm의 포복경을 7개씩 이식하였다. 이식일로부터 3주까지는 매일 관수를 하였고, 그 이후에는 일주일에 한번씩 관수하였다. 그리고 실험이 완료될 때까지 잔디 깎기는 수행하지 않았다.

본 실험에서 규산의 시비량은 400 kg/10a로 하였고, 이는 Bae et al. (2012)의 선행 실험 결과 재배지에서 규산 시비효과는 4000 kg/ha에서 잔디생육이 좋았다는 결과를 참고하였다. 비료의 3요소는 2013년 5월 1일과 7월 25일 2회로 나누어 시비하였으며, N은 요소비료를 이용하여 0, 6, 12, 18과 24 kg/10a를 농도별로 처리하고, P는 가용성인산 17%의 용과린, K는 분자식  $\text{K}_2\text{O}$  성분 60%의 염화칼륨을 각각 12 kg/10a로 처리하였다.

### 생육조사 및 식물체 분석

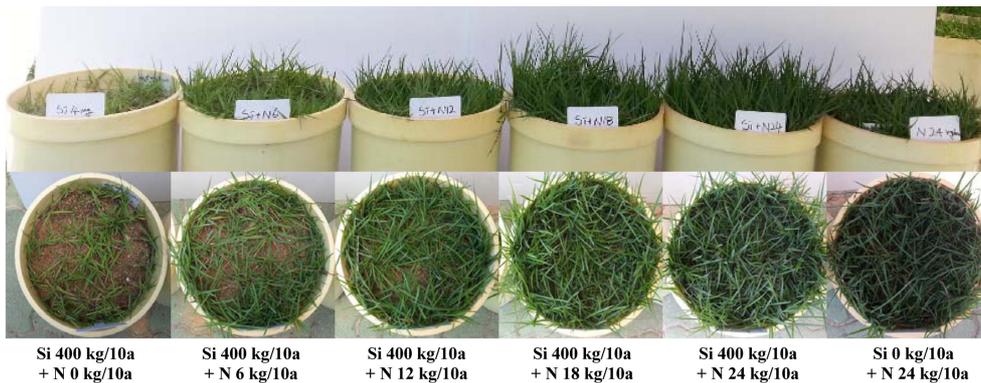
잔디생육조사는 처리구별 초장, 지상부, 포복경과 지하부의 생체중과 건물중, 지상부 개체수, 포복경 길이 등을 조사하였다. 식물체에 흡수된 무기이온의 함량을 알아보기 위해 식물체를 건조기(Model DS-80-5, Dasol Scientific Co. Ltd., Gyeonggido, Korea)로 80°C에서 48시간 건조하여 분쇄하였다. 식물체 분석은 농촌진흥청 국립농업과학원 식물체분석법(I.A.S., 1987)에 준하여 분석하였으며,  $\text{SiO}_2$  조규산은  $\text{H}_2\text{O}_2$ - $\text{H}_2\text{SO}_4$  분해법을 이용하였으며, 조제 시료 2 g을 분해용 Kjeldahl flask에  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20 mL를 첨가하여, Kjeldahl digester로 300°C에서 용액이 무색이 될 때까지 20분 간격으로  $\text{H}_2\text{SO}_4$  3 mL를 첨가하여 분해 한 후 여과지로 여과한 뒤 여지상에 남아있는 잔사를 hood내에서 열판에 1차 탄화시킨 후 crucible에 담아 600°C 회화로(Model LV 5/11b180, Lilienthal, Berman, Germany)에서 2시간 정도 태워 평량하였다. 식물체 시료 0.5 g을 100 mL 분해용 튜브에 취하고,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ : 50%  $\text{HClO}_4$ =1:10 비율의 혼합액 10 mL를 가하여 식물체를 분해한 후 증류수를 100 mL 표선까지 채웠다. N은 Indophenol blue법으로 P는 Vanadate법으로 비색 측정하였고, 나머지 K, Ca, Mg의 무기성분들은 유도결합 플라즈마 분광계(Optima 4300DV/5300DV, Perkin Elmer Inc., Waltham, MA)로 측정하였다.

### 토양 이화학적 및 유효규산 함량 분석

토성은 Bouyoucoc(1962) 방법에 준하여 분석을 하였다. 토양시료 분석은 농촌진흥청 국립농업과학원 토양분석법(I.A.S., 1987)에 준하여 분석하였으며, 토양 pH는 풍건 된 토양시료 5 g에 증류수 25 mL를 가하여 상온에 1시간 교반한 후 pH meter (Starter 3000, Ohaus Co. Ltd., USA)로 측정하였다. 토양 전기전도도(EC)는 풍건 된 토양시료 10 g에 증류수 50 mL를 가하여 상온에서 1시간 교반한 후에 EC meter (Starter 3000c, Ohaus Co. Ltd., USA)로 측정하였다. 유기물과 총질소는 Kjeldahl법과 Tyurin법으로 분석하였고, 유효인산은 Lancaster법으로 측정하였다. 치환성 양이온은 1N- $\text{NH}_4\text{OAc}$ 법으로 추출하여 그 액을 유도결합 플라즈마 분광계(Optima 4300DV/5300DV, Perkin Elmer Inc., Waltham, MA)로 분석하였다. 유효규산 함량은 1 N NaOAc (pH 4.0) 완충용액에 의한 방법을 이용하여 파장 700 nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다(Hallmark et al., 1982).

### 통계 분석

시험구의 배치는 임의배치 3반복으로 하였으며, 통계분석은 SAS 프로그램(v. 9.1, Cary, NC, USA)을 사용하여 ANOVA 분석을 실시하였고, 처리구 평균간 유의성 검정은 DMRT (Duncan's Multiple Range Test) 5% 수준에서 유



**Fig. 1.** Effect of mixed silicate and nitrogen fertilizer application on the growth of zoysiagrass. Silicate fertilizer was applied at 0 and 400 kg/10a. Nitrogen was applied at 0, 6, 12, 18 and 24 kg/10a, respectively. Data investigated at growth after 175 days.

의성을 실시하였다.

### 결과 및 고찰

#### 규산질 비료와 질소 비료 혼용처리에 따른 생육효과

규산질 비료 400 kg/10a을 심층 시비 후 질소 비료 0, 6, 12, 18과 24 kg/10a을 처리하여 생육을 조사한 결과 질소 비료 무처리구를 제외하고, 질소비료의 농도가 높을수록 초장, 지상부, 포복경과 지하부의 생체중과 건물중이 유의성 있게 증가하였다(Fig. 1과 Table 1). 질소비료 24 kg/10a 단용처리구보다 규산질비료 400 kg/10a와 질소비료 24 kg/10a 혼용처리구에서 초장이 22.2 cm로 가장 길었으며, 지상부의 생체중과 건물중은 각각 73.3과 20.0 g로 가장 높게 나타나 동일수준의 질소 처리조건에서 규산질 비료처리에 따른 잔디의 생육이 유의한 증가를 보였다. 또한 규산질 비료와 질소비료 18 kg/10a 혼용처리구는 질소비료 24 kg/10a 단용처리구와 비교했을 때 초장 18.1과 17.1 cm, 지상부생체중 64.2와 64.3 g, 포복경 생체중 38.6과 33.2 g, 지하부생체중 46.0과 45.4 g으로 유사한 생육 경향을 나타내었고, 지상부, 포복경과 지하부의 건물중은 유의적인 차

이를 보이지 않았다.

지상부 개체수는 규산질비료와 질소비료 24 kg/10a 혼용처리구에서 747.3개로 가장 높았고, 포복경 길이는 규산질 비료와 질소비료 18과 24 kg/10a 혼용처리구와 질소비료 24 kg/10a 단용처리구에서는 유의적인 차이가 없었다(Fig. 2). 질소비료 24 kg/10a 단용처리구는 지상부 개체수 649.0 개, 포복경 길이 1,288.6 cm였고, 질소비료를 6 kg/10a로 절감하여 규산질비료를 사용한 질소비료 18 kg/10a 혼용처리구는 지상부 개체수 668.7개, 포복경 길이 1,305.6 cm로 성장량 및 밀도율에서 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 즉, 질소비료 감비 시에 규산질비료를 사용하면 질소 시비의 효율증대와 함께 안정적인 잔디를 생산 할 수 있는 것으로 판단되었다.

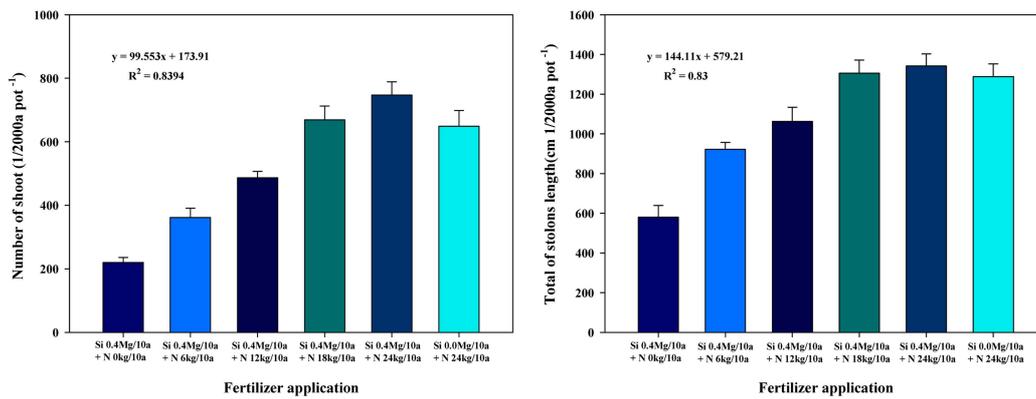
본 연구결과를 보면 재배 시 규산의 시비로 벼 생산량과 질소이용효율을 증가시킬 수 있다는 보고와 유사하였다(Lee et al, 2005). 논 토양에 대한 규산의 시용효과로 벼 식물체 조직내의 가용태 질소 등의 양분균형 조절에 의한 수량 증대 효과를 보고하였으며(Kang and Stutte, 1982), 벼 식물체 규산 함량이 높은 벼는 잎을 직립시켜 수광상태를 좋게 함으로써 광합성 증가에 따른 등숙률의 향상 등 규산질 비료

**Table 1.** Effect of mixed silicate and nitrogen fertilizer application on plant height, fresh and dry weight of zoysiagrass.

Treatment <sup>z</sup>	Plant height (cm)	Fresh weight (g 1/2000a pot <sup>1</sup> )			Dry weight (g 1/2000a pot <sup>1</sup> )		
		Shoot	Stolon	Root	Shoot	Stolon	Root
Si 0.4+N 0	9.2 e <sup>y</sup>	11.6 e	13.9 d	20.6 c	3.6 e	5.5 d	4.8 c
Si 0.4+N 6	12.3 d	24.6 d	23.4 c	29.2 b	7.4 d	10.4 c	7.5 b
Si 0.4+N 12	14.8 cd	41.2 c	33.1 b	43.5 a	12.1 c	13.1 b	10.7 a
Si 0.4+N 18	18.1 b	64.2 b	38.6 a	46.0 a	18.1 b	15.0 a	11.2 a
Si 0.4+N 24	22.2 a	73.3 a	39.5 a	47.8 a	20.0 a	16.3 a	11.4 a
Si 0.0+N 24	17.1 bc	64.3 b	33.2 b	45.4 a	17.8 b	15.1 a	11.1 a

<sup>z</sup>Silicate fertilizer was applied at 0 and 400 kg/10a. Nitrogen was applied at 0, 6, 12, 18 and 24 kg/10a, respectively.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $p=0.05$



**Fig. 2.** Effect of mixed silicate and nitrogen fertilizer application on the biomass and density. Silicate fertilizer was applied at 0 and 400 kg/10a. Nitrogen was applied at 0, 6, 12, 18 and 24 kg/10a, respectively.

**Table 2.** Inorganic nutrient of zoysiagrass by mixed silicate and nitrogen fertilizer application.

Treatment <sup>z</sup>	SiO <sub>2</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (g kg <sup>-1</sup> )	MgO (g kg <sup>-1</sup> )	CaO (g kg <sup>-1</sup> )
Si 0.4+N 0	71.1	11.0	3.8	13.7	4.3	7.5
Si 0.4+N 6	72.0	13.8	4.4	15.9	4.4	7.3
Si 0.4+N 12	58.7	16.2	3.4	18.0	4.5	6.6
Si 0.4+N 18	62.0	16.7	2.5	19.8	4.7	6.8
Si 0.4+N 24	65.8	17.9	3.4	19.6	5.0	7.1
Si 0.0+N 24	62.8	13.7	4.1	18.7	5.2	6.4

<sup>z</sup>Silicate fertilizer was applied at 0 and 400 kg/10a. Nitrogen was applied at 0, 6, 12, 18 and 24 kg/10a, respectively.

의 효과에 대한 연구 결과들을 보고하였다(Kim et al., 1986, 2002a, 2002b). 높은 질소비료 시비에도 불구하고 규산의 시비로 줄기가 튼튼한 생장특성을 유지하며 광합성률도 증가시킨다고 하였다(Takahashi et al., 1990).

**규산질 비료 시비에 따른 잔디의 무기이온 함량 및 토양 특성의 변화**

규산질 비료를 시비한 후 질소 비료를 처리한 잔디의 무기이온 함량을 조사한 결과를 Table 2에 나타내었다. 규산질 비료 무처리구에 비해 규산질 비료 처리구의 경우 조규산 함량이 증가하는 경향을 보였고, 질소비료의 농도가 높아질수록 식물체 내 질소함량이 증가하였다. 질소비료 24 kg/10a 단용처리구에 비해 규산질 비료와 혼용처리한 질소비료 18과 24 kg/10a 혼용처리구가 각각 21.9와 30.7%로 질소 흡수율이 더 높게 나타났다. 이는 규산질 비료 시용으로 질소의 흡수 이용율을 증진하여 질소시비량을 절감할 수 있다는 결과와 유사하였다(Lee et al., 2005). 즉 규산질 비료 처리 없이 얻을 수 있는 최고 수량을 얻기 위해 필요한 질소 시비량인 154 kg/ha을 규산질 비료 추천량 시비로 인해 76 kg/ha의 질소 시비량이 가능하다고 하였다.

인산 함량은 반대로 규산질 비료를 사용한 경우 사용하지 않은 처리구에 비해 낮은 경향을 보였다. 칼륨과 마그네슘 함량은 규산질 비료 시용과 상관없이 질소비료 양이 증가할수록 증가하였고, 칼슘 함량은 규산질 비료 처리구

**Table 3.** Chemical and physical properties of the soil by mixed silicate and nitrogen fertilizer application.

Treatment <sup>z</sup>	pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	Av. SiO <sub>2</sub> <sup>y</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	T-N (g kg <sup>-1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	O.M. (g kg <sup>-1</sup> )	Ex. cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) K, Ca, Mg		
Si 0.4+N 0	7.0	0.09	487.4	0.15	9.5	0.53	0.08	1.15	1.10
Si 0.4+N 6	6.9	0.12	421.4	0.14	13.2	0.49	0.07	1.15	0.77
Si 0.4+N 12	6.6	0.10	185.1	0.14	14.8	0.44	0.08	1.15	0.61
Si 0.4+N 18	6.5	0.10	206.2	0.16	12.7	0.48	0.07	1.15	0.87
Si 0.4+N 24	6.6	0.12	132.9	0.16	14.8	0.31	0.07	1.15	0.80
Si 0.0+N 24	6.5	0.11	125.1	0.14	10.0	0.37	0.07	1.16	0.85

<sup>z</sup>Silicate fertilizer was applied at 0 and 400 kg/10a. Nitrogen was applied at 0, 6, 12, 18 and 24 kg/10a, respectively.

<sup>y</sup>Av. SiO<sub>2</sub>: available SiO<sub>2</sub>; T-N: total nitrogen; Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; O.M: organic matter; Ex. cation: exchangeable cation.

가 무처리구에 비해 증가하였는데 규산질 비료에 포함된 알칼리성분의 영향으로 판단되었다(Joo and Lee, 2011).

규산질 비료를 시비한 후 질소 비료를 처리한 토양 특성의 변화는 Table 3과 같다. 질소비료 시비가 증가할수록 pH는 감소하였지만 규산질 비료를 시비한 토양에서는 pH 7.0 이상의 약 알칼리성 토양으로 나타났다. 한국잔디의 최적 pH는 5.5-6.5 (Kim and Lee, 2010)로 규산질 비료 400 kg/10a와 질소비료 0 또는 6 kg/10a을 혼용처리 한 것을 제외하고는 최적범위와 비슷하였다. 토양 pH는 양분의 유효성에 크게 영향을 미치므로 식물이 뿌리를 통해 이용할 수 있는 영양분 상태도 토양산도에 따라 크게 달라지는데 규산질비료를 이용하여 토양산도를 조절에 기여할 수 있으리라 본다(Nam et al., 2002). 토양 내 유효규산 함량은 모든 규산질 비료 처리구에서 증가하였으나 질소비료 농도별 처리구에 따라 유효규산 함량의 차이를 보였다. 본 연구에서는 질소 비료 농도에 따른 생육의 차이가 있는 것으로 보아 토양에 처리된 슬래그를 이용한 규산질 비료는 처리 후 5일 이내에 최대로 가용화되며 40일 이후에는 안정한 수준에서 평형을 유지하고, 가용화된 규산은 식물에 의한 흡수나 용탈 등으로 제거되지 않는 이상 상당기간 초기에 가용화된 수준을 유지한다고 하는 보고와 유사한 결과를 나타내었다(Cho et al., 2004). 유기물 함량은 규산질 비료 처리구가 무처리구에 비해 증가하는 경향을 보여 토양의 비옥도 증진에 효과가 있는 것으로 조사되었다.

본 실험을 통해 규산질 비료 400 kg/10a와 질소비료 18 kg/10a을 혼용으로 시비한다면 질소비료 24 kg/10a 단용시비 처리구보다 약 25-30% 질소절감효과가 있는 것으로 판단되었다. 규산질 비료가 한국잔디의 생장과 밀도를 높였으며 토양의 화학적 특성에 중요한 요소로 작용하였으며, 양분균형 조절에 의한 안전수량을 생산하기 위한 질소 사용량 증감에 밸런스 역할을 하는 비료로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 규산질 비료와 질소 비료 혼용이 한국잔디의 생육과 질소비료 효율에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행하였다. 한국잔디의 초장, 지상부, 포복경과 지하부의 생체중과 건물중, 지상부 개체수, 포복경 길이는 규산질 비료 400 kg/10a와 질소비료 24 kg/10a을 혼합시비 하였을 때 질소비료의 24 kg/10a 단용처리구보다 증가하였고, 규산질 비료와 질소비료 18 kg/10a은 질소비료의 24 kg/10a 단용 처리구와 유의성이 없었다. 규산질 비료와 질소비료를 혼합하여 시비했을 경우 질소비료 약 25-30% 절감효과가 있는 것으로 판단되었으며, 토양 내 유효 규산과 유

기물의 함량은 규산질 비료 시비를 하지 않은 것보다 시비를 하였을 때 더 높게 나타나 규산질 비료가 한국잔디의 생장과 밀도를 높였으며 토양의 화학적 특성에 중요한 요소로 작용하였다.

**주요어:** 유효규산, 질소비료, 규산질비료, 한국잔디

## References

- Bae, E.J., Lee, K.S., Hwang, J.Y. and Park, Y.B. 2013. Effect of silicate and lime fertilizer on growth of zoysiagrass(*Zoysia japonica*). Kor. Turfgrass Sci. 26:76. (Abstr. In Korean)
- Bouyoucog, C.J. 1962. Hydrometer methods improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54:464-465.
- Carrow, R.N. 1980. Influence of soil compaction on three turfgrass species. Agron. J. 72:1038-1042.
- Cho, H.J., Choi, H.Y., Lee, Y.W., Lee, Y.J. and Chung, J.B. 2004. Availability of silicate fertilizer and its effect on soil pH in upland soil. Kor. J. Environ. Agri. 23:104-110. (In Korean)
- Choi, J.S. and Yang, G.M. 2006. Sod production in South Korea. Kor. Turfgrass Sci. 20:237-251. (In Korean)
- Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proc. Ntal. Acad. Sci. 91:11-17.
- Hallmark, C.T., Wilding, L.P. and Smeck, N.E. 1982. Silicon. pp. 263-273. In Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Hwang, Y.S. and Choi, J.S. 1999. Effect of mowing interval, aeration, and fertility level on the turf quality and growth of zoysiagrass (*Zoysia japonica* Steud.). Kor. Turfgrass Sci. 13:79-90. (In Korean)
- I.A.S. 1987. Analysis methods of soil and plant. Institute of Agricultural Science. RDA. Suwon. Korea.
- Joo, H.J. and Lee, S.B. 2011. Assessment of silicate fertilizers application affecting soil properties in paddy field. Kor. J. Soil Sci. Fert. 44:1016-1022. (In Korean)
- Kang, H., Lim, C.K., Jang, G.M., Hyun, H.N. and So, I.S. 2007. Influence of silicon treatment on growth and mineral elements of cool-season turfgrass species. Kor. Soc. people plants Environ. 10:7-14. (In Korean)
- Kang, Y.K. and Stutter, C.A. 1982. Silicon influence on growth and some physiological activities of rice. Res. Rept. ORD (C) 24:1-17.
- Kim, C.B. and Choi, J. 2002b. Changes in rice yield, nutrient's use efficiency and soil chemical properties as affected by annual application of slag silicate fertilizer. Kor. J. Soil Sci. Fert. 35:280-289. (In Korean)

- Kim, C.B., Lee, D.H. and Choi, J. 2002a. Effects of soil improvement on the dependence of rice nutrient contents and grain quality. *Kor.J. Soil Sci. Fert.* 35:296-305. (In Korean)
- Kim, C.B., Park, N.K., Park, S.D., Choi, D.U., Son, S.G. Choi, J, et al. 1986. Changes in rice yield and soil physic chemical properties as affected by annual application of silicate fertilizer to the paddy soil. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 19:123-131. (In Korean)
- Kim, H.G. and Lee, S.J. 2010. Turfgrass science and golf course. Sun jin culture history, Gyeonggi-do, Korea. p. 159. (In Korean)
- Kim, K.N. 2005. Introductory turfgrass science. Sahmyook University Press, Seoul, Korea. pp. 23-28.
- Kim, Y.S. and Kim, K.S. 2012. Growth and wear tolerance of creeping bentgrass as influenced by silica and potassium fertilization. *Asian J. Turfgrass Sci.* 26:116-122. (In Korean)
- Kim, Y.S., Lee, K.S. and Ham, S.G. 2003. The effect of liquid fertilizer contained amino acids on the growth of bentgrass (*Agrosti spalustris* Huds) and the chemical characteristics of soil. *Kor. Turfgrass Sci.* 17:147-154. (In Korean)
- Klancnik, K., Vogel-Mikus, K. and Gaberscik, A. 2014. Silicified structures affect leaf optical properties in grasses and sedge. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology.* 130:1-10.
- Lee, C.H., Yang, M.S., Chang, K.W., Lee, Y.B., Chung, K.Y. Kim, P.J, et al. 2005. Reducing nitrogen fertilization level of rice (*Oryz asativa* L.) by silicate application in Korean paddy soil. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 37:194-201. (In Korean)
- Lewin, J. and Reimann, B.E.F. 1969. Silicon and plant growth. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 20:289-304.
- Liang, Y.C. 1999. Effects of silicon on enzyme activity, and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant Soil.* 209:217-224.
- Ma, J.F. and Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci.* 11:392-397.
- Ma, J.F. and Naoki, Y. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci.* 11:392-397.
- Nam, S.Y., Kim, K.N. and Kim, Y.S. 2002. Time series changes of soil pH according to fertilizers and soil depth under golf course conditions. *Kor. Turfgrass Sci.* 16:11-17. (In Korean)
- Parry, D.W. and Smithson, F. 1964. Types of opaline silica deposition in the leaves of Brithish grasses. *Ann. Bot.* 28:169-185.
- Sauza, R.F.D., Avila, F.W., Faquin, V., Pozza, A.A.A., Carvalho, J.G. and Evangelista, A.R. 2011. Carbonate-silicate ratio for soil correction and influence on nutrition biomass production and quality of palisade grass. *Sci. Agric.* 68:526-534.
- Takahashi, E., Ma, J.F. and Miyake, Y. 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Comments Agr. Food Chem.* 2:99-102.