

RESEARCH ARTICLE

들잔디 재배지에서 규산질비료 살포 효과

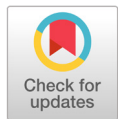
배은지* · 김충열 · 윤준혁 · 이광수 · 박용배
국립산림과학원 산림바이오소재연구소

Effect of Silicate Fertilizer Application on Zoysiagrass (*Zoysia japonica* Steud.) Field

Eun-Ji Bae*, Chung-Yeol Kim, Jun Hyuck Yoon, Kwang-Soo Lee and Yong-Bae Park
Forest Biomaterials Research Center, National Institute of Forest Science, Jinju 52817, Korea

Abstract

This study was conducted to find out the optimum silicate fertilization for improving the quality and density of zoysiagrass (*Zoysia japonica* Steud.), the growth of zoysiagrass and changes in chemical properties of soil in field experiments treated with different levels of silicate fertilizer during 3 years from 2012 to 2014. An increase in the silicate fertilizer from 100, 200, to 400 kg 10a⁻¹ led to a significant increase in the fresh and dry weight of shoots and stolons, the number of shoots and length of stolon, but were not significantly different between 200 and 400 kg 10a⁻¹. Moreover, soil pH, EC and the contents of available SiO₂ were increased as the rate of silicate fertilizer application increased. Thus, these results demonstrated that the silicate fertilizer rate for maximum growth of zoysiagrass was 200 kg 10a⁻¹ in consideration of improving growth of zoysiagrass and the chemical property of the soil.



OPEN ACCESS

*Corresponding Author:
Phone. +82-55-760-5033
Fax. +82-55-759-8432
Email. gosorock@korea.kr

Received: August 11, 2018

Revised: September 24, 2018

Accepted: September 27, 2018

© 2018 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 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Key words: Available SiO₂, Inorganic nutrient, Silicate fertilizer, *Zoysia japonica*

서론

한국잔디(*Zoysia* spp.)는 필리핀, 태국을 비롯한 동남아시아의 열대 지역으로부터 한국, 일본, 중국 등 동북아시아의 온대 기후 전역에 걸쳐 분포하고 있다(Engelke et al., 1983). 한국잔디는 난지형 잔디류 중에서 내한성, 내서성, 내병성, 내충성 등이 강하고, 답압에 견디는 힘이 강해 도로 절개지, 도로 주변, 산림 훼손지 및 공원 시설에 많이 사용되고 있어 앞으로 국내외에서의 활용 잠재력이 매우 높아 잔디의 이용 범위가 다양해지고 사용 면적도 확대되어 재배 면적이 증가하고 있다(Choi and Yang, 2006).

잔디의 생육과 품질은 기후, 기상, 토양과 같은 생육 환경과 시비와 같은 관리 기술에 따라 결정된다(Carrow, 1980). 잔디 재배지의 경우 일반 농경지와 다른 점은 한번 조성이 되면 전면적인 토양과 잔디 갱신이 어렵고, 답압으로 인한 토양 고결 및 물리적 상태로 악화로 인해 일반 작물보다는 더 많은 생리적 장애를 받고 있다. 또한 잔디 품질 향상을 위해 과도한 양의 화학비료와 농약 사용

으로 토양의 이화학적 특성이 악화되어 잔디가 정상적으로 생육을 할 수 없는 상태가 되고 있어 잔디 재배지의 생육 환경과 잔디 생육 상태를 고려한 시비 기술이 필요하다(Hwang and Choi, 1999; Kim, 2005; Kim et al., 2003).

식물생장에 필요한 16원소는 C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Cl 이지만 화분과 잔디는 이러한 필수 원소 이외에도 규소가 식물생장에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Kim and Kim, 2012). 규소는 식물의 생육을 위한 필수 원소로 여겨지지 않고 있지만 식물의 생육, 발달 그리고 작물의 수량에 영향을 미치는 유익한 원소로 규정되고 있다(Epstein, 1994; Liang, 1999; Ma and Yamaji, 2006; Takahashi et al., 1990). 작물의 오랜 연작과 질소, 인산 그리고 칼륨과 같은 화학비료의 끊임없는 사용으로 인해 토양에 풍부하게 존재하던 규소가 불용화 되기 시작하였으며, 이로 인해 작물의 생산성을 크게 저하시키는 요인으로 보고되고 있다(Ma and Yamaji, 2006).

벼와 같은 화분과 식물의 경우 규소가 필수원소로 인정되고 있으며, 벼에 규산질 비료를 사용하면 엽각 직립 유지, 질소 이용율 증진 등의 효과로 수량증가에 기여한다고 보고되고 있다(Lewin and Reimann, 1969; Parry and Smithson, 1964). 한국잔디 재배지에 규산질비료 시비는 한국잔디의 생장과 밀도를 높이고 질소 시비량을 저감 할 수 있으며 토양의 화학적 특성에 중요한 요소로 작용한다고 하였다(Han et al., 2014). 규산질비료는 토양의 pH개선에 효과가 있어 목초 재배에 유리하며 토양 교정제로서 효과가 있으며(Sauza et al., 2011), 잔디에서 규소는 고농도로 축적할 수 있는 중요한 요소로 잎의 광학적 특성에 영향을 주어 생육을 향상시킨다고 하였다(Klancnik et al., 2014). 또한 rhodes grass, timothy grass, sudan grass, tall fescue에 관수가 부족한 상태에서 규소를 시비하였을 때 관수가 풍부한 상태보다 생육과 수량이 많다고 하였고(Eneji et al., 2008), 한지형 잔디에서는 규소 처리 시 농도가 높을수록 생육이 좋다고 보고되었다(Kang et al., 2007).

특히 잔디 재배지는 떼장 생산을 위한 연작으로 인해 토양 입단 형성이 불량하고, 토양의 산성화가 진행되어 잔디의 생육이 감소하였다(Han et al., 2015). 잔디 떼장 생산량 증대를 위해 다량의 화학비료 시비로 토양 산성화 등 다양한 문제가 발생되고 있어 고품질의 잔디를 생산하기 위한 비배관리 방안이 필요하다. 또한 논과 밭작물에 대한 적정 규산질비료 농도에 관한 연구는 되어 있으나 잔디에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 규소가 토양 중에 기본적으로 다량함유 되어 있는 원소이나 용해도가 낮으므로 들잔디 재배지에 규산질비료의 사용에 따른 잔디 생육과 토양의 화학적 변화를 알아보려고 수행되었다.

재료 및 방법

실험재료 및 시비관리

공시재료는 들잔디(*Zoysia japonica* Steud.)를 이용하였으며, 실험기간 및 장소는 2012년 4월부터 2014년 9월까지 이고, 전남 장성군 삼서면 들잔디 재배지이다. 한 시험구당 10 m×10 m(100 m²) 규격으로 전체 12개의 시험구(1,200 m²)를 4처리 구 난괴법 3반복으로 조성하였다.

시험 전 토양의 화학적 특성을 분석하였다. 토성은 사양토(sand 48%, silt 36%, clay 16%), 토양 산도는 pH 5.3, 토양의 유효규산 함량은 51.6 mg kg⁻¹이었다.

시험에 사용한 비료는 슬래그 규산질 비료(SiO₂ 25%, CaO 40%, MgO 2%), 질소(N)는 46%의 요소, 인산(P)은 구용성 인산(P₂O₅) 17%의 용과린, 칼륨(K)은 K₂O가 60%인 염화칼륨이 사용되었다.

벼 등 농업분야에서는 토양 유효규산 함량 157 mg kg⁻¹으로 권장되고 있으며, 본 시험에서는 토양 유효규산 함량을 고려하였고, 유효규산 함량 기준에 따른 규산질비료 시비량 산정은 다음과 같이 하였다 (Lee and Park, 2010).

규산질비료 시비량(kg 10a⁻¹)=(토양 유효규산 기준치(157 mg kg⁻¹)-재배지 평균 유효규산 함량(mg kg⁻¹))×4.2 (유효규산 함량 1 mg kg⁻¹ 증가에 필요한 규산질비료 사용 실량)

규산질비료 시비량은 시험 재배지 토양 유효규산 함량 51.6 mg kg⁻¹에 의해 산정된 결과 442.7 kg 10a⁻¹이었다. 본 실험에

서는 약 400 kg 10a⁻¹ 기준으로 무처리구, 처리구 기준의 1/4 감비구인 100 kg 10a⁻¹, 1/2 감비구인 200 kg 10a⁻¹, 처리구 기준인 400 kg 10a⁻¹으로 4개의 농도 처리를 2012년 4월 18일에 1회 전량으로 처리한 후 3년 간 규산질비료의 효과를 조사하였다.

질소는 연간 24 kg 10a⁻¹, 인산과 칼륨은 연간 각각 12 kg 10a⁻¹를 추비로 처리하였으며, 2012년부터 2014년까지 매년 4월, 5월, 6월, 7월 4회로 나누어 시비하였다. 잔디깎기는 평균 연 6회 실시하였고, 관수는 자연강우를 활용하였다.

식물체 및 토양 분석

잔디생육 조사는 2012년부터 2014년까지 매년 9월에 (2012년 9월 13일, 2013년 9월 27일, 2014년 9월 23일) 실시하였으며, 처리구별 초장, 뿌리길이, 지상부(잎과 줄기), 지상 포복경과 뿌리의 생체중과 건물중, 지상부 줄기 개수, 지상 포복경 길이를 조사하였다. 초장과 뿌리길이는 처리구당 생육진전 속도가 비슷한 줄기의 10개체를 무작위로 선택하여 측정된 후 평균을 계산하였고, 40 cm×40 cm 규격의 뗏장을 처리구당 4반복으로 떼어내어 지상부, 지상 포복경과 뿌리의 생체중과 건물중, 지상부 줄기 개수, 지상 포복경 길이를 측정된 후 m²으로 환산하여 결과를 나타내었다. 식물체에 흡수된 무기이온의 함량을 알아보기 위해 식물체를 건조기(Model DS-80-5, Dasol Scientific Co. Ltd., Hwaseong, Korea)로 80°C에서 48시간 건조하여 분쇄하였다. 식물체 분석은 농촌진흥청 국립농업과학원 식물체분석법(RDA, 2003)에 준하여 실시하였다. SiO₂ 조규산은 H₂O₂-H₂SO₄ 분해법을 이용하였으며, 조제 시료 2 g을 분해용 Kjeldahl flask에서 H₂SO₄ 20 mL를 첨가하여 Kjeldahl digester로 300°C에서 용액이 무색이 될 때까지 20분 간격으로 H₂SO₄ 3mL를 첨가하여 분해 한 후 여과지로 여과한 뒤 여과지상에 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 시료는 0.5 g을 100 mL 분해용 튜브에 취하고, H₂SO₄:50% HClO₄=1:10 비율의 혼합액 10 mL를 가하여 식물체를 분해한 후 증류수를 100 mL 표선까지 채워 분석하였다. 질소는 Indophenol blue법으로 P는 Vanadate법으로 비색 측정하였고, 나머지 K, Ca, Mg의 무기 성분들은 유도결합 플라즈마 분광계(Optima 4300DV/5300DV, Perkin Elmer Inc., Waltham, MA, USA)로 측정하였다.

토양분석은 농촌진흥청 국립농업과학원 토양분석법(RDA, 2003)에 준하였다. 토양 pH와 전기전도도(EC)는 토양과 증류수 1:5 비율로 하여 진탕한 현탁액을 pH meter (Starter 3000, Ohaus Co. Ltd., NJ, USA)와 EC meter (Starter 3000c, Ohaus Co. Ltd., NJ, USA)를 사용하여 측정하였다. 유기물 함량은 Tyurin법, 총질소는 Kjeldahl법으로 분석하였고, 유효인산은 Lancaster 법으로 측정하였다. 치환성 양이온은 1N-NH₄OAc법으로 추출하여 그 액을 유도결합 플라즈마 분광계(Optima 4300DV/5300DV, Perkin Elmer Inc., Waltham, MA, USA)로 분석하였다. 유효규산 함량은 1N NaOAc (pH 4.0) 완충용액에 의한 방법을 이용하여 파장 700nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다(Hallmark et al., 1982).

통계 분석

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 유의성을 실시하였다.

결과 및 고찰

규산질비료 시비에 따른 들잔디 생육효과

들잔디 재배지에서 2012년 1년차의 규산질비료 처리에 따른 초장은 무처리구에 비해 유의한 차이를 보였으나 규산질비료 처리구간에는 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 1). 지상부의 생체중과 건물중은 규산질비료 무처리구와 규산질비료 100 kg 10a⁻¹ 처리구간에는 통계적으로 유의적인 차이가 없었으며, 규산질비료 200과 400 kg 10a⁻¹ 처리구에서는 지상부 생체중과 건물중이 유의성 있게 증가하였다. 지상 포복경의 생체중과 건물중은 규산질비료 처리구와

무처리구 간에 통계적으로 유의적인 차이를 보였으며, 규산질비료의 농도가 높을수록 유의성 있게 증가하였고, 규산질비료 400 kg 10a⁻¹처리구에서 각각 616.3 g m⁻²과 175.7 g m⁻²로 가장 높은 증가를 나타내었다. 뿌리의 생체중은 규산질비료 처리구와 무처리구간의 유의한 차이를 보였으나 규산질비료 처리구간에는 유의한 차이가 없었고, 뿌리의 건물중은 규산질비료 400 kg 10a⁻¹처리구에서 53.3 g m⁻²로 가장 높게 나타났다.

2013년 2년차의 규산질비료 처리에 대한 시비효과 결과 초장은 무처리구에 비해 규산질비료 처리구가 유의하게 증가하였으며, 규산질비료 200 kg 10a⁻¹처리구에서 8.0 cm로 가장 긴 특성을 나타내었다(Table 1). 지상부의 생체중과 건물중은 규산질비료 농도가 높을수록 증가하였고, 지상부 생체중의 경우 규산질비료 400 kg 10a⁻¹처리구에서 1,528.6 g m⁻²로 가장 높게 나타났으나 지상부의 건물중은 규산질비료 200과 400 kg 10a⁻¹처리구 간에 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 지상 포복경의 생체중과 건물중은 무처리구와 규산질비료 100 kg 10a⁻¹처리구간의 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 규산질비료 200과 400 kg 10a⁻¹처리구에서 높게 나타났으나 두 처리구간에는 통계적으로 유의적인 차이가 없었다. 뿌리의 생체중과 건물중은 무처리구와 규산질비료 처리구간의 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

2014년 3년차의 규산질비료 처리에 대한 시비효과 결과 초장, 지상부의 생체중과 건물중은 무처리구에 비해 규산질비료 처리구가 유의하게 증가하였으나 규산질비료 처리구간에 유의한 차이가 없었다(Table 1). 지상 포복경의 생체중과 건물중은 무처리구에 비해 규산질비료 처리구 농도가 높을수록 유의한 증가를 나타내었고, 규산질비료 400 kg 10a⁻¹처리구에서 각각 619.6 g m⁻²과 256.5 g m⁻²로 가장 높게 나타났다. 뿌리의 생체중과 건물중은 무처리구와 규산질비료 처리구 간에 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다.

지상부 줄기 개수는 2012년 1년차와 2013년 2년차의 경우 규산질비료 무처리구에 비해 규산질비료 처리 농도가 높을수록 유의하게 증가를 하였고, 규산질비료 400 kg 10a⁻¹처리구에서 각각 12,326개와 14,637개로 가장 많은 수를 나타내었다(Fig. 1A). 2014년 3년차에는 규산질비료 처리구가 무처리구에 비해 유의한 증가를 나타내었고, 규산질비료 200과 400 kg 10a⁻¹처리구 각각 16,770개와 18,237개로 처리구 간에 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다.

Table 1. Plant height, fresh and dry weights of shoot, stolon and root in zoysiagrass as affected by silicate fertilizer application rates in cultivation field.

Year	Silicate level ^a (kg Si 10a ⁻¹)	Plant height (cm)	Fresh weight (g m ⁻²)			Dry weight (g m ⁻²)		
			Shoot	Stolon	Root	Shoot	Stolon	Root
2012(1 st)	0	5.9b	665.0b	429.8d	174.5b	144.8b	121.2c	33.9c
	100	6.7a	776.6b	481.8c	194.0a	162.3b	140.7bc	39.9bc
	200	7.0a	1069.0a	522.1b	200.5a	230.9a	157.5ab	45.6ab
	400	7.3a	1135.1a	616.3a	208.0a	242.4a	175.7a	53.3a
	F-test	***	**	***	**	***	**	*
2013(2 nd)	0	6.2b	794.9d	557.7b	187.2a	183.9b	166.9b	46.0a
	100	7.8ab	961.2c	554.2b	171.1a	231.9ab	164.5b	38.4a
	200	8.0a	1390.2b	817.2a	231.0a	280.9a	227.8a	47.2a
	400	7.6ab	1528.6a	865.8a	261.2a	296.0a	229.3a	46.4a
	F-test	*	***	**	NS	*	**	NS
2014(3 rd)	0	5.3b	370.4b	388.1b	259.6a	122.3b	162.1b	77.2a
	100	6.8a	628.9a	584.0ab	220.1a	199.5a	237.1ab	67.1a
	200	6.3a	578.9a	474.4ab	259.9a	201.5ab	210.5ab	71.8a
	400	6.5a	741.5a	619.6a	206.4a	246.5a	256.5a	62.5a
	F-test	*	*	*	NS	**	*	NS

NS, not significant.

^aSilicate fertilizer was applied at 0, 100, 200 and 400 kg 10a⁻¹ levels on April 18 in 2012. The growth characteristics were measured in September of each year for the period from 2012 to 2014.

a-c: Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

지상 포복경 길이는 2012년 1년차의 경우 규산질비료 무처리구에 비해 규산질비료 처리 농도가 높을수록 유의한 증가를 나타내었고, 규산질비료 400 kg 10a⁻¹ 처리구가 175.2 m로 가장 많은 생육량을 보였다(Fig. 1B). 2013년 2년차에는 규산질비료 무처리구와 100 kg 10a⁻¹ 처리구간에는 통계적으로 유의적인 차이가 없었으며, 규산질비료 200과 400 kg 10a⁻¹ 처리구 각각 176.5 m와 190.1 m로 가장 길게 나타났으며, 두 처리구간에는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 2014년 3년차에는 규산질비료 무처리구와 처리구간의 지상 포복경 길이가 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다.

3년간 규산질비료 처리에 따른 들잔디의 생육특성은 규산질비료의 농도가 400 kg 10a⁻¹에서 초장과 지상 포복경의 생체중과 건물중, 지상부 줄기 개수가 유의성 있게 증가하였다. 상기 연구결과는 한지형 잔디의 초장, 지상부의 생체중과 건물중이 규소처리로 증가한다고 보고하였는데 본 실험의 결과와 일치하였다(Kang et al., 2007). 또한 규소 농도가 높을수록 생육이 양호하여 크리핑 벤틀그래스의 예초물 생산이 증가된다고 하였고(Uniarte et al., 2004), 규소는 seashore paspalum의 신초 생육과 품질을 향상시킨다고 보고하였다(Trenholm et al., 2001). 규소는 필수 영양원소는 아니지만 일반적으로 식물의 발달과 작물의 수량에 영향을 미치는 유익한 원소로 규정되고 있다 (Epstein, 1994; Liang, 1999; Ma and Yamaji, 2006; Takahashi et al., 1990). 그러나 규소의 경우 지각에 존재하는 원소 중에서 산소 다음으로 풍부한 원소로 분류되지만(Epstein, 1994), 작물 재배지의 경우 오랜 연작과 화학비료의 끊임없는 사용으로 인해 토양에 풍부하게 존재하던 규소가 불용화되기 시작하였으며, 이로 인해 작물의 생산성을 크게 저하시키는 요인이 되고 있다(Ma and Yamaji, 2006). 특히 화분과 식물에서 규소의 사용은 생육의 발달과 촉진 이외에 광합성 증대 등의 효과가 있는 것으로 보고되었으며(Epstein, 1999; Ma, 2004), 벼의 경우 규산질비료를 사용하면 엽각 직립 유지, 질소 이용률 증진 등의 효과로 수량 증가에 기여한다고 보고되고 있다(Lewin and Reimann, 1969; Parry and Smithson, 1964).

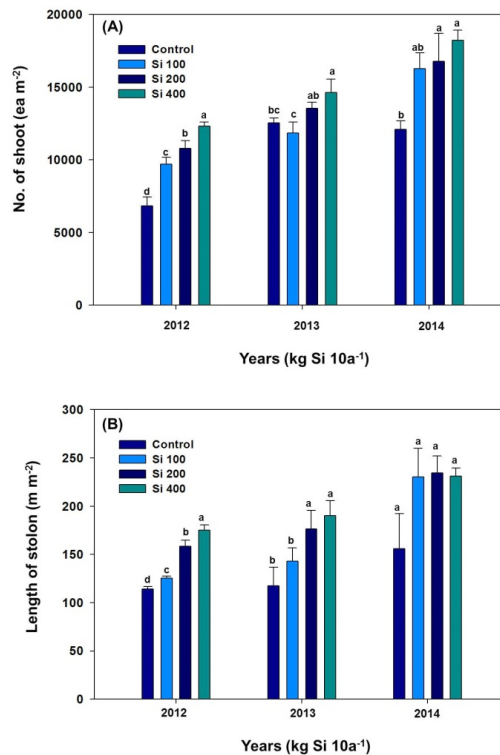


Fig. 1. Number of shoots and length of stolon on zoysiagrass depending on silicate fertilizer application rates in cultivation field. Silicate fertilizer was applied at 0, 100, 200 and 400 kg 10a⁻¹ levels on April 18 in 2012. The growth characteristics were measured in September of each year for the period from 2012 to 2014. Bars indicate standard error of the mean. Different letters are significantly different by Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

연차별 생육 특성은 1년차의 경우 규산질비료 400 kg 10a⁻¹처리구가 가장 높은 결과를 나타내었으나 2년차와 3년차에는 지상부와 지상 포복경 생체중과 건물중, 지상부 줄기 개수, 지상 포복경 길이는 규산질비료 200과 400 kg 10a⁻¹처리구간에 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 따라서 3년 1주기로 규산질비료를 시비할 경우 들잔디의 생육을 고려하여 잔디 재배시 적정 규산질비료 시비량은 200 kg 10a⁻¹으로 판단되었다.

규산질비료 시비에 따른 들잔디 무기이온 함량 및 토양 화학적 특성 변화

규산질비료 시비량에 따른 들잔디의 무기이온 함량을 조사한 결과 규산질비료의 농도가 증가할수록 식물체 내 유효규산 함량이 유의하게 증가하였다(Table 2). 2012년 1년차와 2013년 2년차의 경우 규산질비료 200과 400 kg 10a⁻¹처리구간에 통계적으로 유의적인 차이가 없었으나 2014년 3년차에는 규산질비료 400 kg 10a⁻¹처리시 식물체 내 유효규산 함량이 47.6 g kg⁻¹으로 가장 높았다. 상기 연구 결과는 규소 처리 농도가 높을수록 한지형 잔디의 신초 내 규산 함량이 증가한다는 보고와 일치하였다(Kang et al., 2007). 또한 seashore paspalum (Trenholm et al., 2001), 벼(Chang et al., 2006) 등에서도 규소 시비량이 많을수록 식물체내 규소 함량이 증가한다는 보고와 유사한 경향을 나타내었다.

인산 함량은 2012년 1년차에의 경우 규산질비료 무처리구에서 인산 함량이 가장 높게 나타났지만 2013년 2년차와 2014년 3년차에서는 규산질비료 농도가 높을수록 인산 함량이 유의한 증가를 보였다. 인산의 경우 토양 산도 감소에 의해 인산의 불용화가 촉진되어 식물체 인산 흡수를 저해한다고 하였는데(Nelson, 2003), 토양의 산도가 산성으로 변할 때 미량 금속원소(Fe, Mn, Zn, Cu 등)의 활성도가 증가되어 인산과 결합하여 인산의 불용화가 촉진되는 것으로 알려져 있다(Hannan, 1998; Morgan and Mascagni, 1991). 규산질비료 무처리구 토양의 낮은 산도로 인하여 인산 흡수 및 이행과정에서 불용화가 촉진되어 처리구 간에 인산 함량이 차이를 보이는 것으로 생각된다.

칼륨 함량의 경우 3년 간의 조사 결과 규산질비료 100 kg 10a⁻¹처리구에서 가장 높게 나타났으나 규산질비료 200과 400 kg 10a⁻¹처리구에서는 칼륨 함량이 낮았다. 마그네슘 함량은 2012년 1년차의 경우 규산질비료 무처리구에 비해 규산질비

Table 2. Inorganic nutrient content of zoysiagrass depending on silicate fertilizer application rates in cultivation field.

Year	Silicate level ² (kg Si 10a ⁻¹)	SiO ₂	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
		g kg ⁻¹					
2012(1 st)	0	36.8b	18.3a	25.2a	8.8ab	2.7b	4.8a
	100	35.3b	16.5a	18.7c	9.6a	2.2c	5.0a
	200	44.3a	16.8a	21.2b	7.5b	3.4a	5.0a
	400	44.9a	17.3a	14.1b	5.8c	3.3a	5.1a
	F-test	***	NS	***	***	***	NS
2013(2 nd)	0	30.5b	36.5a	6.1b	11.6b	3.2a	4.2a
	100	34.2ab	39.2a	8.1b	16.2a	3.5a	4.6a
	200	38.1a	38.3a	19.4a	8.7b	4.1a	5.5a
	400	38.4a	36.9a	23.4a	8.1b	3.7a	4.4a
	F-test	*	NS	**	**	NS	NS
2014(3 rd)	0	36.0c	18.3a	25.2a	8.8ab	2.7b	4.8a
	100	37.3c	16.5a	16.7b	9.6a	2.2c	5.0a
	200	44.9b	16.8a	18.5b	7.5b	3.4a	5.0a
	400	47.6a	17.3a	14.5c	5.8c	3.3a	5.1a
	F-test	***	NS	***	**	***	NS

NS, not significant.

²Silicate fertilizer was applied at 0, 100, 200 and 400 kg 10a⁻¹ levels on April 18 in 2012. The growth characteristics were measured in September of each year for the period from 2012 to 2014.

a-c: Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, P=0.05.

료 농도가 증가할수록 마그네슘 함량이 유의한 증가를 나타내었다. 2013년 2년차의 경우 처리구간 유의한 차이가 없었으며, 2014년 3년차의 경우 규산질비료 200과 400 kg 10a⁻¹ 처리구가 마그네슘 함량이 높았으나 처리구간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 질소와 칼슘 함량은 처리구간의 유의한 차이를 나타내지 않았다. 식물체 내 개별 무기원소 함량이 식물생육에 영향을 미친다고 하였으나(Walworth et al, 1986) 본 연구에서는 질소, 마그네슘과 칼슘의 함량의 차이를 보이지 않았다.

규산질비료 시비량에 따른 들잔디 재배지 토양의 화학적 특성을 3년간 분석한 결과 규산질비료 무처리구에 비해 규산질비료 처리구가 토양 내 pH가 높게 나타났으며, 규산질비료의 농도가 증가할수록 토양 내 pH가 증가하였다(Table 3). 들잔디의 경우 토양 pH 범위는 4.5-7.5로 범위가 넓지만 최적 범위는 5.5-7.5이다(Emmons, 2007; Lee et al., 2013). 토양 pH는 양분의 유효성에 크게 영향을 미치므로 식물이 뿌리를 통해 이용할 수 있는 영양분 상태도 토양 산도에 따라 크게 달라지는데 규산질비료를 이용하면 토양 산도의 조절에 기여 할 수 있으리라 본다(Nam et al., 2002).

토양 내 EC는 2012년 1년차를 제외한 2013년 2년차와 2014년 3년차에는 규산질비료 무처리구에 비해 규산질비료 농도가 높아질수록 증가하였는데 이는 규산질비료에 포함된 알칼리성분의 영향으로 판단되었다.

들잔디 재배지의 토양 내 유효규산 함량은 우리나라 적정 유효규산 함량 평균 130-180 mg kg⁻¹에 비해 부족한 상태로(Joo and Lee, 2011) 적정수량을 확보할 수 있는 토양의 유효규산 함량은 한국은 130 mg kg⁻¹, 미국과 중국에서는 180 mg kg⁻¹ 이 각각 요구된다고 하였으며(Kang, 2001), 유효규산 함량이 130 mg kg⁻¹ 미만의 토양에 규산시용 효과가 있다고 하였다(Park, 1970). 상기 연구 결과로 규산질비료 무처리구에 비해 규산질비료 처리구에서 토양 내 유효규산 함량이 증가하였으며, 2012년 1년차의 경우 규산질비료 400 kg 10a⁻¹ 처리구가 113.3 mg kg⁻¹으로 가장 높게 나타났으나 벼 등 농업분야에서 권장하고 있는 토양 유효규산 함량 157 mg kg⁻¹ 기준에는 미치지 못하였다.

2013년 2년차 조사시부터는 규산질비료 200과 400 kg 10a⁻¹ 처리구에서 각각 197.9과 293.1 mg kg⁻¹으로 토양 내 유효규산 함량 기준에 도달하였으며, 2014년 3년차에는 규산질비료 100, 200과 400 kg 10a⁻¹ 처리구에서 각각 210.6, 248.7 과 300.1 mg kg⁻¹으로 토양 내 유효규산 함량 기준 값인 157 mg kg⁻¹ 이상으로 조사되었다. 이는 가용화된 규산은 식물에 의한 흡수나 용탈 등으로 제거되지 않는 이상 상당기간 가용화된 수준을 유지한다고 하는 보고(Cho et al., 2004)와 유사한 결과를 나타내었다.

Table 3. Inorganic nutrient content of zoysiagrass depending on silicate fertilizer application rates in cultivation field.

Year	Silicate level ^z (kg Si 10a ⁻¹)	pH (1:5)	EC (ds m ⁻¹)	Av. SiO ₂ ^y (mg kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	T-N (g kg ⁻¹)	O.M. (g kg ⁻¹)	Ex. cations (cmolc kg ⁻¹)		
								K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
2012(1 st)	0	5.3	0.6	51.6	274.8	1.2	22.1	0.35	2.47	1.15
	100	5.5	0.5	81.0	288.6	1.6	23.6	0.38	3.22	1.37
	200	5.5	0.7	96.4	304.1	1.5	23.6	0.42	2.95	1.13
	400	5.6	0.5	113.3	357.8	0.9	17.2	0.45	3.41	1.20
2013(2 nd)	0	5.6	0.6	63.7	489.0	1.5	27.5	0.36	2.19	1.36
	100	6.0	1.1	132.5	499.1	1.4	25.4	0.39	2.34	1.52
	200	6.1	1.2	197.9	475.7	1.4	26.3	0.37	2.39	1.35
	400	6.2	1.3	293.1	526.7	1.5	26.8	0.38	2.78	1.34
2014(3 rd)	0	5.4	0.6	97.9	257.2	0.9	17.1	0.16	0.93	0.98
	100	5.7	0.8	210.6	255.7	1.0	18.3	0.17	0.94	1.33
	200	5.8	0.9	248.7	258.5	0.9	16.2	0.20	0.93	1.03
	400	5.9	0.9	300.1	304.9	1.1	19.8	0.14	0.93	1.20

Av. SiO₂, available SiO₂; Av. P₂O₅, available P₂O₅; T-N, total nitrogen; O.M., organic matter; Ex. Cations, exchangeable cations.

^zSilicate fertilizer was applied at 0, 100, 200 and 400 kg 10a⁻¹ levels on April 18 in 2012. The growth characteristics were measured in September of each year for the period from 2012 to 2014.

토양 내 전질소, 유기물, 치환성 양이온 K^+ , Ca^{2+} 과 Mg^{2+} 함량은 규산질비료 무처리구와 처리구간의 차이가 없었으며, 또한 규산질비료 농도 증가에 따른 함량 차이를 보이지 않는 경향을 나타내었다.

규산질비료 살포량이 많을수록 들잔디의 식물체 내 유효 규산과 인산의 함량이 증가하였으며, 규산질비료 시비량에 따른 토양의 화학적 특성은 규산질비료 모든 처리구에서 토양 내 pH, EC와 유효규산 함량이 증가하였다. 특히 규산질비료 처리 후 2년차부터는 규산질비료 $200\text{ kg } 10a^{-1}$ 처리구에서 토양 유효규산 함량 기준 157 mg kg^{-1} 이상을 나타내었다. 이를 통해 토양 교정 효과를 고려한 잔디 재배시 적정 규산질비료 시비량은 $200\text{ kg } 10a^{-1}$ 로 판단되었다.

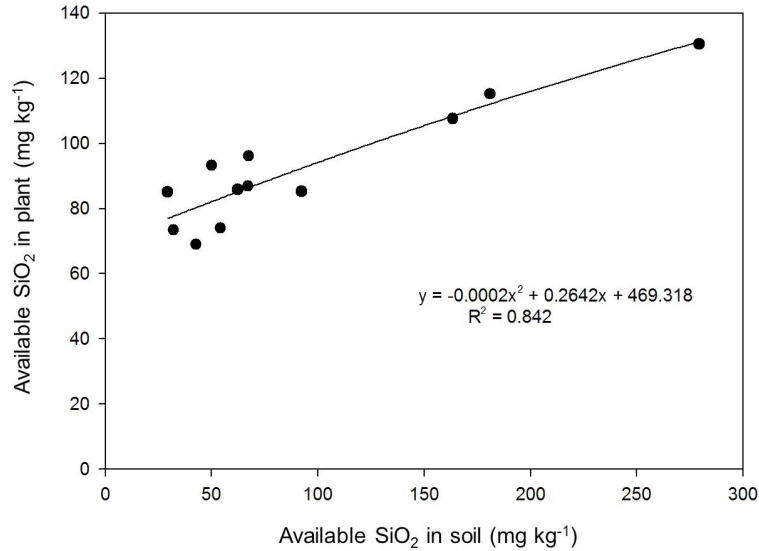


Fig. 2. Relationship between content of available SiO_2 in soil and plant of zoysiagrass depending on silicate fertilizer application rates in the cultivation field. Silicate fertilizer was applied at 0, 100, 200 and $400\text{ kg } 10a^{-1}$ levels on April 18 in 2012.

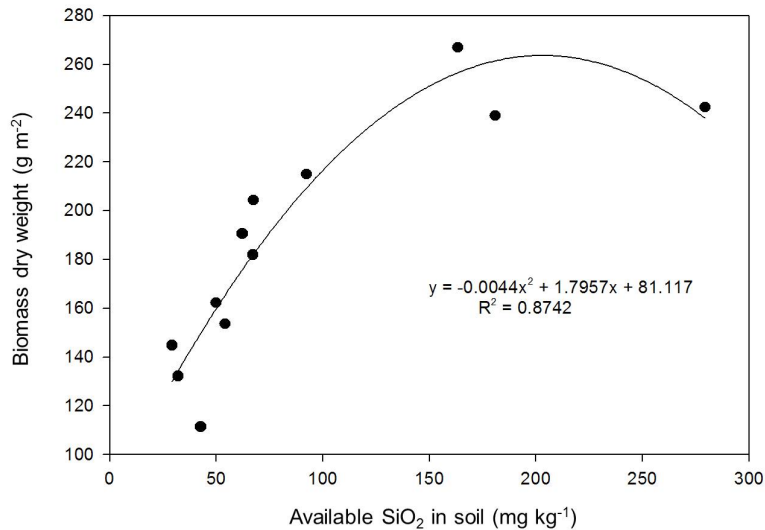


Fig. 3. Relationship between content of available SiO_2 in soil and biomass dry weight of zoysiagrass depending on silicate fertilizer application rates in the cultivation field. Silicate fertilizer was applied at 0, 100, 200 and $400\text{ kg } 10a^{-1}$ levels on April 18 in 2012.

본 연구결과로 규산질비료 농도 증가에 따라 토양 내 유효규산 함량이 증가하는 경향을 보였으며, 토양 내 유효규산과 식물체내의 규산 함량($r=0.84^{**}$)간에 상관관계가 확인되었고(Fig. 2), 또한 토양 내 유효규산과 들잔디 생장량간($r=0.87^{**}$)에도 상관관계가 확인되어(Fig. 3) 규산질비료가 토양 내 유효규산의 유효도 증진과 들잔디의 규산 흡수량 증가에 따른 생장량 증진 효과가 있는 것으로 조사되었다. 따라서 규산질비료 200 kg 10a⁻¹처리로 토양 산성화 방지 및 토양개량에 의한 생육환경 개선이 있는 것으로 판단되었으며, 들잔디의 생육 향상과 밀도율 증가에 기여하여 뗏장 품질향상 및 생산성 증대에 효과가 있을 것으로 판단되었다.

요약

들잔디의 품질과 줄기 밀도 향상을 위한 적정 규산질비료 시비량을 구명하기 위하여 본 연구가 수행되었다. 2012년부터 2014년까지 3년간 들잔디 재배지 포장시험을 수행하였다. 지상부와 지상 포복경의 생체중과 건물중, 지상부 줄기 개수, 지상 포복경 길이 등은 규산질비료 100, 200과 400 kg 10a⁻¹로 시비량이 증가함에 따라 수치가 증가하였다. 그러나 규산질비료 시비량 200과 400 kg 10a⁻¹처리구간에는 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 규산질비료 시비량이 증가할수록 토양 내 pH, EC, 토양 내 유효규산 함량이 높아지는 경향을 보였다. 들잔디 생육 증가 및 토양의 화학성을 고려한 적정 규산질비료 살포량은 200 kg 10a⁻¹로 판단되었다.

주요어: 유효규산, 무기이온, 규산질비료, 들잔디

References

- Carrow, R.N. 1980. Influence of soil compaction on three turfgrass species. *Agron. J.* 72:1038-1042.
- Chang, K.W., Hong, J.H., Lee, J.E. and Lee, J.J. 2006. Effects of the granular silicate fertilizer (GSF) application on the rice growth and quality. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39:151-156. (In Korean)
- 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)
- Emmons, R.D. 2007. Turfgrass science and management. p. 123. In Emmons, R.D. (ed.). *Soil chemistry*, Thomson, Canada.
- Eneji, A.E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., Hattori, T., An, P. and Tsuji, W. 2008. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. *J. Plant Nutrition.* 31:355-365.
- Engelke, M.C., Murray, J.J. and Yeam, D.Y. 1983. Distribution, collection and use of zoysiagrass in the far east, Part II. *Agronomy.* p. 125. (Abstr.)
- Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 91:11-17.
- Epstein, E. 1999. Silicon. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50:641-664.
- 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.

- Han, J.J., Lee, K.S., Park, Y.B. and Bae, E.J. 2014. Effect of growth and nitrogen use efficiency by application of mixed silicate and nitrogen fertilizer on zoysiagrass cultivation. *Weed Turf. Sci.* 3:137-142. (In Korean)
- Han, J.J., Lee, K.S., Choi, S.M., Park, Y.B. and Bae, E.J. 2015. Soil properties and growth characteristics by production periods of zoysiagrass sods. *Weed Turf. Sci.* 4:262-267. (In Korean)
- Hannan, J.J. 1998. *Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 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)
- 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.S. 2001. Workshop on silicate fertilizer use and development. proceeding of Korean J. Soil Sci. Fert. 23-35.
- Kim, K.N. 2005. *Introductory turfgrass science*. pp. 23-28. Sahmyook University Press, Seoul, Korea.
- 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.S. and Park, Y.H. 2010. Silicate fertilizer application standard effect. *Korean Society of Soil Science and Fertilizer. Report.* pp.1-82. (In Korean)
- Lee, S., Yu, H.C., Yoon, B.S., Yang, G.M., Kim, J.Y., et al. 2013. Soil and morphological characteristics of native zoysiagrass by the habitats. *Weed Turf. Sci.* 2:55-61. (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. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stress. *Soil Sci. Plant Nutri.* 50:11-18.
- Ma, J.F. and Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci.* 11:392-397.

- Morgan, J.T. and Mascagni. 1991. Environment and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. pp. 371-425. In: Luxmoore, R.J. (ed.). Micronutrient in agriculture. Soil Sci. Soc. of Amer., Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- 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)
- Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. PrenticeHall, New Jersey. USA.
- Park, C.S. 1970. Studies on the relation between available silica content and the effect of silicate, the distribution pattern of available silica content and requirement in Korea paddy top soil. *RDA, J. Agri. Sci.* 13:1-29. (In Korean)
- Parry, D.W. and Smithson, F. 1964. Types of opaline silica deposition in the leaves of British grasses. *Ann. Bot.* 28:169-185.
- RDA (Rural Development Administration). 2003. Agricultural science technique research investigation and analysis standard. 4th ed. RDA, Suwon, Korea.
- 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.
- Trenholm, L.E., Duncan, R.R., Carrow, R.N. and Snyder, G.H. 2001. Influence of silica on growth, quality, and wear tolerance of seashore paspalum. *J. Plant Nutrition.* 244:245-259.
- Uriarte, R.F., Shew, H.D. and Bowman, D.C. 2004. Effect of soluble silica on brown patch and dollar spot of creeping bentgrass. *J. Plant Nutrition.* 27:325-339.
- Walworth, J.L., Letzsch, W.S. and Summer, M.E. 1986. Use of boundary lines in establishing diagnostic norm. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50:122-128.