

Research Article



CrossMark

Open Access

## 질소 시비 수준별 금잔디의 생육과 질소 시비량 설정

김영선<sup>1,2\*</sup>, 최문진<sup>1</sup>, 윤정호<sup>3</sup>, 이금주<sup>4\*\*</sup>

<sup>1</sup>대구대학교 생명환경학부(원예학전공), <sup>2</sup>대구대학교 자연과학연구소, <sup>3</sup>㈜한울, <sup>4</sup>충남대학교 원예학과/스마트농업학과

### Establishment of a Standard Nitrogen Application Rate for *Zoysia matrella* Using Growth Responses to Various Fertilization Level

Young-Sun Kim<sup>1,2\*</sup>, Mun-Jin Choi<sup>1</sup>, Jeong-Ho Youn<sup>3</sup> and Geung-Joo Lee<sup>4\*\*</sup> (<sup>1</sup>Division of Life & Environmental Science (Horticulture Major), Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, <sup>2</sup>Institute of Basic Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, <sup>3</sup>Hanul Co. Ltd., Hapcheon 50229, Korea, <sup>4</sup>Department of Horticulture and Department of Smart Agriculture System, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea)

Received: 2 August 2022/ Revised: 15 August 2022/ Accepted: 22 August 2022

Copyright © 2022 The Korean Society of Environmental Agriculture

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

ORCID

Young-Sun Kim

<https://orcid.org/0000-0002-5645-7021>

Geung-Joo Lee

<https://orcid.org/0000-0002-3774-1860>

### Abstract

**BACKGROUND:** Nitrogen (N) is an important element for turfgrass (*Zoysia matrella*) growth; however, standard N application rate for turfgrass is not established yet. This study was conducted to evaluate the effect of N application rates on the growth and quality of turfgrass for establishment of standard N application rate.

**METHODS AND RESULTS:** Treatments were as follows; control (0 N g/m<sup>2</sup>/month), 1N (1 N g/m<sup>2</sup>/month), 2N (2 N g/m<sup>2</sup>/month), 3N (3 N g/m<sup>2</sup>/month), 4N (4 N g/m<sup>2</sup>/month), and 5N (5 N g/m<sup>2</sup>/month). N application improved visual turfgrass quality. Compared with the control, clipping yield of all N treatments increased by 90~194%. The grass shoot weight of 3N, 4N, and 5N treatments increased by 52%, 43%, and 111%, respectively, and the stolon weight of 4N and 5N treatments increased by 412% and 201%, respectively, compared to the control. The N uptake amount and N recovery rate were estimated to be 4.10~6.28 g/m<sup>2</sup> and 14~58%, respectively.

**CONCLUSION(S):** These results indicate that considering visual quality, clipping yield, N uptake amount, and N recovery, the application rate of 2~3 N g/m<sup>2</sup>/month was suggested to be suitable for *Z. matrella* production.

**Key words:** Nitrogen application, Nitrogen level, Nitrogen recovery, Nitrogen uptake, *Zoysia matrella*

### 서 론

잔디밭에서 잔디의 생육과 품질을 유지하기 위해서는 적절한 시비 관리가 필요하다[1]. 농촌진흥청에서는 농작물의 경우 작물의 생육 특성, 생산량, 품질 및 토양환경을 고려하여 생육에 필요한 작물별 표준시비량과 시비 방법 등을 제시하여 작물재배에 이용할 수 있도록 관리하고 있다. 그러나 잔디는 골프장, 운동장, 공원 및 수목원 등에서 지피식물로 폭 넓게 이용하고 있음에도 불구하고 식재 장소와 관리 정도 및 잔디 초종에 따라 시비량과 시비 방법 등이 상이하여 잔디관리 시 기준이 되는 표준시비량의 제시가 필요하다[1]. 잔디 관리에서 시비량의 기준이 되는 비료 성분은 질소이며[2], 이는 질소가 잔디 생육에서 다른 양분의 흡수량을 유도하는 중요한 성분이기 때문이다[3].

질소는 식물체의 신장을 촉진하고, 골격을 형성하는 단백질의 주요 구성 원소이며, 마그네슘과 더불어 엽록소를 구성하는 필수원소이다[4]. 잔디관리에서 질소는 잔디의 시각적 품

\* Corresponding author: Young-Sun Kim  
Phone: +82-53-850-6715; Fax: +82-53-850-6719;  
E-mail: im0sunkim@daegu.ac.kr

\*\* Co-corresponding author: Geung-Joo Lee  
Phone: +82-42-821-5734; Fax: +82-42-821-8888;  
E-mail: gjlee@cnu.ac.kr

질과 생육을 개선하는 주요 성분이므로[5], 고품질의 잔디 받을 유지하기 위해서는 적절한 시비 관리가 필요하다[6]. 비료 성분 중에서 질소는 인과 더불어 골프장 관리에서 연못물의 부영양화와 밀접하게 관련되어 있으므로 골프장의 수질환경 관리를 위해서도 중요한 성분이다[7]. 따라서 잔디 생육에 적합한 토양환경을 유지하고[8], 잔디 품질과 생육을 개선하며[9], 주변 수계에 대한 영향[7]이 적은 과학적인 질소 시비 기술이 필요하다[6].

국내에 식재된 잔디 중 한국잔디류의 식재 면적이 가장 넓으며, 그 중에서도 내한성, 내병성, 내답압성 등이 우수한 들잔디(*Zoysia japonica*)는 가장 많이 이용되고 있다[10, 11]. 금잔디(*Zoysia matrella*)는 들잔디에 비해 내한성이 약하여 식재 시 제한요인이 되나 들잔디보다 잔디 밀도가 높고, 녹색 기간이 길며, 좀더 진한 엷색을 나타내고[12], 봄철 잔디녹화(그린업) 시 답압 피해가 감소하는 등 식재 시 우수한 생육 특성을 나타낸다[13]. 그러나 한국잔디류에 대한 시비 관리에 관한 연구는 들잔디에 대한 연구를 중심으로 진행되었으며[6], 금잔디에 대한 시비 연구는 미미하다. 따라서 본 연구는 금잔디의 적정 시비량을 제안하기 위해 다양한 수준으로 질소를 시비한 후 금잔디의 생육과 품질, 양분 흡수량 및 양분 회수율 등을 조사하였다.

**재료 및 방법**

**시험 기간 및 공시 재료**

본 연구는 2021년 5월부터 12월까지 8개월동안 경상북도 경산시 소재의 대구대학교 유리온실에서 수행되었고, 실험에 사용된 모래의 입경 분포는 미국골프협회(United States Golf Association, USGA)에서 제시한 그린 규격에 적합하였고, 모래 상토에는 토양개량제를 혼합하지 않았다(Table 1). 공시 토양의 이화학성 조사결과, 토양산도(pH), 전기전도도(electrical conductivity, EC), 유기물(organic matter; OM), 전질소(total nitrogen; T-N), 유효인산(available phosphate; Av-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 치환성 칼륨(exchangeable potassium; Ex-K) 및 양이온치환용량(cation exchangeable capacity, CEC)은 각각 6.9, 0.08 dS/m, 1.4 g/kg, 0.2 g/kg, 30.1 mg/kg, 0.12 cmol<sub>c</sub>/kg, 및 1.51 cmol<sub>c</sub>/kg을 나타내어 잔디 식재 전 모래 토양과 유사한 토양이화학성을 나타냈다[5, 9]. 공시 비료는 질소원으로 황산암모늄(ammonium sulfate, N 21%; Capro, Seoul, Korea), 용성인비(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 20%; Pungnong, Seoul, Korea), 염화칼리(K<sub>2</sub>O 60%; Pungnong, Seoul, Korea)를 처리구에

적합하도록 혼용하여 사용하였다. 공시 식물은 2018년부터 약 2년간 영양번식으로 조성한 H사의 포장에서 금잔디(품종 'M45')를 공여받아 사용하였다.

**시험 포트 조성 및 처리**

공시 모래를 시험용 포트(diameter 18 cm, depth 15 cm)에 충전한 후 수돗물을 이용하여 6 시간 동안 물다짐 후 사용하였다. H사로부터 공여받은 금잔디 뗏장(두께 3 cm)를 홀커터(diameter 10.8 cm; 4 inch)를 이용하여 절단한 후 시험용 포트에 3월 25일 이식하여 55일간 관리하여 잔디가 활착된 것을 확인하였고, 5월 18일에 30 mm 높이로 예지하였다.

처리구는 질소 시비량에 따라 대조구(control; 0 N g/m<sup>2</sup>/month), 1N처리구(1N; 1 N g/m<sup>2</sup>/month), 2N처리구(2N; 2 N g/m<sup>2</sup>/month), 3N처리구(3N; 3 N g/m<sup>2</sup>/month), 4N처리구(4N; 4 N g/m<sup>2</sup>/month) 및 5N처리구(5N; 5 N g/m<sup>2</sup>/month)로 구분하였다. 인산과 칼륨의 시비량은 각각 2.43 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg/m<sup>2</sup>/month와 2.43 K<sub>2</sub>O kg/m<sup>2</sup>/month를 처리하였고, 각 처리구는 완전임의배치법으로 배치하여 3반복으로 수행하였다. 비료는 5월 13일, 6월 19일, 7월 19일, 8월 30일 및 10월 12일에 총 5회 처리하였고, 질소, 인산 및 칼륨을 처리면적에 맞도록 정확히 칭량하여 수돗물에 용해한 후 시험용 분무기의 노즐을 조절하여 관주시비하였다. 시험기간 중 수분의 공급은 주 2~3회 물조리개를 이용하여 물을 공급하였고, 위조가 발생하지 않도록 관리하였다. 시험기간 중 병해충은 발생하지 않아 작물보호제는 살포하지 않았고, 통기작업과 배토 등과 같은 토양 갱신 작업은 실시하지 않았다.

**잔디 생육 조사**

잔디 생육 조사는 처리구별 가지적 품질, 엷록소 함량, 예지물 함량 및 잔디 부위별 건물중 등을 조사하였다. 가지적 품질은 5월 4일부터 7일간격으로 총 30회 조사하였고, 조사 결과는 월별로 평균하여 잔디의 시각적 품질의 변화를 조사하였다. 시각적 품질은 National Turfgrass Evaluation Program (NTEP)에서 제시한 방법을 이용하여 잔디의 녹색 정도에 따라 달관조사하였다(1=worst, 9=best and 6=acceptable) [5].

잔디의 생육을 평가하기 위해 6월 19일, 7월 19일, 8월 30일, 10월 12일에 잔디 예지물 함량을 총 4회 조사하였다. 잔디 예지물 함량을 조사하기 위해 생육 초기였던 6월 19일과

Table 1. Particle size distribution of sand used in this study

Item	Particle size (mm)						
	4.00 over	4.00-2.00	2.00-1.00	1.00-0.50	0.50-0.25	0.25-0.15	0.15-0.053
Sand	0.0%	2.5%	7.8%	49.6%	36.3%	2.9%	1.0%
USGA standard	0%	10% below		60% over	20% below		10% below

USGA: United States Golf Association.

7월 19일은 30 mm의 높이로 조사하였고, 8월 30일과 10월 12일 조사에서는 잔디의 생장점 높이가 30 mm 이상인 개체가 존재하여 30 mm 높이로 예지 시 잔디의 생육이 중단되거나 고사될 우려가 있어 정확한 생육을 평가하기 위해 50 mm 높이로 조사하였다[14]. 잔디 예지물의 채취는 70% 에탄올로 잘 소독된 가위를 이용하여 채취한 후 70°C 건조기 (OF-W155, Daihan Scientific, Daegu, Korea)에서 24시간 건조하여 건물중을 측정하였다.

잔디 예지물을 위해 채취된 시료 중 일부는 잔디 예지물량 외에 엽록소 함량을 조사하여 시비량에 따른 잔디의 생육과 품질을 평가하였다. 잔디의 엽록소 함량은 채취된 잔디 시료(생물중) 0.1 g을 95% 에탄올(Samchun, Seoul, Korea)을 10 mL를 가하고, -4°C의 냉암소에서 48시간 동안 추출하여 UV-spectrophotometer (Genesys 2PC, Spectronic unicam, USA)를 이용하여 648 nm ( $A_{648}$ )와 664 nm ( $A_{664}$ )에서 흡광도를 측정하여 아래와 같은 식으로 엽록소 a와 b 및 총엽록소 함량을 계산하였다[15].

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a} &= 13.36A_{664} - 5.19A_{648} \\ \text{Chlorophyll b} &= 27.45A_{648} - 8.12A_{664} \\ \text{Total chlorophyll (a+b)} &= 5.24A_{648} + 22.24A_{664} \end{aligned}$$

시험 종료 시기인 12월 27일에는 잔디 부위별 생장량을 조사하기 위해 식물체가 손상되지 않도록 수돗물로 씻어 이물질을 제거하고, 지상부(shoot), 지상포복경(stolon) 및 지하부(root)의 각 부분을 분리하여 건물중을 조사하였다.

공시 비료의 처리 후 토양의 변화를 조사하기 위해 시험 전(2021년 3월 25일)과 시험 종료 후(2021년 12월 27일) 총 2회 실시하였다. 시험 종료 후 토양의 이화학적 분석을 위해 포트에서 금잔디와 토양을 분리하여 토양 시료를 골고루 채취하였다. 채취한 토양시료는 음지에서 풍건한 후 2 mm 체를 통과한 시료를 분석에 이용하였고, 분석항목은 pH, EC, OM, T-N, Av-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ex-K 및 CEC 등을 토양화학분석법에 준하여 시료를 분석하였다. pH와 EC는 1:5법으로, OM은 Tyurin법으로, T-N은 Kjeldahl 증류법으로, Av-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 Bray No. 1법으로, Ex-K와 CEC는 1N-NH<sub>4</sub>OAc 침출법으로 각각 분석하였다.

식물체 분석은 잔디 예지물 마지막 조사일인 10월 12일 채취된 시료를 건물중 조사 후 분석시료로 이용하였고, 잔디의 주요 구성성분으로 공시 비료로 시비된 비료성분인 질소, 인 및 칼륨을 분석하였다. 잔디 식물체 분석법은 토양화학분석법 중 식물체 분석법에 준하여 실시하였고, 일정 시료(0.2 g)에 황산(20 mL)과 과염소산(0.5 mL)을 가하여 400°C 이상에서 4시간 가열하여 무색이 되도록 완전히 분해한 후 방냉하고, 증류수를 가한 후 여과지(Watman No.2, Cytiva Korea, Seoul, Korea)로 여과하여 정용하였다. 정용된 시료의 일부(aliquat)를 분석에 이용하였다. 질소는 Kjeldahl 증류법으로, 인은 UV-spectrophotometer를 이용하여 바나도몰리브덴산법으로, 칼륨은 염광광도계(flame photometer;

PFP7, JENWAY, Staffordshire, UK)를 이용하여 각각 분석하였다. 시험 중 수거된 총 잔디 예지물의 건물중과 잔디 경엽의 성분 함량을 이용하여 아래의 식과 같이 잔디의 양분 흡수량과 양분 회수율을 계산하였다[3, 5].

$$\begin{aligned} \text{양분 흡수량(g/m}^2\text{)} &= \text{잔디 경엽 중 성분 함량(\%)} \\ &\quad \times \text{잔디 예지물의 건물중(g/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{양분 회수율(\%)} &= \\ &\quad \frac{\text{(처리구 양분 흡수량 - 대조구 양분 흡수량)}}{\text{양분 총공급량}} \times 100 \end{aligned}$$

통계처리는 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences; ver. 12.1.1, IBM, New York, USA)를 이용하여 처리구간 ANOVA 분석을 실시하였다. 비료 처리량별 처리구간 평균값을 비교하기 위해 Duncan 다중검정을 통해 처리구간 평균값의 유의차를 검정하였고, Pearson상관분석을 통해 시비량별 잔디의 생육 변화에 대해 상관관계를 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 토양화학적 변화

공시 비료 처리 후 시비량별 토양의 변화를 조사하였다 (Table 2). 시험 종료 후 pH는 6.78~7.15를, EC는 0.17~0.21 dS/m, OM은 1.0~2.4 g/kg, T-N은 0.2~0.3 g/kg, Av-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 23.6~35.7 mg/kg, Ex-K는 0.12~0.22 cmol<sub>c</sub>/kg, 그리고 CEC는 1.30~1.48 cmol<sub>c</sub>/kg의 범위를 나타냈다. 대조구와 비교할 때, pH는 1N, 2N, 3N 처리구에서 증대되었고, Ex-K는 5N처리구에서 감소되었으며, EC, OM, T-N, Av-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 CEC는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 잔디에서 질소의 시비는 인과 칼륨의 흡수를 촉진하여[3] 토양 내 흡수량이 감소하게 되므로 질소 시비량이 많았던 4N과 5N 처리구에서 칼륨 함량이 감소하는 경향을 나타낸 것으로 판단된다. 또한 공시 비료로 사용한 질소원과 칼륨원은 각각 황산암모늄과 염화칼리로서 대표적인 생리적 산성 비료로서 사용량이 증대될수록 pH가 감소하는 경향을 나타낸 것으로 판단된다[16]. 대조구(control)에서 pH가 감소한 것은 생리적 산성비료인 염화칼리의 영향으로 판단된다[16].

### 잔디 생육 및 품질

시험기간 중 가시적 잔디 품질을 조사하여 잔디의 엽색을 조사하였다(Table 3). 대조구와 비교할 때, 모든 질소 비료 처리구의 가시적 잔디 품질은 증가하였다. 생육 기간 중 조사된 잔디 품질의 평균값으로 질소 시비량별 잔디 품질을 비교할 경우 5N > 4N = 3N > 2N > 1N > 대조구 순으로 조사되어 5N 처리구에서 가장 높았다. 시기별 조사결과를 비교할 때, 질소 처리량 별 잔디 품질은 5월과 8월에는 5N 처리구에서, 6월과 12월에는 4N과 5N 처리구에서, 9월과 10

Table 2. The chemical properties in the soil after applying various N level

Treatments <sup>z</sup>	pH	EC	OM	T-N	Av-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ex-K	CEC
	(1:5)	(dS/m)	(g/kg)		(mg/kg)	(cmol <sub>c</sub> /kg)	
Control	6.78c <sup>y</sup>	0.18a	1.5a	0.3a	29.7a	0.20a	1.35a
1N	7.15a	0.17a	1.3a	0.2a	31.8a	0.20a	1.43a
2N	7.11ab	0.18a	2.4a	0.3a	27.6a	0.22a	1.42a
3N	7.05ab	0.19a	1.1a	0.3a	23.6a	0.22a	1.30a
4N	6.92abc	0.20a	1.0a	0.3a	30.0a	0.16ab	1.48a
5N	6.90bc	0.21a	1.0a	0.3a	35.7a	0.12b	1.47a

<sup>z</sup> Treatments were as follows. Control (0 N g/m<sup>2</sup>/month), 1N (1 N g/m<sup>2</sup>/month), 2N (2 N g/m<sup>2</sup>/month), 3N (3 N g/m<sup>2</sup>/month), 4N (4 N g/m<sup>2</sup>/month) and 5N (5 N g/m<sup>2</sup>/month). P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O were applied 2.43 g/m<sup>2</sup>/month in the all treatments on May 13, June 19, July 19, August 30, and October 12.

<sup>y</sup> Means with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$  level.

EC: electrical conductivity, OM: organic matter, T-N: total nitrogen, Av-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: available phosphate, Ex-K: exchangeable potassium, CEC: cation exchangeable capacity.

Table 3. Changes of visual turfgrass quality chemical properties in *Zoysia matrella* after applying various N level

Treatments <sup>z</sup>	Visual turfgrass quality <sup>y</sup>								Average
	May	June	July	August	September	October	November	December	
Control	6.7c <sup>x</sup>	6.8e	6.9c	6.9b	6.7e	6.5e	6.4c	6.1d	6.6e
1N	6.8b	7.1d	7.2b	7.1ab	7.2d	7.0d	6.8b	6.8c	7.0d
2N	6.9ab	7.3c	7.3b	7.2ab	7.4c	7.2c	6.9b	6.9bc	7.1c
3N	6.9ab	7.4bc	7.3ab	7.2a	7.5bc	7.4b	7.2a	7.0ab	7.2b
4N	6.9ab	7.5b	7.3ab	7.1ab	7.5b	7.4b	7.2a	7.1a	7.2b
5N	6.9a	7.6a	7.4a	7.3a	7.8a	7.7a	7.4a	7.1a	7.4a
Correlation <sup>v</sup>	0.81**	0.94**	0.83**	0.61**	0.92**	0.93**	0.92**	0.84**	0.92**
( <i>p</i> value)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.004)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)

<sup>z</sup> Treatments were as follows. Control (0 N g/m<sup>2</sup>/month), 1N (1 N g/m<sup>2</sup>/month), 2N (2 N g/m<sup>2</sup>/month), 3N (3 N g/m<sup>2</sup>/month), 4N (4 N g/m<sup>2</sup>/month) and 5N (5 N g/m<sup>2</sup>/month). P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O were applied 2.43 g/m<sup>2</sup>/month in the all treatments on May 13, June 19, July 19, August 30, and October 12. It was sampled on December 27, 2021.

<sup>y</sup> Visual turfgrass quality was investigated with NTEP standard, its scale was 1~9, that 1, 6 and 9 represented worst quality, acceptable quality, and best quality.

<sup>x</sup> Means with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$  level.

<sup>v</sup> \*\* represent a significance at the 0.01 probability level by correlation coefficient between amount applying N source and visual turfgrass quality, respectively.

월, 11월에는 3N, 4N 및 5N 처리구에서 1N 처리구보다 증대되었다. 질소 시비량과 가시적 잔디 품질 간의 상관관계를 조사에서 고도의 정의 상관관계를 나타냈다( $p < 0.01$ ). 이는 질소의 시비량에 따라 잔디 경엽 중 질소 흡수량이 증대되어 잔디 색도와 잔디 품질이 증대된다는 선행 연구의 결과와 유사하였다[5, 17].

질소 시비량별 금잔디의 엽록소 함량 조사에서 생육 기간 중 엽록소 a, 엽록소 b 및 엽록소 a+b는 각각 80~789, 2,175~4,173, 2,255~4,962  $\mu\text{g/mL}$ 의 범위에서 조사되었다 (Table 4). 대조구와 비교할 때, 엽록소 a, b 및 a+b함량은 6월 19일 조사에서는 2N, 3N, 4N 및 5N 처리구에서, 10월

12일 조사에서는 4N과 5N 처리구에서 각각 증대되었고, 7월 19일과 8월 31일 조사에서는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 엽록소 함량과 질소 시비량간의 상관관계 조사에 6월 19일과 10월 12일 조사에서는 고도의 정의 상관관계를 나타냈고( $p < 0.01$ ), 7월 19일과 8월 31일 조사에서는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 난지형 잔디의 생육이 왕성한 7월과 8월에는 시비량에 따른 엽록소 함량의 변화를 확인하기 어려웠으나 난지형 잔디의 생육이 시작되는 6월과 휴면을 준비하는 10월에는 질소 시비량에 따라 잔디 경엽 중 엽록소 함량이 증대되는 것으로 나타났다. Ham and Kim [2]은 한국잔디의 경우 7월과 8월과 같은 고온기에는

Table 4. Chlorophyll content in the leaves of *Zoysia matrella* after applying various N level

Treatments <sup>z</sup>	Chlorophyll content ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )			
	June 19	July 19	August 31	October 12
Chlorophyll a				
Control	124d <sup>y</sup>	789a	142a	80c
1N	140d	422a	93a	130c
2N	208c	630a	202a	170bc
3N	256bc	629a	214a	245abc
4N	311ab	483a	281a	357ab
5N	346a	569a	228a	416a
Correlation <sup>x</sup>	0.95**	-0.13 <sup>NS</sup>	0.44*	0.78**
( <i>p</i> value)	(0.000)	(0.485)	(0.035)	(0.000)
Chlorophyll b				
Control	2,587c	4,173a	2,688a	2,175c
1N	2,783c	3,577a	2,730a	2,995c
2N	3,364b	4,000a	3,038a	3,135bc
3N	3,604ab	4,153a	2,968a	3,763abc
4N	3,801a	3,875a	3,227a	3,870ab
5N	3,842a	4,119a	3,241a	3,870a
Correlation	0.94**	0.09 <sup>NS</sup>	0.33 <sup>NS</sup>	0.88**
( <i>p</i> value)	(0.000)	(0.365)	(0.067)	(0.000)
Chlorophyll a+b				
Control	2,711d	4,962a	2,830a	2,255c
1N	2,924d	3,999a	2,822a	3,125b
2N	3,572c	4,630a	3,240a	3,304b
3N	3,861bc	4,781a	3,181a	4,008ab
4N	4,112ab	4,356a	3,508a	4,227a
5N	4,187a	4,687a	3,469a	4,581a
Correlation	0.94**	-0.01 <sup>NS</sup>	0.35 <sup>NS</sup>	0.87**
( <i>p</i> value)	(0.000)	(0.485)	(0.057)	(0.000)

<sup>z</sup> Treatments were as follows. Control (0 N g/m<sup>2</sup>/month), 1N (1 N g/m<sup>2</sup>/month), 2N (2 N g/m<sup>2</sup>/month), 3N (3 N g/m<sup>2</sup>/month), 4N (4 N g/m<sup>2</sup>/month) and 5N (5 N g/m<sup>2</sup>/month). P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O were applied 2.43 g/m<sup>2</sup>/month in the all treatments on May 13, June 19, July 19, August 30, and October 12.

<sup>y</sup> Means with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at *p*≤0.05 level.

<sup>x</sup> NS, \* and \*\* represent not significance and a significance at the 0.05 and 0.01 probability level by correlation coefficient between amount applying N source and chlorophyll content, respectively.

시비량과 질소원에 따른 엽록소 지수의 변화를 미미하다고 보고하여 본 연구 결과와 유사한 결과를 나타냈다. Jang and Kim [18]은 9월 이후 한국잔디에서 질소 공급량의 증가는 엽록소 함량을 증대되고, 10월 중순 이후에는 처리량에 따른 차이를 확인할 수 없다고 보고한 바 있다. 선행 연구 결과가 본 연구의 결과와 유사한 경향을 보이거나 시기적으로 다소 차이를 나타내는 것은 선행 연구는 노지에서 연구를 수행했으나 본 연구가 유리온실에서 이뤄져 보온 효과가 나타나 약간의 차이를 나타낸 것으로 생각된다.

질소 시비량별 급잔디의 예지물을 조사하여 잔디의 지상

부 생육정도를 평가하였다(Table 5). 시험기간 중 채취된 예지물량은 155.7~457.7 g/m<sup>2</sup>을 나타냈고, 5N 처리구에서 가장 많은 예지물량을 나타냈고, 질소 시비량이 감소할수록 예지물량이 감소하였다. 대조구와 비교할 때, 6월 19일 조사에서는 2N~5N 처리구에서, 7월 19일과 8월 31일 조사에서는 질소 비료 처리구(1N~5N 처리구)에서, 10월 12일 조사에서는 5N 처리구에서 증대되었다. 시험기간 중 채취된 총 예지물량의 비교에서는 1N, 2N, 3N, 4N 및 5N 처리구는 대조구보다 각각 90, 106, 132, 147, 194%씩 증대되었다. 1N 처리구와 비교할 때, 2N, 3N 및 4N 처리구는 통계적으로 유의

Table 5. Clipping yield in *Zoysia matrella* after applying various N level

Treatments <sup>z</sup>	Dry weight of clipping (g/m <sup>2</sup> )				
	June 19	July 19	August 31	October 12	Total
Control	26.2d <sup>y</sup>	34.5d	74.5b	20.4b	155.7d
1N	46.4d	90.6c	136.8a	21.5b	295.4c
2N	71.3c	116.4b	106.6a	25.8ab	320.2bc
3N	85.5bc	124.2b	118.5a	33.2ab	361.4bc
4N	104.2ab	155.3a	96.4a	28.3ab	384.2ab
5N	110.8a	162.7a	142.5a	41.7a	457.7a
Correlation <sup>x</sup>	0.93**	0.94**	0.31 <sup>NS</sup>	0.62**	0.89**
( <i>p</i> value)	(0.000)	(0.000)	(0.178)	(0.003)	(0.000)

<sup>z</sup> Treatments were as follows. Control (0 N g/m<sup>2</sup>/month), 1N (1 N g/m<sup>2</sup>/month), 2N (2 N g/m<sup>2</sup>/month), 3N (3 N g/m<sup>2</sup>/month), 4N (4 N g/m<sup>2</sup>/month) and 5N (5 N g/m<sup>2</sup>/month). P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O were applied 2.43 g/m<sup>2</sup>/month in the all treatments on May 13, June 19, July 19, August 30, and October 12.

<sup>y</sup> Means with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at *p*≤0.05 level.

<sup>x</sup> <sup>NS</sup> and \*\* represent not significance and a significance at the 0.01 probability level by correlation coefficient between amount applying N source and clipping yield, respectively.

Table 6. Dry weight of shoot, stolon, and root of *Zoysia matrella* after applying various N level

Treatments <sup>z</sup>	Dry weight of turfgrass (g/m <sup>2</sup> )			
	Shoot	Stolon	Root	Total
Control	745.1c <sup>y</sup>	39.6c	202.5b	987.2c
1N	866.6bc	56.2c	210.4b	1,133.3c
2N	945.7bc	94.0bc	488.8a	1,528.5b
3N	1,134.0b	80.0bc	380.8ab	1,594.9b
4N	1,064.2b	203.1a	321.0ab	1,588.3b
5N	1,571.1a	119.3b	308.9ab	1,999.3a
Correlation <sup>x</sup>	0.82**	0.68**	0.25 <sup>NS</sup>	0.87**
( <i>p</i> value)	(0.000)	(0.000)	(0.067)	(0.000)

<sup>z</sup> Treatments were as follows. Control (0 N g/m<sup>2</sup>/month), 1N (1 N g/m<sup>2</sup>/month), 2N (2 N g/m<sup>2</sup>/month), 3N (3 N g/m<sup>2</sup>/month), 4N (4 N g/m<sup>2</sup>/month) and 5N (5 N g/m<sup>2</sup>/month). P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O were applied 2.43 g/m<sup>2</sup>/month in the all treatments on May 13, June 19, July 19, August 30, and October 12. It was sampled on December 27, 2021.

<sup>y</sup> Means with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at *p*≤0.05 level.

<sup>x</sup> <sup>NS</sup> and \*\* represent not significance and a significance at the 0.01 probability level by correlation coefficient between amount applying N source and dry weight, respectively.

적인 차이가 없었고, 5N 처리구는 증대되었다. 시기별 질소 시비량과 잔디 예지물량 간의 상관관계 조사에서 8월 31일 조사를 제외하고 모든 처리구에서 고도의 정의 상관성을 나타냈다(*p*<0.01). 이는 질소 시비가 잔디 생육을 증대시키기 때문이라는 선행 연구들과 유사한 결과를 나타냈다[5, 8, 16]. 비록 잔디 예지물은 잔디의 생육과 예지 후 회복을 나타내지만 잔디 예지물의 과량 생산은 잔디밭에 대취충 생성을 촉진시켜[8] 토양의 물리화학적 악화시키고[19] 잔디의 병해를 유발하며[20] 잔디의 생육을 불량하게 하는 원인이 된다. 따라서 잔디의 질소 시비량의 결정은 잔디 품질, 생육 및 잔디의 양분 흡수량과 이용률 등을 고려하여 결정하여야 한다.

시험 종료 후 질소 시비량별 금잔디의 부위별 건물중을 통

하여 질소가 관여하는 금잔디 생육 요인을 조사하였다(Table 6). 금잔디의 지상부는 745.1~1,571.1 g/m<sup>2</sup>을, 지상포복경은 39.6~203.1 g/m<sup>2</sup>을, 그리고 지하부(뿌리)는 202.2~488.8 g/m<sup>2</sup>을 나타내어 금잔디의 총건물중은 987.2~1,999.3 g/m<sup>2</sup>을 나타냈다. 대조구와 비교할 때, 지상부는 3N, 4N 및 5N 처리구에서, 지상포복경은 4N 및 5N 처리구에서, 그리고 지하부는 2N 처리구에서 증가하였다. 잔디부위별 조사에서 지상부, 지상포복경 및 지하부는 각각 5N 처리구, 4N 처리구 및 2N 처리구에서 건물중이 가장 높았다. 잔디 질소 시비량과 금잔디 부위별 상관관계 조사에서 지상부와 지상포복경은 정의 상관성을 나타냈고(*p*<0.01), 지하부는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이는 질소의 시비가 한지형 잔

Table 7. Nutrient content and uptake amount in the leaves of *Zoysia matrella* after applying various N level

Treatments <sup>z</sup>	Nutrient content (g/kg)			Nutrient uptake amount (g/m <sup>2</sup> )		
	N	P	K	N	P	K
Control	6.1b <sup>y</sup>	1.1a	19.2a	1.22c	0.22c	1.47b
1N	10.0ab	1.0a	19.8a	4.10b	0.40ab	3.64ab
2N	10.7ab	0.9a	21.0a	4.22b	0.37b	2.87ab
3N	11.4a	0.9a	21.4a	5.01ab	0.41ab	3.14ab
4N	9.1ab	0.9a	20.0a	4.01b	0.42ab	4.98a
5N	11.4a	0.9a	20.5a	6.28a	0.51a	4.63a
Correlation <sup>x</sup>	0.31*	-0.50**	0.17 <sup>NS</sup>	0.63**	0.56**	0.51**
(p value)	(0.048)	(0.010)	(0.177)	(0.000)	(0.001)	(0.002)

<sup>z</sup> Treatments were as follows. Control (0 N g/m<sup>2</sup>/month), 1N (1 N g/m<sup>2</sup>/month), 2N (2 N g/m<sup>2</sup>/month), 3N (3 N g/m<sup>2</sup>/month), 4N (4 N g/m<sup>2</sup>/month) and 5N (5 N g/m<sup>2</sup>/month). P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O were applied 2.43 g/m<sup>2</sup>/month in the all treatments on May 13, June 19, July 19, August 30, and October 12. It was sampled on October 12, 2021.

<sup>y</sup> Means with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$  level.

<sup>x</sup> NS, \* and \*\* represent not significance, a significance at the 0.05 and 0.01 probability level by correlation coefficient between amount applying N source and nutrient content or uptake amount, respectively.

디에서 지상부 생육을 촉진한다는 Lee et al. [5]의 결과와 유사하였다. 또한 난지형 잔디에서 지상부의 생육은 지상포복경에서 새순이 발생한다는 점을 고려할 때[20], 지상포복경의 생육은 지상부의 생육을 촉진한다는 Lee et al. [21]의 결과와 유사하였다. 동애동에 분변토를 토양개량제로 사용하는 경우 상토 중 처리량에 따라 한국잔디에서 지상부와 지상포복경의 생육이 증대되며[21], 이는 동애동에 분변토에 일정량의 질소가 함유되어 있어 처리량이 증대될 때 잔디 생육이 증가하기 때문이다[9].

### 양분 흡수 및 이용률

금잔디의 적정 잔디 공급량을 평가하기 위해 잔디의 양분 함량과 잔디의 양분 흡수량을 조사하였다(Table 7). 10월 12일 채취된 잔디 잎에서 질소, 인 및 칼륨의 함량은 각각 6.1~11.4 g/kg, 0.9~1.1 g/kg, 19.2~21.4 g/kg 를 나타냈다. 대조구와 비교할 때, 질소는 3N과 5N 처리구에서 증대되었고, 인과 칼륨은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 질소 시비량과 금잔디 잎의 양분 함량 간에는 상관성을 나타내지 않았다. Kim et al. [22]은 크리핑 벤트그래스에서 시비 시기에 따라 잔디 잎 중 양분 함량을 조사할 때, 건물중에는 차이를 나타내나 잔디 잎의 양분 함량에는 영향을 미치지 않는다고 보고하여 본 연구의 결과와 유사한 결과를 나타냈다. 일반적으로 잔디 생육 기간 중 잔디 잎의 양분 함량은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 10월 조사결과를 이용하여 양분 흡수량을 조사할 수 있었다[23].

금잔디의 양분 흡수량은 질소가 1.22~6.28 g/m<sup>2</sup>, 인이 0.22~0.51 g/m<sup>2</sup>, 칼륨이 1.47~4.98 g/m<sup>2</sup>을 나타냈다. 대조구와 비교할 때, 질소와 인은 모든 질소 비료 처리구에서 각 흡수량이 증대되었고, 칼륨은 4N과 5N 처리구에서 증대되었다. 질소 시비량과 금잔디의 양분 흡수량과의 상관관계

에서 질소, 인 및 칼륨의 흡수량은 정의 상관성을 나타냈다 ( $p < 0.01$ ). 이는 질소의 처리량이 인과 칼륨의 흡수를 촉진한다는 Kussow et al. [3]의 결과와 일치하는 결과이다. Ham et al. [23]은 질소 시비량의 증대는 잔디 잎에 함유된 질소 함량의 증대는 미미하나 잔디 지상부의 생육을 증대시켜 흡수량을 증대시킨다고 보고하여 본 연구의 연구와 일치하는 결과를 나타냈다.

질소 시비량과 금잔디의 양분 흡수량을 비교하여 질소 시비량별 양분 회수율을 조사하였다(Fig. 1). 금잔디에서 질소 회수율은 13.9~57.6%을 나타냈고, 1N 처리구에서 회수율이 가장 높았고, 4N 처리구에서 가장 낮았다. 인 회수율은 2.7~5.4%으로 5N 처리구에서 가장 높았으나, 칼륨 회수율은 13.9~31.3%으로 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 칼륨 회수율은 4N과 5N 처리구에서 높았고, 이는 양분의 흡수량에 기인한 것으로 시험 종료 후 토양에서 치환성 칼륨 함량이 낮았던 것을 뒷받침하는 결과이다. 또한 칼륨의 흡수량 증가는 토양 중 염소이온을 잔류하도록 하여 생육 종료 후 토양의 산성화를 나타낼 수 있어 pH의 감소에 영향을 미친 것으로 판단된다[16].

질소 시비는 잔디 관리에서 가장 중요한 요소이며, 잔디의 품질과 생육 그리고 양분의 흡수를 결정하는 중요한 요소이다[3]. 따라서 질소 시비에 의한 잔디 품질과 생육 정도, 양분 흡수 및 양분 회수율 등을 비교하여 금잔디의 최적 시비량을 결정하여야 한다. 조사된 결과를 바탕으로 볼 때 질소의 시비량과 잔디 품질, 엽록소 함량, 잔디 예지물 및 양분 흡수량은 정의 상관관계를 나타내어 질소 시비량이 많을수록 잔디 생육에는 유리하나(Table 2, 3, 4, 6) 질소 시비량이 증가할수록 질소 회수율이 감소하였다(Fig. 1). 잔디 품질과 생육이 가장 우수했던 처리구인 4N과 5N 처리구의 경우 시비량에 비해 질소 회수율이 2N이나 3N처리구보다 낮거나 유사하다는

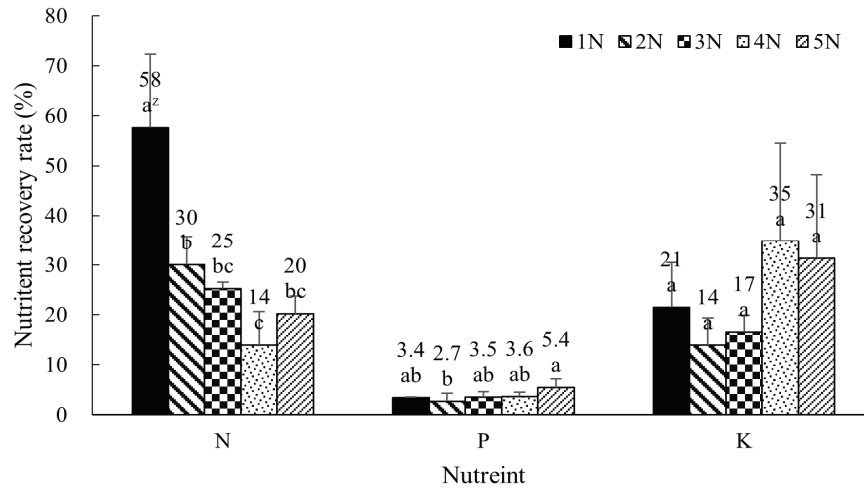


Fig. 1. Nutrient recovery rate in the *Zoysia matrella* after applying various N level.

Treatments were as follows. 1N (1 N g/m<sup>2</sup>/month), 2N (2 N g/m<sup>2</sup>/month), 3N (3 N g/m<sup>2</sup>/month), 4N (4 N g/m<sup>2</sup>/month) and 5N (5 N g/m<sup>2</sup>/month). P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O were applied 2.43 g/m<sup>2</sup>/month in the all treatments on May 13, June 19, August 30, and October 12.

Nutrient recovery rate (%) = (Uptake amount of treatment - Uptake amount of control) / Total supplying amount × 100

<sup>z</sup> Means with the same letters within bars are not significantly different by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$  level. Error bars indicate standard deviation.

점을 고려한다면 4N과 5N 처리구의 질소 시비량은 과량의 시비가 이뤄진 것으로 판단된다. 5N 처리구에서 잔디의 예지물량이 증대되었으나 이는 잔디 깎기의 횟수가 증가하고, 깎기 작업을 통해 수거된 예지물은 폐기하거나 토양에 환원하여 한다. 골프장의 경우 수거된 예지물의 처리는 폐기물처리에 의해 비용이 발생하고[24], 토양에 환원시킬 경우 미분해 예지물에 의해 식재 포장에서 대취층을 형성하게 된다[8]. 잔디밭에서 대취층의 형성은 토양 공극과 배수성이 감소하여 잔디 지하부 생육이 불량해지고[19], 이는 잔디의 양분 흡수와 생육을 불량하게 잔디 품질을 악화시키기 때문이다[25]. 반면에 1N 처리구는 질소 회수율은 우수하나 잔디의 품질, 엽록소 함량 및 생육 등이 상대적으로 낮아 금잔디의 최적 시비량으로 결정하기에는 적절하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 이러한 점을 고려할 때, 금잔디의 최적 시비량은 2N나 3N 처리구로 생각된다.

2N과 3N 처리구를 비교할 경우 잔디 품질은 3N 처리구에서 높았고, 엽록소 함량, 잔디 예지물량, 시험 종료 후 잔디 부위별 건물중량, 양분 함량, 양분 흡수량 및 양분 회수율은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 따라서 금잔디의 최적 시비량의 범위는 2N~3N 처리구(2~3 N g/m<sup>2</sup>/month)의 시비량으로 추정된다. 국내에서 난지형 잔디인 한국 잔디류의 녹색유지기간이 5~10월(약 6개월 정도)이고, 이 기간 중 시비는 5~9월까지 5개월간 이뤄지며, 매월 시비가 진행된다고 가정할 경우 금잔디의 연간 최적 시비량은 10~15 g/m<sup>2</sup>/year으로 설정할 수 있다. 그러나 본 연구에서 결정된 시비량을 최적 시비량으로 결정하기 위해서는 추후 금잔디의 생육 특성과 양분 흡수량을 고려하여 실제 포장에 적용하기

위한 보완 및 실증 연구가 필요한 것으로 판단된다. 한국잔디류의 재배 시 시비량은 약 12.0~20.0 g/m<sup>2</sup>/year으로 제안되었고[14], 들잔디가 식재된 골프장의 시비량이 4.4~9.0 g/m<sup>2</sup>/year의 범위를 나타냈으며[1], 모래가 아닌 양토에서 들잔디를 재배하는 경우 시비량은 24.0 kg/m<sup>2</sup>/year로 제안되어[6] 선행 연구마다 차이를 나타냈다. 따라서 본 연구를 통해 금잔디의 연간 시비량이 제안되었다 하더라도 금잔디에서 과학적인 잔디 시비 관리를 위해서는 품종, 식재 토양 및 관리 방법 등을 고려한 시비 방법에 관한 추가 연구가 필요하다. 향후 질소 시비량을 기준으로 인산과 칼리 및 칼슘 등의 시비량을 설정하여 금잔디에 대한 적정 시비량을 제안할 수 있을 것으로 판단된다. 금잔디에 대한 표준시비량의 설정은 금잔디가 식재된 잔디밭의 과학적인 시비 관리를 가능하게 할 뿐 아니라 잔디 관리 시 화학비료 저감을 통한 골프장에서 친환경 잔디 관리에 대한 평가 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

## Note

The authors declare no conflict of interest.

## Acknowledgement

This study was carried out with the support of 'R&D Program for Forest Science Technology (Project No. "FTIS 20222439C10-2222-0102")' provided by Korea Forest Service (Korea Forestry Promotion Institute).



## References

- Bae EJ, Lee KS, Kim DS, Han EH, Lee SM, Lee DW (2013) Sod production and current status of cultivation management in Korea. *Weed & Turfgrass Science*, 2(1), 95-99. <https://doi.org/10.5660/WTS.2013.2.1.095>.
- Ham SK, Kim YS (2014) The effect of composted liquid manure on the growth of zoysiagrass. *Journal of Korea Organic Resource Recycling Association*, 22(4), 45-53. <https://doi.org/10.17137/Korrae.2014.22.4.045>.
- Kussow WR, Soldat DJ, Kreuser WC, Houlihan SM (2012) Evidence, regulation, and consequences of nitrogen-driven nutrient demand by turfgrass. *International Scholarly Research Network ISRN Agronomy*, 359284, 1-9. <https://doi.org/10.5402/2012/359284>.
- Salisbury FB, Ross CW (1992) *Plant Physiology*, p. 210, Wadsworth Publishing Company, California, USA.
- Lee JJ, Kim YS, Ham SK, Lee CE, Lee GJ (2015) Growth and quality improvement of creeping bentgrass by two fertilizers containing *Trichoderma* species. *Weed and Turfgrass Science*, 4(3), 249-255. <https://doi.org/10.5660/WTS.2015.4.3.249>.
- Bae EJ, Han JJ, Lee KS, Park YB, Choi SM (2015) Growth response of zoysiagrass (*Zoysia japonica* Steud.) as affected by nitrogen fertilizer application rate. *Weed and Turfgrass Science*, 4(4), 397-404. <http://doi.org/10.5660/WTS.2015.4.4.397>.
- Kim JK, Hwang CW, Park JH, Kim JY, Oh JK (2018). A study on water quality for golf course pond in northern areas in Gyeonggi province. *Journal of Environmental Health Sciences*, 44(4), 323-329. <http://doi.org/10.5668./JEHS.2018.44.4.323>.
- Youn YB, Lee JS (1990) Effect of nitrogen fertilization on the growth and thatch accumulation in Korean lawn grass (*Zoysia japonica* Steud). *Korean Journal of Turfgrass Science*, 4(2), 125-131.
- Lee SW, Lee JP, Kim DH (2007) Effect of fertilizer component on turfgrass growth and quality of golf putting greens under traffic stress. *Asian Journal of Turfgrass Science*, 21(2), 137-146.
- Choi DH, Park NI, Choi SH, Park KW, Kim JW, Kwak YS, Lee JJ (2012) Composition and invading problem of interspecies turfgrass on golf course. *Korean Journal of Weed Science*, 32(3), 174-179. <https://doi.org/10.5660/KJWS.2012.32.3.174>.
- Chnag SW (2019) A comparative study on management status of natural turfgrass and artificial turf playgrounds in elementary, middle, and high schools nationwide. *Weed and Turfgrass Science*, 8(2), 141-147. <https://doi.org/10.5660/WTS.2019.8.2.141>.
- Choi JS, Yang GM (2011) Low temperature and salt tolerances of native zoysiagrass (*Zoysia* spp.) collected in South Korea. *Asian Journal of Turfgrass Science*, 25(2), 138-146.
- Kim KD, Lee JH, Chang SW (2020) Quality difference of *Zoysia japonica* and *Zoysia matrella* playgrounds by human compaction intensity before and after spring green-up in school playground conditions. *Weed and Turfgrass Science*, 9(2), 169-177. <https://doi.org/10.5660/WTS.2020.9.2.169>.
- Turfgrass Society of Korea (2021) *Turfgrass Science*, p. 111, Bioscience, Korea.
- Miazek K, Ledakowicz S (2013) Chlorophyll extraction from leaves, needles and microalgae: A kinetic approach. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 6(2), 107-115. <https://10.3965/j.ijabe.20130602.0012>.
- Chae JC, Park SZ, Kang BH, Kim SH (2006) *Principles of Crop Cultivation*, p. 329, Hyangmunsa, Korea.
- Lee SK (2011) Phosphorus and nitrogen rate effects to a newly seeded Kentucky bluegrass. *Asian Journal of Turfgrass Science*, 25(2), 217-222.
- Jang NK, Kim HK (1986) Physiological and ecological studies on prolongation of the green period in Korean lawn. *Korean Journal of Turfgrass Science*, 6(3), 131-137.
- Kim KN, Kim BJ (2010) Comparison of thatch accumulation in warm-season and cool-season turfgrasses under USGA and mono-layer soil systems. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 38(1), 129-136.
- Park JH, Kang SY, Kim HK (1998) Physiology of *Rhizoctonia solani* AG2-2(IV), *Trichoderma harzianum*, and *Chaetium cochliodes*, and their utilization of thatch-related carbohydrate in *Zoysia japonica*. *Korean Journal of Turfgrass Science*, 12(4), 211-220.
- Lee SB, Kim YS, Ham SK, Lim HJ, Choi YC, Park KH (2013) Effect of soldier fly casts mixed soil on change of soil properties in root zone and growth of zoysiagrass. *Weed and Turfgrass Science*, 2(3), 298-305. <https://doi.org/10.5660/WTS.2013.2.3.298>.
- Kim YS, Lee KS, Ham SK (2003) The effect of liquid fertilizer contained amino acids on the growth of bentgrass (*Agrostis palustris* Huds) and the chemical characteristics of soil. *Korean Journal of Turfgrass*

- Science, 17(4), 147-154.
23. Ham SK, Kim YS, Park CH (2010) The growth effects of creeping bentgrass by SCB (slurry composting and biofiltration) liquid fertilizer application. *Korean Journal of Turfgrass Science*, 24(1), 56-61.
  24. Ha SM, Chang KW, Hong JW, Lee JJ (2005) Changes of physico-chemical properties and maturity assessment during composting of turfgrass clipping types from the golf courses. *Korean Organic Resources Recycling Association*, 13(4), 89-99.
  25. Lee SJ (2003) The effect of KOB-Soil as a soil amendment on turfgrass growth. *Korean Journal of Turfgrass Science*, 17(1), 13-17.