Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2023;42(4):389-395, https://doi.org/10.5338/KJEA.2023.42.4.44
Published online 26 December 2023, Printed 31 December 2023

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

지베렐린산(GA_3) 처리에 따른 크리핑 벤트그래스 (*Agrostis palustris* Huds. 'Penn A1')의 생장 및 품질 변화

김우성[1,2†], 김태웅[3†], 김영선[3*], 임치환[2**]

[1]㈜장유산업, [2]충남대학교 생물환경화학과, [3]대구대학교 원예학과

Changes in the Growth and Quality of Creeping Bentgrass (*Agrostis palustris* Huds. 'Penn A1') Following Gibberelinic Acid (GA_3) Treatment

Woo-Sung Kim[1,2†], Tae-Wooung Kim[3†], Young-Sun Kim[3*] and Chi-Hwan Lim[2**] ([1]Jahngryu Industries, Cheongju 28101, Korea, [2]Department of Bio Environmental Chemistry, College of Agricultural and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea, [3]Department of Horticultural Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea)

Received: 05 December 2023/ Revised: 15 December 2023/ Accepted: 19 December 2023

Copyright ⓒ 2023 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

Woo-Sung Kim
https://orcid.org/0009-0001-1022-9883

Tae-Wooung Kim
https://orcid.org/0009-0005-8937-1901

Young-Sun Kim
https://orcid.org/0000-0002-5645-7021

Chi-Hwan Lim
https://orcid.org/0000-0001-9713-781X

Abstract

This study evaluated the effects of gibberellic acid (GA_3) on the growth and quality of creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.). Experimental treatments included a No application of fertilizer and GA_3 (NFG) Control [3 N active ingredient (a.i.) g/m^2], 0.3GA_3 (GA_3 0.3 a.i. mg/m^2/200 mL), 0.6GA_3 (GA_3 0.6 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.2GA_3 (GA_3 1.2 a.i. mg/m^2/200 mL), and 2.4GA_3 (GA_3 2.4 a.i. mg/m^2/200 mL). Additionally, the study included a 1.5N +GA_3 experiment with similar GA_3 treatments combined with 1.5N a.i. g/m^2: NFG, Control (3N a.i. g/m^2), 1.5N+0.3GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 0.3 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.5N+0.6GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 0.6 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.5N+1.2GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 1.2 a.i. mg/m^2/200 mL), and 1.5N+2.4GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 2.4 a.i. mg/m^2/200 mL). Compared to the NFG, turf color index chlorophyll content was not significantly different ($p<$ 0.05). However, shoot length in 1.2GA_3, 2.4GA_3, 1.5N+0.3GA_3, 1.5N+0.6GA_3, 1.5N+1.2GA_3, and 1.5N+2.4GA_3 treatments increased by 0.8%, 10.6%, 5.15%, 8.3%, 13.5 %, and 21.6%, respectively, compared to the control. As compared to the control, clipping yield in 1.5N+1.2GA_3 and 1.5N+2.4GA_3 treatments increased by 7.1% and 14.3 %, respectively. These results indicated that GA_3 application increased shoot length, with the 1.2GA_3 treatment showing shoot length similar to the control (3N a.i. g /m^2).

Key words: Clipping yield, Creeping bentgrass, Gibberellic acid (GA_3), Shoot length, Turf color index

†These authors contributed equally to this work.
* Corresponding author: Young-Sun Kim
Phone: +82-53-850-6715; Fax: +82-53-850-6719;
E-mail: im0sunkim@daegu.ac.kr
** Co-corresponding author: Chi-Hwan Lim
Phone: +82-42-821-6734; Fax: +82-42-821-6731;
E-mail: chlim@cnu.ac.kr

서 언

크리핑 벤트그래스(*Agrostis palustris* Huds.)는 한지형 잔디로서 밀도와 균일성 및 질감 등이 우수한 잔디이며[1], 낮은 예고에서 생육이 가능하고 높은 밀도를 나타내어 골프장의 그린에서 이용되고 있다[2]. 크리핑 벤트그래스는 골프장 외에도 테니스 코트나 정원 조성용 등으로 널리 식재되고 있다[3]. 한지형 잔디들은 국내 여름철의 고온 다습한 기후로 인해 하고현상이 나타나고, 잔디 관리로 인한 답압이나 생리적 스트레스로 생육 불량이 나타나므로 이를 예방하기 위하여 식물 생장조정제를 처리한다[4]. 잔디에서 활용되는 생장조정제들은 trinexapac-ethyl (TE)이나 prohexadione-calcium (PC) 등을 사용하여 생장을 억제하는 용도로 이용되고 있다[5].

식물 생장조정제란 식물체 내에서 미량으로 작용하고 식물체 내의 생리적인 변화를 유도하는 물질이며, 식물의 생장과 발육을 촉진 또는 억제한다. 식물 생장조정제를 잔디에 처리할 경우, 포복경의 세포분열과 세포분화 그리고 뿌리와 줄기의 성장을 촉진하거나 억제한다고 알려져 있다[6]. 잔디관리에서 생장억제제로 활용되는 생장조정제들은 대부분 지베렐린 생합성을 제한하여 생장을 억제시키는 메커니즘을 갖고 있다[5]. 잔디의 생장 억제 시 잔디관리에서 깎기 작업에 대한 노력이 감소하여 답압에 의한 잔디의 스트레스가 감소할 수 있다[7]. 여름철 고온과 장마기에 의한 토양 수분이 높을 경우 생육이 불량해지므로 생리장해가 발생한다[8]. 지베렐린 생합성을 억제시키는 생장억제제가 처리된 잔디에 생리장해가 발생한 경우 이를 회복하기 위해 질소를 시비하더라도 잔디의 질소 이용률이 감소하여 회복이 지연된다[9]. 또한, 한지형 잔디의 봄철 녹화(Green-up) 촉진을 위해 질소 비료 등을 살포하고 있으나 동절기 휴면 시 뿌리 생육이 약하므로 초기 생육이 불량해진다[10]. 식물의 뿌리 생육 불량 시 엽면시비를 권장하고 있으나 녹화가 이뤄지지 않은 경우에는 엽면시비를 통한 잔디 관리가 어렵다[11].

지베렐린산(Gibberellic acid, GA_3)은 식물의 생장, 개화, 종자발아 및 휴면타파를 촉진하는 물질로서 농업에서는 대표적으로 생장촉진 생장조정제이다[12]. GA_3은 현재 원예작물에 처리 시 거봉포도(*Vitis labruscana* 'Kyoho')에서 무핵과, 과실 품질을 개선시키며, 딸기(*Fragaria* × *ananass* Duch. cv. Maehyang) 묘목에서 런너와 자묘의 수를 증대시키는 것으로 알려져 있다[13-15]. 그리고 GA_3는 작물의 세포수와 길이를 증가시켜 식물의 생육이 증대되도록 하여 경엽의 신장이나 개화를 촉진시킨다[16]. 이러한 GA_3의 특성을 고려한다면 생장억제제가 처리된 잔디밭에서 잔디의 회복이 필요하거나 봄철에 잔디의 녹화를 위해 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 GA_3를 잔디 관리에 이용하기 위해서는 과학적이고 체계적인 처리기술에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 GA_3 처리 농도별 및 질소와 GA_3 혼용 시 크리핑 벤트그래스에 생육 및 품질의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

공시 재료

본 연구는 대구대학교(경상북도 경산시 소재) 부속농장 유리온실에서 2023년 7월부터 11월까지 약 5개월 동안 수행되었다. 공시 잔디는 크리핑 벤트그래스 'Penn A1' 품종의 종자를 A사로부터 공여 받아 사용하였고, 공시 토양은 미국골프협회의 그린 모래 입경분포 규격에 적합한 모래를 사용하였다(Table 1). 공시 비료는 복합비료(compound fertilizer, CF, N-P_2O_5-K_2O=21-17-17, Namhae Chemical Co., Ltd., Yeosu, Korea)를, 공시 약제는 지베렐린산 수용제(GA_3 3.1%, Jahngryu Industries, Cheongju, Korea)를 이용하였다.

5인치 시험용 포트(직경 12.7 cm, 깊이 13 cm)에 모래를 충진한 후 수돗물을 이용하여 6시간 동안 물다짐을 한 후 크리핑 벤트그래스 종자 10 g/m^{2}를 2023년 7월 7일에 파종하여 약 60일 동안 관리하였으며, 처리 30일 전 복합비료 7.1 g/m^2 (1.5N a.i. g/m^2)를 1회 관주 처리하였다.

처리구 설정

GA_3 처리 농도별 잔디 생육

GA_3 처리 농도별 크리핑 벤트그래스의 생육은 2023년 9월 7일부터 28일간 진행되었다(1차 시험). 처리구는 GA_3 처리 농도에 따라 무처리구(NFG, No application of fertilizer and GA_3), 대조구[control, CF 14.3 g/m^2; 3N a.i. (active ingredient) g/m^2], 0.3GA_3 처리구(GA_3 0.3 a.i. mg/m^2/200 mL), 0.6GA_3 처리구(GA_3 0.6 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.2GA_3 처리구(GA_3 1.2 a.i. mg/m^2/200 mL), 2.4GA_3 처리구(GA_3 2.4 a.i. mg/m^2/200 mL)로 설정하였다. 처리구들은 완전임의배치법 5반복으로 배치하였으며, GA_3의 처리는 수돗물로 희석하여 희석액 200 mL/m^{2}를 휴대용 압축 분무기(Trigger sprayer 700, Apollo Industrial Co., Ltd., Siheung, Korea)를 이용하여 경엽 처리하였다. 시험 기간 동안 병해충은 발생하지 않아 살충제 및 살균제 처리를 하지 않았다.

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

Soil	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%	19.3%	38.4%	28.7%	9.2%	3.7%	0.7%
USGA standard	0%	10% below	60% over		20% below		10% below

USGA: United States Golf Association

질소와 GA_3 혼용 시 잔디 생육

GA_3 처리 농도별 크리핑 벤트그래스의 생육은 2023년 10월 16일부터 28일간 진행되었다(2차 시험). 처리구는 GA_3 처리 농도에 따라 무처리구(NFG, No application of fertilizer and GA_3), 대조구(control, CF 14.3 g/m^2; 3N a.i. g/m^2), 1.5N+0.3GA_3 처리구(1.5N a.i. g/m^2+GA_3 0.3 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.5N+0.6GA_3 처리구(1.5N a.i. g/m^2+GA_3 0.6 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.5N+1.2GA_3 처리구(1.5N a.i. g/m^2+GA_3 1.2 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.5N+2.4GA_3 처리구(1.5N a.i. g/m^2+GA_3 2.4 a.i. mg/m^2/200 mL)로 설정하였다. 처리구들은 완전임의배치법 5반복으로 배치하였으며, GA_3의 처리는 수돗물로 희석하여 희석액 200 mL/m^{2}를 휴대용 압축 분무기(Trigger sprayer 700, Apollo Industrial Co., Ltd., Siheung, Korea)를 이용하여 엽면처리하였다. GA_3 처리 7일전 3 cm 높이로 예지하였고, 7일 경과 후 초장을 측정하여 처리구별 통계적으로 유의차가 없는 것을 확인한 후 GA_3와 비료를 처리하였다. 시험 기간 동안 병해충은 발생하지 않아 살충제 및 살균제를 처리하지 않았다.

조사 내용

잔디 생육 조사는 엽색 지수, 엽록소 함량, 초장 및 예지물을 조사하였다. 엽색 지수는 turf color meter (TCM 500, Spectrum Technologies, Inc., Plainfield, IL, USA)를 이용하였고, 잔디 초장은 측정용 자를 이용하여 지표면으로부터 지상부의 경엽 길이를 측정하였다. 엽색 지수와 초장은 GA_3 처리일(1차 시험 처리일: 9월 7일, 2차 시험 처리일: 10월 16일)로부터 7일 간격으로 각각 5회씩 조사하였다. 시험이 종료된 10월 4일(1차 시험)과 11월 13일(2차 시험)에 70% 에탄올로 소독한 가위를 이용하여 3 cm 높이로 잔디 예지물을 채취한 후 엽록소 함량과 잔디 예지물을 조사하였다. 잔디의 엽록소 함량은 일정량의 예지한 잔디(생물중 0.1 g)를 정확히 칭량한 후 80% acetone (10 mL)을 추출 용매로 이용하여 냉암소(-4°C)에서 48시간 동안 추출하였고, 추출이 완료된 후 UV-spectrophotometer (Genesys 2PC, Thermo scientific, USA)에서 663 nm와 645 nm의 흡광도를 측정하여 아래 식으로 엽록소 a와 b 및 총 엽록소 함량을 계산하였다[17].

$$\text{Chlorophyll a} = 22.9A_{645} - 4.68A_{663}$$
$$\text{Chlorophyll b} = 12.7A_{663} - 2.69A_{645}$$
$$\text{Total Chlorophyll (a + b)} = 20.2A_{645} + 8.02A_{663}$$

잔디 예지물은 채취된 시료를 70°C 건조기(Thermostable OF-W155, Daihan Scientific Co., Ltd., Gangwondo, Korea)에서 48시간 건조한 후 건물중을 측정하였다.

통계분석

통계처리는 SPSS (ver. 20.0, IBM, NY, USA)를 이용하여 Duncan 다중검정을 통해 처리구간 평균값의 유의차를 검정하였다(p<0.05). 잔디 초장 변화에 대한 회귀식은 Excel (MS-Office 2019, Microsoft Co. Ltd., WA, USA)을 이용하여 구하였다.

결과 및 고찰

GA_3 처리 농도별 잔디 생육 및 품질 변화

GA_3 처리 후 크리핑 벤트그래스의 품질 변화를 조사하기 위해 엽색 지수와 엽록소 함량을 조사하였다. 엽색 지수 조사 결과, 1차 시험(9월 7일) 전 GA_3 처리구들과 무처리구의 엽색 지수는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 시험에 적합하였다(Table 2). 1차 시험에서 농도별 GA_3 처리 시 시험 기간 동안 엽색 지수가 대조구에 비해 감소하였지만, 무처리구와 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않아 GA_3 처리 시 잔디의 품질 저하를 확인할 수 없었다. 대조구에 비해 엽색 지수의 감소는 질소의 시비량에 따라 잔디 색도와 품질의 영향을

Table 2. Turf color index of creeping bentgrass after application of GA_3

Treatments[1)]	Turf color index				
	Sep. 7 (0 DAT[2)])	Sep. 13 (7 DAT)	Sep. 20 (14 DAT)	Sep. 27 (21 DAT)	Oct. 04 (28 DAT)
NFG	6.82a[3)]	6.23b	6.64b	6.72b	6.47b
Control	6.81a	7.08a	6.98a	6.99a	6.96a
0.3GA_3	6.70a	6.37b	6.46b	6.50b	6.46b
0.6GA_3	6.86a	6.21b	6.46b	6.46b	6.59b
1.2GA_3	6.76a	6.31b	6.57b	6.58b	6.68b
2.4GA_3	6.81a	6.40b	6.53b	6.51b	6.66b

[1)] Treatments were as follows; No application of fertilizer and GA_3 (NFG), Control (3N a.i. g/m^2), 0.3GA_3 (GA_3 0.3 a.i. mg/m^2/200 mL), 0.6GA_3 (GA_3 0.6 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.2GA_3 (GA_3 1.2 a.i. mg/m^2/200 mL), 2.4GA_3 (GA_3 2.4 a.i. mg/m^2/200 mL). Fertilizer and GA_3 were applied on Sep. 7, 2023 and turf color index of creeping bentgrass investigated every week during 4 weeks.
[2)] DAT: day after treatment
[3)] Means with the same letters within the column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05 level.

Table 3. Chlorophyll content of creeping bentgrass after application of GA_3

Treatments[1)]	Chlorophyll content (μg/g in the fresh weight)		
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a+b
NFG	1,271b[2)]	961b	2,232b
Control	1,450a	1,071a	2,520a
$0.3GA_3$	1,257b	977b	2,233b
$0.6GA_3$	1,252b	966b	2,217b
$1.2GA_3$	1,276b	961b	2,236b
$2.4GA_3$	1,233b	971b	2,203b

[1)] Treatments were as follows; No application of fertilizer and GA_3 (NFG), Control (3N a.i. g/m^2), $0.3GA_3$ (GA_3 0.3 a.i. mg/m^2/200 mL), $0.6GA_3$ (GA_3 0.6 a.i. mg/m^2/200 mL), $1.2GA_3$ (GA_3 1.2 a.i. mg/m^2/200 mL), $2.4GA_3$ (GA_3 2.4 a.i. mg/m_2/200 mL). Fertilizer and GA_3 were applied on Sep. 7, 2023. Turfgrass leaves to investigate a chlorophyll content in the turfgrass leaf was sampled on Oct. 4.
[2)] Means with the same letters within the column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05 level.

준다는 선행연구와 같이 질소의 시비에 따른 차이라고 판단된다[18].

GA_3 처리 후 크리핑 벤트그래스의 엽록소 함량 변화를 조사하였다(Table 3). 엽록소 a, 엽록소 b 및 총 엽록소의 함량은 각각 1,233-1,450 μg/g, 961-1,071 μg/g 및 2,217-2,520 μg/g의 범위를 나타냈고, GA_3 처리구들은 대조구의 비해 감소하였지만, 무처리구와 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. Kim et al.[19]은 잔디의 품질은 질소의 시비에 따라 결정되며, 1차 시험도 질소를 시비한 대조구와 질소를 처리하지 않은 GA_3 처리구들이 엽록소 함량의 차이가 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 GA_3는 잔디의 품질 저하와 약해를 유발하지 않은 것으로 판단되었다.

잔디의 초장을 조사하여 GA_3 처리구별 생장 촉진 정도를 조사하였다(Table 4). 시험 약제 처리 전 잔디의 초장은 3.18-3.39 cm로 조사되었으며, 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않아 잔디 초장의 변화를 조사하기에 적합하였다. 1차 시험에서 GA_3 처리 7일 후 무처리구와 초장의 생육 증진 비교 시 $0.3GA_3$, $0.6GA_3$, $1.2GA_3$ 및 $2.4GA_3$ 처리구들에서 각각 20, 27, 39 및 40% 증가했고, 이는 초기 생장이 급격히 증가했음을 알 수 있다. 버뮤다 그래스에서 GA_3을 처리 시 생장 촉진 효과는 처리 후 1-2일에서 통계적으로 유의한 차이를 나타낸다는 연구 결과와 유사한 결과를 나타냈다[20]. 대조구와 유사한 생육을 나타내는 처리구를 확인하기 위해 GA_3 처리 28일 후 대조구와 비교할 때, $0.3GA_3$ 및 $0.6GA_3$ 처리구들에서 각각 15.5 및 12.1% 초장이 감소했고, $1.2GA_3$ 및 $2.4GA_3$ 처리구들에서 각각 0.8 및 10.6% 초장이 증가하였다. 즉, GA_3 처리 28일 후 대조구(14.3 g/m^2; 3N a.i. g/m^2)와 유사한 생육을 나타내는 처리구는 $1.2GA_3$ 처리구로 판단된다.

시험 종료 후 잔디 예지물량을 건물중으로 조사하였다(Table 4). 1차 시험의 예지물량은 5.1-25.5 g/m^2의 범위를 나타냈다. 1차 시험에서 $0.3GA_3$, $0.6GA_3$, $1.2GA_3$ 및 $2.4GA_3$ 처리구들과 무처리구와 예지물량을 비교 시, 각각 92.2, 162.7, 260.8 및 311.8%이 증가했고, 대조구와 비교했을 때, 각각 61.6, 47.5, 27.8 및 17.6% 낮았다. Mudyantini[21]는 대마(*Cannabis sativa* L.)의 GA_3 처리 시 수직 생장을 촉진하여 경엽의 생육이 개선된다고 보고하여 본 연구와 유사하였다.

질소와 GA_3 혼용 시 잔디 생육 및 품질 변화

질소와 GA_3 혼용 처리 후 크리핑 벤트그래스의 품질 변화를 조사하기 위해 엽색 지수와 엽록소 함량을 조사하였다. 질소와 GA_3 혼용 처리 시 크리핑 벤트그래스의 엽색 지수를 조

Table 4. Shoot length and clipping yield of creeping bentgrass after application of GA_3

Treatments[1)]	Shoot length (cm)					Clipping yield (dry weight g/m^2)
	Sep. 07 (0 DAT[2)])	Sep. 13 (7 DAT)	Sep. 20 (14 DAT)	Sep. 27 (21 DAT)	Oct. 04 (28 DAT)	
NFG	3.23a3)	4.21d	4.87e	5.17d	5.97c	5.1e
Control	3.09a	4.76c	5.43d	6.09bc	7.28b	25.5a
$0.3GA_3$	3.09a	5.05bc	5.45d	5.62bd	6.15c	9.8d
$0.6GA_3$	3.17a	5.33b	5.81c	6.12bc	6.39c	13.4c
$1.2GA_3$	3.04a	5.85a	6.35b	6.51b	7.33b	18.4b
$2.4GA_3$	3.19a	5.90a	6.99a	7.26a	8.05a	21.0b

[1)] Treatments were as follows; No application of fertilizer and GA_3 (NFG), Control (3N a.i. g/m^2), $0.3GA_3$ (GA_3 0.3 a.i. mg/m^2/200 mL), $0.6GA_3$ (GA_3 0.6 a.i. mg/m^2/200 mL), $1.2GA_3$ (GA_3 1.2 a.i. mg/m^2/200 mL), $2.4GA_3$ (GA_3 2.4 a.i. mg/m^2/200 mL). Fertilizer and GA_3 were applied on Sep. 7, 2023 and shoot length of creeping bentgrass investigated every week during 4 weeks. Clipping yield of creeping bentgrass investigated on Oct. 4.
[2)] DAT: day after treatment
[3)] Means with the same letters within the column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05 level.

Table 5. Turf color index of creeping bentgrass after application of 1.5N+GA_3

Treatments[1)]	Turf color index				
	Oct. 16 (0 DAT[2)])	Oct. 23 (7 DAT)	Oct. 30 (14 DAT)	Nov. 6 (21 DAT)	Nov. 13 (28 DAT)
NFG	6.27a[3)]	6.17a	6.27b	6.59b	6.57b
Control	6.48a	6.64a	6.74a	6.81a	6.83a
1.5N+0.3GA_3	6.59a	6.57a	6.73a	6.73a	6.86a
1.5N+0.6GA_3	6.58a	6.51a	6.66a	6.66a	6.78a
1.5N+1.2GA_3	6.48a	6.61a	6.75a	6.75a	6.84a
1.5N+2.4GA_3	6.35a	6.63a	6.75a	6.75a	7.00a

1) Treatments were as follows; No application of fertilizer and GA_3 (NFG), Control (3N a.i. g/m^2), 1.5N+0.3GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 0.3 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.5N+0.6GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 0.6 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.5N+1.2GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 1.2 a.i. mg/m^2/200 mL) and 1.5N+2.4GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 2.4 a.i. mg/m^2/200 mL). Fertilizer and GA_3 were applied on Oct. 16, 2023 and turf color index of creeping bentgrass investigated every week during 4 weeks.
2) DAT: day after treatment
3) Means with the same letters within the column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05 level.

사한 결과(Table 5), 2차시험 약제 처리 전 1.5N+GA_3 처리구들과 무처리구의 엽색 지수는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 시험에 적합하였다. 2차 시험기간 동안 무처리구에 비해 증가하였으며, 들잔디(*Zoysia japonica* Steud.)에서 질소 시비량에 따라 잔디의 가시적 품질이 증가한다는 연구와 같이 질소 시비에 따라 엽색 지수가 증가하여 대조구와 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다[22].

질소와 GA_3 혼용 처리 후 크리핑 벤트그래스의 엽록소 함량 변화를 조사하였다(Table 6). 엽록소 a, 엽록소 b 및 총 엽록소의 함량은 각각 1,326-1,551 μg/g, 919-1,035 μg/g 및 2,244-2,655 μg/g의 범위를 나타냈고, 대조구 및 1.5N+GA_3 처리구들은 무처리구에 비해 증가하였다. Kim et al.[23]은 벼(*Oryza sativa* L.)에서 질소 시비량의 증가에 따라 엽록소 함량이 증가하며, Noor et al.[24]은 Bush Bean (*Phaseolus vulgaris* L.)에서 양분과 GA_3 처리 시 엽록소 함량이 증가한다고 보고하였다. 본 시험의 2차 시험에서 GA_3 처리구들은 대조구 질소 시비량(3N a.i. g/m^2)의 반량인 1.5N a.i. g/m^2로 처리하였지만, GA_3와의 혼용 처리로 인해 엽록소가 증가하여 대조구와 차이가 나타나지 않았고, 무처리보다는 증가했다. 따라서 질소와 GA_3 혼용 처리 시 잔디의 품질 저하와 약해를 유발하지 않은 것으로 확인되었다.

Table 6. Chlorophyll content of creeping bentgrass after application of 1.5N+GA_3

Treatments[1)]	Chlorophyll content (μg/g in the fresh weight)		
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a+b
NFG	1,326b[2)]	919a	2,244b
Control	1,551a	1,035a	2,585a
1.5N+0.3GA_3	1,629a	1,026a	2,654a
1.5N+0.6GA_3	1,621a	1,013a	2,632a
1.5N+1.2GA_3	1,649a	1,007a	2,655a
1.5N+2.4GA_3	1,598a	1,015a	2,612a

1) Treatments were as follows; No application of fertilizer and GA_3 (NFG), Control (3N a.i. g/m^2), 1.5N+0.3GA_3 (1.5N a.i. g/ m^2+GA_3 0.3 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.5N+0.6GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 0.6 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.5N+1.2GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 1.2 a.i. mg/m^2/200 mL) and 1.5N+2.4GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 2.4 a.i. mg/m^2/200 mL). Fertilizer and GA_3 were applied on Oct. 16, 2023. Turfgrass leaves to investigate a chlorophyll content in the turfgrass leaf was sampled on Nov. 4.
2) Means with the same letters within the column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05 level.

잔디 초장을 조사하여 질소와 GA_3 혼용 처리구별 생장 촉진 정도를 조사하였다(Table 7). 시험 약제 처리 전 잔디의 초장은 3.18-3.39 cm로 조사되었으며, 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않아 초장의 변화를 조사하기에 적합하였다. 2차 시험에서는 처리 28일후 무처리구에 비해, 1.5N+0.3GA_3, 1.5N+0.6GA_3, 1.5N+1.2GA_3 및 1.5N+2.4GA_3 처리구들은 각각 28.6, 32.5, 38.9 및 48.7% 증가하였고, 대조구와 비교하였을 때, 각각 5.1, 8.3, 13.5% 및 21.6% 증가하였다. 질소와 GA_3 혼용 처리 시 적정 농도를 예측하기 위해 GA_3 처리 28일 경과일 기준으로 회귀식을 조사했을 때, y = 590.77x + 6.297 (R^2=9884**)로 계산되었다(x: GA_3의 유효성분 처리량, y: 잔디초장). 이 식을 이용한 결과, 대조구와 유사한 초장을 나타내는 1.5N+GA_3의 적정 유효성분량은 1.5N+GA_3 0.2 a.i. mg/m^2/200 mL으로 예측되었다.

시험 종료 후 잔디 예지물량을 건물중으로 조사하였다(Table 7). 2차 시험에서 예지물량은 4.3-28.5 g/m^2의 범위를 나타냈다. 무처리구와 비교할 때, 1.5N+0.3GA_3, 1.5N+0.6GA_3, 1.5N+1.2GA_3 및 1.5N+2.4GA_3 처리구들은 각각 409.3, 455.8, 523.3 및 562.8% 증가하였고, 대조구와 비교하였을 때, 1.5N+2.4GA_3 처리구에서 예지물은 14.0% 증가하였다. 이는

Table 7. Shoot length and clipping yield of creeping bentgrass after application of 1.5N+GA_3

Treatments[1)]	Shoot length (cm)					Clipping yield (dry weight g/m^2)
	Sep. 07 (0 DAT[2)])	Sep. 13 (7 DAT)	Sep. 20 (14 DAT)	Sep. 27 (21 DAT)	Oct. 04 (28 DAT)	
NFG	3.26a[3)]	4.33c	4.43d	4.71d	5.01d	4.3d
Control	3.39a	4.96b	5.12c	5.71c	6.13c	25.0bc
1.5N+0.3GA_3	3.18a	5.35ab	5.63bc	6.19bc	6.44bc	21.9c
1.5N+0.6GA_3	3.39a	5.53a	5.80b	6.36bc	6.64bc	23.9bc
1.5N+1.2GA_3	3.24a	5.72a	6.25b	6.61b	6.96ab	26.8ab
1.5N+2.4GA_3	3.28a	5.93a	6.85a	7.40a	7.45a	28.5a

[1)] Treatments were as follows; No application of fertilizer and GA_3 (NFG), Control (3N a.i. g/m^2), 1.5N+0.3GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 0.3 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.5N+0.6GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 0.6 a.i. mg/m^2/200 mL), 1.5N+1.2GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 1.2 a.i. mg/m^2/200 mL) and 1.5N+2.4GA_3 (1.5N a.i. g/m^2+GA_3 2.4 a.i. mg/m^2/200 mL). Fertilizer and GA_3 were applied on Oct. 16, 2023 and shoot length of creeping bentgrass investigated every week during 4 weeks. Clipping yield of creeping bentgrass investigated on Nov. 13.
[2)] DAT: day after treatment
[3)] Means with the same letters within the column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05 level.

켄터키 블루그래스(*Poa pratensis* 'midnight')에서 질소의 시비량에 따라 예지물량이 증대된다는 연구 결과와 유사하였다[18]. 또한, GA_3 처리구들은 대조구 질소 시비량의 반량인 1.5N a.i. g/m^2를 처리했으나, 1.5N+2.4GA_3 처리구에서 예지물이 증가하였다. 이는 질소와 GA_3의 혼용 처리에 따른 생육 증진에 시너지가 적용되었다고 판단된다.

크리핑 벤트그래스의 GA_3 처리 시 비료를 시비하지 않는 경우에는 생육 초기에 잔디의 경엽 신장이 급격한 생장을 보이며(Table 4), 잔디의 품질은 엽색 지수와 엽록소 함량이 질소가 시비되지 않은 무처리구와 통계적으로 차이가 없어 품질 저하 및 약해는 나타나지 않았다(Tables 2, 3). 이로써 품질 향상을 위해 적절한 양분 공급과 GA_3 처리가 이루어져야 된다고 판단된다. 봄철 녹화(Green-up) 촉진을 위해서 질소 비료 등의 엽면시비를 권장하고 있으나 초봄의 경엽 발생량이 적은 경우에는 엽면시비의 효과가 나타나기 어렵다[10,11]. 이 시기에 잔디 봄철 녹화 촉진을 위해서는 GA_3을 처리하여 잔디의 경엽 신장을 증가시켜 엽면시비의 효과를 증대시킬 것으로 판단된다.

질소와 GA_3 혼용 처리 시 잔디의 품질은 대조구와 비교했을 때도 품질 저하 및 약해를 확인할 수 없었다(Tables 5, 6). 고온기에 고품질의 잔디를 유지하기 위해 골프장에서는 생장억제제를 사용하고 있으나, 생리장해가 발생한 경우 회복이 어렵다는 단점이 있다[9]. 생장억제제 대부분은 지베렐린 생합성을 제한하여 생장을 억제시키는 메커니즘을 갖고 있으므로 GA_3 처리 시 억제된 잔디 생장이 회복될 것으로 기대되며, 질소 처리에 의한 품질 저하도 일어나지 않을 것으로 보인다[6]. 추후 생장억제제 처리 후 GA_3 처리에 따른 잔디 생장 및 품질의 변화에 대한 연구가 필요하다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

References

1. Cha YG, Kim KD, Park DS, Kim DH (2011) Selection of creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.) cultivar for fairway in golf course. Asian Journal of Turfgrass Science, 58(2), 147-152.
2. Lee HS, Hong BS, Kim KD, Tae HS (2007) Comparison of spring growth characteristics of creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.) cultivars. Korean Journal of Turfgrass Science, 21(2), 155-162.
3. Ebdon JS, James I, DaCosta M, Lu J (2020) Interspecific comparisons of C3 turfgrass for tennis use: I. wear tolerance and carrying capacity under actual match play. Crop Science, 61(1), 750-762. https://doi.org/10.1002/csc2.20270.
4. Kim YS, Heo HJ, Bae EJ, Youn JH, Lee GJ (2019) Inhibition responses of creeping bentgrass after applying trinexapac-ethyl as two spraying methods. Weed and Turfgrass Science, 8(4), 319-328. https://doi.org/10.5660/WTS.2019.8.4.319.
5. Kim WS, Kim YS, Lim CH (2021) Growth regulation and nitrogen uptake inhibition of *Zoysia matrella* applying prohexadione calcium. Korean Journal of Environmental Agriculture, 40(4), 359-365. https://doi.org/10.5338/KJEA.2021.40.4.41.
6. Kang CK (2001) Current status and new trend in the

development and registration of plant growth regulators. Korean Journal of Horticultural Science and Technology, 19(2), 244-252. https://doi.org/10.1016/j.aac.2023.11.005.

7. Heo HJ, Park EH, Kim JH, Youn JH, Kim YS, Lee GJ (2020) Inhibition responses of mepiquat chloride on growth of creeping bentgrass. Weed and Turfgrass Science, 9(3), 289-297. https://doi.org/10.5660/WTS.2020.9.3.289.
8. Lee JP, Kim SJ, Seo HY, Han IS, Lee, SJ, Kim TJ, Kim DH (2001) The effect of shade net on summer stress of cool season turfgrass. Korean Journal of Turfgrass Science, 15(2), 51-64.
9. William CK, Douglas JS (2012) Frequent trinexapac-ethyl applications reduce nitrogen requirements of creeping bentgrass golf putting greens. Crop Science, 52, 1348-1357. https://doi.org/10.2135/cropsci2011.07.0364.
10. Lee JP, Kim DH (2005) Improvement of green-up of Zoysiagrass and cool-season grass during early spring in Korea. Korean Journal of Turfgrass Science, 19(2), 103-113.
11. Hong BS, Tae HS, Cho Ys, Oh SH (2011) The effect of foliar application to improve putting green performance. Asian Journal of Turfgrass Science, 25(1), 94-99.
12. Lee YS, Son HJ, Kim IH, Mheen TI (1983) Studies on the production of gibberellic acid. Korean Journal of Applied Microbiology and Biotechnology, 11(3), 217-222.
13. Astawa IN, Khalimi K (2023) The discovery of the content of giberellin acid (GA3) in txtracts of several plant spesies. Agrotrop: Journal on Agriculture Science, 13(1), 150-156. https://doi.org/10.24843/AJoAS.2023.v13.i01.p13.
14. Lee BHN, Kwon YH, Park YS, Park HS (2013) Effect of GA_3 and thidiazuron on seedlessness and fruit quality of 'Kyoho' grapes. Korean Journal of Horticultural Science and Technology, 31(2), 135-140. http://dx.doi.org/10.7235/hort.2013.12065.
15. Kang JH, Kim HM, Kim HM, Jeong HW, Lee HR, Hwang HS, Jeong BR, Kang NJ, Hwang SJ (2018) Gibberellin application method and concentration affect to growth, runner, and daughter plant production in 'Maehyang' strawberry during nursery period. Protected Horticulture and Plant Factory, 27(4), 407-414. https://doi.org/10.12791/KSBEC.2018.27.4.407.
16. Glab T, Szewcyk W, Gondek K, Knaga J, Tomasic M, Kowlik K (2020) Effect of plant growth regulators on visual quality of turfgrass. Scienta Horticulturae, 267, 109-314. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109314.
17. Daniel IA (1948) Copper enazymes in isolated chloroplasts. Plant Physiology, 24(1), 1-15.
18. Lee SK (2011) Phosphorus and nitrogen rate effects to a newly seeded Kentucky bluegrass. Asian Journal of Turfgrass Science, 25(2), 217-222.
19. Kim YS, Choi MJ, Youn JH, Lee GJ (2022) Establishment of a standard nitrogen application rate for *Zoysia matrella* using growth responses to various fertilization level. Korean Journal of Environmental Agriculture, 41(3), 167-176. http://doi.org/10.5338/KJEA.2022.41.3.20.
20. Dudeck AE, Peacock CH (1985) 'Tifdwarf' bermudagrass growth response to carboxin and GA_3 during suboptimum temperatures. HortScience: A Publication of the American Society for Horticultural Science, 20(5), 936-938.
21. Mudyantini W (2008) Growth, cellulose, and lignin content of ramie (*Boehmeria nivea* L. Gaudich) with treatment of gibberellic acid (GA_3). Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 9(4), 269-274. https://doi.org/10.13057/biodiv/d090406.
22. 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://dx.doi.org/10.5660/WTS.2015.4.4.397.
23. Kim SD, Kim DS, Kim JG, Yeon YH, Sin JC (2002) Varietal difference in relationship between SPAD value and chlorophyll and nitrogen concentration in rice leaf. Crop Science, 47(3), 263-267.
24. Noor F, Hossain F, Ara U (2015) Yield, pigments and quality responses of bush bean (*Phaseolus vulgaris* L.) due to GA_3 application. Journal of the Asiatic Society of Bangladesh Science, 41(2), 245-254. https://doi.org/10.3329/jasbs.v41i2.46208.