

Research Article



CrossMark

Open Access

Prohexadione-calcium 처리에 따른 금잔디의 생육 조절 및 질소 흡수 억제

김우성^{1,2}, 김영선^{3,4*}, 임치환^{1**}

¹충남대학교 생물환경화학, ²㈜장유산업, ³대구대학교 생명환경학부, ⁴대구대학교 자연과학연구소

Growth regulation and Nitrogen Uptake Inhibition of *Zoysia matrella* Applying Prohexadione Calcium

Woo-Sung Kim^{1,2}, Young-Sun Kim^{3,4*} and Chi-Hwan Lim^{1**} (¹Department of Bio Environmental Chemistry, College of Agricultural and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea, ²Jahngryu Industries Co., Ltd., Cheongju 28101, Korea, ³Division of Life and Environmental Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, ⁴Institute of Natural Sciences, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea)

Received: 10 December 2021/ Revised: 24 December 2021/ Accepted: 27 December 2021

Copyright © 2021 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>

Abstract

BACKGROUND: Prohexadione-calcium (PC) is a plant growth regulator of cyclohexanedione family acting on inhibiting gibberellin biosynthesis and has been used to regulate shoot elongation of turfgrass in the golf course during the summer season. This study was conducted to investigate the effects of PC on the inhibition of shoot elongation, growth, and nitrogen uptake in *Zoysia matrella*.

METHODS AND RESULTS: Treatments were as follows; non-treatment, control (TE 0.01 a.i. g/m²/100 mL), 0.0025PC (PC 0.0025 a.i. g/m²/100 mL), 0.005PC (PC 0.005 a.i. g/m²/100 mL), 0.01PC (PC 0.01 a.i. g/m²/100 mL) and 0.02PC (PC 0.02 a.i. g/m²/100 mL). Visual quality and chlorophyll content were not significantly different. As compared to non-treatment, shoot length and clipping yield in 0.005PC, 0.01PC and 0.02PC treatments

were decreased by 29-36% and 65-82%, respectively, and those of 0.0025PC were not significantly different. N uptake of *Z. matrella* after applying PC was decreased by 28.9-77.8% than that of non-treatment. Inhibition effects of PC treatment in *Z. matrella* were not significantly different from those of control.

CONCLUSION(S): These results indicated that the application of prohexadione calcium-inhibited shoot elongation, clipping yield and N uptake amount in *Z. matrella*, and trinexapac-ethyl could be replaced with prohexadione-calcium in turfgrass management.

Key words: Clipping yield, Nitrogen uptake, Prohexadione-calcium (PC), Shoot elongation, *Zoysia matrella*

서론

골프장에서 고온기 잔디 관리 시 생육을 억제하고 잔디의 직립성 및 수광태세를 개선하고, 적절한 예고관리를 위해 생장조정제를 사용하고 있다[1, 2]. 생장조정제는 적은 양으로도 잔디의 경엽신장을 억제할 수 있어 고온기 깎기작업 주기를 감소시켜 장비에 의한 답압 피해를 줄일 수 있다[2-4]. 생장조정제를 사용하는 고온기는 한지형 잔디의 생육이 불량한 시기로 약해가 발생하지 않기 위해서는 살포하는 농도의 조

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

**Corresponding author: Chi-Hwan Lim
Phone: +82-42-821-6734; Fax: +82-42-821-6731;
E-mail: chlim@cnu.ac.kr

절이 필요하다[5].

골프장 잔디 관리에서 생육 조절을 위해 사용하는 대표적인 성장조정제는 trinexapac-ethyl (TE)이다. TE는 지베렐린 생합성을 억제하는 성장조정제로서 잔디의 생장 억제를 통해 고온기에 잔디의 옷자람을 방지하고 잔디의 품질을 유지하기 위해 사용해 왔다[2, 5-8]. 최근에는 prohexadione-calcium (PC)이 잔디 관리용 성장조정제로 등록되었고, TE와 마찬가지로 지베렐린 생합성을 억제하는 cyclohexanedione계 성장조정제이다[9].

현재 PC는 원예작물 재배에서 주로 이용하고 있다. 사과 (*Malus domestica*)에서는 PC 처리 시 신초의 절간 생장을 억제하고, 광합성이 증대되며, 과실 품질을 개선시킨다[10]. 또한, 체리(*Prunus domestica*)에서는 엽록소 함량을 증가시키며[11], 클로버(*Trifolium repens*)에서는 생장 억제 효과를 나타내며[12], 곡류와 채소류 및 화훼류 등 다양한 작물의 생장 조절을 위해 사용하고 있다[13-15]. 이외에도 성장조정제인 PC를 잔디 재배에 이용하려는 연구도 이뤄졌다.

한국잔디 중 들잔디(*Zoysia japonica*)에 PC를 처리하였을 때, 잎의 생장, 엽록 및 건물중 등이 감소하여 생장 억제 효과를 나타내었고, 뿌리길이가 증가하였다[16, 17]. 크리핑 벤트그래스(*Agrostis palustris*)에 PC를 처리하였을 때 잔디 품질의 변화 및 약해는 발생하지 않으며, 초장의 신장이나 예지물량 등이 억제되었고[18], 바이아 그래스(*Paspalum notatum*)는 지상부의 신장 억제 및 생육 억제 효과를 나타내며[19], 이는 TE와 유사한 특성을 보였다[18-19]. 잔디 관리 시 PC의 사용량 및 사용주기 등은 잔디 종류에 따라 차이를 나타낸다[9, 17].

금잔디(*Zoysia matrella*)는 한국잔디에 속하는 잔디로서 들잔디에 비해 재배 면적은 적으나 엽록이 좁고, 잔디 밀도가 높으며, 답압에 의한 영향이 적고, 봄철 녹화가 빠르며, 잔디 품질이 우수하다[20, 21]. 금잔디는 난지형 잔디로 여름철의 생육이 증대되기 때문에 잔디밭을 조성할 경우 예지작업을 자주 해야 하는 번거로움이 있고, 예지 후 토양 중 대취충과 매트충을 형성하여 병해 발생의 원인이 되기도 하므로 성장조정제를 이용한 잔디 생육 조절 연구가 필요하다[1]. 또한, 성장조정제의 처리 시 잔디의 생육과 품질 유지를 위해 시비가 이루어지므로 최적 시비량 등을 평가하기 위해서는 잔디 경영 내 양분 함량에 대한 조사가 필요하다[18]. 따라서 본 연구는 금잔디(*Z. matrella*)에서 성장조정제 PC의 처리에 따른 생장 억제 효과 및 양분 흡수를 조사하였다.

재료 및 방법

공시 재료

본 연구는 대구대학교 유리온실에서 2021년 3월부터 5개월 동안 수행되었고, 공시 잔디는 2018년부터 약 2년간 영양번식으로 조성한 포장에서 금잔디(*Z. matrella*; 품종 'M45') 멧장을 H사로부터 공여받아 사용하였다. 시험에 사용한 토양은 미국골프협회(United State Golf Association; USGA)

의 규격에 적합한 입경 분포를 갖는 모래를 상토로 이용하였고, 잔디 생육을 위해 복합비료(N-P₂O₅-K₂O=21-17-17, Namhae Chemical Co., Ltd., Yeosu, Korea)를 이용하였다. 공시 약제는 트리넥사팍에틸 미탁제(trinexapac-ethyl 26.6%; TE, Syngenta Co. Ltd., Seoul, Korea)와 프로헥사디온칼슘 액상수화제(prohexadione-calcium 20.0%; PC, Jahngryu Industries Co., Ltd., Cheongju, Korea)를 이용하였다.

시험 포트 조성 및 처리

상토는 토양개량제를 혼합하지 않은 공시 모래를 시험용 포트(diameter 18 cm, depth 15 cm)에 충전한 후 수돗물을 이용하여 4시간 동안 물다짐 후 사용하였다. H사로부터 공여받은 금잔디 멧장(두께 3 cm)을 홀커터(diameter 10.8 cm)를 이용하여 절단한 후 시험용 포트에 2021년 3월 25일에 이식하였다. 이식된 잔디는 포트에서 활착할 수 있도록 관리하였고, 시험 시작 전(4월 27일, 이식 후 33일 경과) 30 mm 높이로 예지하였고, 복합비료 14.3 g/m²(3Na.i.g/m²)를 1 L 수돗물에 희석하여 이물질을 제거한 후 1회 관주 시비하였다.

처리구는 PC 처리량 및 희석 배수에 따라 성장조정제를 처리하지 않은 무처리구(Non-treatment), 대조구(control; TE 0.01 a.i. g/m²/100mL), PC처리구 1 (0.0025PC; PC 0.0025 a.i. g/m²/100mL), PC처리구 2 (0.005PC; PC 0.005 a.i. g/m²/100mL), PC처리구 3 (0.01PC; PC 0.01 a.i. g/m²/100mL) 및 PC 처리구 4 (0.02PC; PC 0.02 a.i. g/m²/100mL)로 설정하였다. 실험구는 완전임의배치법 3반복으로 배치하였다. 성장조정제인 PC와 TE의 처리는 수돗물로 희석하여 희석액 100 mL/m²를 휴대용 압축 분무기(Trigger sprayer 700, Apollo Industrial Co., Ltd., Siheung, Korea)를 이용하여 이식 후 34일 경과 후(4월 28일) 엽면처리 하였다. 시험 기간 동안 병해충은 발생하지 않아 살충제 및 살균제는 처리하지 않았다.

조사 내용 및 잔디 식물체 분석

잔디 생육 조사는 처리구별 가지적 품질, 초장, 엽록소 함량 및 예지물을 조사하였다. 가지적 품질은 National Turfgrass Evaluation Program (NTEP)에서 제시한 방법에 준하여 조사하였다(1=worst, 9=best, 그리고 6=acceptable). 잔디의 초장은 자를 이용하여 토양 표면으로부터 경영의 길이를 측정하였다. 가지적 품질 및 초장은 성장조정제 살포일(4월 28일, 이식 후 34일 경과, 성장조정제 살포 0일차)부터 7일간격으로 5회 조사하였다.

시험이 종료된 5월 18일에 30 mm 높이로 70% 에탄올로 소독된 가위를 이용하여 채취한 후 엽록소 함량과 잔디 예지물 및 아래와 같이 추가 잔디 식물체 분석을 실시하였다. 잔디의 엽록소 함량은 잔디시료(생물중 0.1 g)를 95% ethanol (10 mL)을 추출 용매로 냉암소(-4°C)에서 48시간 추출하여 UV-spectrophotometer (Genesys 2PC, Spectronic Unicam,

USA)를 이용하여 648 nm와 664 nm에서 흡광도를 측정하여 아래와 같은 식으로 엽록소 a와 b 및 총엽록소 함량을 계산하였다[22].

$$\text{Chlorophyll a} = 13.36 A_{664} - 5.19A_{648}$$

$$\text{Chlorophyll b} = 27.45A_{648} - 8.12A_{664}$$

$$\text{Total Chlorophyll (a+b)} = 5.24A_{648} + 22.24A_{664}$$

잔디 예지물은 채취된 시료를 70°C 건조기(VS-1203PJ-300, Vision Scientific Co., Ltd., Daejeon, Korea)에서 24 시간 건조한 후 건물중을 측정하였다. 건물중을 측정 한 후 식물체를 분석하여 잔디 잎에 함유된 질소, 인 및 칼륨을 분석하였다. 잔디 식물체 분석은 토양화학 분석법에 준하여 실시하였고[23], 질소는 Kjeldahl 증류법으로, 인은 UV-spectrophotometer를 이용하여 바나도몰리브덴산법으로, 칼륨은 엽광광도계(flame photometer; PFP7, JENWAY, Staffordshire, UK)를 이용하여 원자흡광분광법으로 분석하였다. 양분의 흡수는 건물중과 잔디 분석 결과를 이용하여 아래 식과 같이 조사하였다[24].

$$\text{양분 흡수량(g/m}^2\text{)} = \text{건물중(g/m}^2\text{)} \times \text{잔디 중 양분 함량(\%)}$$

통계분석

통계처리는 SPSS (ver. 12.1, IBM, New York, USA)를 이용하여 Tukey 검정을 통해 처리구간 평균값을, 단순선형 회귀분석을 통해 항목간 상관성을 검정하였다.

결과 및 고찰

잔디 생육 조사

시험 전인 4월 28일 가지적 품질 조사에서 각 처리구들은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 시험에 적합하였다(Table 1). 무처리구와 비교할 때, 대조구는 2주차(5월 11

일)와 3주차(5월 18일)에 가지적 품질이 감소하였으나 1주차와 4주차에는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. PC 처리구들 중에서 0.0025PC, 0.005PC 및 0.01PC 처리구는 조사 기간 동안 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 0.02PC 처리구는 3주차 조사(5월 18일)에서 가지적 품질이 감소하였으나 다른 시기에는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 시험 기간 동안 조사된 가지적 잔디 품질의 평균값으로 평가할 때, 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 PC의 처리 농도와 처리 시기별로 차이는 있으나 성장조정제 처리에 따른 잔디 품질의 감소는 미미하였다. 켄터키 블루그래스(*Poa pratensis*)에 TE (0.01 a.i. g/m²/100 mL)처리 시 초기에는 품질이 감소하나 이후 회복되었고[25], PC를 처리한 크리핑 벤트그래스에도 약제처리 농도(PC 0.005-0.02 a.i. g/m²/100mL)에 따라 일시적으로 잔디 품질이 감소하여[18] 본 연구의 결과와 유사한 경향을 나타냈다. Cho et al.[6]은 켄터키 블루그래스에 TE를 처리하였을 때, 성장조정제의 처리 시기 및 잔디 생육 상태에 따라 그 변화가 다르게 나타나며, 일시적으로 품질이 감소하기도 하지만 시간의 경과에 따라 회복된다고 보고한 바 있다.

성장조정제 처리에 따른 금잔디의 엽록소 함량 변화를 조사하였다(Table 2). 엽록소 a, 엽록소 b 및 총엽록소의 함량은 각각 1,552-1,771 µg/g, 767-1,097 µg/g, 2,319-2,730 µg/g의 범위를 나타냈고, 성장조정제 종류 및 처리에 따라 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. TE의 처리 후 켄터키 블루그래스에서 32일 이상 경과되었을 때 TE 처리량 별 엽록소 함량의 차이가 나타난다고 알려져 있으나 본 연구는 28일에 잔디 예지물을 수거하였기 때문에 결과를 확인하기 어려웠다. 다만 32일 경과 이전에는 처리량에 따른 차이를 나타내지 않아 본 연구의 엽록소 함량 변화와 유사한 특성을 나타내기도 하였다[8]. 본 연구 결과 최대 PC 0.02 a.i. g/m²/100mL 농도의 PC와 같은 성장억제제 처리의 경우에도 금잔디의 가지적 품질과 엽록소 함량에는 부정적인 영향이 없는 것으로 나타났다.

Table 1. Visual quality of *Z. matrella* in the pot after application of prohexadione-calcium

Treatment ^{a)}	Investigated date					Mean
	Apr 28 (Before ^{b)})	May 4 (1WAT ^{c)})	May 11 (2WAT)	May 18 (3WAT)	May 25 (4WAT)	
Non-treatment	7.07a ^{d)}	7.10ab	7.13a	7.23a	7.33a	7.17a
Control	7.07a	7.13ab	6.90b	6.97b	7.23a	7.06a
0.0025PC	7.10a	7.17a	7.03ab	7.23a	7.50a	7.21a
0.005PC	7.07a	7.00b	7.10ab	7.27a	7.40a	7.17a
0.01PC	7.10a	7.07ab	7.03ab	7.20ab	7.37a	7.15a
0.02PC	7.10a	7.07ab	6.93ab	6.97b	7.23a	7.06a

a) Treatments were as follows; Non-treatment, Control [trinexapac-ethyl (TE) 0.01 a.i. g/m²/100mL], 0.0025PC [prohexadione-calcium (PC) 0.0025 a.i. g/m²/100mL], 0.005PC (PC 0.005 a.i. g/m²/100mL), 0.01PC (PC 0.01 a.i. g/m²/100mL) and 0.02PC (PC 0.02 a.i. g/m²/100mL). TE and PCs were applied on April 28 in 2021.

b, c) 'before' and 'WAT' mean before treatment and week after treatment of prohexadione-calcium, respectively.

d) Means with the same letters within the column are not significantly different by Tukey's test at $p \leq 0.05$ level.

Table 2. Chlorophyll content of *Z. matrella* in the pot after application of prohexadione-calcium

Treatment ^{a)}	Chlorophyll content ($\mu\text{g/g}$ in the fresh weight)		
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a+b
Non-treatment	1,552a ^{b)}	767a	2,319a
Control	1,771a	959a	2,730a
0.0025PC	1,712a	925a	2,637a
0.005PC	1,850a	1,097a	2,947a
0.01PC	1,711a	929a	2,640a
0.02PC	1,696a	984a	2,680a

a) Treatments were as follows; Non-treatment, Control [trinexapac-ethyl (TE) 0.01 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$], 0.0025PC [prohexadione-calcium (PC) 0.0025 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$], 0.005PC (PC 0.005 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$), 0.01PC (PC 0.01 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$) and 0.02PC (PC 0.02 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$). TE and PCs were applied on April 28 in 2021.

b) Means with the same letters within the column are not significantly different by Tukey's test at $p \leq 0.05$ level. The chlorophyll content of turfgrass leaves for each treatment in triplicates was analyzed.

잔디 초장의 변화를 조사하여 생장조정제 처리별 생육 억제 정도를 조사하였다(Table 3). 시험 전 잔디의 초장은 40.5-42.0 cm로 조사되어 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 PC 처리 후 초장의 변화를 조사하기에 적합하였다. 생장조정제 처리 후 2주차 조사에서 대조구, 0.005PC, 0.01 PC 및 0.02PC 처리구의 초장은 무처리구보다 9.6-15.8% 정도 감소하였고, 3주차와 4주차에는 모든 생장조정제 처리구에서 각각 12.7-28.7%와 20.7-40.7% 정도 감소되었다. 이러한 결과는 들잔디(*Zoysia japonica*)에서 PC 처리 후 46-50% 정도 감소하고[16], 크리핑 벤투그래스에서 34-56% 정도 감소한다[18]는 선행 연구 결과들과 유사한 경향을 나타냈다. 이는 PC가 TE와 같은 cyclohexandione계 생장조정제로 지베렐린 생합성과정 중 GA_{20} 에서 GA_1 으로 전환되는 과정을 억제하여 절간과 경엽의 신장을 억제하기 때문으로 알려져 있다[9].

시험 종료 시기(4주차)에 생장조정제 종류별 금잔디의 생장 억제 정도를 비교한 결과, 대조구 및 처리구 모두 무처리

와 대비하여 유의적으로 생장 억제 효과를 나타냈다. 0.0025 PC 처리구에서 금잔디의 초장은 대조구보다 길어 PC 처리에 의한 생장 억제 효과가 낮았으나, 0.005PC, 0.01PC 및 0.02PC 처리구는 대조구와 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 금잔디에서 PC 처리 시 대조구와 유사한 생육 억제 효과를 나타내기 위해서는 PC 0.005 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$ 이상, 바람직하게는 PC 0.01 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$ 이상을 처리하여야 함을 알 수 있었다. 잔디 관리에서 생장조정제의 처리에 따른 신장 억제 효과는 1회 처리가 아니라 2-3회 정도 연속처리 시 효과가 발생하므로[19] 추후 보완 연구를 통해 잔디 사용량 및 사용주기 결정에 대한 조사가 필요하였다[9].

시험 종료 후 잔디 예지물량을 건물중으로 조사할 때, 16.6-89.6 g/m^2 의 범위로 조사되었다(Fig. 1). 무처리구와 비교할 때, 생장조정제 처리 4주 경과 후 크리핑 벤투그래스의 예지물은 대조구, 0.005PC, 0.01PC 및 0.02PC 처리구에서 각각

Table 3. Plant length of creeping bentgrass in the pot after application prohexadione-calcium

Treatment ^{a)}	Plant length (mm)				
	Apr 28 (Before ^{b)})	May 4 (1WAT ^{c)})	May 11 (2WAT)	May 18 (3WAT)	May 25 (4WAT)
Control	40.5a	43.5a	47.5a	60.2a	72.9a
TE	41.2a	39.8a	40.0c	43.3c	43.2c
0.0025PC	41.3a	41.2a	45.8ab	52.5b	57.8b
0.005PC	41.8a	41.3a	42.9bc	46.6bc	51.2bc
0.01PC	42.0a	41.4a	42.6bc	44.7c	51.7bc
0.02PC	41.9a	41.0a	42.1c	42.9c	44.9c

a) Treatments were as follows; Non-treatment, Control [trinexapac-ethyl (TE) 0.01 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$], 0.0025PC [prohexadione-calcium (PC) 0.0025 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$], 0.005PC (PC 0.005 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$), 0.01PC (PC 0.01 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$) and 0.02PC (PC 0.02 a.i. $\text{g/m}^2/100\text{mL}$). TE and PCs were applied on April 28 in 2021.

b, c) 'before' and 'WAT' mean before treatment and week after treatment of prohexadione-calcium, respectively.

d) Means with the same letters within the column are not significantly different by Tukey's test at $p \leq 0.05$ level.

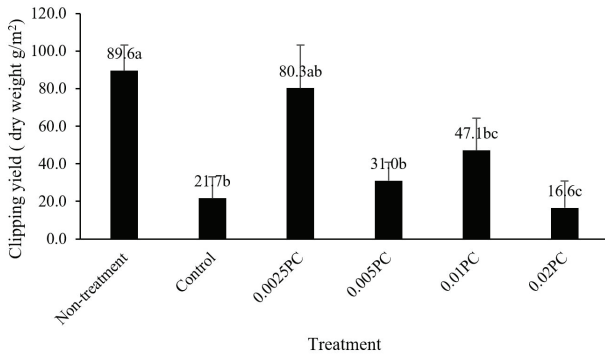


Fig 1. Clipping yield of *Z. matrella* in the pot after application prohexadione-calcium.

Treatments were as follows; Non-treatment, Control [trinexapac-ethyl (TE) 0.01 a.i. g/m²/100 mL], 0.0025PC [prohexadione-calcium (PC) 0.0025 a.i. g/m²/100 mL], 0.005PC (PC 0.005 a.i. g/m²/100 mL), 0.01PC (PC 0.01 a.i. g/m²/100 mL) and 0.02PC (PC 0.02 a.i. g/m²/100 mL). TE and PCs were applied on April 28 in 2021 and the clipping yield of PC treatments was sampled on May 25 in the same year. Error bars indicate standard deviation and different letters indicating significant difference at $p \leq 0.05$ level according to Tukey's test.

75.8%, 65.4%, 47.4%, 81.5%씩 감소하였고, 0.0025PC 처리구는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 시험 종료 후 생장조정제별 잔디 예지물 비교에서 대조구와 0.005PC, 0.01PC 및 0.02PC 처리구는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. PC의 처리량과 예지물량의 상관관계에서 부의 상관성($r = -0.5892^{**}$, $p \leq 0.01$)을 나타냈다. 생장 억제제 PC의 처리 시 들잔디와 크리핑 벤트그래스에서도 처리량과 부의 상관관계를 나타낸다고 알려져 있어 본 연구의 결과와 유사한 결과를 확인하였다[16, 18]. 이는 TE를 처리한 크리핑 벤트그래스와 켄터키 블루그래스에서도 유사한 결과

를 얻을 수 있었다[24, 25].

생장조정제의 처리 시 잔디 생장이 억제되는 것이 생육의 억제를 의미하는 것은 아니며, 세포 크기가 작아지는 것으로 알려져 있으며, 이를 고려한 적절한 양분 관리가 필요하다[8, 26-28]. 이를 위해서 생장 억제제 처리 후 처리구별 잔디에 함유된 양분의 함량과 단위 면적당 흡수량을 조사하였다 (Table 4). 잔디 잎 조직 중 질소, 인 및 칼륨의 함량은 각각 1.26-2.18%, 0.09-0.21%, 0.06-0.78%를 나타냈다. 질소 함량은 대조구에서 무처리보다 증가하였고, PC 처리구는 무처리구와 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나, PC 처리구의 인산 및 칼륨 함량은 무처리구와 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 시험 기간 동안 금잔디의 질소, 인 및 칼륨의 단위면적당 흡수량은 각각 0.49-1.41 g/m², 0.02-0.19 g/m², 0.11-0.66 g/m²의 범위를 나타냈다. 무처리구와 비교할 때, 대조구, 0.005PC 및 0.02PC 처리구에서 질소 흡수량은 각각 56.2%, 56.7%, 77.8%씩, 인 흡수량은 각각 88.9%, 77.3%, 88.0%씩, 그리고 칼륨 흡수량은 79.0%, 65%, 83%씩 감소하였다. 이는 생장조정제 처리에 의한 잔디의 경엽생장이 억제되어 단위면적당 예지물이 감소했기 때문으로 판단된다(Fig. 1). 생장조정제 처리 후 잔디의 단위면적당 양분 흡수 감소는 양분 이용률 감소와 밀접한 관계가 있으므로 추후 양분 흡수량 및 이용률을 고려한 최적 시비량에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다. 상기 결과들을 종합할 때, PC의 처리는 금잔디의 잔디 신장 억제 및 잔디 예지물량 감소 등으로 잔디의 양분 흡수량이 감소되는 것을 확인할 수 있었고, TE를 대신하여 잔디 관리 시 생장조정제로 활용할 수 있었다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Table 4. Nutrient content and uptake in leaves and stems of *Z. matrella* in the pot after application of prohexadione-calcium

Treatment ^{a)}	Nutrient content (%)			Nutrient uptake (g/m ²)		
	N	P	K	N	P	K
Control	1.26 ^{b)}	0.21a	0.73a	1.12ab	0.19a	0.66a
TE	2.18a	0.09a	0.60a	0.49c	0.02b	0.14b
0.0025PC	1.80ab	0.22a	0.71a	1.41a	0.17a	0.56a
0.005PC	1.58ab	0.14a	0.78a	0.48c	0.04b	0.23b
0.01PC	1.73ab	0.18a	0.70a	0.79bc	0.09ab	0.29b
0.02PC	1.56ab	0.10a	0.71a	0.25c	0.02b	0.11b

a) Treatments were as follows; Non-treatment, Control [trinexapac-ethyl (TE) 0.01 a.i. g/m²/100mL], 0.0025PC [prohexadione-calcium (PC) 0.0025 a.i. g/m²/100mL], 0.005PC (PC 0.005 a.i. g/m²/100mL), 0.01PC (PC 0.01 a.i. g/m²/100mL) and 0.02PC (PC 0.02 a.i. g/m²/100mL). TE and PCs were applied on April 28 in 2021.

b) Means with the same letters within the column are not significantly different by Tukey's test at $p \leq 0.05$ level.

References

- Ahn, YT, Kim ST, Kim IS, Kim JW, Kim HJ, Shim KY, Yang SW, Lee JJ, Ham SK (1992) Standard and practice for management in golf course, pp.71-133, Korea Turfgrass Research Institute, Korea.
- Tae HS, Hong BS, Choe YS, Oh SH (2010) Trinexapac-ethyl treatment for Kentucky bluegrass of golf course during summer. *Korean Journal of Turfgrass Science*, 24(2),156-160.
- Lee HS, Yang GM, Choi JS (2010) Daily shoot growth measurement of zoysiagrass (*Zoysia japonica*) to determine mowing interval. *Korean Journal of Turfgrass Science*. 24(1),16-23.
- Lee SW, Lee JP, Kim DH (2008) The influence of traffic time and fertilizer type on the quality of golf course putting greens. *Korean Journal of Turfgrass Science*, 22(1), 65-74.
- 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>.
- Cho YR, Cho YS, Choi JS (2019) Effect of foliar spray volumes and concentrations of trinexapac-ethyl on Kentucky bluegrass (*Poa parensis*L.) growth. *Weed and Turfgrass Science*, 8(3), 279-287. <https://doi.org/10.5660/WTS.2019.8.3.279>.
- McCann SE, Huang B (2007) Effects of trinexapac-ethyl foliar application on creeping bentgrass responses to combined drought and heat stress. *Crop Science*, 47(5), 2121-2128. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.09.0614>.
- Heckman NL, Horst GL, Gaussoin RE (2001) Influence of trinexapac-ethyl on specific leaf weight and chlorophyll content of *Poa pratensis*. *International Turfgrass Society Research Journal*, 9, 287-290.
- March SR, Martins D, McElroy JS (2013) Growth inhibitors in turfgrass. *Planta Daninha*, 31(3), 733-747.
- Sagong DH, Song YY, Park MY, Kweon HJ, Kim MJ, Yoon TM (2014) Photosynthesis, shoot growth and fruit quality in 'Fuji' /M.9 mature apple trees in response to prohexadione-calcium treatments. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 32 (6), 762-770, <https://doi.org/10.7235/hort.2014.13019>.
- Lee SU, Nam EY, Yun SK, Shin YU, Jung JH, Kang, H.K, Yoon IK (2010) Effect on shoot growth inhibition by prohexadione-calcium in 'Sato Nishiki' sweet cherry. *Journal of Bio-Environment Control*, 19(4), 387-391.
- Choi EJ, Choi BS, Woo SH, Lee CW (2012) Effect of growth restraint of white clover (*Trifolium repens*) as affected by prohexadione-calcium application. *Korean Journal of Weed Science*, 32(2), 139-143. <https://doi.org/10.5660/KJWS.2012.32.2.139>.
- Kim HY, Lee IJ, Hamayun M, Kim JT, Won JG, Hwang IC, Kim KU (2007) Effect of prohexadione calcium on growth components and endogenous gibberellins contents of rice (*Oryza sativa*L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193(6), 445-451. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00280.x>.
- Evans RR, Evans JR, Rademacher W (1997) Prohexadione-calcium for suppression of vegetative growth in eastern apples. *Acta Horticulturae*, 451, 663-666.
- Palonen P, Pehkonen E, Rantanen M (2009) Vegetative growth, cropping and winter hardiness of selected raspberry cultivars as affected by Pro-Ca. *Acta Horticulturae*, 838, 99-102. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.838.16>.
- Lim S, Choi BS, Woo SH, Lee CW (2011) Growth of zoysiagrass (*Zoysia japonica* Steud.) as affected by prohexadione-calcium application. *Korean Journal of Weed Science*, 31(2), 199-204. <https://doi.org/10.5660/KJWS.2011.31.2.199>.
- Queiroz JRG, Silva JR. AC, Martins D (2017) Use of prohexadione calcium on grass species development. *Planta Daninha*, 35, e017161877. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582017350100072>.
- Kim YS, Park EH (2020) Inhibition influences of prohexadione calcium on growth of creeping bentgrass. *Weed and Turfgrass Science*, 9(4), 415-424. <https://doi.org/10.5660/WTS.2020.9.4.415>.
- de Marchi SR, Martins D, Costa NV (2016) Growth and flowering inhibition of *Paspalum notatum* with application of trinexapac-ethyl and prohexadione-calcium. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(3), 202-208. <http://dx.doi.org/10.1590/01807-1929/agriambi.v20n3p202-208>.
- Choi JS (2017) Distribution, classification, breeding, and current use of zoysiagrass species and cultivars in Korea. *Weed and Turfgrass Science*, 6(4), 283-291. <https://doi.org/10.5660/WTS.2017.6.4.283>.
- Kim KD, Lee JH, Chag SW (2020) Quality difference of *Zoysia japonica* and *Z. 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>.
22. 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.
 23. National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST) (1998) The analysis of soil and plant. NIAST, Rural Development Administration, Korea.
 24. Kim YS, Lee CE, Kim DH, Lee GJ (2019) Nitrogen uptake and shoot growth of creeping bentgrass after application of slow release nitrogen fertilizer blending. *Weed and Turfgrass Science*, 8(1), 57-65. <https://doi.org/10.5660/WTS.2019.8.1.57>.
 25. Kim YS, Youn JH, Lee GJ (2021) Growth inhibition responses of Kentucky bluegrass after applying trinexapac-ethyl solution diluted to two concentration. *Weed and Turfgrass Science*, 10(1), 79-86. <https://doi.org/10.5660/WTS.2021.10.1.079>
 26. Arghavani M, Kafi M, Babalar M, Naderi R (2012) Improvement of salt tolerance in Kentucky bluegrass by trinexapac-ethyl. *HortScience*, 47(8), 1163-1170.
 27. Ervin EH, Koski AJ (2001) Trinexapac-ethyl increases Kentucky bluegrass leaf cell density and chlorophyll concentration. *HortScience*, 36, 787-789.
 28. Gaussoin RE, Brahnem BE, Flore JA (1997) Carbon dioxide exchange rate and chlorophyll content of turfgrasses treated with flurprimidol or mefluidide. *Journal of Plant Growth Regulation*, 16(2), 73-78.