

완효성 비료 처리 후 크리핑 벤트그래스(*Agrostis palustris* Huds.) 생장 특성

김영선^{1*}, 임승재¹, 강지혜¹, 이경목², 이금주^{3,4}

Growth Characteristics of Creeping Bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.) after Applying with Slow Release Fertilizer

Young-Sun Kim ^{1*}, Seung-Jae Lim ¹, Ji-Hae Kang ¹, Kyoungmok Lee ² and Geung-Joo Lee ^{3,4}

¹대구대학교 원예학과, ²씨앤엘케미컬, ³충남대학교 원예학과, ⁴충남대학교 스마트농업학과

¹Department of Horticultural Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, ²C&L Chemical Co. Ltd., Seoul 03937, Korea, ³Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea,

⁴Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

* Correspondence: im0sunkim@daegu.ac.kr

Abstract: This study was conducted to evaluate the effects of application of slow release fertilizer such as methylene urea (MU) and isobutylene diurea (IBDU) on the growth and quality of creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.). Treatments were designed as follows; No-fertilizer (NF), Control [straight fertilizer (SF) 3N active ingredient (a.i.) g/m²/month], MU (MU 3N a.i. g/m²/month), and IBDU (IBDU 3N a.i. g/m²/month). As compared to NF, turf color index, chlorophyll content, clipping yield, and nutrient (N, P, K) uptake amount of MU and IBDU treatment were not significantly different ($p \leq 0.05$). The growth rate of MU or IBDU were 43.1% and 43.7% within 10 days after treatment (DAT) of fertilizers, respectively, that decreased than that of control, while 34.5% and 34.9% for 10-20 DATs, increased. These results indicated that as applied of MU and IBDU in the creeping bentgrass, the growth rate of turfgrass was lower than that of SF, and nutrient available period of slow release fertilizers increased.

Keywords: Growth rate, Isobutylene diurea (IBDU), Methylene urea (MU), Nutrient available period, Slow release fertilizer

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.11>

Korean J. Environ. Agric. 2024, 43, 109-116

Received: July 16, 2024

Revised: September 2, 2024

Accepted: September 5, 2024

Published: October 14, 2024

Online ISSN: 2233-4173

Print ISSN: 1225-3537



Check for
updates

© The Korean Society of Environmental Agriculture 2024



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

서 론

완효성 질소 비료는 골프장에서 잔디의 생육과 품질을 유지관리하고[1], 안전하고 지속가능한 코스 환경을 유지하기 위해 사용해 왔다[2]. 골프장의 잔디는 농작물과 달리 식재 후 지피식물로서 관리되고 있어서 생장에 필요한 양분은 추비를 통해 공급된다[3]. 골프장의 잔디 관리에서 추비에 이용하는 비료는 비료의 발현 속도에 따라서 속효성 비료와 완효성 비료로 구분된다. 속효성 비료는 잔디 생육에 필요한 비료를 빠르게 공급할 수 있다는 장점은 있으나 비효 기간이 짧고, 고온기

에 비료해가 발생할 수 있으며, 비료해 발생 시 잔디 품질 및 생육을 악화시킬 있다는 단점이 있다[4]. 반면에 완효성 비료는 잔디 생육에 필요한 성분을 방출하는 데 시간이 필요하지만 비료해 발생이 적고, 비효 기간이 증대된다는 장점을 갖고 있다[5]. 현재 골프장의 그린이나 티잉 구역의 경우 잔디의 품질관리가 중요하고 잔디의 관리 집중도가 높아 관리 노력을 줄이기 위해 완효성 비료를 사용하고 있다[5,6].

완효성 비료는 자연 유기물을 비료원으로 이용하는 유기질비료 형태와 고분자 화학물질을 이용하여 질소 방출을 조절하는 형태로 구분되며[4], 골프장 잔디 관리에서 전자는 페어웨이 관리 시, 후자는 그린 그라운드 관리 시 이용하는 경우가 많다. 고분자 화학물질을 이용한 질소 방출 조절형 완효성 비료인 methylene urea (MU)와 isobutylene diurea (IBDU)는 골프장 잔디 관리에 주로 이용되고 있다[5]. MU는 탄화수소 길이와 토양미생물의 탄화수소 분해 정도에 따라 질소 방출 능력을 조절하고, IBDU는 토양온도와 비료입자 크기에 영향을 받아 가수분해의 차이로 질소 방출 능력이 조절된다[4]. 질소 방출의 조절은 잔디의 생육을 개선하고, 토양 중 가용성 질소의 존재 기간이 증가하여 질소 비효 기간이 증가되며[5], 토양 중에서 용탈을 감소시켜 토양 및 주변 수계로의 유입이 감소된다[2].

Kim et al. [5]은 크리핑 벤트그래스(*Agrostis palustris* Huds.)에서 완효성 비료 처리 후 토양 및 잔디 생육에 대해 보고하였으나 포장시험 과정에서 잔디 일반관리에 의해 속효성 비료와의 생육 차이를 확인하기 어려웠다. 질소 방출 속도를 조절하는 완효성 비료 처리 후 잔디 생육을 확인하기 위해서는 완효성 비료의 처리 후 경과 기간별 잔디 생장률 차이를 속효성 비료와 비교하는 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 완효성 비료 처리 후 크리핑 벤트그래스에 잔디 생육 및 품질의 변화를 조사하여 잔디 생장률의 차이를 평가하였다.

재료 및 방법

공시 재료

본 연구는 대구대학교 부속 농장에 위치한 유리온실에서 2023년 5월부터 11월까지 약 7개월 동안 수행되었다. 공시 잔디는 그린에 식재되는 크리핑 벤트그래스를 이용하였고, 품종은 ‘Penn AI’을 A사로부터 공여받아 사용하였다. 공시 토양은 자갈(2~4 mm)의 함량이 미국골프협회(United State Golf Association; USGA)의 모래 입경 분포 규격에 적합하지 않았으나 극조사와 조사의 규격에 적합하고 USGA 모래 토양의 물리적 특성에 적합하여 사용하였다(Table 1). 공시 비료는 속효성 복합비료(straight fertilizer; SF, N-P₂O₅-K₂O=21-17-17, Namhae Chemical Co., Ltd., Yeosu, Korea), 완효성 MU 복합비료(slow release fertilizer of methylene urea type; MU, N-P₂O₅-K₂O=19-5-10, Henan Leaf Fertilizer Co. Ltd., Henan, China) 및 완효성 IBDU 복합비료(slow release fertilizer of isobutylidene diurea type; IBDU, C&L Chemical Co. Ltd., Seoul, Korea)를 이용하였다.

5인치 시험용 플라스틱 포트(직경 12.7 cm, 깊이 13 cm)에 공시 모래를 충전한 후 수돗물을 이용하여 물다짐을 실시하였고, 다짐이 완료된 후 중력수를 제거하고 크리핑 벤트그래스 종자 10 g/m²를 2023년 5월 7일에 종자를 파종하여 약 30일 동안 관리하였다.

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

Item	Particle size (mm)						
	> 4.00	2.00~4.00	1.00~2.00	0.50~1.00	0.25~0.50	0.15~0.25	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% over		10% below

USGA: United States Golf Association

처리구 설정

완효성 비료 처리 후 크리핑 벤트그래스의 생육 시험 처리구는 무처리구(NF, No fertilizer), 대조구(control, SF 3N active

ingredient (a.i.) g/m²/month], MU 처리구(MU, MU 3N a.i. g/m²/month), IBDU 처리구(IBDU 3N a.i. g/m²/month)로 설정하였고, 완전임의배치법 5반복으로 처리구를 배치하였다. SF의 처리는 수돗물로 희석하여 희석액 1,000 mL/m²를 휴대용 압축 분무기(Trigger sprayer 700, Apollo Industrial Co., Ltd., Siheung, Korea)를 이용하여 경엽에 관주시비하였고, MU와 IBDU는 포트에 골고루 산파하였다. SF, MU 및 IBDU 비료의 제형은 모두 입상이었다. SF는 물에 용해되었고, 입자크기는 4 mm 이상으로 산파 처리 시 잔디 경엽 부분에 위치하여 비료해를 나타낼 수 있으므로 수돗물에 용해하여 시비하였고, MU와 IBDU는 입자크기가 2.0 mm 이내로 처리 시 잔디의 경엽 사이를 통과하여 지표면에 도달할 수 있었고, 물에 용해되지 않아 SF와 같이 관비 처리를 통해 골고루 처리할 수 없었으며 잔디 생육 중 비해는 발생하지 않아 포트 내에서 골고루 산파하였다. 각 처리구별 비료의 시비는 6월 10일, 7월 10일, 8월 10일, 9월 15일, 10월 15일에 총 5회 처리하였다. 시험 기간 동안 병해충은 발생하지 않아 살충제 및 살균제 처리하지 않았고, 잔디 생육 정도를 고려하여 매일 1~2회 관수하였다.

조사 내용

잔디 생육 조사는 엽색 지수, 엽록소 함량, 초장 및 예지물을 조사하였고, 시비 시기를 기준으로 1~5차까지 조사하였다. 1차 조사는 6월 10일부터 7월 9일까지, 2차 조사는 7월 10일부터 8월 9일까지, 3차 조사는 8월 10일부터 9월 14일까지, 4차 조사는 9월 14일부터 10월 14일까지, 그리고 5차 조사는 10월 15일부터 11월 14일까지 조사하였다. 엽색 지수는 turf color meter (TCM 500, Spectrum Technologies, Inc., Plainfield, IL, USA)을 이용하여 6월 10일부터 1주 간격으로 총 24회 조사하였고, 각 조사 시기별로 평균하였다. 잔디 예지물과 엽록소 함량은 시비 후 10일 간격으로 총 15회 조사하였다. 잔디 예지물은 지표면으로부터 30 mm 높이로 소독된 가위를 이용하여 채취하였고, 각 조사 시기별 3회 채취된 잔디 예지물의 합으로 시비 후 잔디 성장량을 조사하였다. 각 조사 시기별 조사된 잔디 성장량과 각 조사 시기별 10일 간격으로 채취된 예지물의 비율을 통해 잔디 성장률을 조사하였다. 비료 처리 후 잔디 성장률은 생육기간 중 조사된 결과를 평균하였다. 채취된 예지물은 일부(생물중 0.1 g)는 엽록소 함량 조사에 이용하였고, 나머지 예지물은 70°C 건조기(Thermostable OF-W155, Daihan Scientific Co., Ltd., Wonju, Korea)에서 48시간 건조하여 건물중을 조사하였다. 엽록소 함량은 예지물 조사를 위해 채취된 잔디 중 일부를 95% 에탄올을 이용해 추출하여 Kim et al. [7]의 방법으로 엽록소 함량을 측정하였다.

비료 처리 후 토양 분석은 시험 전(5월 10일, 포트 조성 전 모래 토양)과 시험 종료 후(11월 16일, 종자를 파종하여 시험 종료 후 포트의 모래 토양)에 채취된 토양 시료를 음지에서 풍건하고 2 mm 체를 통과시킨 후 실시하였다. 토양 분석 항목은 토양 산도(pH), 전기전도도(electrical conductivity, EC), 유기물(organic matter, OM), 전질소(total nitrogen, T-N), 유효인산(available phosphate, Av-P₂O₅), 치환성 칼륨(exchangeable potassium, Ex-K)이었다. 토양 분석은 농촌진흥청의 토양화학분석법에 준하여 분석하였다. 잔디 식물체 중 함유된 양분의 농도는 잔디 건물중(0.2 g)에 황산 20 mL 및 과염소산 1 mL을 가한 후 Kjeldahl 법으로 분해하여 질소, 인 및 칼륨을 농촌진흥청의 식물체분석법에 준하여 실시하였다. 질소는 Kjeldahl 증류법으로, 인은 바나드몰리브덴산법으로, 칼륨은 원자흡광법으로 각각 분석하였다. 건물중과 잔디 식물체 분석 결과를 이용하여 잔디 조직 중 흡수된 양분량을 산정하였다[7].

통계분석

통계처리는 SPSS (ver. 27, IBM, NY, USA)를 이용하여 Duncan 다중검정을 통해 처리구간 평균값의 유의차를 검정하였다.

결과 및 고찰

토양화학성 분석 결과

완효성 비료 처리 전·후 토양의 변화를 조사하였다(Table 2). 시험 전 토양은 포트 조성 전 모래 토양으로 잔디 재배 시험에 사용하기에 적합한 특성을 나타냈다. 시험 전과 후의 토양화학성 분석 결과 pH, EC, OM, Av-P₂O₅ 및 Ex-K는 증가하였다. 시험 전과 후 토양화학성은 식물의 생육 과정에서 공급되는 비료 및 토양미생물 등의 작용으로 시험 전과 후의 토양화학성은 변화하는 것으로 알려져 있다[7]. 시험 종료 후 무처리구(NF)와 비교할 때, MU 및 IBDU 처리구는 EC, Av-P₂O₅ 및 Ex-K는 증가하였고,

Table 2. The chemical properties of soil used before and after in this study

Treatments ¹⁾	pH	EC	OM	T-N	Av-P ₂ O ₅	Ex-K
	(1:5)	dS/m	(%)		mg/kg	cmol _c /kg
Before	6.67b ²⁾	0.31c	0.20b	0.01a	28.85c	0.09b
NF	7.29a	0.34b	0.25a	0.01a	31.76b	0.10b
Control	7.28a	0.37a	0.24a	0.01a	44.85a	0.13a
MU	7.29a	0.38a	0.26a	0.01a	41.94a	0.13a
IBDU	7.29a	0.39a	0.25a	0.01a	39.03a	0.13a

¹⁾Treatments were follows. NF: no fertilizer, Control (straight fertilizer, SF; N-P₂O₅-K₂O=21-17-17, 3N a.i g/m²/month), MU (methylene urea; N-P₂O₅-K₂O=12-6-18, 3N a.i g/m²/month), IBDU (isobutylene diurea; N-P₂O₅-K₂O=19-5-10, 3N a.i g/m²/month). Compound fertilizers such as SF, MU and IBDU were applied on June 10, July 10, August 10, September 15, and October 15.

²⁾Means with the same letters within a column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

pH, OM 및 T-N은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 대조구와 비교할 때, MU 및 IBDU 처리구의 토양화학성은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. MU나 IBDU와 같은 완효성 비료는 장기적으로 사용할 때 토양에서 용탈이 감소하고, 질소 가용성을 높이는 것으로 알려져 있다[4]. Kim et al. [5] 완효성 비료는 식물 생육에 필요한 양분을 서서히 공급하는 특성을 나타내는 비료로서 골프장 잔디 관리에서 토양화학성 변화에 미치는 영향은 미미하여 본 연구와 유사한 결과를 나타내나 완효성 비료 처리구에서 토양 중 가용성 질소 함량이 시비 후 오랫동안 유지되어 모래 토양에서 비료 처리 시 비효 지속 기간이 증가한다고 보고한 바 있다.

잔디 생육 및 품질 변화

완효성 비료 처리 후 엽색 지수를 조사하여 잔디의 품질을 조사하였다(Table 3). 완효성 비료를 처리한 MU 및 IBDU 처리구의 엽색 지수는 NF보다 증대되었고, 대조구와는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 잔디 품질은 엽색의 녹색 정도 및 밀도로 평가되며, 질소의 시비량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타낸다[8]. 속효성 비료의 처리구나 완효성 비료 처리구의 엽색 지수가 차이를 나타내지 않은 것은 시비량이 동일했기 때문으로 판단된다[5]. 잔디의 생육 시기별 엽색 지수의 변화 조사에서 고온기인 8월경에 가장 낮았고, 이는 기상청 자료를 참고할 때 영천지역의 평균기온이 26.4°C 이상을 나타내어 크리핑 벤틀그래스의 생육적온인 15.5~24.0°C보다 높았기 때문에 잔디 품질이 감소한 것으로 생각된다.

완효성 비료 처리 후 잔디 경엽 중 엽록소 함량을 조사하였다(Table 4). 엽록소 a는 1,612~1,825 FW µg/mL로 생육 시기별 차이를 나타내지 않았고, NF와 비교 시 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 MU와 IBDU의 처리에 의한 엽록소 a 함량의 변화를 확인하기 어려웠다. 시험 기간 중 엽록소 b 함량은 576~864 FW µg/mL를 나타냈고, 조사 시기별 NF와 비교할 때 1차, 3차, 4차 및 5차 조사 시 증가되었다. 대조구와 비교할 때, 생육 시험 기간 중 2차 조사에서는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 엽록소 a+b 함량은 2,261~2,263 FW µg/mL를 나타냈고, NF와 비교 시 MU와 IBDU 처리구는 8.0~15.4% 증가하였고, 대조구와 비교 시 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 식물체 중 엽록소 함량은 잎의 질소 함량과 정의 상관관계를

Table 3. The changes of turfgrass color index of creeping bentgrass by an application of various compound fertilizer

Treatments ¹⁾	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	Mean
	(Jun 10~Jul 9)	(Jul 10~Aug 9)	(Aug 10~Sep 14)	(Sep 14~Oct 14)	(Oct 15~Nov 14)	
NF	7.36b ²⁾	6.75b	6.63b	7.00b	7.02b	6.95b
Control	7.65a	7.50a	7.18a	7.36a	7.39a	7.42a
MU	7.59a	7.49a	7.09a	7.43a	7.37a	7.40a
IBDU	7.62a	7.42a	7.27a	7.26a	7.31a	7.37a

¹⁾Treatments were follows. NF: no fertilizer, Control (straight fertilizer, SF; N-P₂O₅-K₂O=21-17-17, 3N a.i g/m²/month), MU (methylene urea; N-P₂O₅-K₂O=12-6-18, 3N a.i g/m²/month), IBDU (isobutylene diurea; N-P₂O₅-K₂O=19-5-10, 3N a.i g/m²/month). Compound fertilizers such as SF, MU and IBDU were applied on June 10, July 10, August 10, September 15, and October 15.

²⁾Means with the same letters within a column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

Table 4. The changes of chlorophyll content in the creeping bentgrass by an application of various compound fertilizers

Treatments ¹⁾	1 st (Jun 10~Jul 9)	2 nd (Jul 10~Aug 9)	3 rd (Aug 10~Sep 14)	4 th (Sep 14~Oct 14)	5 th (Oct 15~Nov 14)
Chlorophyll a (FW µg/mL)					
NF	1,635a ²⁾	1,612a	1,800a	1,811a	1,770a
Control	1,752a	1,785a	1,825a	1,801a	1,813a
MU	1,715a	1,800a	1,780a	1,786a	1,775a
IBDU	1,746a	1,775a	1,820a	1,811a	1,802a
Chlorophyll b (FW µg/mL)					
NF	627b	723a	623b	576b	626b
Control	839a	859a	833a	825a	807a
MU	831a	863a	836a	824a	813a
IBDU	864a	833a	820a	806a	808a
Chlorophyll a+b (FW µg/mL)					
NF	2,261b	2,335b	2,423b	2,387b	2,397b
Control	2,590a	2,644a	2,658a	2,626a	2,621a
MU	2,546a	2,663a	2,616a	2,610a	2,588a
IBDU	2,610a	2,607a	2,640a	2,617a	2,610a

¹⁾Treatments were follows. NF: no fertilizer, Control (straight fertilizer, SF; N-P₂O₅-K₂O=21-17-17, 3N a.i g/m²/month), MU (methylen urea; N-P₂O₅-K₂O=12-6-18, 3N a.i g/m²/month), IBDU (isobutylene diurea; N-P₂O₅-K₂O=19-5-10, 3N a.i g/m²/month). Compound fertilizers such as SF, MU and IBDU were applied on June 10, July 10, August 10, September 15, and October 15.

²⁾Means with the same letters within a column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

나타내며[9], 속효성 비료와 완효성 비료의 비교 시 식물체 앞에서의 질소 함량의 차이는 나타나지 않기 때문에 판단된다[10]. 비록 속효성 비료와 완효성 비료의 경엽 중 질소 함량의 차이는 없더라도 식물의 신장 및 생육에 차이를 나타내기도 한다[11]. Ito et al. [12]는 엽록소 b가 동화 과정을 거쳐 엽록소 a로 전환된다고 보고하여 본 연구에서 엽록소 b에서는 질소 여부에 따라 차이를 나타내어 질소 시비량에 직접적으로 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 잔디 경엽 중 엽록소 a와 b는 정의 상관관계($p \leq 0.01$)를 나타내어 엽록소 a는 엽록소 b의 함량에 영향을 받는 것을 나타냈다.

완효성 비료 처리 후 잔디 예지물을 조사하여 잔디 생육을 측정하였다(Table 5). 재배 시험 기간 동안 조사된 잔디 예지물은 105.22~339.36 g/m²로 조사되었고, NF와 비교 시 MU나 IBDU 처리구의 잔디 예지물은 16~20% 증가하였고, 대조구와는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

잔디 비료 종류에 따른 잔디 예지물량은 대조구와 통계적인 차이를 나타내지 않아 시비 후 10일 간격으로 잔디 예지물량을 조사하였다(Fig. 1). 시비 후 잔디 예지물의 생장률은 각 조사 시기별 10일 간격으로 수집된 예지물을 각 조사 시기별 잔디 예지물량의 비율로 나타냈다. 시비 후 10일까지는 대조구, MU 처리구 및 IBDU 처리구에서 각각 50.8%, 43.1% 및 43.7%를, 10~20일까지는 각각 29.3%, 34.5%, 34.9%를, 20~30일까지는 19.0%, 22.4% 및 21.4%를 나타냈다. 시비 후 10일까지는 속효성 비료 처리구의

Table 5. The clipping yield in the creeping bentgrass by an application of various compound fertilizers

Treatments ¹⁾	1 st (Jun 10~Jul 9)	2 nd (Jul 10~Aug 9)	3 rd (Aug 10~Sep 14)	4 th (Sep 14~Oct 14)	5 th (Oct 15~Nov 14)	Total
NF	14.02b ²⁾	11.97b	25.73b	26.75b	26.75b	105.22b
Control	40.00a	46.62a	76.94a	88.41a	87.39a	339.36a
MU	40.25a	45.60a	73.12a	88.15a	85.61a	332.73a
IBDU	39.24a	46.11a	76.18a	86.88a	87.90a	336.30a

¹⁾Treatments were follows. NF: no fertilizer, Control (straight fertilizer, SF; N-P₂O₅-K₂O=21-17-17, 3N a.i g/m²/month), MU (methylen urea; N-P₂O₅-K₂O=12-6-18, 3N a.i g/m²/month), IBDU (isobutylene diurea; N-P₂O₅-K₂O=19-5-10, 3N a.i g/m²/month). Compound fertilizers such as SF, MU and IBDU were applied on June 10, July 10, August 10, September 15, and October 15.

²⁾Means with the same letters within a column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

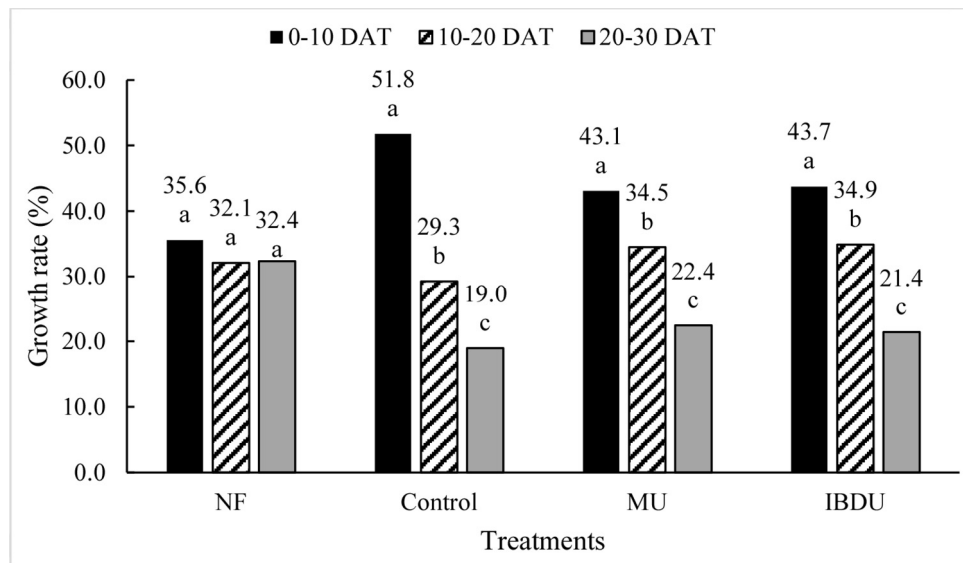


Fig. 1. Growth rate of creeping bentgrass after applying straight fertilizer and slow release fertilizer. Treatments were follows. NF: no fertilizer, Control (straight fertilizer, SF; $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=21\text{-}17\text{-}17$, 3N a.i g/m²/month), MU (methylene urea; $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=12\text{-}6\text{-}18$, 3N a.i g/m²/month), IBDU (isobutylene diurea; $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=19\text{-}5\text{-}10$, 3N a.i g/m²/month). Compound fertilizers such as SF, MU and IBDU were applied on June 10, July 10, August 10, September 15, and October 15. Different letters indicate significant different at $p \leq 0.05$ level according to Duncan's multiple range test. 'DAT' means day after treatment of each fertilizer.

잔디 생장이 빨랐으나 11~20일까지는 완효성 비료 처리구에서 증가하였고, 21~30일까지는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이는 속효성 비료가 시비 초기에 잔디 생장량이 크게 증가하나 11일 이후에는 완효성 비료 처리 시 잔디 생장량이 높으며, 21일 이후에는 통계적 유의차가 없어 완효성 비료 처리 후 비효 지속 기간이 연장됨을 나타낸다. Kim et al. [5]는 완효성 비료 처리 토양 중에서 무기태 질소의 비효 기간이 증가하기 때문이라고 보고한 내용과 유사한 결과이다.

시험 종료 후 잔디 경엽 중 질소, 인 및 칼륨의 분석 결과는 각각 1.82~3.78%, 0.21~0.24%, 1.00~1.06%를 나타냈다(Table 6). NF와 비교할 때, MU 및 IBDU 처리구의 질소는 증가하였고, 인과 칼륨은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 대조구와 비교 시 MU 및 IBDU 처리구의 질소, 인 및 칼륨은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 잔디 경엽 중 질소 함량의 차이를 나타내지 않았고, 이는 Table 3에서 비료 종류별 경엽 중 염록소 함량의 차이가 나타나지 않은 것과 유사한 결과이다. Cole et al. [10]은 식물 경엽 중 질소 함량은 비료 종류나 시비량에 큰 영향을 미치지 않는다고 보고한 바 있다.

시험 기간 동안 잔디 경엽 중 흡수된 질소, 인 및 칼륨은 각각 1.91~12.64 g/m², 0.22~0.79 g/m² 및 1.05~3.63 g/m²를 나타냈다. NF와 비교 시 질소, 인 및 칼륨의 흡수량은 각각 62.3~71.5%, 4.1~4.7% 및 20.2~21.2%씩 증가했고, 대조구와 비교 시 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이는 식물의 질소 흡수량은 토양 중 질소 함량이나 질소 시비량에 의해 영향을 받게 되므로 본 연구에서는 각 처리구의 질소 시비량이 동일했기 때문으로 판단된다[13].

Table 6. The nutrient content and uptake in the creeping bentgrass by an application of various compound fertilizers

Treatments ¹⁾	Nutrient content (%)			Nutrient uptake (g/m ²)		
	N	P	K	N	P	K
NF	1.82b ²⁾	0.21a	1.00a	1.91b	0.22b	1.05b
Control	3.50a	0.23a	1.02a	11.82a	0.79a	3.48a
MU	3.78a	0.21a	1.08a	12.64a	0.71a	3.63a
IBDU	3.36a	0.24a	1.06a	11.26a	0.79a	3.56a

¹⁾Treatments were follows. NF: no fertilizer, Control (straight fertilizer, SF; $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=21\text{-}17\text{-}17$, 3N a.i g/m²/month), MU (methylene urea; $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=12\text{-}6\text{-}18$, 3N a.i g/m²/month), IBDU (isobutylene diurea; $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=19\text{-}5\text{-}10$, 3N a.i g/m²/month). Compound fertilizers such as SF, MU and IBDU were applied on June 10, July 10, August 10, September 15, and October 15.

²⁾Means with the same letters within a column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

MU는 urea formaldehyde (UF) 형태로 전환된 후 urea로 전환되고, IBDU는 가수분해 과정을 거쳐 urea를 생성하여 온도에 영향을 받기 때문에 시비 후 잔디가 질소를 흡수하여 생장에 이용하는 데 일정 시간이 필요하여 속효성 비료에 비하여 비효 지속 기간이 증대된다[4]. 완효성 비료는 토양 중에서 서서히 무기태 질소로 변화하므로 잔디 재배에서 토양 내 질소의 비효 지속 기간이 증대된다[5]. 잔디 관리에서 속효성 비료 공급에 의한 질소의 과도한 흡수는 잔디의 과도한 신장을 유도하여 대취의 생성을 증대시키고[13], 토양 내 대취와 같은 유기물의 증가는 토양 물리성을 악화시키므로 질소 공급 시 적절한 시비 조절이 필요하다[14].

완효성 비료는 제조 과정이나 종류에 따라 질소 방출 속도가 다르며[15], 분해 속도가 빠른 경우 식물의 생육기간 동안 충분한 양분을 공급할 수 없어 속효성 비료와 유사한 특성을 나타내기도 한다[16]. 잔디는 완효성 비료를 처리한 후 생육 초기와 중기에 도 충분한 양분을 공급해야 하므로 질소 방출 속도가 상대적으로 빠른 완효성 비료와 질소 방출 속도가 상대적으로 느린 완효성 비료 성분을 적절히 혼합하여 사용하고 있다[4]. MU 비료의 경우 탄소 결합의 정도에 따라 질소 방출 속도가 차이를 나타내므로 탄소 결합 길이로 완효성 질소 방출 속도를 조절하고[4], 비료의 제형에 따라 질소 방출 속도가 차이를 나타내므로 다양한 제형의 완효성 비료를 혼합하여 질소 방출 속도를 조절하기도 한다[17]. 질소 방출 속도의 차이는 잔디가 식재된 토양 내에서 이용할 수 있는 무기태 질소 함량을 오랫동안 유지하여 질소의 비효 기간을 증대시키고[5], 잔디 예지물의 발생을 조절하며[15] 잔디의 질소 흡수량과 품질에 영향을 미친다[5,15]. 본 연구에서 완효성 비료와 속효성 비료와 큰 차이를 확인하기 어려웠으나 완효성 비료 시비 후 경과 기간별 잔디의 생장량은 속효성 비료에 비하여 일정하게 유지되어 잔디 비효 지속 기간이 증대되었다(Fig. 1). 질소의 이용 증대는 인 및 칼륨의 흡수를 유도하게 되므로 잔디 생육과 품질이 개선되는 것으로 알려져 있다[18]. 비록 포트 시험에서는 잔디의 생육 및 품질 개선에 대한 확인이 어려웠으나 포장시험에서는 고온기에 잔디의 생육 및 품질을 개선하였다(자료는 제시하지 않음).

완효성 비료의 처리 시 고온기에 잔디 생육이 개선되었던 것은 단기간 양분을 흡수하고 소비하는 속효성 비료와 달리 토양 중 질소의 방출량을 조절함으로써 잔디의 생장과 생육을 조절할 수 있기 때문으로 판단된다[15]. 또한, 완효성 비료는 잔디에서 질소 이용을 증대시키고, 식물의 burning 현상을 감소시킨다[4]. 또한, 질소 방출량 조절을 통한 적절한 양분 흡수는 식물체 내에서 peroxidase, catalase 및 superoxide dismutase와 같은 항산화효소의 활성이 높여 환경 변화에 따른 식물의 저항성이 개선되고, 작물의 생육 및 생산량이 증대되는 것으로 알려져 있어 고온기에 잔디의 생육 및 생장을 유지하는 효과를 나타내는 것으로 판단된다[19].

결론

본 연구는 완효성 비료를 크리핑 벤트그래스에 처리 후 잔디에 생육 및 품질의 변화를 조사하였다. 처리구는 무처리구(NF, No fertilizer), 대조구(control, SF 3N a.i. g/m²/month), MU 처리구(MU, MU 3N a.i. g/m²/month), IBDU 처리구(IBDU 3N a.i. g/m²/month)로 설정하였다. NF와 비교할 때, MU 및 IBDU 처리구의 엽색 지수, 엽록소 함량, 잔디 예지물 및 양분 흡수량은 증가하였고, 대조구와 비교할 때 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. MU 및 IBDU 처리구의 시비 후 잔디 예지물의 변화는 시비 후 0~10일 동안 각각 43.1%와 43.7%를 나타내어 대조구보다 낮았고, 11~20일 동안에는 각각 34.5%와 34.9%를 나타내어 대조구보다 높았다. 상기 결과들을 종합할 때, 크리핑 벤트그래스에서 MU 및 IBDU의 처리는 잔디 예지물의 생산율의 변화가 적고, 비효 지속 기간이 증대되는 것을 알 수 있었다.

Data Availability: All data are available in the main text or in the Supplementary Information.

Author Contributions: Y.-S. Kim conceived and designed the research, wrote the first manuscript, and revised the manuscript; S.-J. Lee led the growth experiment and collected the data; J.-H. Kang performed an analysis of soil and plant; K. Lee performed the statistical analysis; G.-J. Lee provide critical feedback.

Notes: The authors declare no conflict of interest.

Additional Information:

Supplementary information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.11>

Correspondence and requests for materials should be addressed to Young-Sun Kim.

Peer review information Korean Journal of Environmental Agriculture thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Reprints and permissions information is available at <http://www.korseaj.org>

References

1. Bilgili U, Açıkgöz E (2011) Effects of slow-release fertilizers on turf quality in a turf mixture. *Turkish Journal of Field Crops*, 16(2), 130-136.
2. Chen WF, Wang W, Qi YJ (2007) Slow release fertilizer decreases leaching loss of nitrogen in sand-based root zone. *Asian Journal of Turfgrass Science*, 21(2), 177-182.
3. Kopp KL, Guillard K (2002) Clipping management and nitrogen fertilization of turfgrass: Growth, nitrogen utilization, and quality. *Crop Science*, 42(4), 1225-1231. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1225>.
4. Guertal EA (2009) Slow-release nitrogen fertilizers in vegetable production: A review. *HortTechnology*, 19(1), 16-19. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.19.1.16>.
5. Kim YS, Kim TS, Ham SK, Bang SW, Lee CE (2009) The effect of compound fertilizer contained slow release nitrogen on turfgrass growth in creeping bentgrass and on change in soil nitrogen. *Asian Journal of Turfgrass Science*, 23(1), 111-122.
6. Yoo MJ, Lee JP, Joo YK, Kim DH (2009) Analysis of maintenance expense in various golf courses. *Asian Journal of Turfgrass Science*, 23(1), 61-76.
7. Kim YS, Lee GJ (2023) Growth of creeping bentgrass after application of microbial fertilizer containing *Saccharomyces cerevisiae* HS-1 and *Streptococcus thermophiles* HS-2. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 42(4), 286-296. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2023.42.4.33>.
8. Lee SW, Lee JP, Kim DH (2007) Effect of fertilizer component on turfgrass and quality of golf putting greens under traffic stress. *Asian Journal of Turfgrass Science*, 21(2), 137-146.
9. Ercoli L, Mariotti M, Masoni A, Massantini F (1993) Relationship between nitrogen and chlorophyll content and spectral properties in maize leaves. *European Journal of Agronomy*, 2(2), 113-117. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(14\)80141-X](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(14)80141-X).
10. Cole JC, Smith MW, Penn CJ, Cheary MS, Conaghan KJ (2016) Nitrogen, phosphorus, calcium, and magnesium applied individually or as a slow release or controlled release fertilizer increase growth and yield and affect macronutrient and micronutrient concentration and content of field-grown tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 211, 420-430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.028>.
11. Lee SS, Choi SJ (1990) Nitrogen uptake, yield and grass income of sweet corn as affected by nitrogen. *Korean Journal of Crop Science*, 35(1), 83-89.
12. Ito H, Ohtsuka T, Tanaka A (1996) Conversion of chlorophyll *b* to chlorophyll *a* via 7-hydroxymethyl chlorophyll. *The Journal of Biological Chemistry*, 271(3), 1475-1479.
13. Yoon YB, Lee JS (1990) Effect of nitrogen fertilization on the growth and thatch accumulation in Korean lawn grass (*Zoysia japonica* Steud). *Asian Journal of Turfgrass Science*, 4(2), 125-131.
14. Huh KY, Ko BG (2008) Organic matter dynamics on golf course green. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 36(3), 21-28.
15. Zhang M, Nyborg M (1998) Comparison of controlled-release nitrogen fertilizers on turfgrass in a moderate temperature area. *HortScience*, 33(7), 1203-1206.
16. Locascio SJ, Fiskell JGA, Martin FG (1981) Responses of bell pepper to nitrogen sources. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106(5), 628-632.
17. Andrade AB, Guelfi DG, Chagas WFT, Cancellier EL, de Souza TL, OliveiraLSS, Faquin V, Du C (2021) Fertilizing maize croppings with blends of slow/controlled release and conventional nitrogen fertilizers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 184, 227-237. <https://doi.org/10.1002/jpln.201900609>.
18. Kussouw WR, Soldat DJ, Kreuser WC, Houlihan SM (2012) Evidence, regulation, and consequences of nitrogen-driven nutrient demand by turfgrass. *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), 359284. <https://doi.org/10.5402/2012/359284>.
19. Lu J, Zhang Q, Sun X, Deng Y, Guo H, Wang C, Zhao L (2024) Study on the mechanism of slow-release fertilizer and nitrogen fertilizer on the senescence characteristics of quinoa leaves. *Agronomy*, 14(5), 884. <https://doi.org/10.3390/agronomy14050884>.