

RESEARCH ARTICLE

# 액비 엽면시비가 켄터키 블루그래스의 생육과 질산염, 인산, 칼륨의 모래지반 토양을 통한 용탈에 미치는 영향

조용섭<sup>1</sup> · 조영래<sup>1</sup> · 김동섭<sup>2</sup> · 양근모<sup>2</sup> · 최준수<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>동성그린(주), <sup>2</sup>단국대학교 녹지조경학과

## Effects of Liquid Fertilizer Foliar Application on Growth of Kentucky Bluegrass and Leaching of Nitrate, Phosphate and Potassium through Sand-based Soil Ground

Yong-Sup Cho<sup>1</sup>, Young-Rae Cho<sup>1</sup>, Dong-Sup Kim<sup>2</sup>, Geun-Mo Yang<sup>2</sup>, Joon-Soo Choi<sup>2\*</sup>

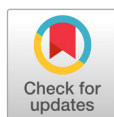
<sup>1</sup>DONG SUNG GREEN Co., LTD., Yongin 17088, Korea

<sup>2</sup>Department of Green Landscape Architecture Science, Dankook Univ., Cheonan 31116, Korea

### Abstract

This study was conducted to investigate the effects of liquid fertilizer foliar application on the growth of Kentucky bluegrass. Lysimeter was established at the experimental site for the measurement of nutrient leaching as well as top and root growth of turfgrass. The liquid fertilizer used for the foliar application (FFA) was the compound fertilizer containing N.P.K (13:2:3)+microelements (Fe 1.0+Cu 0.1+Mn 0.2+Zn 0.2), and the granular compound fertilizer of N.P.K (16:4:8) was used as a check. The foliar application rates of liquid fertilizers tested in this study were 15 g (FFA15), 10 g (FFA10) and 5 g N m<sup>-2</sup> (FFA5) per year with spay water volume of 50 mL m<sup>-2</sup>. The experimental plot was laid out as the randomized block. Leaf color and quality of Kentucky bluegrass was good at the foliar application rate of 15 g N m<sup>-2</sup> and the growth rate also increased as foliar application rate increased, but the top and root weight was not significantly affected by foliar application rates. The nitrate leaching following foliar application was 13.24-88.09 mg m<sup>-2</sup> indicating leaching rate of 0.58-1.76%, but it was not significantly different from those of the plot treated with the granular compound fertilizer. Kentucky bluegrass showed higher rating at leaf color, plant density and quality at the foliar application rate of 15 g N m<sup>-2</sup> per year with spay water volume of 50 mL m<sup>-2</sup>.

**Key words :** Foliar application, Kentucky bluegrass, Liquid fertilizer, Lysimeter, Nitrate leaching



### OPEN ACCESS

\*Corresponding Author:

Phone) +82-41-550-3631

Fax) +82-41-562-5339

Email) choi3644@dankook.ac.kr

**Received:** March 02, 2020

**Revised:** March 17, 2020

**Accepted:** March 20, 2020

© 2020 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서 언

최근 IT, BT, IoT 등 신 산업의 급속한 발전과 함께, 농업분야에 있어서도 수량과 양질의 확보에 꼭 필요로 하였던 농약과 비료의 무분별한 오남용에 따른 환경문제에 대한 적극적인 대처 방안이 기대되고 있다. 과거에는 개발 우선정책에 의하여 무심코 넘겼던 자연환경의 파괴와 오염에 따른 문제가 컸으나, 오늘날에는 친환경의 중요성이 더욱 크게 인식되고 있다.

화학비료 연간 총사용량은 2004년에 747,000톤에서 2016년에는 약 451,000톤으로 감소되고 있는 추세이며, 전체 경지 이용면적으로 환산하면 2016년도에 약 268 kg ha<sup>-1</sup>이 된다(Statistics Korea, 2019). 국가수자원관리 종합정보시스템(Environment and Ecology, 2019) 자료에 의하면 지하수 농업용수의 질산태 질소(NO<sub>3</sub>-N) 기준은 20 mg L<sup>-1</sup> 이하이고, 먹는 물 및 먹는 샘물 수질환경기준은 10 mg L<sup>-1</sup> 이하로 규정 되어있다. 통계청 체육 시설업 현황 자료(Statistics Korea, 2018)에 따르면 운영 중인 골프장수는 493개소로 꾸준히 증가 추세에 있다. 대규모로 공간을 차지하고 있는 골프장의 면적은 18홀 기준으로 약 60-80만 m<sup>2</sup>가 요구된다(Hurdzan, 2005).

잔디관리에서 질소 비료를 액체로 살포할 때 사용하는 물량은 20-40 gallons acre<sup>-1</sup>로 적게 살포할수록 잔디 잎에서 양분 흡수 효율이 약 18-19%로 좋았으며, 살포 물량을 80-100 gallons acre<sup>-1</sup>까지 늘렸을 경우에는 오히려 질소 흡수율이 약 14% 이하로 감소되어 물의 양이 많을 수록 질소의 흡수율은 오히려 낮아지는 것으로 나타났다(Bruce et al., 2010). 식물체 영양분 공급은 대체로 엽면시비가 뿌리를 통해 흡수되는 것보다 빠르지만 광, 온도, 상대습도, pH 등과 같은 환경의 영향을 많이 받는다고 알려져 있다(Tukey and Marczynski, 1984). Lee (2011)는 새로 조성된 켄터키 블루그래스에 다량의 질소 시비는 잔디의 품질을 개선시키지만, 인산 시비는 무처리와 비교하여 켄터키 블루그래스의 성장에 미치는 영향은 크지 않았다고 하였다. 켄터키 블루그래스의 잎에서 질산태 질소 흡수 동화는 야간에 더 크며, 뿌리의 경우도 이른 새벽에 흡수율이 가장 높고, 오후와 저녁에는 다시 감소되지만, 늦은 밤에는 다시 증가된다고 보고되고 있다(Jiang and Hull, 2008). 켄터키 블루그래스의 질산태 질소 흡수율은 어린 유묘일 경우에는 품종에 따른 차이가 커서 10-60 nmol h<sup>-1</sup> seedling<sup>-1</sup>이고, 성숙된 개체에서는 대체로 품종들 간에 차이는 크지 않았다고 보고하였다(Jiang and Sullivan, 2004).

Carrow et al. (2001)은 엽면시비 시 40 mL m<sup>-2</sup> 이하의 적은 살포 물량으로 질소 0.25-0.75 g N m<sup>-2</sup>를 잔디 잎에 95-100%를 뿌려줄 수 있다고 하여 저물량 살포의 가능성을 보고하였다. 또한, Branham et al. (2010)은 엽면시비에 의한 양분의 흡수는 환경 조건과 기타 요인에 따라 살포된 질소의 14-37%가 흡수되며, 살포량의 1/3 만 잎에 의하여 흡수되고 나머지는 잎 표면이나 토양과 대취 표면에서 미생물에 의하여 전환이 되기도 한다고 보고하였다. 토성에 따른 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 흡착력은 모래가 119 mg kg<sup>-1</sup>, Greensmix (모래85: 부식토15)가 125 mg kg<sup>-1</sup>, 양질사토는 149 mg kg<sup>-1</sup>, 그리고 사질식양토는 173 mg kg<sup>-1</sup>로, 모래에서 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 흡착력이 가장 적은 것으로 보고되고 있다(Gaines and Gaines, 1994).

세립질 토양에 켄터키 블루그래스 'Baron'을 조성 시 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 유출량을 조사한 결과 조성 초기에는 파종한 곳과 덧장으로 조성한 곳에서 각각 평균 16 mg L<sup>-1</sup>와 9.5 mg L<sup>-1</sup>이었고, 조성 후기인 가을에서 겨울 사이에는 두 곳이 비슷하다고 보고하였다(Geron et al., 1993). Zhang (2012)은 켄터키 블루그래스의 질산태 질소 흡수는 유전형 차이 보다는 뿌리의 형태와 구조의 차이가 더 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 제시하였다. Chen et al. (2007)은 모래지반에서 켄터키 블루그래스 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 유출량은 시비 초기에는 요소 처리구는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 성분이 약 38 mg kg<sup>-1</sup>, 완효성 복합비료 처리구는 약 19 mg kg<sup>-1</sup>으로 조성 초기에 완효성 비료 처리를 통해 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 유출량을 50%까지 줄일 수 있다고 보고하였다. 또한 Mangiafico and Guillard (2006)은 켄터키 블루그래스 조성 기간 동안 용탈수의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 농도가 40 mg L<sup>-1</sup> 이상이 관측되기도 하였고, Frank et al. (2006)은 켄터키 블루그래스에 저질소 또는 고질소 시비에 따른 평균 질소 회수율은 예지물을 포함한 식물체 전체와 용탈된 양을 다 합하여 74-78%라고 보고하였다.

본 실험은 액상비료의 엽면시비 시 물량과 질소 수준에 따른 켄터키 블루그래스의 생육량과 질소, 인산, 칼륨의 용탈량을 조사하여, 저물량 살포를 통한 시비 효율증대, 과다 시비 시 수질오염 정도, 그리고 비료 살포량 절감 가능성 등을 알아보고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

본 연구는 2013년 9월부터 2015년 9월까지 2년 동안 충청남도 천안 소재의 단국대학교 시험포장에서 수행되었다.

시험구 조성은 용탈량 측정을 위하여 간이 라이시미터를 이용하였으며, 라이시미터 규격은 합성수지 재질의 직경 44 cm, 깊이 60 cm이다. 한 구당 면적이 약 0.15 m<sup>2</sup>의 둥근 형태의 통을 사용하였다. 통 안에 관을 삽입하여 용탈수를 수집할 수 있는 구조로 제작되었다. 지반은 USGA 방식을 다소 변형하여 바닥에 자갈층 30 cm를 깔고 중간층은 한랭사를 사용하였다. 한랭사 위에 모래와 유기물(피트모스, v/v 10%)을 혼합하여 35 cm의 상토층을 조성하였다.

공시재료는 켄터키 블루그래스(*Poa pratensis* L.) 'Midnight' 품종이고, 2013년 9월에 뗏장을 식재하고 관리하였으며, 시비처리 방법은 대조구인 관행 입제비료로는 '입상복합비료(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=16-4-8, Grigg Brothers, Albion, USA)'를 15 g N m<sup>2</sup> y<sup>-1</sup> 수준으로 연간 시비계획에 맞추어 Table 1과 같이 살포하였다. 액비의 엽면시비는 '복합액비(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-Fe-Cu-Mn-Zn=13-2-3-0.1-0.2-0.2, Grigg Brothers, Albion, USA)'를 15 g (FFA15), 10 g (FFA10), 5 g N m<sup>2</sup> y<sup>-1</sup> (FFA5)으로 살포되었다. 액비의 엽면시비는 견착식 CO<sub>2</sub> 압축 스프레이기(Tee-jet Nozzle: VS8002, TeeJet Technologies, Springfield, USA) 장비를 사용하였고, 이때 살포물량이 50 mL m<sup>2</sup>가 되도록 조절하여 처리를 하였다. 입상복합비료의 경우 시험구당 면적이 작아서 손 뿌림 방법으로 살포하였다. 잔디관리는 깎기의 경우 어프로치모아(Green King 526a, JACOBSEN Co., Charlotte, USA)를 이용하여 3일 간격으로 일주일에 2회 실시하였으며, 잔디 깎기 높이는 20 mm 로 일정하게 유지하여 주었다. 관수는 스프링클러를 이용하여 하루에 15분씩 주었다.

**Table 1.** Fertilization schedules of Kentucky bluegrass at the experimental plot from 2014 to 2015.

| Application dates                           | 2014                                   |      |       |       | Application dates                           | 2015                             |      |       |       |
|---|--|------|-------|-------|---|----------------------------------|------|-------|-------|
|   | Fertilizer type and rates <sup>z</sup> |      |       |       |   | Fertilizer type and rates        |      |       |       |
|   | GR                                     | FFA5 | FFA10 | FFA15 |   | GR                               | FFA5 | FFA10 | FFA15 |
|   | ----- (g m <sup>-2</sup> ) -----       |      |       |       |   | ----- (g m <sup>-2</sup> ) ----- |      |       |       |
| Apr. 11                                     | 4                                      | 0.5  | 1     | 1     | Apr. 10                                     | 4                                | 0.5  | 1     | 1     |
| Apr. 18                                     | -                                      | -    | -     | 1     | Apr. 17                                     | -                                | -    | -     | 1     |
| Apr. 25                                     | -                                      | 0.5  | 1     | 1     | Apr. 24                                     | -                                | 0.5  | 1     | 1     |
| May. 2                                      | -                                      | -    | -     | 1     | May. 1                                      | -                                | -    | -     | 1     |
| May. 9                                      | 4                                      | 0.5  | 1     | 1     | May. 8                                      | 4                                | 0.5  | 1     | 1     |
| May. 16                                     | -                                      | -    | -     | 1     | May. 15                                     | -                                | -    | -     | 1     |
| May. 23                                     | -                                      | 0.5  | 1     | 1     | May. 22                                     | -                                | 0.5  | 1     | 1     |
| Jun. 13                                     | -                                      | -    | 0.3   | 0.5   | Jun. 12                                     | -                                | -    | 0.3   | 0.5   |
| Jun. 27                                     | -                                      | 0.3  | 0.3   | 0.5   | Jun. 26                                     | -                                | 0.3  | 0.3   | 0.5   |
| Jul. 11                                     | -                                      | -    | 0.3   | 0.5   | Jul. 10                                     | -                                | -    | 0.3   | 0.5   |
| Jul. 25                                     | -                                      | 0.3  | 0.3   | 0.5   | Jul. 24                                     | -                                | 0.3  | 0.3   | 0.5   |
| Aug. 15                                     | -                                      | -    | 0.3   | 0.5   | Aug. 14                                     | -                                | -    | 0.3   | 0.5   |
| Aug. 29                                     | -                                      | 0.4  | 0.5   | 0.5   | Aug. 28                                     | -                                | 0.4  | 0.5   | 0.5   |
| Sep. 12                                     | 4                                      | 0.5  | 1     | 2     | Sep. 11                                     | 4                                | 0.5  | 1     | 2     |
| Sep. 26                                     | -                                      | 0.5  | 1     | 1     | Sep. 25                                     | -                                | 0.5  | 1     | 1     |
| Oct. 10                                     | 3                                      | 0.5  | 1     | 1     | Oct. 9                                      | 3                                | 0.5  | 1     | 1     |
| Oct. 24                                     | -                                      | 0.5  | 1     | 1     | Oct. 23                                     | -                                | 0.5  | 1     | 1     |
| Total (g m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> ) | 15                                     | 5    | 10    | 15    | Total (g m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> ) | 15                               | 5    | 10    | 15    |

<sup>z</sup> GR: Granular fertilizer (16:4:8) N ai 15 g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>; FFA5: Liquid fertilizer (13:2:3) N ai 5 g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>; FFA10: Liquid fertilizer (13:2:3) N ai 10 g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>; FFA15: Liquid fertilizer (13:2:3) N ai 15 g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>.

시험구 배치는 난괴법으로 하였으며, 시비 처리는 입상복합비료 한 수준과 복합액비의 엽면시비 3 수준 등 총 4 처리를 4반복으로 하여 총 16개 처리구가 사용되었다.

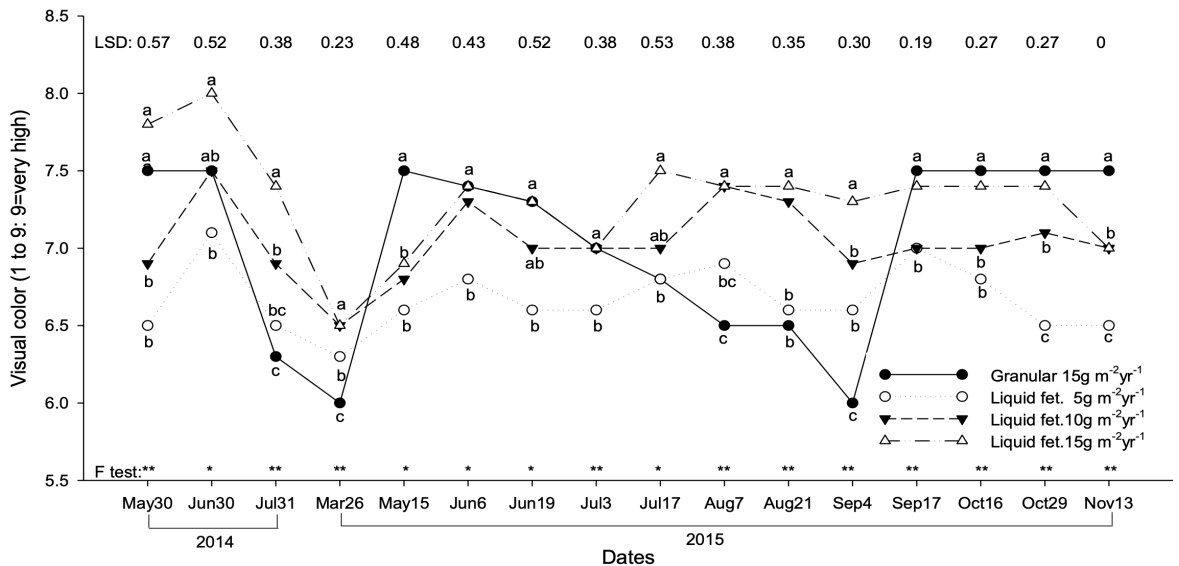
조사는 생육량과 용탈수의 화학성 분석을 하였다. 생육량 조사는 초장, 뿌리길이, 분얼경수, 지상부·지하부 건물중 등을 조사하였다. 지상부 및 지하부 건물중은 건조기(MOV-112, SANYO, Osaka, Japan)에서 80°C로 48시간동안 건조시킨 후에 전자저울(CBX-22KH, CAS, Seoul, Korea)을 이용하여 무게를 측정하였다. 잔디 엽색과 품질은 가시적 평가(3인; 1-9점수; 9=가장 좋음) 방법으로 조사하였다. 용탈수의 분석은 용탈수량과 pH (720P: ISTEK, Seoul, Korea), 전기전도도 (electrical conductivity, EC; Cond 720, inoLab, Weilheim, Germany)를 조사하였다. 질산태 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)와 인산(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)은 이온크로마토그래피(ICS-5000, Thermo, Sunnyvale, USA)를 이용하였고, 칼륨(K)의 함량은 유도결합플라즈마-원자발광분광법(ICP-730-ES, VARIAN, Palo Alto, USA)를 이용하여 분석하였다.

수집된 각 조사항목 데이터의 통계분석은 SAS (Statistical Analysis system ver. 9.1, Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 ANOVA 분산분석을 수행하였고, 용탈량 조사시 샘플 조사가 안된 결측구의 보정을 위한 general linear model (GLM) 분산분석과, least significant difference (LSD) 및 Duncan 검정을 하였다.

## 결과 및 고찰

### 잔디 엽색

1년차 실험 결과 FFA15 처리구가 가장 좋은 잔디 엽색을 보여주었다(Fig. 1). 5월 30일의 경우 FFA15 처리구의 가시적 평가 점수가 7.8로 엽색이 좋았다. FFA10 처리구와 FFA5 처리구의 경우 각각 6.9, 6.5로 엽색의 녹색도가 낮아졌다. 이런 경향은 6월, 7월에도 같은 결과를 보임으로서 FFA15 처리구가 켄터키 블루그래스의 엽색을 진녹색으로 유지시켜 준다고 판단되었다.



**Fig. 1.** Visual color of Kentucky bluegrass at the different foliar fertilization rates in 2014 and 2015. Least significant difference (LSD),  $P=0.05$  (\*),  $P=0.01$  (\*\*), not significantly (NS).

2차년도 조사에서도 잔디 엽색은 처리간에 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였다. 3월부터 11월까지 대부분의 시기에서 FFA15 처리구의 잔디 엽색이 가장 진했다. 액비 엽면시비 농도가 낮아질 수록 잔디 녹색도가 감소하는 결과를 보였으나, 대조구와 비교하여 FFA10 처리구는 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 고온기에는 대조구 보다 더 높거나 유사한 엽색을 유지하였다.

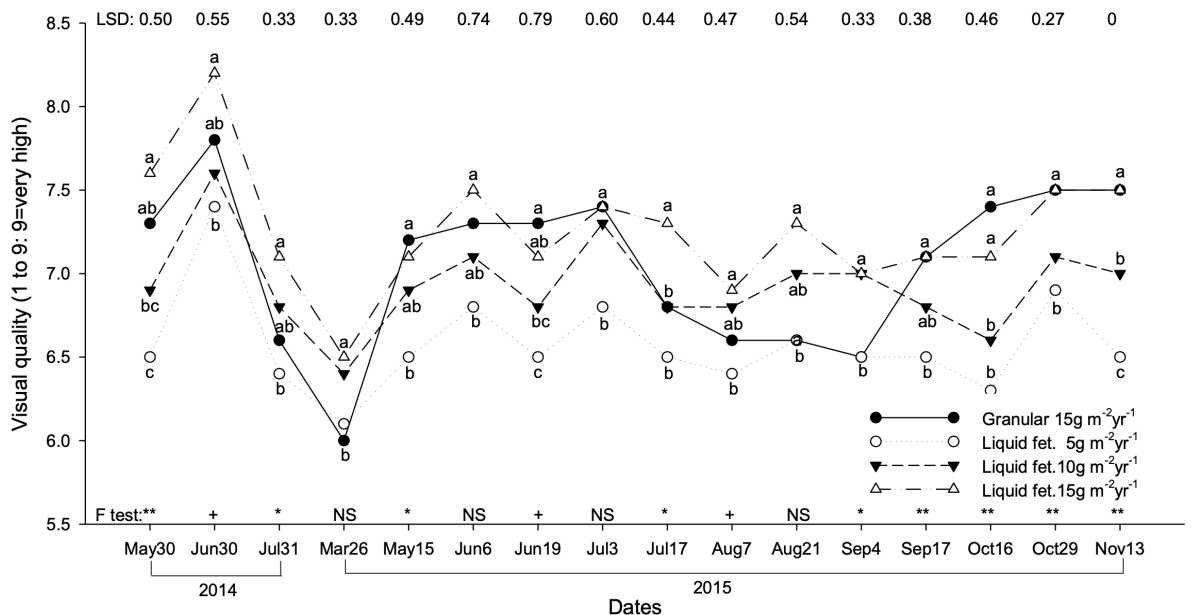
상기 결과로 볼 때 살포물량 50 mL m<sup>2</sup>로 액비를 연간 N ai 10 g m<sup>2</sup> 살포시 입상비료로 N ai 15 g m<sup>2</sup> 살포와 비교시 유사하거나 높은 엽색을 고온기에 나타내는 것으로 조사되었다. Spangenberg et al. (1986)은 7월 이후부터 10월까지의 현탁액비 처리구가 요소 처리구 보다는 켄터키 블루그래스의 엽색이 전반적으로 개선된다는 결과와도 유사하였다.

### 잔디 품질

1년차 실험결과 FFA15 처리구의 잔디품질이 5월 30일, 6월 30일, 7월 31일 조사에서 각각 7.6, 8.2, 7.1로 나타나 다른 처리구에 비해 높은 품질을 보여주었다(Fig. 2). 그리고 동 기간에 대조구의 가시적 잔디품질은 각각 7.3, 7.8, 6.6으로 FFA15 처리구보다 평가 점수가 낮았다.

2년차 실험에서도 켄터키 블루그래스의 품질은 FFA15 처리구가 전 기간에 걸쳐서 7.1 이상의 높은 품질을 보여주었다. 대조구는 봄철과 가을철에는 잔디품질이 우수하였지만, 고온기에는 FFA15 처리구보다 낮은 잔디 품질을 나타내어 액비 처리 시 잔디품질이 개선되는 것을 알 수 있었다. 그럼으로 살포물량 50 mL m<sup>2</sup>로 액비를 연간 N ai 15 g m<sup>2</sup> 살포를 통해 여름철 고온기 켄터키 블루그래스의 품질을 지속적으로 높게 유지할 수 있다고 판단되었다. FFA5 처리구의 가시적 평가점수는 6.5 전후로 FFA15 처리구와 비교하여 잔디 품질이 떨어졌다.

이상의 결과를 종합하면 FFA의 시비량 시험에서 켄터키 블루그래스의 잔디 엽색, 품질은 연간 10 g N m<sup>2</sup> 이상 시비시 대조구(15 g N m<sup>2</sup> year<sup>-1</sup>)와 비교하여 품질의 차이가 없었으며, 여름철 고온기에도 안전하게 시비가 가능하여 연중 좋은 잔디 상태를 유지할 수 있었다.



**Fig. 2.** Visual quality of Kentucky bluegrass at the different foliar fertilization rates in 2014 and 2015. Least significant difference (LSD),  $P=0.1$  (+),  $P=0.05$  (\*),  $P=0.01$  (\*\*), not significantly (NS).



## 잔디 생육

잔디 생육 조사는 2차년도인 2015년 4월 25일 조사에서 대조구(GR)와 비교시 초장, 근장, 지상부 건물중, 지하부 건물중 및 잔디의 줄기 밀도가 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다(Table 2). 고온기에 들어선 6월 26일 조사에서는 대조구와 비교할 때 초장과 뿌리 길이는 FFA15 처리구만 차이를 보이지 않았으며, 지상부 건물중 및 지하부 건물중은 모든 처리구에서 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 잔디 줄기 밀도는 FFA15 처리구에서 2,946 ea m<sup>2</sup> 로서 가장 많았으며 통계적으로 차이를 보였다.

**Table 2.** Growth of Kentucky bluegrass at the different foliar fertilization rates in 2015.

| Source of nitrogen <sup>y</sup> | Plant height (mm)  | Root length (cm) | DW of shoot (g m <sup>-2</sup> ) | DW of root (g m <sup>-2</sup> ) | Shoot numbers (ea m <sup>-2</sup> ) |
|---------------------------------|--------------------|------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Apr. 25                         |                    |                  |                                  |                                 |                                     |
| GR                              | 16.3a <sup>z</sup> | 17.7a            | 1.04a                            | 2.63a                           | 294.6a                              |
| FFA5                            | 23.5a              | 16.2a            | 1.03a                            | 2.07a                           | 270.7a                              |
| FFA10                           | 19.3a              | 15.5a            | 0.96a                            | 1.99a                           | 222.9a                              |
| FFA15                           | 23.0a              | 17.2a            | 0.96a                            | 2.63a                           | 278.7a                              |
| Nitrogen                        | NS                 | NS               | NS                               | NS                              | NS                                  |
| Jun. 26                         |                    |                  |                                  |                                 |                                     |
| GR                              | 26.5ab             | 16.5a            | 1.19a                            | 1.35a                           | 183.1a                              |
| FFA5                            | 25.3b              | 16.2a            | 1.35a                            | 1.43a                           | 119.4a                              |
| FFA10                           | 27.8a              | 17.5a            | 1.49a                            | 1.51a                           | 183.2a                              |
| FFA15                           | 26.8a              | 16.5a            | 1.27a                            | 1.27a                           | 199.1a                              |
| Nitrogen                        | *                  | NS               | NS                               | NS                              | NS                                  |
| Aug. 28                         |                    |                  |                                  |                                 |                                     |
| GR                              | 26.5ab             | 16.5a            | 1.19a                            | 1.35a                           | 183.1a                              |
| FFA5                            | 25.3b              | 16.2a            | 1.35a                            | 1.43a                           | 119.4a                              |
| FFA10                           | 27.8a              | 17.5a            | 1.49a                            | 1.51a                           | 183.2a                              |
| FFA15                           | 26.8a              | 16.5a            | 1.27a                            | 1.27a                           | 199.1a                              |
| Nitrogen                        | *                  | NS               | NS                               | NS                              | NS                                  |
| Oct. 20                         |                    |                  |                                  |                                 |                                     |
| GR                              | 31.7a              | 6.0b             | 1.43a                            | 0.79a                           | 254.8a                              |
| FFA5                            | 24.5b              | 7.0ab            | 1.27a                            | 1.27a                           | 167.2a                              |
| FFA10                           | 25.5b              | 9.0ab            | 0.95a                            | 1.43a                           | 183.1a                              |
| FFA15                           | 25.7b              | 10.50a           | 1.27a                            | 1.43a                           | 254.8a                              |
| Nitrogen                        | **                 | *                | NS                               | NS                              | NS                                  |

<sup>y</sup> GR: Application of granular fertilizer (16:4:8) N ai 15 g m<sup>-2</sup> per year; FFA5: Application of liquid fertilizer (13:2:3) N ai 5 g m<sup>-2</sup> per year; FFA10: Application of liquid fertilizer (13:2:3) N ai 10 g m<sup>-2</sup> per year; FFA15: Application of liquid fertilizer (13:2:3) N ai 15 g m<sup>-2</sup> per year.

<sup>z</sup> Means with the same letter within column are not significantly different at  $P=0.01$ , 0.05, and 0.1 by least significant difference (LSD) test.

$P=0.05$  (\*),  $P=0.01$  (\*\*), not significantly (NS).

8월 28일 조사에서는 대조구와 비교할 때, 초장이 FFA5 처리구가 25.3 mm로 가장 짧게 조사되었다. 그러나 뿌리 길이, 지상부 건물중, 지하부 건물중, 잔디 줄기 밀도는 처리간에 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 10월 20일 조사에서는 잔디의 초장은 대조구가 31.7 mm로 가장 길었다. 반면에 뿌리 길이는 FFA15 처리구가 10.5 cm로 가장 길었고, 대조구의 뿌리 길이는 6.0 cm로 매우 짧게 조사되었다. 지상부 건물중, 지하부 건물중, 잔디 줄기 밀도는 처리간에 통계적으로 유의적인 차이가 관찰되지 않았다.

상기 조사결과 대조구인 입상복합비료 살포와 액비살포 간에 지상부 건물중, 지하부 건물중, 잔디밀도 등의 차이는 전반적으로 관찰되지 않았다. 그러나 초장과 뿌리 길이는 액비살포 농도가 낮을수록 감소하는 결과를 보였다. Moore et al. (1996)은 늦은 가을 시비가 연중 균일하게 나누어준 시비보다는 뿌리의 생육이 증가하고, 완효성 보다는 속효성 질소의 시비가 잔디 생육을 개선한다고 보고하였으나, 본 실험에서 엽면시비와 입제비로 시비 시 봄철에는 생육과 품질에 큰 차이를 보이지 않았으며, 여름철에는 FFA15 처리시 생육과 품질이 개선된 것으로 보아 살포물량 50 mL m<sup>2</sup>로 액비를 연간 N ai 15 g m<sup>2</sup> 꾸준하게 나누어 시비하는 것이 여름철 고온기 켄터키 블루그래스의 생육 증진에 도움이 되는 것으로 판단되었다.

### 용탈수량 및 화학성

라이시미터에서 받아낸 총 용탈수량은 연간 930.7-655.1 L m<sup>2</sup>의 범위를 보였으며, 처리구간에 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Table 3). 2014년의 경우 조성 된지 얼마 지나지 않은 생육 기반 조건에 기인하여 전반적으로 FFA처리구별 용탈수량은 차이를 나타내었으나 처리구간에 통계적 유의차는 나타나지 않았다.

**Table 3.** Annual leaching rates of water average pH, EC of Kentucky bluegrass plots at the different foliar fertilization rates.

| Source of nitrogen <sup>y</sup> | Annual leaching rates of water<br>(L m <sup>-2</sup> ) |        | pH   |       | EC<br>(dS m <sup>-1</sup> ) |       |
|---------------------------------|--|--------|------|-------|-----------------------------|-------|
|                                 | 2014   | 2015   | 2014 | 2015  | 2014                        | 2015  |
| GR                              | 930.7a <sup>z</sup>                                    | 752.3a | 7.3a | 8.23a | 0.40a                       | 0.47a |
| FFA5                            | 702.0a   | 811.8a | 7.4a | 8.22a | 0.47a                       | 0.33b |
| FFA10                           | 655.1a   | 829.8a | 7.4a | 8.15a | 0.40a                       | 0.34b |
| FFA15                           | 912.4a   | 770.9a | 7.4a | 8.26a | 0.37a                       | 0.34b |
| LSD                             | 282.69   | 181.38 | 0.11 | 0.152 | 0.11                        | 0.06  |
| Trt.                            | NS   | NS     | NS   | NS    | NS                          | **    |
| Block                           | NS   | **     | NS   | NS    | NS                          | †     |

<sup>y</sup>GR: Application of granular fertilizer (16:4:8) N ai 15g m<sup>-2</sup> per year; FFA5: Application of liquid fertilizer (13:2:3) N ai 5 g m<sup>-2</sup> per year; FFA10: Application of liquid fertilizer (13:2:3) N ai 10 g m<sup>-2</sup> per year; FFA15: Application of liquid fertilizer (13:2:3) N ai 15 g m<sup>-2</sup> per year.

<sup>z</sup> Means with the same letter within column are not significantly different at P=0.01, 0.05 and 0.1 by least significant difference (LSD) test.

P=0.1 (†), P=0.05 (\*), P=0.01 (\*\*), not significantly (NS).

용탈수의 pH도 엽면시비 및 입상복합비료 시비 처리에 따른 통계적인 유의성을 보이지 않았다. 조성 2년차 연평균 pH가 8.2 전후로 나타나 1차년 pH 7.4 와 비교하여 전반적으로 높게 조사되었다. Spangenberg et al. (1986)은 켄터키 블루그래스에 요소액비 처리구와 요소입제 처리구의 토양 pH는 각각 6.37, 6.32 로 큰 차이를 보이지 않았다고 보고된 결과와 유사하게 본 실험에서도 입제와 엽면시비에 따른 용탈수의 pH는 차이를 보이지 않았다. 용탈수의 pH가 8.2 전후로 높아진 원인에 대해서는 추가적인 분석이 요구된다고 판단되었다.

엽면시비 처리에 따른 용탈수의 전기전도도는 조사 1년차의 경우 처리구 별 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았으나 2년차 조사시에는 대조구인 입상복합비료 처리구가 0.47 dS m<sup>-1</sup>로 FFA5 처리구 0.33 dS m<sup>-1</sup>에 비해 높게 조사되어 입상복합비료 처리시 액비처리구에 비해 염류 용탈량이 증가되었던 것으로 판단되었다.

### 질산태 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N) 용탈

시험 2년차 조사 시 7-8월 고온기 조사에서는 처리구간에 질산태 질소 용탈량이 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 4). 그러나 가을철인 9월 5일과 11일에 용탈 총량은 FFA15 처리구가 각각 30.7, 28.33 mg N m<sup>2</sup>로 가장 많은 양의 질산태 질소 용탈량을 보였고, 처리간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 그러나 9월 17일 이후 조사 시에는 질산태 질소 용탈량의 차이는 관찰되지 않았다.

**Table 4.** Total amount of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, K leaching from the sand-based rootzone grown with Kentucky bluegrass at the different foliar fertilization rates in 2015.

| Source of nitrogen <sup>x</sup>                        | Application dates |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                  |                  |                  |                   | Sub Totally <sup>y</sup><br>(9/11-10/24) | Leaching percentage<br>(%) |
|--|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--|----------------------------|
|  | 7/24              | 7/31            | 8/7             | 8/15            | 8/21            | 9/5             | 9/11             | 9/17             | 9/29             | 10/9             | 10/24             |  |                            |
|  | G:5/8<br>L:7/24   | G:5/8<br>L:7/24 | G:5/8<br>L:8/14 | G:5/8<br>L:8/14 | G:5/8<br>L:8/28 | G:5/8<br>L:8/28 | G:9/11<br>L:9/11 | G:9/11<br>L:9/11 | G:9/11<br>L:9/15 | G:10/9<br>L:10/9 | G:10/9<br>L:10/23 |  |                            |
| <b>NO<sub>3</sub>N (mg m<sup>-2</sup>)</b>             |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                  |                  |                  |                   |  |                            |
| GR   | 0.0a <sup>z</sup> | 0.66a           | 1.66a           | 5.45a           | 0.42a           | 5.0b            | 0.50b            | 2.83a            | 0.75a            | 40.5             | 0a                | 24.34ab                                  | 0.35a                      |
| FFA5   | 3.18a             | 1.63a           | 0.67a           | 4.39a           | 1.33a           | 4.0b            | 2.00b            | 3.58a            | 3.78a            | 2.8              | 4.6a              | 13.24b                                   | 0.66a                      |
| FFA10  | 6.25a             | 1.55a           | 1.00a           | 5.48a           | 1.79a           | 5.5b            | 4.18b            | 7.10a            | 6.29a            | 2.7              | 2.8a              | 23.01ab                                  | 0.58a                      |
| FFA15  | 18.18a            | 4.47a           | 6.79a           | 7.48a           | 0.63a           | 30.7a           | 28.33a           | 34.73a           | 13.74a           | 25.0             | 18.6a             | 88.09a                                   | 1.76a                      |
| LSD  | 22.64             | 5.42            | 9.05            | 7.71            | 2.32            | 19.39           | 18.93            | 36.73            | 14.60            | -                | 22.38             | 68.49                                    | 1.54                       |
| Std. Error   | 3.80              | 0.91            | 1.45            | 1.03            | 0.42            | 4.31            | 3.70             | 6.38             | 2.06             | -                | 3.18              | 12.34                                    | 0.25                       |
| <b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg m<sup>-2</sup>)</b> |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                  |                  |                  |                   |  |                            |
| GR   | 0a                | 0a              | 0a              | 0a              | 0a              | 0.25a           | 0a               | 0a               | 0a               | 0                | 0a                | 0a                                       | 0a                         |
| FFA5   | 0a                | 0a              | 0a              | 0.35a           | 0a              | 0.40a           | 0a               | 0a               | 0a               | 0                | 0a                | 0a                                       | 0a                         |
| FFA10  | 0a                | 0a              | 0.17a           | 0.65a           | 0.6a            | 0.50a           | 0.6a             | 0.4a             | 0.77a            | 0.1              | 0a                | 1.86a                                    | 0.14a                      |
| FFA15  | 0a                | 0.4a            | 0a              | 0.30a           | 0a              | 2.12a           | 0.7a             | 0a               | 1.17a            | 0                | 0a                | 1.66a                                    | 0.10a                      |
| LSD  | 0                 | 0.72            | 0.27            | 0.67            | 0.67            | 3.48            | 0.96             | 0.64             | 2.50             | -                | 0                 | 3.02                                     | 0.19                       |
| Std. Error   | 0                 | 0.11            | 0.05            | 0.14            | 0.11            | 0.49            | 0.16             | 0.10             | 0.34             | -                | 0                 | 0.47                                     | 0.03                       |
| <b>K (mg m<sup>-2</sup>)</b>                           |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                  |                  |                  |                   |  |                            |
| GR   | 530.2a            | 144.9a          | 102.1b          | 99.8a           | 153.7a          | 98.2a           | 70.1a            | 119.0b           | 68.3a            | 52.5             | 49.6ab            | 308.5b                                   | 4.41c                      |
| FFA5   | 516.4a            | 126.0b          | 104.8ab         | 79.2a           | 161.8a          | 106.0a          | 69.1a            | 126.7b           | 89.0a            | 33.4             | 50.1ab            | 316.9b                                   | 23.76a                     |
| FFA10  | 683.2a            | 148.6a          | 118.8ab         | 83.7a           | 158.8a          | 87.3a           | 77.6a            | 115.8b           | 82.2a            | 34.3             | 43.4b             | 353.4ab                                  | 13.25ab                    |
| FFA15  | 578.2a            | 140.1a          | 166.9a          | 89.6a           | 137.4a          | 114.3a          | 91.2a            | 161.6a           | 113.8a           | 114.6            | 134.1a            | 530.3a                                   | 15.91bc                    |
| LSD  | 245.4             | 26.26           | 64.69           | 25.98           | 54.49           | 29.09           | 29.88            | 32.64            | 71.48            | -                | 85.41             | 196.38                                   | 9.71                       |
| Std. Error   | 39.43             | 5.98            | 17.90           | 5.02            | 19.27           | 7.20            | 4.61             | 8.63             | 12.99            | -                | 15.76             | 43.78                                    | 2.38                       |

<sup>x</sup>GR: Application of granular fertilizer (16:4:8) N ai 15 g m<sup>-2</sup> per year; FFA5: Application of liquid fertilizer (13:2:3) N ai 5 g m<sup>-2</sup> per year; FFA10: Application of liquid fertilizer (13:2:3) N ai 10 g m<sup>-2</sup> per year; FFA15: Application of liquid fertilizer (13:2:3) N ai 15 g m<sup>-2</sup> per year.

<sup>y</sup> Correction of missing plot data by general linear model (GLM) analysis procedure of SAS.

<sup>z</sup> Means with the same letter within column are not significantly different at P=0.01, 0.05 and 0.1 by least significant difference (LSD) test.

입상복합비료와 액비의 엽면시비가 동시에 들어간 9월 11일부터 10월 24일까지 용탈된 질산태 질소 총량의 합은 FFA5 처리구가 13.24 mg N m<sup>2</sup>로 용탈량이 가장 적었고, FFA15 처리구가 88.09 mg N m<sup>2</sup>로 가장 많은 것으로 나타나 액비 살포농도가 높을 수록 용탈량도 증가된 것으로 나타났다.



동 기간의 질산태 질소 용탈 총량으로 시비 투입량 대비 유출량 비율을 환산하면 9월 11일부터 10월 24일까지의 FFA5 저농도 처리구에 투입된 질소량은 총 2,000 mg N m<sup>2</sup>이 투입되었고, 질산태 질소의 용탈율은 약 0.66%를 나타내었다. FFA15 처리구의 질소 투입량은 총 5,000 mg N m<sup>2</sup> 이었으며, 그 중에 약 88.09 mg N m<sup>2</sup>의 질산태 질소가 용탈되어 투입량 대비 약 1.76%를 나타내었다. 또한 대조구의 질소 총 투입량은 7,000 mg N m<sup>2</sup> 이었으며, 동 기간에 용탈된 질산태 질소의 총량은 24.34 mg N m<sup>2</sup> 이고 투입에 따른 질산태 질소의 회수율은 약 0.35%였다. 그러나 입상복합비료와 액비 엽면 시비 농도 처리에 따른 통계적인 유의성은 없는 것으로 보아 켄터키 블루그래스는 시비 방법 및 엽면시비 농도에 따른 질산태 질소의 용탈량 차이는 크지 않은 것으로 판단된다.

### 인산(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) 용탈

대부분의 시기에서 인산은 0-1 mg m<sup>2</sup> 이하로 낮게 용탈되었다. 대조구는 9월 5일에 0.25 mg m<sup>2</sup>가 인산이 용탈수에서 검출된 것을 제외하고는 다른 조사시기에는 검출되지 않았다. 엽면시비 처리구들은 시기에 따라 일부 인산이 용탈되었으나 대부분 1 mg m<sup>2</sup> 이하였다. 같은 시기에 입상복합비료 및 액비의 엽면시비가 들어간 9월 11일부터 10월 24일까지 인산 유출 총량은 대조구와 FFA5 처리구에서 유출은 없었으며, FFA10, FFA15 처리구의 용탈수에서 인산은 각각 1.86, 1.66 mg m<sup>2</sup>가 용탈되었지만 처리간에 통계적으로 유의적인 차이는 없었다.

시비 투입량 대비 용탈된 인산의 비율을 환산한 결과 0-0.14%를 나타내어 켄터키 블루그래스가 식재된 모래 토양에서 인산의 용탈은 시비 방법에 따른 영향을 나타내지 않을 것으로 판단된다.

### 칼륨(K) 용탈

7월 24일에 액비 엽면시비 처리구는 시비농도에 따라 칼륨 용탈 총량은 각각 516.4, 683.2, 578.2 mg m<sup>2</sup>을 보였지만 처리간에 통계적으로 유의적인 차이는 없었다. 연간 시비 계획에 따라 5월 8일에 입상복합비료 처리 후부터 2달이 지났음에도 불구하고 7월 24일의 조사에서 칼륨 530.2 mg m<sup>2</sup>가 용탈되었다. 9월 17일 조사에서는 FFA15 처리구의 칼륨 용탈 총량이 161.6 mg m<sup>2</sup>로 가장 많았으며, 처리구간에 통계적으로 유의적인 차이를 보였다. 그러나 9월 29일 조사시 부터는 처리구간에 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다.

9월 11일부터 10월 24일까지 용탈된 칼륨의 총량은 액비 엽면시비 농도에 따라 각각 316.9, 353.4, 530.3 mg m<sup>2</sup> 이었다. 대조구인 입상복합비료 처리구는 308.5 mg m<sup>2</sup>로 나타나 가장 적은 칼륨 용탈량을 보였다. 칼륨 용탈 총량을 투입량 대비 용탈량으로 나누어 환산하면 엽면시비 처리구는 농도에 따라 각각 23.76, 15.91, 13.25%가 용탈되었고, 대조구에서는 4.41%가 용탈되었다. 따라서 칼륨은 대조구인 입상복합비료 처리구에 비해 액비로 처리할 때 용탈율이 증가하는 것으로 판단된다.

## 고 찰

Geron et al. (1993)은 늦은 여름과 초가을에 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 유출이 가장 많았으며, 그 이유는 새로운 뿌리의 생성과 신장이 억제되고, 연중 시기적으로 이 기간이 식물체 내의 질소 흡수가 감소되는 시기 때문인 것으로 추측된다고 하였다. 본 실험에서도 초가을인 9월초에 질산태 질소의 용출량이 많았던 것으로 조사되었다. Engelsjord and Singh (1997)은 모래지반에 완효성 질소 시비에 따른 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N의 용탈율은 1.1-2.9% 이고, 용탈량은 2 mg L<sup>-1</sup> 이하라고 보고한 바 있다. Frank et al. (2006; 2016)은 켄터키 블루그래스에서 용탈된 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 농도는 통상적으로 5 mg L<sup>-1</sup> 이하였으나, 245 kg N ha<sup>-1</sup> 처리 시에는 음용수 기준인 10 mg L<sup>-1</sup> 을 초과하여 용탈되고, 시비 질소의 1-11%가 용탈된다고 보고하였다. Hesketh et al. (1995)은 켄터키 블루그래스의 조성 중 시비에 따른 질소의 용탈율은 최소 0.1%에서 최대 7.9%라고 보고하였는데, 본 실험에서도 환경 오염에 문제가 되는 질산태 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N)의 용탈율은 1% 내외 인 것으로 조사되었다. 또한 입상복합비료 처리구와 엽면

시비 처리구간에 질산태 질소 용탈량 차이는 크지 않았다. Zhang et al. (2013a)은 토양 답압이 켄터키 블루그래스의 질소 흡수 및 질소 용탈에 영향을 준다고 하였으며, 품종에 따른 질소 용탈률은 각각 2.6-19, 2.8-21% 라고 보고하였다. 또한 Zhang et al. (2013b)은 켄터키 블루그래스 품종에 따라 질소 흡수율이 다르며, 또한 질소의 흡수는 공급된 질소 농도에 따라서도  $\text{NO}_3^-$  흡수율에 변화가 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 켄터키 블루그래스의 질산태질소 용탈률은 최대 1.76%로 위의 보고 보다는 용탈률이 적었으나 이는 인위적인 답압의 조건이 배제된 환경의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 그러나 Guillard and Kopp (2004)에 의하면 켄터키 블루그래스와 페레니얼 라이그래스 및 크리핑 레드웨스큐를 혼합하여 조성한 한지형잔디에 살포된 가용성 질소인 질산암모늄의 연평균  $\text{NO}_3^-$  용탈률은 16.8% 이었고, 폴리머+황 코팅된 완효성 요소비료(polymer-coated sulfur-coated urea, PCSCU)의 살포시 용탈률은 1.7% 이며, 유기질비료를 시비시 용탈률은 0.6% 라고 한 보고와 유사한 결과를 보인 것으로 생각된다.

인산은 대부분 토양에 고정되어 용탈량이 매우 적었던 것으로 판단되며, 칼륨은 시비방법 및 시비농도에 관계없이 지속적으로 용탈이 많은 것을 확인하였다. 또한 칼륨은 엽면시비와 입상복합비료 처리간에 용탈량은 큰 차이가 없었으나, 용탈율은 액비 엽면시비 처리구가 2-3배 이상으로 높았다.

## 요약

엽면시비시 켄터키 블루그래스의 생육과 토양 용출수 중 질소, 인산, 칼륨의 용탈량을 조사하고자 본 연구가 수행되었다. 모래상토가 충전된 라이시미터에 켄터키 블루그래스를 식재하였다. 엽면시비용 복합액비로 FFA (fertilizer for foliar application,  $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O-Fe-Cu-Mn-Zn}=13\text{-}2\text{-}3\text{-}1\text{-}0.1\text{-}0.2\text{-}0.2$ )와 대조구(복합비료, 입상,  $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=16\text{:}4\text{:}8$ )를 사용하였다. 엽면시비는 연간 15 g (FFA15), 10 g (FFA10), 5 g  $\text{N m}^2$  (FFA5) 수준이었고, 살포 물량은  $50 \text{ mL m}^2$ 으로 하였다. 켄터키 블루그래스의 엽색과 품질은 FFA15 처리구에서 증가하였고, 액비 살포량이 증가될 수록 고온기 초장과 근장이 증가하였으나, 지상부 및 지하부 건물중은 통계적으로 유의차를 보이지 않았다. 엽면시비 수준에 따른 질산태 질소 용탈량 범위는  $13.24\text{-}88.09 \text{ mg N m}^2$  이고, 용탈률은 0.58-1.76% 이었다. 이상 결과를 종합하면 살포 물량  $50 \text{ mL m}^2$  수준으로 액비를 엽면 시비시 여름철 고온기 잔디 색과 품질 유지가 가능했으며, 질소와 인산의 용탈량도 대조구인 입상복합비료 살포구와 차이를 보이지 않은 것으로 나타났다.

**주요어:** 라이시미터, 엽면시비, 액상 복합비료, 잔디, 질산태질소

## Authors Information

Yong-Sup Cho, Dong Sung Green Co., LTD., Doctor of Philosophy

Young-Rae Cho, Dong Sung Green Co., LTD., Doctor of Philosophy Student

Dong-Sup Kim, Cheonan, Dankook University, Doctor of Philosophy

Geun-Mo Yang, Cheonan, Dankook University, Doctor of Philosophy

Joon-Soo Choi, Cheonan, Dankook University, Professor

## Reference

- Branham, B., Henning, S. and Mulvaney, R. 2010. Optimization of foliar nitrogen nutrition to improve turfgrass performance under shade or mowing stress. *Turf. Environ. Res.* 9(19):1-5.
- Bruce, B., Henning, S. and Mulvaney, R. 2010. Optimization of foliar nitrogen nutrition to improve turfgrass performance under shade or mowing stress. *USGA Turfgrass and Environ. Res. Online.* 9(19):1-5. <http://usgatero.msu.edu/v09/n19.pdf> (Accessed Jul. 15, 2015).
- Carrow, R.N., Waddington, D.V. and Rieke, P.E. 2001. *Turfgrass soil fertility and chemical problems: Assessment and management.* p. 21. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
- Chen, W.F., Wang, W. and Qi, Y.J. 2007. Slow release fertilizer decreases leaching loss of nitrogen in sand-based root zone. *Kor. Turf. Sci.* 21(2):177-182.
- Engelsjord, M.E. and Singh, B.R. 1997. Effects of slow-release fertilizers on growth and on uptake and leaching of nutrients in Kentucky bluegrass turfs established on sand-based root zones. *Can. J. Plant Sci.* 77:433-444.
- Environment and Ecology. 2019. [http://www.wamis.go.kr/WKE/wke\\_wqbase\\_1st.aspx](http://www.wamis.go.kr/WKE/wke_wqbase_1st.aspx) (Accessed Jun. 24, 2019).
- Frank, K.W., Crum, J.R., Bryan, J.M. and Hathaway, A.D. 2016. Fifteen years of nitrogen leaching from a Kentucky bluegrass turf. *Crop Sci.* 56(6):3338-3344.
- Frank, K.W., O'Reilly, K.M., Crum, J.R. and Calhoun, R.N. 2006. The fate of nitrogen applied to a mature Kentucky bluegrass turf. *Crop Sci.* 46(1):209-215.
- Gaines, T.P. and Gaines, S.T. 1994. Soil texture effect on nitrate leaching in soil percolates. *Soil Sci. plant Anal.* 25(13&14):2561-2750.
- Geron, C., Danneberger, K., Traina, S., Logan, T. and Street, J. 1993. Study shows little nitrate leaching from turfgrass on fine texture soli. Better Crops, Fall, Ohio, USA. [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/4102DF6AB2D7EFD785257D320055206C/\\$FILE/BC-1993-3%20p12.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/4102DF6AB2D7EFD785257D320055206C/$FILE/BC-1993-3%20p12.pdf) (Accessed Mar. 24, 2019).
- Guillard, K. and Kopp, K.K. 2004. Nitrogen fertilizer form and associated nitrate leaching from cool season lawn turf. *J. Environ. Qual.* 33:1822-1827.
- Hesketh, E.S., Hull, R.J. and Gold, A.J. 1995. Estimating non-gaseous nitrogen losses from established turf. *J. Turf. Manage.* 1(1):17-30.
- Hurdzan, M.J. 2005. *Building a practical golf facility.* ASGCA, Brookfield, USA.
- Jiang, Z. and Hull, R.J. 2008. Diurnal patterns of nitrate assimilation in Kentucky bluegrass. *J. Plant Nutri.* 23(4):443-456.
- Jiang, Z. and Sullivan, W.M. 2004. Nitrate uptake of seedling and mature Kentucky bluegrass plants. *Crop Sci.* 44(2):567-574.
- Lee, S.K. 2011. Phosphorus and nitrogen rate effects to a newly seeded Kentucky bluegrass. *Asian J. Turf. Sci.* 25(2):217-222. (In Korean)

- Mangiafico, S. and Guillard, K. 2006. Fall fertilization timing effects nitrate leaching and color and growth. *J. Environ. Qual.* 35:163-171.
- Moore, R.W., Christians, N.E. and Agnew, M.L. 1996. Response of three Kentucky bluegrass cultivars to sprayable nitrogen fertilizer programs. *Crop Sci.* 36(5):1296-1301.
- Spangenberg, B.G., Fermanian, T.W. and Wehner, D.J. 1986. Evaluation of liquid-applied nitrogen fertilizers on Kentucky bluegrass turf. *Agron. J.* 78:1002-1006.
- Statistics Korea. 2018. [http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=1664](http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1664) (Accessed Feb. 10, 2020).
- Statistics Korea. 2019. [http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=2422](http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2422) (Accessed Feb. 10, 2020)
- Tukey, Jr., H.B. and Marczynski, S. 1984. Foliar nutrition-old ideas rediscovered. *Acta Hortic.* (ISHS) 145:205-212.
- Zhang, C. 2012. Nitrate uptake of Kentucky bluegrass as a determinant of nitrogen use efficiency. Dissertation, North Carolina State Univ., Raleigh, NC, USA.
- Zhang, C., Miller, G.L., Ruffy, T.W. and Bowman, D.C. 2013a. Nitrate leaching from two Kentucky bluegrass cultivars as affected by nitrate uptake capacity and subsurface soil compaction. *Crop Sci.* 53:1722-1733.
- Zhang, C., Ruffy, T.W., Miller, G.L. and Bowman, D.C. 2013b. Nitrate uptake rates of Kentucky bluegrass genotypes and their effect on nitrate absorption under competitive conditions. *Crop Sci.* 53:1179-1188.