

ORIGINAL ARTICLE

엽록소형광을 이용한 한지형 잔디 3종의 하절기 활력도 비교 분석

고석찬*

제주대학교 생물학과

Comparison of Vitality among Three Cool-Season Turfgrasses during Summer using Chlorophyll Fluorescence

Seok Chan Koh*

Department of Biology, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

Abstract

To compare the vitality among cool-season turfgrasses under summer weather conditions and to obtain information to improve the management of turfgrasses in golf courses and sports fields., the chlorophyll fluorescence of three cool-season turfgrasses commonly planted on golf courses in the Jeju area was measured. The turfgrasses were perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.), Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.), and creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.). In perennial ryegrass and Kentucky bluegrass, the chlorophyll index was low in early summer and high in late summer. In creeping bentgrass, it remained low throughout the study. F_o tended to be low in the early summer and high in late summer in the three turfgrasses. However, the difference in F_o between late summer and early summer was markedly higher in perennial ryegrass than in Kentucky bluegrass or creeping bentgrass. F_m tended to be low in early summer and high in late summer, without obvious differences among the three turfgrasses. F_v/F_m , a measure of photochemical efficiency, was also low in early summer and high in late summer in the three turfgrasses. However, F_v/F_m in late summer was mostly higher in Kentucky bluegrass and creeping bentgrass than in perennial ryegrass, indicating that the former are more resistant to the high temperature and humidity of late summer. Furthermore, Kentucky bluegrass had a high chlorophyll index in late summer and would be most resistant to the harsh conditions of late summer.

Key words : Cool-season turfgrass, Perennial ryegrass, Kentucky bluegrass, Creeping bentgrass, Photosystem II activity, Chlorophyll index

1. 서론

잔디는 인간의 생활에 관상적인 측면에서뿐만 아니라 기능적, 오락적 측면에서도 매우 중요하다(Beard, 1973). 잔디의 중요한 기능은 토양 유실을 저감할 뿐만 아니라 흙먼지, 섬광, 소음, 대기오염, 열축적 등의 오염

을 감소시키고, 미기후를 조절하며, 다양한 야외 스포츠와 여가활동에서 초래될 수 있는 부상의 위험으로부터 보호하는 완충효과가 있다. 또한 잔디는 인간의 생활 주변에서 쾌적한 녹색의 아름다움을 제공하며, 현대인의 정신건강 증진에 중요한 가치를 갖는다(Beard and Green, 1994; Monteiro, 2017).

Received 1 June, 2021; Revised 21 June, 2021;

Accepted 23 June, 2021

*Corresponding author: Seok Chan Koh, Department of Biology, Jeju National University, Jeju 63243, Korea
Phone : 82-64-754-3528
E-mail : sckoh@jejunu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© 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.

단자엽 초본류인 잔디는 벼과(*Gramineae* 또는 *Poaceae*)에 속하며, 생육 최적온도의 범위에 따라서 한지형 잔디(cool-season turfgrasses)와 난지형 잔디(warm-season turfgrasses)로 구분된다(DiPaola and Beard, 1992). 한지형 잔디는 보통 Festucoideae아과에 속하며, 한랭습윤, 한랭아습윤, 한랭반건조 기후 및 전이 지대에 걸쳐서 분포하며, 20여 종류가 이용되고 있다. 최적 생육온도는 15.6-23.9°C (60-75°F) 범위이며(Beard, 1973), 주로 계절적인 고온과 가뭄 스트레스의 강도와 지속기간에 의해서 생육의 제한을 받는다(Lee et al., 2008). 제주지역의 골프 코스에 주로 식재되는 한지형 잔디는 페레니얼라이그래스(*Lolium perenne* L.), 켄터키블루그래스(*Poa pratensis* L.), 크리핑벤트그래스(*Agrostis palustris* Huds.), 페스큐류(*Festuca* spp.) 등이다(Lee et al., 2008).

제주지역에서 골프 코스를 조성할 당시 처음에는 난지형 잔디로 조성하였으나, 동절기에 휴면하여 마모 저항성과 색상이 저하되는 문제가 발생하여 한지형 잔디로 전환하거나 새로 조성하였다(Lee et al., 2008). 그러나 하절기 고온이 한지형 잔디의 생육에 저해요인으로 나타나면서 다시 난지형 잔디로 전환이 이루어졌다. 기상청의 자료에 의하면 최근에는 기후변화에 의해 평년과는 다른 하절기 온도의 급격한 상승이 빈번하게 나타나고 있다. 과거에서부터 대기 중 CO₂ 농도와 온도의 상승은 상호 밀접한 관계로 변화를 보여 왔고, 현재는 어느 시점보다도 CO₂ 농도가 증가하고 온도가 높아져 있는 상황이며, 미래에는 더욱 심화되어 생물계에 대한 생리·생태적 변화의 주요 영향 요인으로 작용할 것으로 예측되고 있다(Newman et al., 2011). 그러나 기후변화와 관련하여 제주지역 내 골프 코스에 주로 식재되어 있는 한지형 잔디 3종의 생육과 기상요인과의 연관성에 대한 연구는 없는 실정이다.

환경스트레스에 대한 식물의 생리적 상태는 광합성능의 변화를 분석하여 나타낼 수 있다. 그 중 엽록소형광 분석법은 여러 환경스트레스에 대한 광합성 기구의 구조 및 기능의 변화를 비파괴적이며 정량적으로 분석할 수 있어 식물의 생리적 반응이나 내성 등을 연구하는 데 널리 활용되고 있다(Strasser and Strasser, 1995; Oh et al., 2014). 특히, 광계II는 광합성 기구 중에서 환경스트레스에 가장 민감하여 환경스트레스에 대한 지표로 이용

되고 있다.

본 연구에서는 골프 코스와 스포츠 필드에서 잔디 선정과 관리를 위한 자료를 제공하고자 제주지역 내 골프 코스에 조성되어 있는 한지형 잔디 3종 페레니얼라이그래스, 켄터키블루그래스, 크리핑벤트그래스를 대상으로 하절기 고온기간에 엽록소형광을 이용한 활력도를 비교 분석하고, 이들 잔디 종들의 생장에 미치는 하절기 기후의 영향을 살펴보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사 장소 및 기간

본 연구는 제주특별자치도 제주시 오라2동 289번지에 위치한 골프 코스(N33°45'12", E126°50'77", 250 m above sea level, Jeju, Korea)에서 2014년 5월 17일부터 2014년 8월 30일까지 15주 동안 수행되었다. 이 장소는 1979년 개장한 이후 다양한 잔디 종류가 도입되어 생육하고 있는 곳이며, 골프 코스에 설치된 자동기상측정장치를 통하여 연구 수행에 필요한 기상자료의 확보가 가능하였다.

2.2. 식물재료

본 연구에 사용된 식물재료는 골프 코스에 주로 이용되고 있는 대표적인 한지형 잔디로 페레니얼라이그래스(perennial ryegrass; *Lolium perenne* L.), 켄터키블루그래스(Kentucky bluegrass; *Poa pratensis* L.), 크리핑벤트그래스(creeping bentgrass; *Agrostis palustris* Huds.) 3종이다.

연구기간 동안에 식물재료의 관리와 측정의 효율성을 위하여 최초 조사 1주일 전에 주변 약 50 m 반경 안에서 생육하고 있는 3종의 잔디 성체를 뿌리와 토양이 분리되지 않은 상태로 채취한 후에 종별로 각각 3개체군씩 1.5 m × 1.5 m의 지정된 장소에 이식하였다. 이식된 장소의 토양은 사질양토로, 이식된 잔디는 연구기간 동안 현지의 기상 조건에 따라 자연적인 생육 상태를 유지하도록 하였다.

2.3. 기상자료의 수집

기상자료는 골프 코스에 설치된 자동기상측정장치(automatic weather station)를 이용하여 기온, 상대습도, 광량, 강우량 등을 조사하였다.

2.4. 엽록소형광과 엽록소지수의 측정

엽록소형광과 엽록소지수는 2014년 5월 24일부터 8월 30일까지 1주일 간격으로 총 15회 측정하였다. 측정 시 육안으로 생육이 전반적으로 균일하다고 판단되는 잔디의 잎을 선택하였으며, 1개체군당 2점씩 잔디 종류별 6반복으로 일출 후 2시간 이내에 측정하였다. 엽록소형광은 Plant Efficiency Analyser (PEA: Hansatech instrument Ltd., UK)를 사용하였고, 잔디 잎을 15분간 광을 차단하여 암적응시킨 후 1,500 $\mu\text{mole}/\text{m}^2/\text{sec}$ 의 광량을 1초간 조사하여 F_0 , F_m , F_v/F_m 등의 형광변수를 측정하였다. 엽록소지수는 휴대용 엽록소측정기(SPAD-502, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였다.

2.5. 통계 분석

모든 통계분석은 SPSS 통계 패키지 18.0(SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하여 수행하였으며, 일원배치 분산분석 및 Duncan의 다중검정($p < 0.05$)으로 평균치 간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기상요인 분석

식물의 생장과 발달에는 최적의 환경조건이 필요하며, 이 범위를 벗어나면 식물체에 스트레스 요인으로 작용하게 된다. 겨울이 춥고 여름이 매우 더운 우리나라와 같은 온대성 기후대에서는 한지형 잔디의 생육에 적합한 환경이 아니기 때문에 세밀한 관리가 이루어져야 한다.

한지형 잔디의 생육적온은 15.6-23.9 $^{\circ}\text{C}$ 이며(Beard, 1973), 고온과 가뭄 스트레스의 강도와 지속기간 등에 의해서 생육이 제한을 받는다(Lee et al., 2008). 따라서 한지형 잔디는 여름철 기온이 30 $^{\circ}\text{C}$ 이상까지 올라가는 우리나라에서는 지상부와 지하부의 생육이 급격하게 멈추게 되고 심하면 고사하게 된다(Huang and Gao, 2000). 생육개시 온도가 0 $^{\circ}\text{C}$ 이상으로 서늘한 봄과 가을에 잘 자라는 한지형 잔디는 유럽에서는 사철 푸르게 유지되지만(Lee, 1997; Fry and Huang, 2004), 기후 및 환경 조건이 다른 국내에서는 녹색 기간이 9-10개월 정도로 알려져 있다(Shim, 1996; Kim, 1998). 본 연구에서 잔디가 식재되어 있는 골프 코스 내 환경요인으로 기온, 상대습도, 강수량, 그리고 광량의 변화를 조사한 바

(Fig. 1), 기온은 하절기 초기에 일최저온도가 15 $^{\circ}\text{C}$ 이하인 날이 많았으나, 하절기 후기에는 일최저온도가 15 $^{\circ}\text{C}$ 이상이며 20 $^{\circ}\text{C}$ 를 상회하는 날도 많았다. 일최고온도도 하절기 초기에는 대부분 25 $^{\circ}\text{C}$ 이하인데 반해, 하절기 후기에는 25 $^{\circ}\text{C}$ 를 상회하는 날이 많았다(Fig. 1A). 특히 7월말에서 8월초에 이르는 동안 최고온도가 30 $^{\circ}\text{C}$ 에 근접하였고 최저온도도 20 $^{\circ}\text{C}$ 를 상회하였다. 따라서, 생육적온의 범위를 벗어나는 하절기 후기의 고온이 한지형 잔디의 생육에 비우호적으로 작용할 것으로 보인다.

월평균 상대습도는 5월에 58.4%이며 일별 변화가 심하였으나, 6월 이후에는 80%를 상회하는 날이 많았다(Fig. 1B). 월강수량은 5월과 6월에는 각각 91.5 mm, 83.0 mm에 불과하였으나 7월과 8월에는 349.0 mm, 515.0 mm로 많았으며(Fig. 1C), 하절기 후기에 집중적으로 강우가 발생하였다. 월일사량은 5월에 983.2 MJ/m^2 , 6월에 410.4 MJ/m^2 , 7월에 449.1 MJ/m^2 , 8월에 803.5 MJ/m^2 이며, 6~7월에는 흐린 날이 많아 일사량이 전반적으로 적었다(Fig. 1D). 따라서 5월에는 높은 일사량에 의한 광저해가, 그리고 8월에는 고온과 더불어 높은 상대습도, 강수량, 일사량 등이 복합적으로 작용하여 한지형 잔디의 생육에 영향을 미칠 것으로 보인다. 특히, 하절기 고온 하에 장마나 빈번한 폭우로 인해 잔디가 침수하게 되면 고온장애와 더불어 과습장애가 복합적으로 발생하여 잔디 생육에 더욱 불리하게 작용할 것이다.

3.2. 엽록소지수의 변화

휴대용 엽록소측정기로 측정한 엽록소지수(SPAD 값)는 하절기 초기에는 낮고 후기에 높은 양상을 보였다(Fig. 2). 특히, 페레니얼라이그래스와 켄터키블루그래스에서는 하절기 초기에는 SPAD 값이 50 이하로 낮았는데 반하여, 그 이후에는 점차 증가하여 60에 도달하였다. 크리핑벤트그래스는 하절기 초기보다 후기에 SPAD 값이 다소 높았으나 조사기간 내내 45 이하로 낮았다. 3종 모두에서 SPAD 값이 하절기 초기에 비해 후기에 상대적으로 증가하였는데 이는 Fig. 1A에서 살펴본 바와 같이 봄철과 초여름의 기온 상승으로 생육적온의 범위에 도달함에 따라 나타나는 녹색도의 증가에서 기인한 것으로 보인다. 켄터키블루그래스는 하절기 후기에 SPAD 값이 지속적으로 높게 유지되어 다른 2종에 비해 오랜 기간 동안 녹색을 유지하는데 반하여, 페레니얼라이그래스는

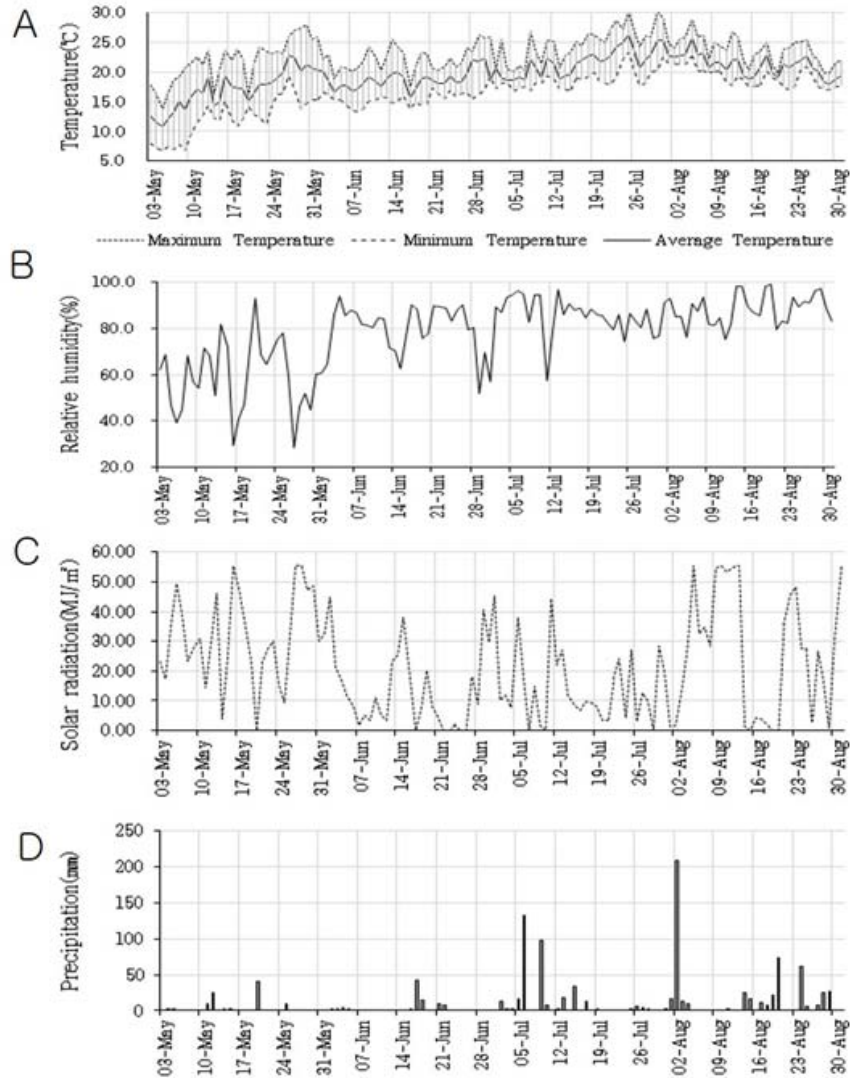


Fig. 1. Changes in daily air temperature (A), daily mean relative humidity (B), solar radiation (C) and precipitation (D) in three cool-season turfgrasses field during the experimental period (May - August 2014).

초기에는 켄터기블루그래스와 유사하나 후기에 다소 낮아지는 경향이 있어 하절기 후기의 고온에 의한 스트레스의 결과로 보인다. 크리핑벤트그래스는 조사기간 내내 다른 2종과는 달리 녹색도가 낮은 특성을 보이는 것을 확인할 수 있다. 골프코스 내 잔디는 연중 지속적으로 선명한 녹색을 유지하여야 하는데 크리핑벤트그래스는 봄철 녹화가 페레니얼라이그래스, 켄터기블루그래스에 비해

늦고(Chang et al., 2010), 유전적인 특성과 더불어 기후적인 요인이 함께 작용하여 여름철 고온 환경조건에서 좋은 품질을 유지하기가 쉽지 않을 것으로 보인다.

3.3. 엽록소형광의 변화

광계II 작용에 있어서 초기 전자수용체인 plastoquinone Q_A 가 산화상태에 있을 때의 형광값인 F_0 는 에너지가

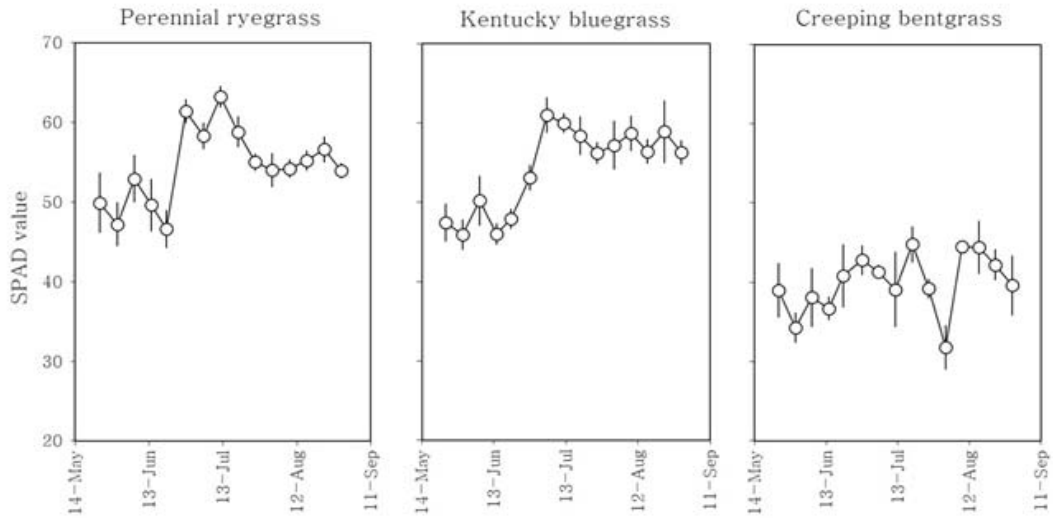


Fig. 2. Changes of SPAD values in three cool-season turfgrasses during summer. Each value was expressed as mean \pm standard error of 6 replicates.

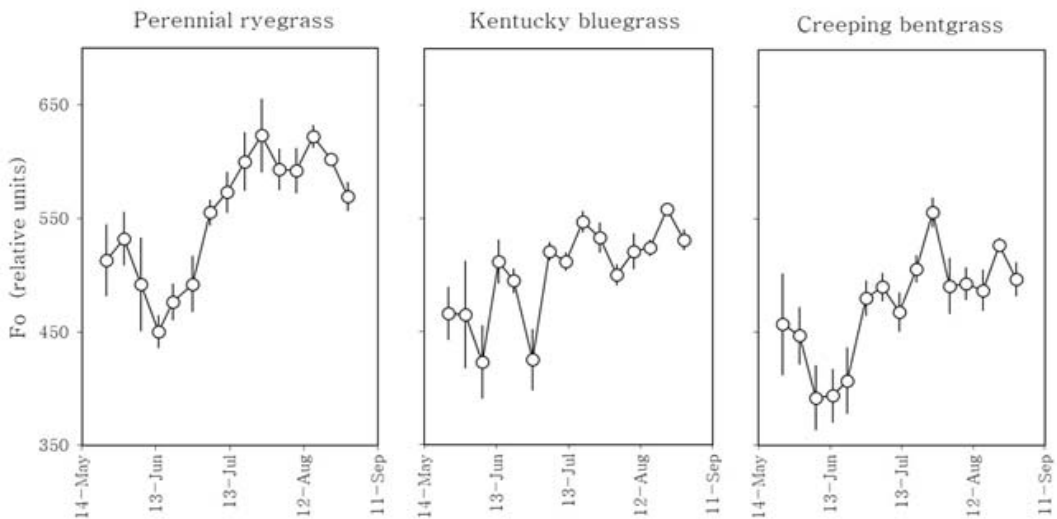


Fig. 3. Changes of Fo in three cool-season turfgrasses during summer. Each value was expressed as mean \pm standard error of 6 replicates.

반응중심으로 이동하기 전 여기된 안테나 엽록소분자들이 방출하는 값이다(Bolhàr-Nordenkamp and Öquist, 1993). 식물이 스트레스를 받으면 일반적으로 Fo가 증가하는데, 이는 광계II 반응중심에 불활성 상태의 엽록소분자들이 증가한 결과라고 해석되고 있다. 본 연구에서 Fo

값은 3종 모두에서 하절기 초기에는 낮으나 하절기 후기에 다소 증가하는 양상을 보였다(Fig. 3). 페레니얼라이그래스는 하절기 초기와 후기 간의 Fo 값의 변화가 크며, 특히, 후기에 Fo 값은 다른 2종보다 월등하게 높았다. 이러한 하절기 후기 Fo의 증가는 Fig. 1A에서 살펴본 바와

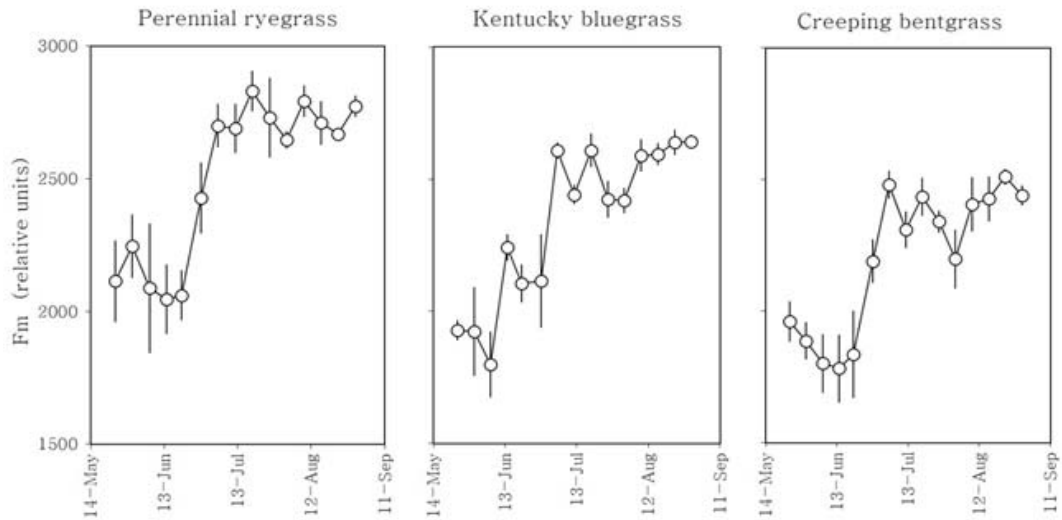


Fig. 4. Changes of Fm in three cool-season turfgrasses during summer. Each value was expressed as mean \pm standard error of 6 replicates.

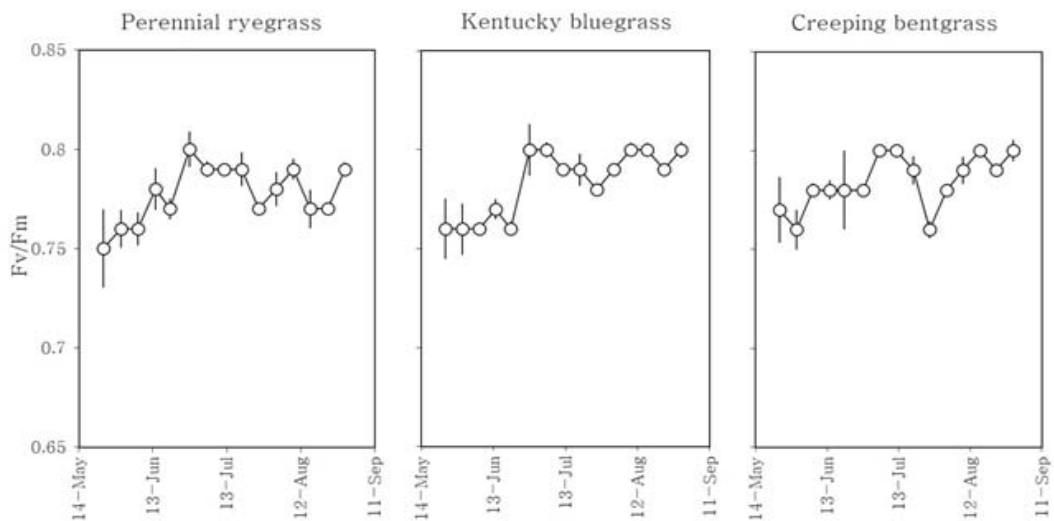


Fig. 5. Changes of Fv/Fm in three cool-season turfgrasses during summer. Each value was expressed as mean \pm standard error of 6 replicates.

같이 하절기 후기의 높은 온도가 한지형 잔디 3종의 생육에 스트레스로 작용하여 불활성 상태의 엽록소분자들이 증가하고 있음을 나타낸다. 이에 반해 켄터키블루그래스와 크리핑벤트그래스는 하절기 초기에 비해 후기의 증가 폭이 크지 않았다. 이는 켄터키블루그래스와 크리핑벤트

그래스가 페레니얼라이그래스에 비해 상대적으로 여름철 고온에 대한 적응력이 높은 것으로 해석할 수 있다.

F_m은 Q_A가 완전히 환원된 상태일 때의 형광값이며, 스트레스를 받은 식물에서는 보통 F_m의 감소가 나타난다. 본 연구에서 한지형 잔디 3종 모두 F_m 값이 하절기

초기에는 낮고 후기에 증가하였다(Fig. 4). 하절기 초기 낮은 F_m 값은 Fig. 1A에서와 같이 측정 당시 기온이 한지형 잔디의 생육적온(15.6-23.9°C) 보다 낮은데서 기인한다고 볼 수 있다. 그리고 온도 증가와 더불어 하절기 후기에 F_m 값이 점차적으로 증가하는데, 페레니얼라이그래스는 켄터키블루그래스와 크리핑벤트그래스에 비해 F_m 값이 높게 유지되는 양상을 보였다. 그러나 한지형 잔디 3종 모두에서 하절기 후기에 F_m 값이 측정일에 따라 감소하는 것을 볼 수 있는데, Fig. 1A에서 살펴본 바와 같이 측정 당일의 온도 증가에 의한 영향이 나타나는 것으로 볼 수 있다. 페레니얼라이그래스인 경우 하절기 후기에 F_m 값이 높아 다른 두 종에 비해 스트레스를 덜 받는 것처럼 보이나, Fig. 3에서처럼 하절기 후기에 F_v 값이 크게 증가하고 있어 기후조건이 생육에 적합하지 않음을 나타내고 있다.

F_v/F_m 은 광화학반응의 최대양자수율로서 광합성 기구의 활력도를 나타내는 지표이며 광합성능의 척도로 이용된다. F_v/F_m 은 건강한 식물의 앞에서는 0.80 이상으로 높게 나타나고, 이보다 낮으면 광계II 반응중심이 불활성화 되었거나 손상을 받은 것으로 알려져 있다(Nettoll et al., 2002). F_v/F_m 값은 3종 모두에서 하절기 초기에는 점차 증가하고, 후기에는 측정일에 따라 변화가 크지만 대체로 높게 나타났다(Fig. 5). 이는 Fig. 1A에서 살펴본 바와 같이 일평균 최저온도가 하절기 초기에는 15°C 이하인 날이 많았으며 점차 20°C 전후로 상승한 결과로 보이며, 후기의 측정일에 따른 변화는 일평균 최저온도가 상승하여서 잔디 생육 적온을 벗어나는 일수가 발생하였기 때문으로 보인다. 이는 한지형 잔디가 적정 온도범위에 도달하면서 생육이 증가하고 적정 범위 이상의 고온이 되면 스트레스를 받아 생육이 감소되고, 온도가 다시 적정 범위로 되돌아오면 생육이 증가한다는 보고와도 유사하다(Beard, 1973; Turgeon, 1991). 또한 하절기 후기에 Fig. 1B와 1D에서 살펴본 바와 같이 상대습도가 80% 이상을 나타내고 강우가 빈번하게 발생하여 이러한 영향도 복합적으로 작용한 것으로 보인다. 특히, 켄터키블루그래스와 크리핑벤트그래스는 하절기 후기 7월 26일에 F_v/F_m 값이 크게 낮아졌으나 전체적으로 0.79 이상으로 안정된 값을 보인데 반하여, 페레니얼라이그래스는 7월 12일 이후 대부분 기간 동안 0.79 이하로 낮았다. 이로부터 켄터키블루그래스와 크리핑벤트그래스가 페레니

얼라이그래스에 비해 여름철 고온에도 비교적 잘 적응하고, 페레니얼라이그래스는 Fig. 1에서 살펴본 바와 같이 하절기 후기 고온이나 빈번한 강우에 의한 습한 조건에 취약함을 알 수 있다. 이러한 결과들은 조사장소에서 육안으로 관찰된 잔디 색상의 변화와 Fig. 2의 하절기 후기 SPAD 값의 감소로도 확인할 수 있다. 더군다나, 페레니얼라이그래스는 국내 여름철 고온기에 잔디품질 및 내구성 이 떨어지는 것으로 보고된 바 있어(Kim, 2005), 본 연구결과를 뒷받침하는 것으로 보인다. 이처럼 한지형 잔디를 대상으로 여름철 고온기에 엽록소형광과 엽록소 지수의 변화를 비교함으로써 한지형 잔디의 고온에 대한 내성 또는 민감도를 확인할 수 있을 것이다. 고온에 민감한 한지형 잔디는 생육적온을 벗어난 고온에 노출되었을 때 엽록소 함량 저하, 광계II의 기능적 손상 및 광합성 감소 등이 나타나며(Cui et al., 2006; Du and Wang, 2009), Fig. 3~5와 같은 광계II의 기능과 Fig. 2의 엽록소지수의 변화로 고온 내성 품종을 선발하는데 유용하게 활용될 수 있음을 보여준다.

이상의 결과로부터 켄터키블루그래스가 하절기 후기의 고온이나 빈번한 강우에 의한 습한 조건에서도 활력도가 가장 강하고, 페레니얼라이그래스가 가장 약한 것으로 사료된다. 더욱이 켄터키블루그래스는 뿌리층이 얇고 성장을 위해 수분이 많이 요구되는 것으로 알려져 있어(Lee, 2012; Christians et al., 2016), 여름철의 빈번한 강우가 오히려 생육에 유리한 것으로 추정되었다. 크리핑벤트그래스는 켄터키블루그래스와 더불어 하절기 후기의 F_v/F_m 값이 높지만 봄철 녹화가 다른 2종에 비해 늦어져서 엽록소지수가 낮아 시각적 품질의 가치인 색상(또는 녹색도)이 다소 떨어지는 양상을 보여 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

4. 결론

본 연구는 제주지역 내 골프 코스에 조성되어 있는 한지형 잔디인 페레니얼라이그래스 (perennial ryegrass, *Lolium perenne* L.), 켄터키블루그래스 (Kentucky bluegrass, *Poa pratensis* L.), 크리핑벤트그래스 (creeping bentgrass, *Agrostis palustris* Huds.) 3종에 대하여 엽록소형광을 측정하여, 하절기 기후 조건하에서 이들 잔디 종들 간의 활력도를 비교하고 골프 코스와

스포츠 필드에서 잔디 선정과 관리를 위한 자료를 얻고자 하였다. 엽록소지수는 페레니얼라이그래스와 켄터키 블루그래스에서는 뚜렷하게 하절기 초기에는 낮고 후기에 높은 양상을 보였으나, 크리핑벤트그래스는 조사기간 내내 낮은 상태를 유지하였다. F_v 값은 3종 모두 하절기 초기에는 낮고 후기에 다소 증가하는 양상을 보였다. 그러나, 페레니얼라이그래스에서는 하절기 초기와 후기 간의 F_v 값의 변화가 컸으며, 후기의 F_v 값이 다른 2종에 비해 월등하게 높았다. F_m 값은 3종 모두 하절기 초기에는 낮고 하절기 후기에 증가하였으며 3종 간의 차이는 크지 않았다. 광계II의 광화학적 효율의 척도인 F_v/F_m 값은 3종 모두에서 하절기 초기에 낮고 후기에 다소 증가하는 양상을 보였으나, 켄터키블루그래스와 크리핑벤트그래스는 페레니얼라이그래스에 비해 하절기 후기의 F_v/F_m 값이 대체로 높아 하절기 고온에 보다 더 잘 적응하는 것으로 보인다. 더욱이 켄터키블루그래스는 하절기 후기에 SPAD 값이 높아 고온이나 빈번한 강우에 의한 습한 조건에 가장 강한 종으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 2020학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCES

- Beard, J. B., 1973, Turfgrass: science and culture, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 658.
- Beard, J. B., Green, R. L., 1994, The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans, J. Environ. Quality, 23, 452-460.
- Bolh ar-Nordenkamp, H. R.,  quist, G., 1993, Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research, In: Hall, D. O., Scurlock, J. M. O., Bolh ar-Nordenkamp, H. R., Leegood, R. C., Long, S. P. (eds.), Photosynthesis and Pproduction in a changing environment: a field and laboratory manual, Chapman and Hall, London, UK, 193-206.
- Chang, T., Park, S. Y., Kang, J. Y., Lee, Y. S., 2010, Spring greenup on cool season Turfgrass cultivars and species in spring, Kor. Turfgrass Sci., 24, 50-55.
- Christians, N. E., Patton, A. J., Law, Q. D., 2016, Fundamentals of turfgrass management, 5th ed., John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 480.
- Cui, L., Li, J., Fan, Y., Xu, S., Zhang, Z., 2006, High temperature effects on photosynthesis, PSII functionality and antioxidant activity of two *Festuca arundinacea* cultivars with different heat susceptibility, Bot. Stu., 47, 61-69.
- DiPaola, J. M., Beard, J. B., 1992, Physiological effects of temperature stress, In: Waddington, D. V., Carrow, R. N., Shearman, R. C. (eds.), Turfgrass, vol. 32., Agron. Monogr., American Society of Agronomy Madison, Wisconsin, USA, 231-267.
- Du, H., Wang, Z., 2009, Differential responses of warm-season and cool-season turfgrass species to heat stress associated with antioxidant enzyme activity, J. Amer. Soc. Hort. Sci., 134, 417-422.
- Fry, J., Huang, B., 2004, Applied turfgrass science and physiology, John Wiley & Sons. Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 320.
- Huang, B., Gao, H., 2000, Growth and carbohydrate metabolism of creeping bentgrass cultivars in response to increasing temperature, Crop Sci., 40, 1115-1120.
- Kim, K. N., 1998, The selection and development of athletic turfgrass, Lands. Archi. Kor., 122, 118-127.
- Kim, K. N., 2005, Comparison of photoperiod and temperature on the growth and green color retention among cool-season grasses grown under USGA soil system, J. Kor. Ins. Lands. Archi., 33, 83-93.
- Lee, J. H., Choi, J. Y., Lee, S. H., Joo, Y. K., 2008, Effect of high-humidity and high temperature at Kentucky bluegrass growth in summer, Kor. Turfgrass Sci., 22, 133-140.
- Lee, J. W., 1997, Characteristics and domestic planting cases of German turfgrass, Lands. Archi. Kor., 108, 144-148.
- Lee, S. K., 2012, Irrigation frequency for Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*) growth, Asian J. Turfgrass Sci., 26, 123-128.
- Monteiro, J. A., 2017, Ecosystem services from turfgrass landscapes, Urban For. Urban Gree., 26, 151-157.
- Nettol, A. T., Campostrinil, E., de Oliveira, J. G., Yamanish, O. K., 2002, Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L., Braz. J. Plant Physiol., 14, 203-210.

- Newman, J. A., Anand, M., Henry, H. A. L., Hunt, S., Gedalof, Z., 2011, *Climate Change Biology*, CAB Int., Wallingford, UK, 16-80.
- Oh, S., Moon, K. H., Son, I. C., Song, E. Y., Moon, Y. E., Koh, S. C., 2014, Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of Chinese cabbage in response to high temperature, *Korean J. Hortic. Sci. Technol.*, 32, 318-329.
- Shim, S. R., 1996, Characteristics, uses, and establishment method of cool-season grasses of four-season green color, *Lands. Archi. Kor.*, 97, 148-153.
- Strasser, B. J., Strasser, R. J., 1995, Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP test. In: Mathis, P. (ed.), *Photosynthesis: from light to biosphere*. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands, 977-980.
- Turgeon, A. J., 1991, *Turfgrass Management*, 3rd ed., Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 144.
-
- Professor. Seok-Chan Koh
Department of Biology, Jeju National University
sckoh@jejunu.ac.kr