

Weed & Turfgrass Science was renamed from both formerly Korean Journal of Weed Science from Volume 32 (3), 2012, and formerly Korean Journal of Turfgrass Science from Volume 25 (1), 2011 and Asian Journal of Turfgrass Science from Volume 26 (2), 2012 which were launched by The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea founded in 1981 and 1987, respectively.

## 답압이 한국잔디의 생육에 미치는 영향

서진열 · 정종일 · 김민철 · 정정성 · 심두보 · 송선화 · 오지현 · 심상인\*

경상대학교 농업생명과학대학 농학전공

### Effects of Trampling on Growth and Development in *Zoysia japonica*

Jin Yeol Seo, Jong Il Chung, Min Chul Kim, Jung Sung Chung, Doo Bo Shim,  
Seon Hwa Song, Ji Hyun Oh, and Sang In Shim\*

Department of Agronomy, Gyeongsang National University, Gyeongsangnam-do 660-701, Korea

**ABSTRACT.** Trampling stress in turfgrass fields caused by traffics often occurs in zoysiagrass (*Zoysia japonica*) fields including golf course. In order to know the influences of trampling stress on the growth and development of turfgrass, leaf and root growth, chlorophyll fluorescence, chlorophyll content and 2-DE protein analysis were conducted in the turfgrass plants subjected to various levels of trampling stress from 0 to 9,420 J day<sup>-1</sup> day. Shoot growth was more highly inhibited by trampling stress than root growth. Although root growth was affected by trampling with weak intensity, the highest root length was observed in the turfgrass treated with weak trampling (1,570 J day<sup>-1</sup>). Chlorophyll fluorescence (Fv Fm<sup>-1</sup>) was drastically lowered by trampling stress with moderate intensity. Leaf number showed similar tendency with leaf greenness. The number was decreased as the trampling intensity was increased. Shoot dry weight was decreased showing a similar tendency with the result of shoot length. The specific protein expressions under weak trampling were related to the functions of stress amelioration. Heat shock 70 kDa protein 10 and oxygen-evolving enhancer protein 1 were the proteins increased positively under trampling stress.

**Key words:** Golf course, Trampling stress, Turfgrass field, *Zoysia japonica*

Received on April 27, 2015; Revised on June 4, 2015; Accepted on June 23, 2015

\*Corresponding author: Phone) +82-55-772-1873, Fax) +82-55-772-1879; E-mail) sishim@gnu.ac.kr

© 2015 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/3.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서 론

잔디의 생육과 품질은 생육환경과 시비, 예초, 배토 등 관리기술에 따라 결정된다(Carrow, 1980). 한국잔디는 난지형 잔디이나 생태적 적응지가 온대에서 열대에 걸쳐 분포되고(Engelke et al., 1983; Fukuoka, 1997), 특히 국내에서 가장 흔히 볼 수 있는 잔디인 한국잔디인 들잔디(*Zoysia japonica* Steud.)는 중국 동부, 한국 및 일본이 그 원산지로서 난지형 잔디와 비슷한 수준의 내한성과 난지형 잔디의 내서성을 동시에 가진 유일한 잔디이다. 우리나라의 기후에 가장 적절한 잔디이며 내마모성이 잔디 중 가장 우수한 큰 장점을 가지고 있다.

현재 우리나라 골프장은 대개 티잉그라운드와 그린을 제

외한 페어웨이에는 한국잔디가 많이 이용하고 있다. 부분적으로 한지형 잔디가 페어웨이에 이용되는 경우도 있지만 계절적인 생육 부진, 높은 관리 비용 등으로 문제가 되는 경우는 한국잔디가 골프장에서 주로 이용되고 있다. 골프장에서 요구되는 고품질의 잔디는 양호한 엽색도나 생육 균일성과 같은 엽 품질이 우수하고, 답압 저항성과 회복력이 높아야 한다(Kim and Nam, 2003, 2005).

골프장에서 많이 발생하는 답압스트레스는 그 중요성으로 인하여 국내에서도 연구되었으나, 주로 그린에 식재된 벤투그래스에 대해서 연구되었다(Lee et al., 2008). 답압스트레스에 의해 받은 손상은 오전 일찍 답압이 발생한 경우 지하부 보다는 지상부의 피해가 크고, 피해 회복을 위해서는 속효성 비료를 처리하는 것이 효과적이라고 하였다. 운

동장 잔디로 이용되는 한국잔디(들잔디)와 켄터키블루그래스(*Poa pratensis*)의 경우 답압에 의해 생긴 피해는 토양의 고결화에 따른 지하부 호흡 감소와 연관이 있으며 이를 해결하기 위해서는 공기순환시스템 설치가 효과 있다고 하였다(Lee et al., 2007). 잔디밭에서 차량이나 사람 이동에 의한 잔디 표면의 기계적 손상은 엽 단면의 두께나 유관속의 발달 정도와 관련이 있으며(Głab et al., 2014), 차량 등의 이동에 의한 토양의 물리성 변화는 수분 함량 감소와 관련이 있어 잔디 뿌리의 발달이 생육에 중요하게 작용한다고 보고되었다(Głab and Szewczyk, 2015).

본 연구는 골프장을 비롯한 잔디밭에서 한국잔디에 발생하는 대표적 물리적 스트레스인 답압의 영향을 확인하여 한국잔디의 답압 관리에 대한 기초자료로 이용하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 공시재료

본 실험에 이용된 들잔디(*Zoysia japonica*)는 경상남도 진주시 경상대학교 부속 농장에서 2014년 8월 10일에 채취 전 50 mm 높이로 예초하고, 8월 20일에 8×36 cm 크기로 뗏장을 자른 후 56×36×15 cm 플라스틱 상자에 상자당 4개의 뗏장을 채취 당일 이식하였다. 토양은 모래와 식양토인 발토양을 3:1의 비율로 혼합된 것을 사용하였다. 뗏장은 식재 시 관부가 살짝 덮이는 정도의 깊이로 식재하였고, 시비는 이식 전에 원예용 복합비료(N-P-K=21-17-17)로 잔디 표준 시비량에 따라 질소를 기준으로 시비하였다. 관수는 자연관수와 인공관수를 병행하여 토양이 마르지 않도록 주 1회 실시하였고 관수 시 포장용수량 상태에 이를 때까지 관수하였다.

### 답압조건에 따른 생육조사

답압처리는 잔디 이식 후 10일 후부터 실시하였다. 답압은 6주간 실시하였고, 답압조건은 무답압, 약답압, 중답압, 강답압의 4 수준으로 처리하였다. 답압처리 시 잔디 표면에 목재 합판을 깔아 답압처리시 발생하는 잔디 엽 표면의 기계적 상해를 최소화 하였다. 답압은 몸무게 80 kg의 성인이 20 cm 높이로 잔디 표면에 덮은 나무판 위에서 뛰는 횟수를 달리하여 답압 강도를 조절하였다. 답압은 매일 실시하였다. 답압 처리는 오전 11시에서 12시 사이에 실시하였다. 답압의 충격량은 두 발로 동시에 뛰어서 답압을 하였기 때문에 자유낙하이므로, 뛰는 높이(20 cm)에 위치에너지가 지표면에 닿는 순간의 에너지는 0이지만 그 위치에너지(Potential energy: Ep)가 운동에너지(Kinetic energy:

Ek)로 전환되었기 때문에 뛰는 높이의 위치에너지를 구하여 답압의 충격량을 산출하였다. 답압 시 충격량은 다음과 같은 공식으로 산출하였다.

$$EP = g (9.8 \text{ m s}^{-2}, \text{중력가속도}) \times m \times h$$

여기서 g는 중력가속도이고 m은 질량(80 kg), h는 낙하 높이(20 cm)이다.

본 실험 조건에서는 답압시 1회 충격량이 약 157 J이었다. 답압 조건 별로는 산출된 1일 충격량은 약답압 조건은 1,570 J day<sup>-1</sup>, 중답압 4,710 J day<sup>-1</sup>, 강답압 조건의 경우는 9,420 J day<sup>-1</sup>이 잔디 표면에 가해졌다. 성장과 관련된 형질로서 지상부 길이, 지하부 길이, 엽수, 엽록소 형광(Fv Fm<sup>-1</sup>), 엽록소 함량(녹색도)을 각 시험구에서 반복당 7개체씩 조사하였다. 지상부 길이와 지하부 길이는 관부를 기준으로 길이를 측정하였고, 엽수는 제일 왕성한 분지에 달린 엽수를 측정하였다. 엽록소 함량은 휴대용 엽록소 측정기(SPAD-501, Minolta, Japan)으로 최상위 제2엽에서 측정하였다. 엽록소 함량은 SAPD 값을 엽록소 함량으로 별도로 산출하지 않고 각 엽의 상대 엽록소함량을 나타내는 것으로 이용하였다. 엽록소 형광은 엽록소 형광측정기(OS-30P, Opti-Science, USA)를 이용하여 최상위 제 2엽에 대해 측정하였다.

### 시험구 배치 및 통계분석

시험구는 임의배치법 3반복으로 배치하였다. 각 반복은 시험 기간 중 상자 위치를 매주 교환하여 환경에 의해 발생하는 차이를 최소화하였다. 수집된 데이터는 SAS 프로그램(ver. 9.3. Cary, NC, USA) 중에서 PROC ANOVA를 이용해 분산분석을 실시하고 Duncan의 다중범위검정법(Duncan's multiple range test, DMRT)을 통해 3반복의 평균값을 5% 유의수준에서 비교하였다.

### 이차원 전기영동을 이용한 단백질 분석

잔디의 지상부는 액체질소를 이용하여 갈은 후 acetone/phenol 법으로 단백질을 추출(Wang et al., 2008)하고, Bradford 법(Bradford, 1976)으로 정량하였다. 단백질 시료는 이후 17 cm IEF tube gel을 이용하여 등전점에 따라 분리(Yokozaki et al., 2001)하고 tube gel을 평형화(Park et al., 1999)한 후 다시 SDS-PAGE을 이용하여 분자량에 따라 분리(Birchmeier and Behrens, 1994)한 후 silver staining (Kuniyasu et al., 1992)하였고, 염색된 겔에서 분석 결과 선택된 특이한 위치의 단백질은 말디토프 질량분석계(Voyager DE-STR, Applied Biosystems, USA)를 이용하여 분석하였다(Hippo et al., 2002).

**Table 1.** Effects of trampling on the growth characteristics of *Zoysia japonica*.

Trampling intensity <sup>a</sup>	Chlorophyll Fluorescence	Chlorophyll content	Dry weight		Length		Number of leaves
			(g)	(g)	(cm)	(cm)	
	Fv Fm <sup>-1</sup>	SPAD value	Shoot	Root	Shoot	Root	
Control	0.752 a <sup>b</sup>	19.73 a	4.50 a	14.74 a	12.92 a	11.93 b	21.5 a
Low	0.737 b	19.12 a	3.81 b	16.24 a	6.4 b	14.12 a	19.7 a
Medium	0.717 c	15.87 b	2.45 c	9.00 b	6.25 b	12.43 ab	17.2 b
High	0.714 c	14.83 b	2.38 c	7.69 b	6.2 b	12.25 ab	16.9 b

<sup>a</sup>Trampling treatments were imposed for 6 weeks. Intensities of control, low, medium and high were 1579 J day<sup>-1</sup>, 4710 J day<sup>-1</sup> and 9420 J day<sup>-1</sup>, respectively. The trampling pressure was conducted on the wooden board placed on turfgrass to reduced wearing damages on leaf surface.

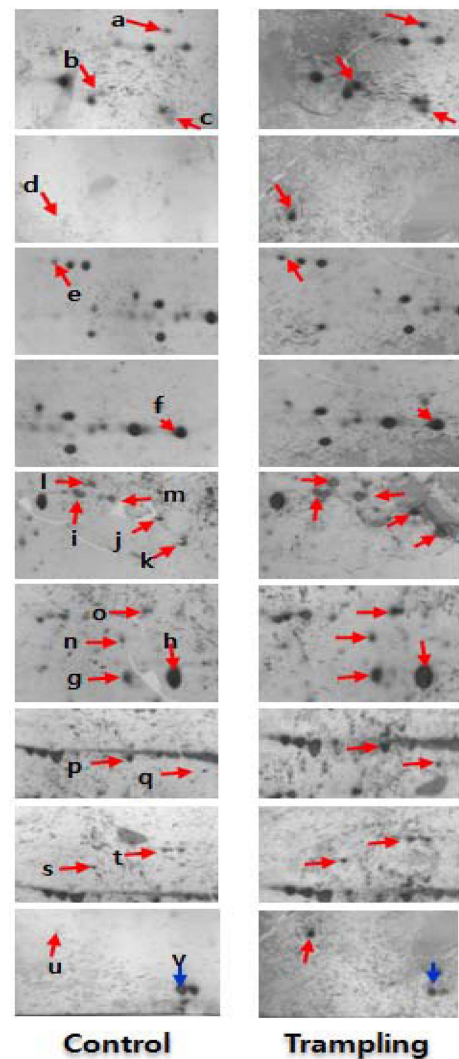
<sup>b</sup>Same letters in a column are not significantly different by DMRT.

### 결과 및 고찰

#### 답압조건에 따른 잔디 생육

답압은 잔디의 강도에 따라 생육에 영향을 정도가 달리 나타났으며 지상부와 지하부에 대한 영향도 각기 다르게 나타났다. 답압 강도에 따른 엽장을 보면, 무답압의 엽장은 12.92 cm이었고, 약답압은 6.4 cm, 중답압은 6.25 cm, 강답압은 6.2 cm로 나타났다(Table 1). 답압을 하지 않은 처리구보다 답압을 한 처리구에서 급격하게 엽장이 감소하는 것을 볼 수 있고, 답압을 한 처리구에서는 답압의 충격량에 따른 유의성 있는 차이를 나타내지는 않았고, 충격량이 많아질수록 엽장이 짧아지는 경향을 나타내었다(Fig. 1). 지하부 길이는 무처리구에 비해 각각 16.5%, 4.0%, 2.6%로 증가하는 경향을 나타내었고, 답압을 하지 않은 무처리구 보다 답압을 한 처리구가 지하부 길이는 증가하였고, 답압의 충격량이 많아질수록 증가율은 감소하는 경향을 나타내었다. 지상부의 생육 억제는 지하부의 생육 촉진을 가져온다는 결과를 고려할 때(Bidadi et al., 2010). 지상부 답압이 뿌리 발근을 촉진한 것으로 생각되며, 이는 스트레스에 의한 지상부의 생육 억제 시 뿌리로의 광합성 산물 이동을 촉진한다는 연구 결과를 고려할 때(DaCosta and Huang, 2006) 광합성 산물이 이동에 의해 근중 증가가 나타난 것으로 보여진다.

잔디 잎의 광합성 특성을 알아보기 위해 잔디 엽에 대한 엽록소 함량과 엽록소 형광 특성을 분석하였다. 엽록소 함량은 답압하지 않은 무처리구에서 SPAD value가 19.73, 약답압을 한 처리구에서 19.12로 유의성 있는 차이를 나타내지는 않았고, 또한 중답압을 한 처리구와 강답압을 한 처리구 각각 15.87, 14.83으로 감소하는 경향을 보였다. 약한 정도의 답압은 잔디 엽내 엽록소 함량에 영향을 크게 끼치지 않으나 충격량이 증가할수록 엽록소 함량이 감소하는 경향을 나타내었다(Table 1). 이는 답압 스트레스가 약할 경우에는 엽록소 합성에 대한 억제 작용이 크지 않으나 답압



**Fig. 1.** 2 DE- protein expressions of proteins in *Zoysia japonica*. Each small letter indicates specific protein shown in Table 3. Spots were visualized with silver staining and collected for MALDI-TOF analysis and protein identification. Red and blue arrows mean up-regulated in control and up-regulated in trampling treatments, respectively. All spots except v spot showed up-regulated expression in this figure.

강도가 커짐에 따라 엽 조직의 부분적 파괴 등으로 엽록소 합성 능력이 저하되어 그 함량이 낮아지는 것으로 생각된다. 광합성 능력을 평가하는 기준 중 하나인 엽록소 형광은 답압을 하지 않은 무처리구에서 가장 높게 나왔고, 가해지는 답압의 충격량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다(Table 1). 이것으로 보아 답압을 하게 되면 물리적인 힘이 가해지기 때문에 지상부의 잎에 손상을 주게 되어 광합성 능력이 떨어지고 답압의 충격량이 증가할수록 잎에 손상이 증가하여 광합성 능력이 감소하는 것으로 판단된다. 지하부는 직접적인 물리적 손상을 받지 않으나, 기존 연구(Lee et al., 2007)에서 나타난 것처럼 토양의 고결화에 따른 뿌리 호흡 감소가 일어나 생장이 억제될 것으로 예측되었으나 실험결과 지하부의 생장은 지상부와는 달리 약한 답압에 의해 생장이 촉진되는 결과를 보였다. 본 연구의 답압 기간은 6주로서 이 이상의 긴 기간 동안 답압이 지속되어 토양 고결화가 진행될 경우 지하부의 생장은

본 연구의 결과와는 상이하게 나타날 수도 있으나 6 주간의 약한 답압은 지하부의 경우는 뿌리와 토양의 접촉 증가와 지상부로부터의 양분 전류 등으로 인해 촉진되는 것으로 확인되었다.

잔디의 피복 정도와 품질에 영향을 주는 엽수를 보면, 답압의 충격량이 증가할수록 엽수가 감소하는 경향을 보였으나 답압을 하지 않은 무처리구와 약답압, 중답압과 강답압의 처리구에서는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다(Table 1). 본 실험과정에서 답압처리하는 잔디 표면에 합판을 덮은 후 실시하였으므로 기계적으로 잔디 잎들이 떨어지지 않는 것이다. 그러므로 엽수 차이는 엽발생 정도의 차이를 의미한다고 볼 수 있어 답압 스트레스는 강해질수록 신엽의 발생을 억제하는 것으로 확인되었다.

답압의 정도가 커짐에 따라 건물중이 감소하는 경향을 보였고(Table 1), 지하부 건물중은 약답압에서 16.24 g으로 중량이 가장 높게 나왔고, 강답압에서 7.69 g으로 가장 낮

**Table 2.** Identification of expressed major proteins after treatment of tramplng in *Zoysia japonica*.

Spot ID	Protein name	Function	MW	pI	Coverage
a	17.0 kDa class II heat shock protein	Protein involved in the response to stress	17047	7.8	32.5
b	Elicitor peptide 5	Elicitor of plant defense	9944	10	45.3
c	30S ribosomal protein S14, chloroplastic	RNA-binding	11871	11.7	44
d	Heat Stress transcription factor A-7a	Protein involved in the response to stress	31776	6	14.5
e	Oxygen-evolving enhancer protein 1 (Fragment)	Photosynthesis	21789	5.2	31
f	Late embryogenesis abundant protein 1	Protein involved in the response to stress	36791	6.4	22.4
g	Malate dehydrogenase, cytoplasmic	Synthesis of glucose	35590	5.8	14.5
h	Malate dehydrogenase, cytoplasmic	Synthesis of glucose	35590	5.8	31.6
i	Terpenoid synthase 28	Secondary metabolite biosynthesis;	69657	6.2	5.5
j	Putative uncharacterized protein	Photosynthesis	34892	6.1	21.9
k	Os01g0501800 protein	Photosynthesis	34862	6.1	21.9
l	Ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase activase A, chloroplastic	Activation of RuBisCO, ATP binding	51074	8	13.6
m	Histidinol dehydrogenase, chloroplastic	Amino acid biosynthesis	50959	6.1	9.4
n	Predicted protein	Photosynthesis	34471	5.7	24.1
o	Alanine aminotransferase 2	Biosynthetic process	52683	5.8	15.8
p	Enolase 2	Glycolysis	48163	5.7	34.3
q	ATP synthase subunit gamma, chloroplastic	ATP synthesis, Hydrogen ion transport,	39790	8.4	15
s	Heat shock 70 kDa protein 10, mitochondrial	Protein involved in the response to stress, Chaperone	72991	5.6	14.1
t	2,3-bisphosphoglycerate-independent phosphoglycerate mutase	Glycolysis	61184	5.4	11.6
u	Oxygen-evolving enhancer protein 1 (Fragment)	Photosynthesis	21789	5.2	31
v	Systemin	Defense gene transcription	23000	4.6	20.5

게 나왔다. 지하부 건물중은 답압의 약답압 > 무답압 > 중답압 > 강답압 순으로 나왔다(Table 1). 따라서 지하부 길이에서 확인된 것처럼 약한 정도의 답압은 지하부의 생육을 촉진시키는 것으로 나타났다.

### 잔디 지상부의 단백질 발현 분석

약답압에 의해 변화하는 단백질 발현을 이차원전기영동을 통해 확인한 결과, 약답압에서 증가한 25개 스팟 중에서 20개 단백질을 동정하였으며, 무처리보다 약답압에서 감소한 9개 스팟 중에서 1개 단백질이 동정되었다(Table 2, Fig. 1). 이 중 광합성과 관련된 단백질인 Oxygen-evolving enhancer protein 1, Putative uncharacterized protein, Os01g0501800 protein, Predicted protein이 확인되었고(Yu et al., 2005; Matsumoto et al., 2011), 해당작용과 관련된 Enolase 2, 2,3-bisphosphoglycerate-independent phosphoglycerate mutase가 동정되었다(Lal et al., 1998; Forsthoefel et al., 1995). 또한 글루코오스 생합성에 관련된 효소인 Malate dehydrogenase (Musrati et al., 1998), 아미노산 생합성에 관련된 효소인 Histidinol dehydrogenase (Nagai et al., 1991), 이온 결합과 ATP 생합성에 관련된 효소인 ATP synthase subunit gamma (Schmelz et al., 2006) 등도 동정되었다. 답압을 하지 않은 무처리보다 약답압 시 발현이 증가된 단백질들은 생육에 중요한 기능을 담당하는 광합성 관련 단백질과 아미노산 생합성 관련 단백질, 해당과정과 같은 호흡 관련 단백질 등 주요 일차대사과정에 필수적인 단백질 발현이 증가하여 약답압은 지상부의 생육에 대한 물리적 억제는 유발하나 생리적 기능은 감소되지 않고 도리어 증진시키는 것으로 확인되었다. 이 외에도 약답압 시 증가한 단백질 중 Heat shock 70 kDa protein 10 (HSP 70)은 열 충격 스트레스 관련 샤페론으로 스트레스 하에서 단백질의 침전·변성을 방지하고 손상된 단백질의 복구에 중요한 기능을 하는 것으로 알려져 있는 단백질로(Ellis, 1987; Myung et al., 2003) 이를 통해 잔디가 답압 스트레스를 일정 수준 이하(약답압)로 받게 되면 식물체 내에서 스트레스에 대해 적응하기 위해 직접적으로는 스트레스에 대처하는 단백질을 증가시켜 스트레스 하에서도 잔디의 생육을 유지하고 일부 조직은 생육이 촉진되는 것을 알 수 있었다. 테르페노이드 생합성 관련 단백질(i), 방어 관련 단백질(b)도 이러한 측면에서 답압에 의한 스트레스 경감과 관련이 있을 것으로 보여진다. 다만, 이러한 단백질 발현으로 조절 가능한 범위 이상의 과도한 답압 스트레스 하에서는 토양 환경이 과도하게 불량해지고 근계의 생육 억제로 잔디의 생육이 저하되는 것으로 보여진다(Asady and Smucker, 1989).

## 요 약

답압스트레스는 골프장 등에 한국잔디(*Zoysia japonica*)로 조성된 잔디밭에서 인간의 이동, 농기계나 차량의 이동 등에서 종종 발생한다. 본 연구는 잔디의 생육에 답압 스트레스가 미치는 영향을 알아보기 위하여 무답압(0 J day<sup>-1</sup>), 약답압(1,570 J day<sup>-1</sup>), 중답압(4,710 J day<sup>-1</sup>), 강답압(9,420 J day<sup>-1</sup>) 4수준의 답압조건에서 지상부와 지하부 길이, 광합성 능력, 엽수, 건물중, 2-DE 단백질 분석을 실시하였다. 지상부 길이는 답압을 주게 되면 답압을 하지 않은 무처리구 비해 급격하게 줄어들었고, 답압의 충격량이 증가할수록 길이가 짧아지는 경향을 나타냈다. 지하부 길이는 답압을 한 처리구가 답압을 하지 않은 무처리구 보다 길이가 길었고, 그 중 약답압을 한 처리구에서 가장 길었다. 광합성 능력은 답압을 주게 되면 답압의 충격량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 엽수는 답압을 하지 않은 무처리구에서 가장 많이 나왔고, 답압의 충격량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 지상부 건물중은 답압이 증가할수록 감소하는 것으로 확인 되었고, 중답압과 강답압에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 한국잔디에 답압을 주게 되면 그에 따른 스트레스에 적응하기 위해 반응하는 단백질이 발현되었다. 단백질 변성을 막아주는 heat shock 70 kDa protein 10와 광합성에 관련된 Oxygen-evolving enhancer protein 1이 발현이 증가 되었다. 이상 종합해보면 답압 조건에 따른 한국잔디의 생육에 차이가 있었으며, 일정수준의 답압이 잔디 생육에 있어서 지상부 생육은 답압하지 않은 것보다 저조 하였으나 지하부 생육은 다소 촉진되었다.

**주요어:** 골프코스, 잔디밭, 답압스트레스, *Zoysia japonica*

## Acknowledgement

This study was carried out with the support of the "Environment Technology Development Project (2014000130006)" from the Ministry of Environment of Korea.

## References

- Asady, G.H. and Smucker, A.J.M. 1989. Compaction and root modification of soil aeration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:251-254.
- Bidadi, H., Yamaguchi, S., Asahina, M. and Satoh, S. 2010. Effects of shoot-applied gibberellin/gibberellin-biosynthesis inhibitors on root growth and expression of gibberellin biosynthesis genes in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Root* 4:4-10.
- Birchmeier, W. and Behrens, J. 1994. Cadherin expression in

- carcinomas: role in the formation of cell junctions and the prevention of invasiveness. *Biochem. Biophys. Acta.* 1198:11-26.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72:248-254.
- Carrow, R.N. 1980. Influence of soil compaction on three turfgrass species. *Agron. J.* 72:1038-1042.
- DaCosta, M. and Huang, B. 2006. Changes in carbon partitioning and accumulation patterns during drought and recovery for colonial bentgrass, creeping bentgrass, and velvet bentgrass. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131:484-490.
- Ellis, J. 1987. Proteins as molecular chaperones. *Nature* 328:378-379.
- Engelke, M.C., Murrery, J.J. and Yeam, D.Y. 1983. Distribution, collection and use of zoysiagrass in the far east, part II. *Agron.* p. 125. (Abstr.).
- Forsthoefel, N.R., Vernon, D.M. and Cushman, J.C. 1995. A salinity-induced gene from the halophyte *M. crystallinum* encodes a glycolytic enzyme, cofactor-independent phosphoglyceromutase. *Plant Mol. Biol.* 29:213-226.
- Fukuoka, H. 1997. Breeding of zoysia in Japan. International symposium of zoysiagrass breeding. Dankook Univ. Cheonan, Korea. pp. 1-8.
- Głąb, T. and Szewczyk, W. 2014. Influence of simulated traffic and roots of turfgrass species on soil pore characteristics. *Geoderma* 230:221-228.
- Głąb, T., Szewczyk, W., Dubas, W., Kowalik, K. and Jezierski, T. 2015. Anatomical and morphological factors affecting wear tolerance of turfgrass. *Sci. Hortic.* 185:1-13.
- Hippo, Y., Taniguchi, H., Tsutsumi, S., Machida, N. and Chong, J.M., et al. 2002. Global gene expression analysis of gastric cancer by oligonucleotide microarrays. *Cancer Res.* 62:233-240.
- Kim, K.N. and Nam, S.Y. 2003. Comparison of early germinating vigor, germination speed and germination rate of varieties in *Poa pratensis* L., *Lolium perenne* L. and *Festuca arundinacea* Schreb. grown under different growing conditions. *Kor. Turfgrass Sci.* 17:1-12. (In Korean)
- Kim, K.N. and Nam, S.Y. 2005. Seasonal differences in turf quality of Kentucky bluegrass, perennial ryegrass, tall fescue and mixtures grown under a pure sand of USGA system. *Kor. Turfgrass Sci.* 19:151-160. (In Korean)
- Kuniyasu, H., Yasui, W., Kitadai, Y., Yokozaki, H., Ito, H., et al. 1992. Frequent amplification of the c-met gene in scirrhus type stomach cancer. *Biochem. Biophys Res. Commun.* 189:227-232.
- Lal, S.K., Lee, C. and Sachs, M.M. 1998. Differential regulation of enolase during anaerobiosis in maize. *Plant Physiol.* 118:1285-1293.
- Lee, J.H., Son, J.S., Kim, I.C. and Joo, Y.K. 2007. Effects of a forced air-flow system for recovery of turfgrass after intensive traffic injury. *Kor. Turfgrass Sci.* 20:127-136. (In Korean)
- Lee, S.W., Lee, J.P. and Kim, D.H. 2008. The influence of traffic time and fertilizer type on the quality of golf course putting greens. *Kor. Turfgrass Sci.* 22:65-74. (In Korean)
- Matsumoto, T., Tanaka, T., Sakai, H., Amano, N., Kanamori, H., et al. 2011. Comprehensive sequence analysis of 24,783 barley full-length cDNAs derived from 12 clone libraries. *Plant Physiol.* 156:20-28.
- Musrati, R.A., Kollárová, M., Mernik, N. and Mikulášová, D. 1998. Malate dehydrogenase: distribution, function and properties. *Gen. Physiol. Biophys.* 17:193-210.
- Myung, J.K., Krapfenbauer, K., Weitzdoerfer, R., Peyrl, A., Fountoulakis, M., et al. 2003. Expressional patten of chaperones in neuronal, glial, amnion, mesothelial, and bronchial epithelial cell lines. *Mol. Genet. Metab.* 80:444-450.
- Nagai, A., Ward, E., Beck, J., Tada, S., Chang, J.Y., et al. 1991. Structural and functional conservation of histidinol dehydrogenase between plants and microbes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 88:4133-4137.
- Park, W.S., Oh, R.R., Park, J.Y., Lee, S.H., Shin, M.S., et al. 1999. Frequent somatic mutations of the beta-catenin gene in intestinal-type gastric cancer. *Cancer Res.* 59:4257-4260.
- Schmelz, E.A., Carroll, M.J., Leclere, S., Phipps, S.M., Meredith, J., et al. 2006. Fragments of ATP synthase mediate plant perception of insect attack. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 103:8894-8899.
- Wang, W., Rai, R. and Chen, S. 2008. Optimizing protein extraction from plant tissues for enhanced proteomics analysis. *J. Sep. Sci.* 31:2032-2039.
- Yokozaki, H., Yasui, W. and Tahara, E. 2001. Genetic and epigenetic changes in stomach cancer. *Int. Rev. Cytol.* 204:49-95.
- Yu, J., Wang, J., Lin, W., Li, S., Li, H., et al. 2005. The genomes of *Oryza sativa*: a history of duplications. *PLoS Biol.* 3:266-281.