Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2023;42(4):311-323, https://doi.org/10.5338/KJEA.2023.42.4.35
Online ISSN: 2233-4173
Published online 08 December 2023, Printed 31 December 2023
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

건조, 강우, 저온 환경에서 관상용 억새 원예품종의 생장 반응과 경관의 지속성

김기동[1], 김영선[2], 이정호[3*]

[1]주식회사 누보이엔지, [2]대구대학교 과학생명융합대학 원예학과, [3]한국골프대학교 골프코스경영과

Growth Response and Durability of Landscape of Ornamental *Miscanthus sinensis* Cultivars to Drought, Rain Fall and Low Temperature Condition

Ki-Dong Kim[1], Young-Sun Kim[2] and Jeong-Ho Lee[3*] ([1]Department of Golf Course Landscaping Business, Nousbo ENG, Yongin 17035, Korea, [2]Department of Horticultural Science, College of Natural and Life Sciences, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, [3]Department of Golf Course Management, Korea Golf University, Hoengseong 25249, Korea)

Received: 09 November 2023/ Revised: 15 November 2023/ Accepted: 01 December 2023

ORCID

Ki-Dong Kim
https://orcid.org/0000-0002-3266-4683

Young-Sun Kim
https://orcid.org/0000-0002-5645-7021

Jeong-Ho Lee
https://orcid.org/0009-0001-4073-010X

Abstract

Miscanthus sinensis Andersson (Poaceae) cultivars exhibit excellent visual appeal as ornamental grasses and adapt well to diverse environmental conditions. This study focused on assessing the growth response and landscape durability of seven popular *Miscanthus* cultivars (‘Gold Breeze’, ‘Strictus’, ‘Morning Light’, ‘Variegatus’, ‘Gracillimus’, ‘Kleine Fontäne’, ‘Common’) under drought, rainfall and low temperature condition. The test cultivars were transplanted and cultivated on research plots in 2013, with data collected from June 2017 to February 2018. Plant materials were categorized into three types based on the amount of the water lost; group I (‘Kleine Fontäne’, ‘Variegatus’, ‘Strictus’), experiencing the most significant water loss; group II (‘Common’, ‘Gracillimus’); and group III (‘Gold Breeze’, ‘Morning Light’) where the least water loss occurred. The drought resistance index (DRI) remained low as water shortage conditions persisted. The lodged angle underwent more pronounced changes in reproductive growth stage than in vegetative growth stage, notably decreasing after heading. Discoloration patterns were classified into two types: group I (‘Common’, ‘Gold Breeze’, ‘Kleine Fontäne’, ‘Strictus’) and group II (‘Gracillimus’, ‘Morning Light’, ‘Variegatus’) based on the periods of peak duration.

Key words: Discoloration, Drought resistance index, Lodged angle, Mean weekly discoloration, *Miscanthus sinensns*, Poaceae

*Corresponding author: Jeong-Ho Lee
Phone: +82-33-810-1066; Fax: +82-33-810-1001;
E-mail: teetogreen@naver.com

서 론

대한민국은 전이 지대(transition zone)로 난대성 식물부터

온대성 식물까지 다양하게 서식하고 있지만 연평균 기온의 상승, 특히 최저 기온의 상승은 재배식물의 분포를 변화시켜 왔다[1]. 또한 건조와 가뭄의 피해가 늘고 있고 수자원의 제한적 이용이 중요해짐에 따라 내건성 품종 육성은 식량작물과 비식량작물을 망라하여 주요 이슈가 되고 있다[2-6].

관상용그래스(ornamental grasses)는 양지, 음지, 건조, 습지 및 수변 등 다양한 생육환경에 적응하고, 여러 가지 토성(soil texture)과 척박한 토양에도 적응력이 우수한 5가지 식물군을 포함한다[7,8]. 전 세계적으로 녹지, 건축 조경, 가정원예 분야에서 광범위하게 식재되고 국내에서는 하천변, 가로변, 광장 및 공원 등의 저 관리 지역에서 식재되고 있다[9-11]. 저 관리 지역은 관수 여건이 가장 중요한 관리 인자가 되며 억새속(*Miscanthus* spp.), 수크령속(*Pennisetum* spp.) 등과 같이 건조에 강한 C_4 type의 종을 선택하는 것이 경관 유지에 유리하며 관리 비용이 절감된다.

억새속 식물은 생태적 천이과정에서 목본 식물의 전 단계에 우점하는 식물군이며 키가 큰 종이 많이 분포하고 있다[12-14]. 초고가 높은 종이 많아 가시성이 뛰어나지만 상대적으로 도복에 취약하다. 도복의 정도는 식물의 형태에 의한 구조적 요인, 생육단계에 따른 생장요인, 기상에 의한 환경요인 및 관리적 요인이 복합적으로 작용하는데[15] 특정 시기에 강우와 바람에 의한 영향을 가장 많이 받는다[14,16,17]. 도복의 위험성은 영양생장기, 생식생장기, 휴면기까지 전 생애주기에 걸쳐 존재하기 때문에 도복에 강한 성질은 억새 원예품종의 경관 지속성을 위한 가장 중요한 특성이 된다. 한편, 저온이 지속되면 고유의 엽색과 무늬는 퇴색(discoloration)되며 휴면을 맞이한다.

본 연구에서는 주요 억새 품종 7가지를 선정하여 단수 후 토양수분함량의 변화, 건조저항지수(drought resistance index, DRI), 도복각(lodged angle, LA), 도복률(lodging rate, LR), 퇴색평가(visual rating), 평균 퇴색 속도(mean weekly discoloration, MWD)를 바탕으로 건조, 강우, 저온 환경에서의 생장 반응과 경관 지속성에 대하여 연구하였다.

재료 및 방법

공시 재료

공시 재료는 국내에서 식재되고 있는 억새(*Miscanthus sinensis*) 품종 중에서 7종을 선정하였다(Table 1). 일반적인 특성은 미 농무성(United States Department of Agriculture, USDA)의 Natural Resources Conservation Service Plant Database와 Missouri Botanical Garden (MBG)의 Plant Finder, The Encyclopedia of Grasses for the Livable Landscapes, 산림청(Korea Forest Service, KFS)의 한국식물 도해도감 및 원색 대한식물도감을 인용하였다[18,19]. 식물명은 국립수목원(Korea National Arboretum, KNA) 국가표준식물목록(Korean Plant Names Index, KPNI)에 명시된 학명과 품종명을 표기하였고[21] 일반명은 국가와 지역에 따라 다양하게 사용되는 경향이 있어 생략하였다.

건조 환경과 생장 반응

건조 환경에서의 생장 반응 실험은 2017년 7월부터 9월까지 양지붕형 유리온실(even span greenhouse)에서 3반복으로 실시하였다. 공시 재료는 2017년 7월 초 직경 300 mm, 깊이 300 mm의 플라스틱 화분에 실험 포장과 동일한 토양인 사질토양으로 구성하여 화분 당 10-15개의 줄기가 포함되도록 분주하였다. 1개월의 순화 과정을 거친 후 8월 15일 포화 수분을 공급한 후 배수가 멈춘 포장 용수량(field capacity) 상태에서 실험이 종료되는 39일간 단수 상태를 지속하였다. 토양수분함량의 변화는 수분측정기(TDR 150, Spectrum Technologies, Inc., Plainfield, IL, USA)를 이용하여 영구 위조점(permanent wilting point)까지 4일 간격으로 측정하였다. 위조 평가는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준을 응용하여 달관 평가로 실시하였다. 평가등급은 정상 개체를 기준으로 phase 1 (정상), phase 2 (1/4 정도 마름), phase 3 (1/4-1/2 정도 마름), phase 4 (2/3 이상 마름), phase 5 (대부분 마름)의 5단계로 구분하였다. DRI는 Nilsen[20]의 방

Table 1. Height, leaf pattern, growth habit and overall form of 7 *Miscanthus sinensis* cultivars in the study

Cultivar	Height (m)	Leaf pattern	Growth habit	Overall form
'Gold Breeze'	1.2-1.5	Zebra-stripe$^{1)}$	Short rhizomatous$^{4)}$	Upright arching$^{5)}$
'Strictus'	1.2-2.7			
'Morning Light'	1.2-1.8	Stripe$^{2)}$		
'Variegatus'	1.5-2.7			
'Gracillimus'	1.2-2.1	Normal$^{3)}$		
'Kleine Fontäne'	0.9-1.2			
'Common'	1.2-2.1			

$^{1)}$Horizontal bands of yellow variegation.
$^{2)}$Longitudinally striped with leaf vein of light golden-yellow or white variegation.
$^{3)}$Green color without variegation.
$^{4)}$Clumps slowly expand in circumference by short rhizomes, but typically retain tight clump shape.
$^{5)}$Foliage ascends stiffly and vertically, then falls in a fountain of arcs from the top. 'Gold Breeze' and 'Strictus' are more upright than other cultivars.

법을 응용하여 건조 환경에 의해 줄어든 엽폭과 정상 생육 개체의 엽폭의 비율로 정의하였다. DRI의 최대값은 ‘1’을 넘지 않으며 건조 환경이 지속될수록 DRI는 줄어든다.

$$DRI = Lwi \ / \ LW$$

Lwi: leaf width of after drought stress
LW: leaf width of normal growth

생장단계별 강우에 의한 도복각 변화와 도복률

생장단계별 강우 후 억새의 도복각의 변화는 실험포장에서 2017년 6월부터 2018년 2월까지 4반복으로 실시하였다. LA는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준을 응용하여 지면과 이루는 줄기의 외각(exterior angle)으로 정의하였다. 각 품종별 재식밀도는 개체당 50 cm × 50 cm 간격을 두고 식재하였다. 측정 시점은 1일 이상 강우가 지속되고 멈춘 다음 날 측정하였고 완전 도복된 개체는 제외하였다. LR은 화서 출현 전부터 개화, 결실기까지를 도복이 집중되는 시기로 판단하고 9월과 10월에 도복각 조사일과 동일한 날 실시하였다. 도복 판정 기준은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준을 응용하였다. 도복각의 범위에 따라 phase 1 (LA 0-30°), phase 2 (31-60°) 및 phase 3 (61-90°)까지 3단계로 구분하였으며 산출한 도복 개체수를 총 개체수로 나누어 백분율 산정하였다.

$$LR = (ni \ / \ N) \times 100$$

ni: number of lodged plant
N: total number of plant

저온 환경에 대한 엽색 퇴화

저온 환경에 대한 엽색의 퇴색 반응은 실험 포장에서 2017년 9월부터 12월까지 2주 간격, 4반복으로 실시하였으며 National Turfgrass Evaluation Program (NTEP)의 달관 평가를 응용하였다. NTEP의 방법은 퇴색 정도에 따라 scale 1 (equaling straw brown or no color retention)부터 9 (equaling dark green)까지 구분하고 있다. 이때 잎의 부분적 퇴색 정도를 평가하는 것은 아니며 개체 단위에서 전체적인 색채 변화를 기준으로 평가하였다(Fig. 1). MWD는 scale의 최대값을 소요 기간으로 나눈 값으로 정의하였다. ‘Scale 1’은 NTEP scale의 최소값이며 녹색이 없는 완전한 갈색의 상태를 의미하기 때문에 scale의 최소값을 ‘1’에서 ‘0’로, scale 최대값인 ‘9’에서 ‘8’로 보정하여 계산하였다.

$$MWD = 8 \ / \ T$$

8: calibrated maximum scale (constant)
T: total discoloration period (weeks)

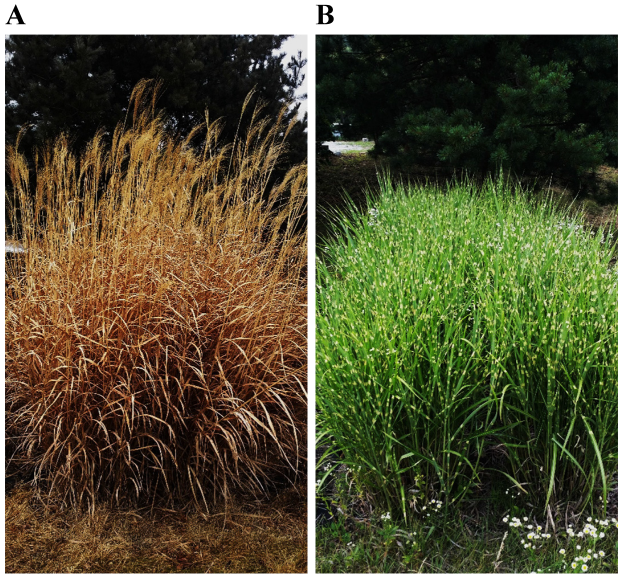

Fig. 1. Scale of winter discoloration. Discoloration evaluation method was applied to the National Turfgrass Evaluation Program (NTEP). It was evaluated with a 1 to 9 visual rating scale of 1=straw brown (A ‘Strictus’) and 9= completely green (B ‘Strictus’) color based on plot color not genetic color.

경관 지속성

본 실험의 결과를 종합하여 품종 간 분류표를 작성하였으며 경관유지와 관련된 강우, 건조, 저온 환경 조건에서 억새 품종의 경관 지속성에 대하여 기술하였다.

기상데이터 및 유지 관리

2017년 7월부터 2018년 2월까지 실험 기간 동안의 기상데이터는 실험포장에서 인접한 원주 기상청의 관측자료를 수집하여 월평균 기온(monthly mean temperature, MMT), 월평균 최저기온(monthly mean minimum temperature, MMmT) 및 월 누적 강수량(monthly cumulated precipitation, MCP)을 조사하였다(Fig. 2).

실험포장 토양 이화학성 분석은 공시 재료 정식 시에 실시하였으며 국립농업과학원 토양 및 식물체 분석법에 준하여 분석되었다. 토성(soil texture), pH, 전기전도도(electronic conductivity), 유기물 함량(organic matter)은 Tyurin법, 양이온치환용량(cation exchange capacity)은 1.0 M NH_4OAc (pH 7.0)법으로, 질산이온(NO_3), 유효인산(available phosphate, Av-P_2O_5)은 Lancaster법, 치환성 칼륨(K^+) 함량은 1.0 M NH_4OAc (pH 7.0)법으로 추출하여 유도결합 플라즈마 분광광도계(ICP-OES, GBC, Integra XL Dual, Australia)으로 분석하였다(Table 2).

재배 관리는 2013년 정식 후 초기 활착을 위한 관수를 제외하고 자연강우에 의존하였고 시비는 실시하지 않았다. 매년 3월 초에 신초(shoot)가 발생하기 전 광량 확보를 돕고 신초 생장을 촉진시키기 위하여 지면에서 20 cm 높이로 묵은 지상부를 제거하였다[22-24].

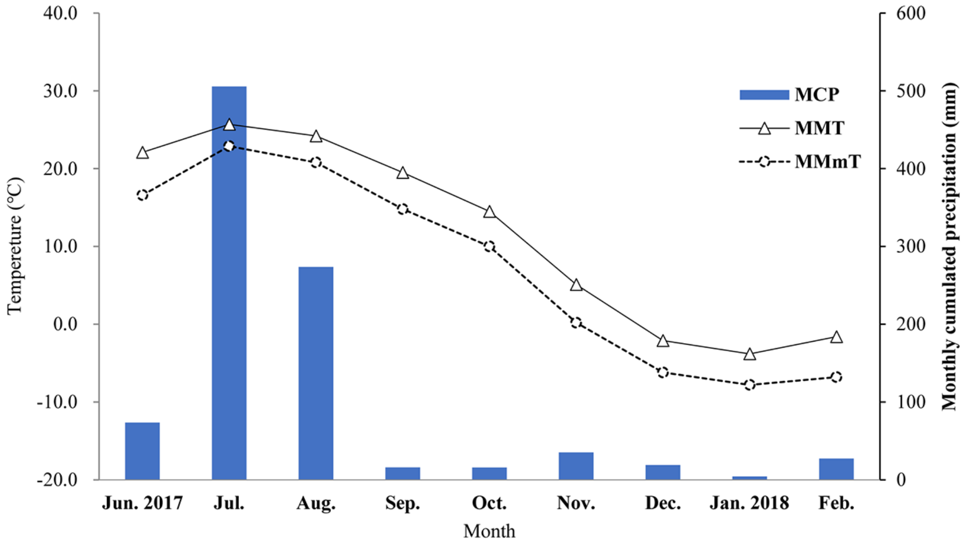

Fig. 2. Weather information during the test period. Monthly mean temperature (MMT), monthly mean minimum temperature (MMmT) and monthly cumulated precipitation (MCP) at the research field from June 2017 to February 2018 during the test period.

Table 2. Physicochemical properties of soil used in this experiment

Soil texture	pH (1:5)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	CEC ($cmol_c$/kg)	Av. P_2O_5 (mg/kg)	NO_3 (mg/kg)	K^+ ($cmol_c$/kg)
Sandy loam	6.5	0.022	3.0	15.4	430.6	160.3	0.2

통계 분석

시험구 배치는 완전임의배치법으로 적용하였다. 통계분석은 Statistical Analysis System (SAS) 9.4 프로그램의 ANOVA를 이용하여 품종 간 초봄 생육특성, 초형 형성 특성 및 형태적 특성을 비교 분석하였다. 평균 간 유의성 검정은 던컨의 다중검정법(Duncan’s multiple range test) 5% 오차 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

건조 환경에서의 생육

온실 실험 결과 품종 간 토양 수분함량의 감소 폭과 건조 환경에 대한 저항의 차이는 다양하였다(Table 3). 8월 15일 포장용수량은 26.7 (‘Strictus’) - 28.4 (‘Gold Breeze’) %의 분포를 보였고 시간이 경과함에 따라 전체적으로 감소하였다. 수분함량 감소 폭에 따라 감소 폭이 큰 group I (‘Kleine Fontäne’, ‘Variegatus’, ‘Strictus’), 감소 폭이 중간인 group II (‘Common’, ‘Gracillimus’) 및 감소 폭이 작은 group III (‘Gold Breeze’, ‘Morning Light’)의 3가지 유형으로 구분되었다. Group I (‘Kleine Fontäne’, ‘Variegatus’, ‘Strictus’)은 단수 12일째인 8월 27일 대부분 고사(phase 5)하였으며 group II (‘Common’, ‘Gracillimus’)는 단수 16일째인 8월 31일, group III (‘Gold Breeze’, ‘Morning Light’)은 단수 24일째인 9월 8일 대부분 고사하였다. 위조 평가 결과 group I, group II의 경우 phase 1에서 phase 4 이상 급격한 위조 현상이 나타났고 group III은 완만한 변화를 보였다. DRI의 변화 경향도 group I, group II에서는 phase 4 이상이 될 때 급격히 감소하였으며 group III은 완만한 변화를 보여 위조 평가 결과와 유사한 경향이었다(Table 4). 공통적으로 토양 수분함량이 5% 이하가 되면 위조현상이 나타날 수 있으며 관수가 필요할 것으로 판단된다.

식물이 건조 환경에 노출되면 전해질 용출량이 증가하며 엽록소 함량, 엽면적이 감소하고 잎 탈락현상이 증가한다[6, 24-26]. 본 실험에서는 가시적으로 변화를 인지할 수 있는 갈변현상과 엽면적 감소 정도를 건조스트레스의 판단 기준으로 설정하였다. 공시 재료의 경우 건조 환경의 노출시간이 지속될수록 갈변 및 고사 정도가 심해졌고 DRI가 감소하였는데 DRI의 감소는 엽폭의 감소에 의한 것으로 기존 연구와 동일한 결과를 확인하였다[27-29]. *M. sinensis* cultivars의 건조 저항성에 대한 연구에 따르면 ‘Zebrinus’ > ‘Gracillimus’ > ‘Variegatus’ > ‘Common’의 순서로 저항성이 강하다고 보고되어 있다[30]. 그러나, 본 실험에서는 ‘Gracillimus’와 ‘Variegatus’의 품종 간 비교는 일치하였으나 ‘Common’ (*M. sinensis* Andersson)의 경우 오히려 ‘Variegatus’보다 저항성이 강한 것으로 나타났다. *M. sinensis* Andersson은 억새속 중에서도 유전적 변이가 많이 나타나는 것으로 알려져 있기 때문에 결과가 상이할 수 있을 것으로 사료된다[31-35].

한편, 본 실험이 진행된 시기가 고온의 8월이고 온실 내 일

Table 3. Changes of soil water content under water cut-off condition in the green house (August 2017, *n*=3)

Cultivar	Soil water content[1)] (%)							
	Aug. 15[2)]	Aug. 19	Aug. 23	Aug. 27	Aug. 31	Sep. 4	Sep. 8	Sep. 12
'Gold Breeze'	28.4	21.2	15.8	9.4	6.7	3.7	2.0	0.0
'Strictus'	26.7	13.1	4.4	2.6	0.0	-[3)]	-	-
'Morning Light'	27.8	21.4	14.1	6.5	3.1	1.2	0.0	-
'Variegatus'	27.9	12.6	5.4	1.6	0.0	-	-	-
'Gracillimus'	27.3	16.1	8.8	3.7	1.5	0.0	-	-
'Kleine Fontäne'	28.1	10.1	3.3	1.5	0.0	-	-	-
'Common'	27.6	16.2	11.9	5.8	2.2	1.7	0.0	-

1)It was measured by soil moisture meter (Field Scout™ TDR 150).
2)Field capacity.
3)Not measured after water contents 0.0%.

Table 4. Wilting rate and drought resistance index (DRI) of 7 *Miscanthus sinensis* cultivars under water cut-off condition (August 2017, *n*=3)

Cultivar	Wilting rate[1)] (DRI)[2)]							
	Aug. 15	Aug. 19	Aug. 23	Aug. 27	Aug. 31	Sep. 4	Sep. 8	Sep. 12
'Gold Breeze'	1 (0.92)	1 (0.92)	1 (0.93)	1 (0.93)	1 (0.93)	3 (0.61)	4 (0.27)	5 (0.15)
'Strictus'	1 (0.90)	1 (0.90)	1 (0.90)	5 (0.20)	-[3)]	-	-	-
'Morning Light'	1 (0.84)	1 (0.85)	1 (0.85)	1 (0.85)	3 (0.62)	4 (0.37)	5 (0.22)	-
'Variegatus'	1 (0.94)	1 (0.94)	1 (0.94)	5 (0.18)	-	-	-	-
'Gracillimus'	1 (0.90)	1 (0.91)	1 (0.91)	1 (0.92)	5 (0.26)	-	-	-
'Kleine Fontäne'	1 (0.92)	1 (0.92)	1 (0.92)	5 (0.22)	-	-	-	-
'Common'	1 (0.94)	1 (0.94)	1 (0.95)	1 (0.95)	4 (0.26)	5 (0.19)	-	-

1)Visual rating of wilting rate is based on phase 1 to 9 rating scale by Rural Development Administration (2012). 1=normal growth, 2=1/4 wilted, 3=1/4-1/2 wilted, 4=more than 2/3, 5=mostly wilted.
2)DRI = Lwi/LW. Lwi=leaf width after drought stress (cm), LW=leaf width on normal growth (cm).
3)Not measured after phase 5.

최고 기온이 40°C에 육박하는 조건이었으며 pot 실험이었음을 고려한다면 수분의 손실이 급격히 발생하였을 것으로 추정된다[36-38]. 향후 다양한 토양의 물리적 조건과 시기, 그리고 필드 실험을 통해 자연 조건에서 건조 환경에 따른 DRI의 변화와 경관의 지속성에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

생육단계별 강우 시 억새의 도복각

Kim et al.[39]은 하천의 흐름에 대한 식물의 대응 연구에서 억새의 줄기는 유속의 변화에 따라 휘어짐과 회복을 반복한다고 보고하였으며 본 연구에서도 강우 조건에 따라 줄기의 휘어짐과 회복이 반복되어 나타났다. 그린업이 완료된 6월 2일 실험 포장에서의 도복각은 78.8-80.0°의 분포로 통계적으로 유의적인 차이가 없었으나 강우 환경에 지속적으로 노출되면서 품종마다 차이를 나타냈다(Fig. 3-5, Table 5). 출수기에 도복에 가장 취약한 점을 고려하여 출수 패턴에 따라 조기 출수 품종('Kleine Fontäne', 'Common', 'Strictus')과 만기 출수 품종('Variegatus', 'Gracillimus', 'Morning Light')으로 구분하여[42] 도복각의 변화를 분석하였다. 조기 출수 품종 중에서 'Kleine Fontäne'는 7월 말 화서가 출현한 품종으로 7월 26일 도복각이 감소하여 8월 6일 51.3°까지 급격히 감소하였다(Fig. 3, Table 5). 이후 9월 20일까지 8월 6일과 큰 차이가 없었으며 10월 3일 이후 전체적으로 상승하였다. 'Strictus'와 'Common'은 도복각 변화 정도의 차이는 있었으나 변화 양상은 서로 유사하였다(Fig. 3, Table 5). 'Strictus'와 'Common'은 9월 초 화서가 출현한 품종으로 9월 12일 이후 9월 20일까지 급격하게 감소하였으며 10월 13일 이후 도복각이 상승하였다. 만기 출수 품종 중 'Variegatus'는 공시 재료 중에서 도복각의 변화 폭이 가장 크게 나타났다(Fig. 4, Table 5). 도복 저항성과 관련된 식물의 형태적 성질에 대한 연구에 의하면 초고는 부의 상관[41-43], 줄기 직경은 정의 상관[44,45]이 나타난다고 보고되어 있다. 'Variegatus'는 초고가 높고 엽폭이 넓으며 엽신이 길지만 줄기둘레가 크고 줄기 직경이 짧아 도복에 취약한 특성으로 인해 도복각이 크게 감소한 것으로 사료되었다. 특히 9월 12일과 20일 사이 도복각이 40° 이하로 급격히 감소하였는데 9월 말 화서가 출현한 것을 감안하면 출수 전에도 조건에 따라 도복 피해가 나타나 경관이 불량해질 수

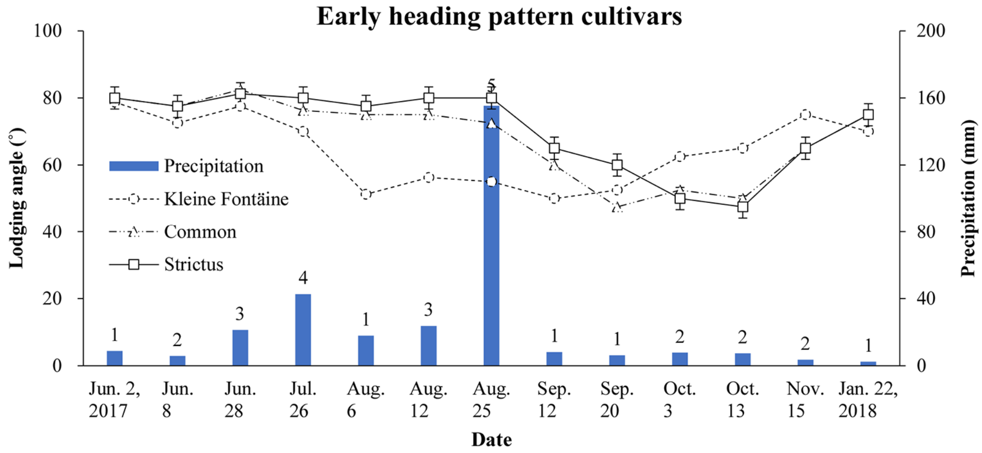

Fig. 3. Changes of lodged angle of 3 early heading cultivars ('Kleine Fontäne', 'Common', 'Strictus'). It shows that more lodged in the reproductive growth stage than vegetative growth stage. The numbers above histogram indicate the date of successive precipitation days.

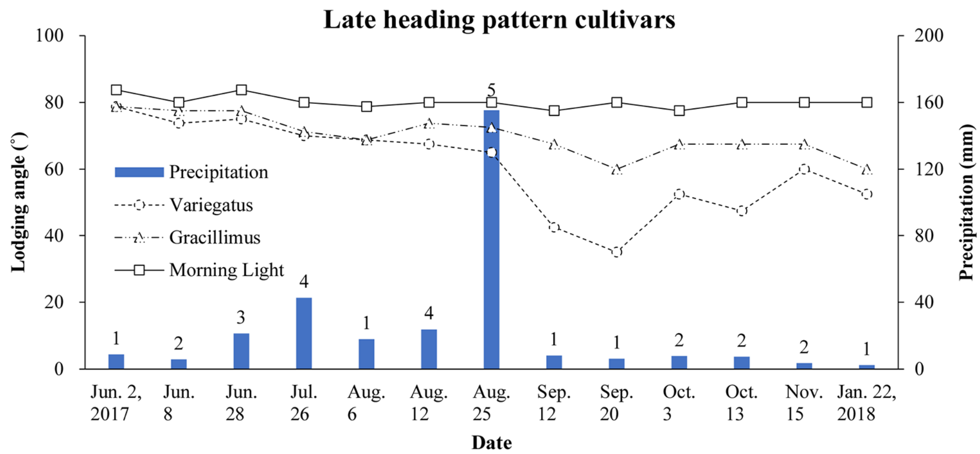

Fig. 4. Changes of lodged angle on the late heading cultivars ('Variegatus', 'Gracillimus', 'Morning Light'). It shows that more lodged in the reproductive growth stage than vegetative growth stage. 'Morning Light' was kept its overall form during test period. The numbers above histogram indicate the date of successive precipitation days.

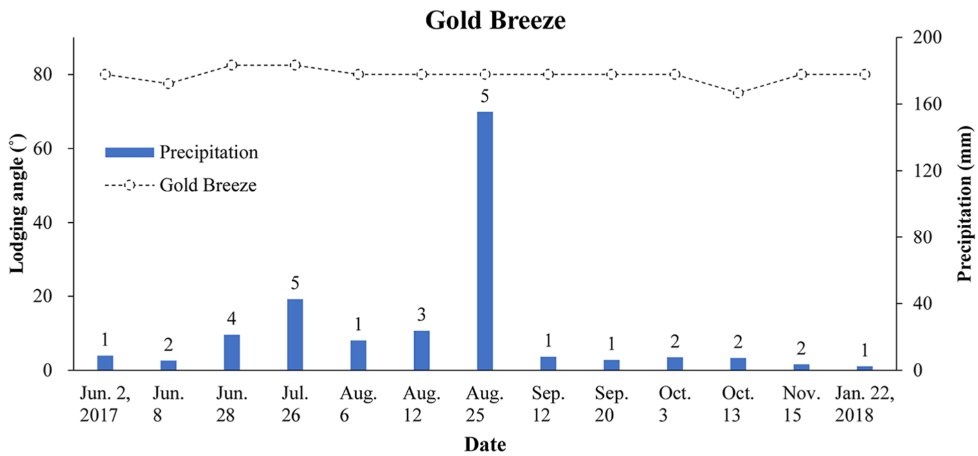

Fig. 5. Changes of lodged angle on 'Gold Breeze'. It did not bloom and showed that kept its overall form during test period. The numbers above histogram indicate the date of successive precipitation days.

Table 5. Chances of lodged angle on 7 *Miscanthus sinensis* cultivars after rainfall (n=4)

Cultivar	Lodged angle[1)] (°)												
	2017												2018
	Jun. 2	Jun. 8	Jun. 28	Jul. 26	Aug. 6	Aug. 12	Aug. 25	Sep. 12	Sep. 20	Oct. 3	Oct. 13	Nov. 15	Jan. 22
'Gold Breeze'	80.0	77.5	82.5	82.5	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	75.0	80.0	80.0
'Strictus'	80.0	77.5	81.3	80.0	77.5	80.0	80.0	65.0	60.0	50.0	47.5	65.0	75.0
'Morning Light'	83.8	80.0	83.8	80.0	78.8	80.0	80.0	77.5	80.0	77.5	80.0	80.0	80.0
'Variegatus'	78.8	73.8	75.0	70.0	68.8	67.5	65.0	42.5	35.0	52.5	47.5	60.0	52.5
'Gracillimus'	78.8	77.5	77.5	71.3	68.8	73.8	72.5	67.5	60.0	67.5	67.5	67.5	60.0
'Kleine Fontäne'	78.8	72.5	77.5	70.0	51.3	56.3	55.0	50.0	52.5	62.5	65.0	75.0	70.0
'Common'	80.0	77.5	82.5	76.3	75.0	75.0	72.5	60.0	47.5	52.5	50.0	65.0	75.0

[1)]Exterior angle of stem to the ground. It measured after rainfall throughout 1 day and excluded completely lodged plants.

있을 것으로 사료된다. 'Gracillimus'의 도복각 변화 양상은 'Variegatus'와 유사하였으나 변화 폭은 크지 않았다(Fig. 4, Table 5). 'Morning Light'는 영양생장기간과 생식생장기간 모두 큰 변화가 없었으며 공시 재료 중 변화 폭이 가장 좁게 나타났다(Fig. 4, Table 5). 한편, 'Gold Breeze'는 초고가 낮고, 줄기둘레가 크고 직경이 긴 특성으로 인해 강우 후에도 도복각의 변화가 작았던 것으로 사료되었다(Fig. 5, Table 5). 그러나 실험기간 동안 출수가 되지 않았으며 생식생장기간의 데이터는 확인할 수 없었다.

실험 기간 중 강우강도가 가장 강했던 8월 25일을 기준으로 출수된 품종은 'Kleine Fontäine' 1종이었다. 'Kleine Fontäine'를 제외한 6품종은 8월 25일 영양생장기간이었으며 강한 강우 후에도 도복각의 큰 변화가 없었다. 그러나 'Kleine Fontäine'의 경우 강우강도가 강했던 8월 25일보다 출수 초기와 개화기인 8월 6일에는 약한 강우임에도 불구하고 도복각의 변화가 가장 크게 나타났는데 이러한 현상은 공시 재료에서 공통적으로 나타났다. 공시 재료의 경우 영양생장기보다 생식생장기에 강우에 의한 도복각의 감소 폭이 컸으며 특히, 출수 초기와 개화기에는 약한 강우에서도 도복각이 크게 변하는 것을 확인하였다.

벼과 식물의 도복에 관한 연구에 의하면 개화기와 종자 성숙기에 피해가 많으며 본 연구에서도 동일한 결과였다[46]. 또한, 대한민국은 7-9월 사이 장마와 태풍이 집중되며 공시 재료 모두 7-9월 사이에 화서가 출현할 수 있음을 감안할 때 강우에 의한 도복각의 변화는 억새 품종의 경관의 지속성에 있어서 중요한 지표가 될 것으로 판단된다. 한편, 생식생장 후기로 갈수록 도복각은 커졌는데 이는 개화, 결실 후 양분을 지하경에 저장하며 줄기의 급격한 목질화가 이루어졌기 때문으로 판단된다[47]. 그리고, 억새속 중에서 물억새와 억새의 교잡종(*M. sacchariflous* x *M. sinensis*)인 *Miscauthus* x *giganteus*는 억새(*M. sinensis*) 중 *M. sinensis* 계통은 겨울 경화 정도가 가장 약하다고 알려져 있다[48]. 본 실험 결과 *M. sinensis* 계통 중에서도 'Kleine Fontäne', 'Gracillimus', 'Variegatus'는 겨울 강우나 적설에 의해 도복각이 감소할 수 있음을 추가적으로 확인하였다.

생식생장단계에서 도복률

출수기 도복 정도는 전체 실험기간 중에서 도복각이 가장 크게 변했던 9월 말과 10월 초에 실시하였다. 생육이 비슷한 10개체를 선정하여 LR을 산출한 결과는 품종마다 다양하였다(Table 6). 'Morning Light'와 'Gold Breeze'를 제외한 5품종은 영양생장기와 생식생장기 중 생육 상태와 강우 조건에 따라 도복이 발생할 수 있을 것으로 나타났다. 9월 20일 도복 피해가 가장 심하게 나타난 품종은 'Common', 'Variegatus', 'Strictus', 'Kleine Fontäne' 4개 품종이었으며 phase 1이 30%였다. 이후 'Strictus', 'Kleine Fontäne'는 10월 13일까지 phase 2 이상으로 회복되었으나 'Common', 'Variegatus'는 여전히 phase 1이 각각 10%와 20%씩 존재하였다.

재식밀도가 높거나 군락의 밀도가 높으면 잎의 캐노피에 의해 개체 간 광경합이 발생하고 절간이 길어져 도복의 위험이 증가하며[49-52], 이러한 현상은 억새 군락에서도 보고된 바 있다[40]. 반대로 재식 밀도가 낮으면 개체 간 간섭이나 경합으로부터 상대적으로 자유로우며 생장에 유리하다. 그러나, 공시 재료 중에서 영양생장기와 생식생장기 모두 도복의 피해가 없었던 품종은 'Morning Light'와 'Gold Breeze' 품종뿐이었다. 'Gold Breeze'의 경우 단간종이며 도복에 강한 형태적 특성을 가지고 있으나 출수가 되지 않아 생식생장기의 변화는 확인할 수 없었다. 이러한 점들을 종합할 때, 'Morning Light'를 제외한 출수된 5품종은 국내 기후 조건에서 생식생장기간 강우 조건에 따라 경관이 불량해질 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

저온 환경에서 잎의 변색

식물 세포는 막 유동성, 단백질 및 핵산 구조, 대사산물의 농도 변화를 통해 저온을 감지하고 반응한다[53]. 지속적으로 저온에 노출되면 엽록체가 파괴되고 엽록소가 세포질로 방출

Table 6. Lodging rate (LR) of 7 *Miscanthus sinensis* cultivars in reproductive growth stage (n=10)

Cultivar	LR[1)] (%)								
	Sep. 20 2017			Oct. 3			Oct. 13		
	Phase 1[2)]	Phase 2[3)]	Phase 3[4)]	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 1	Phase 2	Phase 3
'Gold Breeze'[5)]	0	0	100	0	0	100	0	0	100
'Strictus'	30	60	10	0	40	60	0	100	0
'Morning Light'	0	0	100	0	0	100	0	0	100
'Variegatus'	30	60	10	30	70	0	10	80	10
'Gracillimus'	10	60	30	0	30	70	0	20	80
'Kleine Fontäne'	30	50	20	20	50	30	0	20	80
'Common'	30	50	20	20	60	20	20	60	20

1)LR = (ni/N) x 100. ni=number of lodged plant, N=total number of plant.
2)Lodged angle 0-30°.
3)Lodged angle 30-60°.
4)Lodged angle 60-90°.
5)'Gold Breeze' did not bloom during test period.

되어 엽색이 가시적으로 퇴색된다[54]. 'Common', 'Kleine Fontäne'는 9월 22일, 'Gold Breeze', 'Strictus', 'Morning Light', 'Variegatus', 'Gracillimus'는 10월 6일 퇴색이 시작되었다(Table 7). 엽색이 급격하게 감소하여 휴면을 준비하는 기간(이하 피크 구간)은 품종별 출수시기에 따라 조기 출수 품종('Common', 'Kleine Fontäne', 'Strictus')과 만기 출수 품종('Gracillimus', 'Morning Light', 'Variegatus') 2가지 유형으로 구분하였다. 조기 출수 품종은 9월 22일 엽색이 퇴색하기 시작하여 10월 6일 scale 8.0-7.0의 엽색을 유지하고 있었으나 10월 20일 scale 5.8-4.5 이하로 급격히 퇴색되면서 피크 구간이 나타났다. 특히, 'Strictus'는 노란색 계열의 무늬가 녹색 잎보다 먼저 붉은색으로 변하면서 무늬가 없는 'Common'과 'Kleine Fontäne'에 비하여 가시적인 변화폭이 컸으며 'Gold Breeze'도 이와 유사하였다. 만기 출수 품종('Gracillimus', 'Morning Light', 'Variegatus')의 경우 11월 3일까지 scale 7.0-6.0을 유지하고 있었으며 11월 17일 scale 3.5-2.0으로 급격히 퇴색되면서 피크 구간이 나타났다(Table 7). 11월 3일 조기 출수 품종은 scale 4.5 ('Common') - 3.5 ('Stictus')에 반해 만기 출수 패턴 품종은 scale 7.0 ('Morning Light', 'Variegatus') - 6.0 ('Gracillimus')으로 유형간 확연한 차이가 나타났는데 조기 출수 품종이 만기 출수 품종보다 저온 환경에 더욱 민감한 것으로 판단된다. MWD는 조기 출수 품종이 만기 출수 품종보다 느렸지만 큰 차이는 없었으며 공시 재료 대부분 12월 1일 scale 1에 도달하였다(Table 7).

억새는 평균기온이 15°C 정도에서 생육이 둔화되거나 정지되는데[55] 실험포장의 경우 9월 말이나 10월 초에 해당하였으

Table 7. Discoloration (scale), total period, peak duration and mean weekly discoloration (MWD) of 7 *Miscanthus sinensis* cultivars in 2017 test (n=4)

Cultivar	Discoloration (scale 1-9)[1)]						Period[2)] (weeks)	Peak duration[3)]	MWD[4)] (scale)
	Sep. 22	Oct. 6	Oct. 20	Nov. 3	Nov. 17	Dec. 01			
'Gold Breeze'	9.0 a[5)]	7.5 bc	2.8 d	2.0 e	1.0 d	-[6)]	6	Oct. 6-20	1.3 a
'Strictus'	9.0 a	7.5 bc	4.5 c	3.5 d	1.5 cd	1.0a	8	Oct. 6-20	1.0 b
'Morning Light'	9.0 a	8.0 ab	7.3 a	7.0 a	3.5 a	1.0a	8	Nov. 3-17	1.0 b
'Variegatus'	9.0 a	8.5 a	7.3 a	7.0 a	2.0 bc	1.0a	8	Nov. 3-17	1.0 b
'Gracillimus'	9.0 a	8.5 a	6.3 b	6.0 b	2.0 bc	1.0a	8	Nov. 3-17	1.0 b
'Kleine Fontäne'	8.3 b	8.0 ab	5.8 b	4.0 cd	2.3 b	1.0a	10	Oct. 6-20	0.8 c
'Common'	8.0 b	7.0 c	4.8 c	4.5 c	1.5 cd	1.0a	10	Nov. 3-17	0.8 c

1)Visual rating of cold tolerance is based on discoloration. 1 to 9 rating scale by National Turfgrass Evaluation Program (2017). 1=straw brown and 9=completely green based on plot color not genetic color.
2)Total period of weeks from when start discoloration till termination.
3)Period of the highest reduced discoloration scale.
4)MWD = 8/T. 8=constant (maximum scale), T=total green up period (weeks).
5)Different letters in each row indicate significant difference by Duncan's multiple range test at p<0.05.
6)Not evaluated after scale 1 (straw brown).

며 본 실험에서 퇴색이 시작되는 시점과 일치하였다. 또한, 10월의 월평균 최저기온 10.0°C, 11월의 월평균 최저기온이 0.2 °C였는데 C_4 type 벼과 식물[*Arundinella hirta* var. *ciliate* Koidz, *Panicum virgatum* L., *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng, *Zoysia japonica*]의 경우 온도가 10°C 이하로 떨어지는 10-11월에 급격히 퇴색된다는 보고와도 일치하였다[10,56,57].

강우, 건조, 저온 환경 조건에서 경관 유지 특성

경관유지와 관련된 주요 환경 조건에서 억새 품종의 경관유지 특성 변화를 조사하였다(Table 8).

'Gold Breeze'는 8월 온실 포트 실험에서 무관수 조건으로 24일간 생존하였고, 수분함량이 4% 이하가 되면 위조현상이 심해지며 천천히 고사하였다. 영양생장기간 도복각의 범위는 75.0-82.5°였으며 강우에 의한 도복은 발생하지 않았다. 10월 초 엽색이 퇴색되기 시작하며 10월 중순 이후 급격히 진행된다. 평균 퇴색 속도가 빠르며 11월 중순 완전히 갈색으로 변했다(Fig. 5, Table 8).

'Strictus'는 8월 온실 포트 실험에서 무관수 조건으로 12일간 생존했고, 토양 수분함량 5% 이하가 되면 위조현상이 심해지며 급격히 고사하였다. 영양생장기간 도복각의 범위는 77.5-81.3°였으며 강우에 의한 도복은 발생하지 않았다. 생식생장기간 도복각의 범위는 47.5-75.0°였으며 출수기와 개화기에 강우 시 줄기 휘어짐이 심하게 나타났다. 10월 초 엽색이 퇴색되기 시작하며 10월 중순 이후 급격히 진행되었다. 평균 퇴색 속도는 보통이며 11월 말이나 12월 초 완전히 갈색으로 변했다(Fig. 3, Table 8).

'Morning Light'는 8월 온실 포트 실험에서 무관수 조건으로 24일간 생존했고, 토양 수분함량 4% 이하가 되면 위조현상이 심해지며 천천히 고사하였다. 영양생장기간과 생식생장기간의 도복각 범위는 각각 77.5-83.8°와 77.5-80.0°를 나타냈고 강우에 의한 도복은 발생하지 않았다. 10월 초 엽색이 퇴색되기 시작하며 11월 초 이후 급격히 진행되고, 평균 퇴색 속도는 보통이며 12월 초 완전히 갈색으로 변했다(Fig. 4, Table 8).

'Variegatus'는 8월 온실 포트 실험에서 무관수 조건으로 12일간 생존하였고, 토양 수분함량 6% 이하가 되면 위조현상이 심해지며 급격히 고사했다. 영양생장기간 도복각의 범위는 45.0-78.8°였으며 줄기 휘어짐이 심하게 나타났다. 생식생장기간 도복각의 범위는 35.0-60.0°였고 출수기와 개화기에 강우 조건에 따라 도복될 가능성이 있었다. 10월 초 엽색이 퇴색하기 시작하며 11월 초 이후 급격히 진행되며, 평균 퇴색 속도는 보통이며 12월 초 완전히 갈색으로 변한다(Fig. 4, Table 8).

'Gracillimus'는 8월 온실 포트 실험에서 무관수 조건으로 16일간 생존했으며, 토양 수분함량 4% 이하가 되면 위조현상이 심해지며 고사하였다. 영양생장기간 도복각의 범위는 68.8-78.8°였으며 강우에 의한 완전 도복은 발생하지 않았으나 줄기 휘어짐이 약하게 발생한다. 생식생장기간 도복각의 범위는 60.0-67.5°였으며 강우에 의한 완전 도복은 발생하지 않았으나 강우 조건에 따라 줄기의 휘어짐이 심하게 나타날 수 있다. 10월 초 엽색이 퇴색하기 시작하며 11월 초 이후 급격히 진행된다. 평균 퇴색 속도는 보통이며 12월 초 완전히 갈색으로 변한다(Fig. 3, Table 8).

'Kleine Fontäne'는 8월 온실 포트 실험에서 무관수 조건으로 12일간 생존하였다(Table 8). 토양 수분함량 4% 이하가 되면 위조현상이 심해지며 급격히 고사한다. 영양생장기간 도복각의 범위는 72.5-78.8°였으며 강우에 의한 완전 도복은 발

Table 8. Durability of landscape on 7 *Miscanthus sinensis* cultivars under environmental stress

Cultivar	Drought		Lodging				Discoloration	
	UID[1] (day)	PWP[2] (%)	LA[3] range (°)		Occurrence of lodging[4]		Peak duration[5]	MWD[6]
			VGS[7]	RGS[8]	VGS	RGS		
'Gold Breeze'	24	3.7	75.0-82.5	-[9]	X	-	Oct. 6-20	F
'Strictus'	12	4.4	77.5-81.3	47.5-75.0	X	△	Oct. 6-20	M
'Morning Light'	24	3.1	77.5-83.8	77.5-80.0	X	X	Nov. 3-17	M
'Variegatus'	12	5.4	45.0-78.8	35.0-60.0	△	○	Nov. 3-17	M
'Gracillimus'	16	3.7	68.8-78.8	60.0-67.5	X	△	Nov. 3-17	M
'Kleine Fontäne'	12	3.3	72.5-78.8	51.3-75.0	X	△	Oct. 6-20	S
'Common'	16	2.2	72.5-82.5	47.5-75.0	X	○	Nov. 3-17	S

1)Unirrigated dates. Total period from phase 1 (normal growth) to phase 5 (almost wilted) to water stress.
2)Permanent wilting point. Soil water contents of phase 5 (almost wilted).
3)Lodged angle. Exterior angle of stem.
4)Occurrence of lodged plant from phase 1 (lodged angle 0-30°) to phase 3 (lodged angle 61-90°). X=phase 3, △=phase 2 and ○=phase 1.
5)Period of the highest reduced discoloration scale.
6)MWD = 8/T. 8=calibrated maximum scale and T=total discoloration period.
7)Vegetative growth stage.
8)Reproductive growth stage.
9)'Gold Breeze' did not bloom during the test period.

생하지 않았다. 생식생장기간 도복각의 범위는 51.3-75.0°였으며 강우에 의한 완전 도복은 발생하지 않았으나 강우 조건에 따라 줄기 휘어짐이 심하게 나타날 수 있다. 9월 말 엽색이 퇴색하기 시작하며 10월 중순 이후 급격히 진행되었고, 평균 퇴색 속도는 느리며 12월 초 완전히 갈색으로 변했다(Fig. 3, Table 8).

'Common'은 8월 온실 포트 실험에서 무관수 조건으로 16일간 생존하며, 토양 수분함량 3% 이하가 되면 위조현상이 심해지며 고사했다. 영양생장기간 도복각의 범위는 72.5-82.5°였으며 강우에 의한 완전 도복은 발생하지 않았다. 생식생장기간 도복각의 범위는 47.5-75.0°였는데 강우에 의한 출수기와 개화기에 강우 조건에 따라 도복될 가능성이 있었다. 9월 말 엽색이 퇴색하기 시작하며 11월 초 이후 급격히 진행된다. 평균 퇴색 속도는 느리며 11월 말이나 12월 초 완전히 갈색으로 변한다(Fig. 3, Table 8).

결 론

경관 가치가 우수하고 다양한 생육환경에 잘 적응하는 관상용 억새(*Miscanthus sinensis* Andersson) 원예품종 7가지 ('Gold Breeze', 'Strictus', 'Morning Light', 'Varieagatus', 'Gracillimus', 'Kleine Fontäne', 'Common')의 건조, 강우, 저온 환경에 대한 생장 반응과 경관의 지속성을 연구하였다. 공시 재료는 2013년 실험포장에 정식, 재배하였고 2017년 6월부터 2018년 2월까지 데이터를 수집하였다. 단수 상태가 지속될수록 건조저항지수가 작아졌으며 고사하였다. 토양수분함량의 감소 폭에 따라 억새는 group I ('Kleine Fontäne', 'Variegatus', 'Strictus'), group II ('Common', 'Gracillimus') 및 group III ('Gold Breeze', 'Morning Light')의 3가지 유형으로 구분되었다. 도복각은 영양생장기보다 생식생장기에 심하게 변하였으며 출수 후에 가장 크게 감소하였다. 'Morning Light', 'Gold Breeze'를 제외한 5품종은 생식생장기에 도복각이 좁아졌고 'Variegatus'는 영양생장기와 생식생장기 모두 도복각이 심하게 좁아졌다. 억새가 저온기에 퇴색이 발생하는 시기에 따라 group I ('Common', 'Gold Breeze', 'Kleine Fontäne', 'Strictus')과 group II ('Gracillimus', 'Morning Light', 'Variegatus')의 2가지로 유형화되었다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

References

1. Wi HR, Kim SY, Kim HY, Yu HJ, Park JY (2015) A study of vegetation changes according to future climate change-focus on crop of the warm temperate zone and crop of subarctic regions. Application Geography, 32, 1-26.
2. Nakashima K, Kanamori N, Nagatoshi Y, Fujita Y, Takasaki H, Urano K, Mogami J, Mizoi J, Mertz-Henning LM et al. (2018) Application of biotechnology to generate drought-tolerant soybean plants in Brazil: Development of genetic engineering technology of crops with stress tolerance against degradation of global environment. Crop Production under Stressful Conditions: Application of Cutting-edge Science and Technology in Developing Countries, 111-130. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7308-3_7.
3. Ramirez-Villegas J, Heinemann AB, Pereira de Castro A, Breseghello F, Navarro-Racines C, Li T, Rebolledo MC, Challinor AJ (2018) Breeding implications of drought stress under future climate for upland rice in Brazil. Global Change Biology, 24(5), 2035-2050. https://doi.org/10.1111/gcb.14071.
4. Swain P, Raman A, Singh SP, Kumar A (2017) Breeding drought tolerant rice for shallow rainfed ecosystem of Eastern India. Field Crops Research, 209, 168-178. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.007.
5. Meyer WA, Hoffman L, Bonos SA (2017) Breeding cool-season turfgrass cultivars for stress tolerance and sustainability in a changing environment. International Turfgrass Society Research Journal, 13(1), 3-10. https://doi.org/10.2134/itsrj2016.09.0806.
6. Choi JH, Park BJ (2016) Study on the possibility of paper mill sludge application for green roof throughout assessment of plant drought tolerance. Journal of Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 48(6), 150-157. https://doi.org/10.7584/jktappi.2016.12.48.6.150.
7. Davidson CG, Gobin SM (1998) Evaluation of ornamental grasses for the northern great plains. Journal of Environmental Horticulture, 16(4), 218-229. https://doi.org/10.24266/0738-2898-16.4.218.
8. Dougherty RF, Quinn LD, Voigt TB, Barney JN (2015) Response of naturalized and ornamental biotypes of *Miscanthus sinensis* to soil-moisture and shade stress. Northeastern Nat. 22(2), 372-386. https://www.jstor.org/stable/26453674.
9. Cho SR, Kim JH, Sim SR (2015) Practical use of several ground covers on a slope revegetation construction. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology, 18(3), 97-107. https://doi.org/10.13087/kosert.2015.18.3.97.
10. Kim KD, Kim YJ, Lee JM, Lee JH, Joo YK (2013) Seed treatment and plug production of ornamental grasses (*Gramineae* spp.). Weed and Turfgrass Science, 2(4),

376-380. https://doi.org/10.5660/WTS.2013.2.4.376.
11. Yeon JY, Kim MJ, Lee KM, Park SH, Kim WS (2022) Comparative analysis of planting characteristics by garden type. Flower Research Journal, 20(1), 18-25. https://doi.org/10.11623/frj.2022.30.1.03.
12. Booth WE (1941) Revegetation of abandoned fields in Kansas and Oklahoma. American Journal of Botany, 28, 415-422. https://doi.org/10.2307/2436819.
13. Lee SK (1992) Natural grassland in Korea. Journal of the Korean Grassland Science, 12(3), 48-55.
14. Jeong EG, Kim KJ, Cheon AR, Lee CK, Kim SL, Brar DS, Son JR (2006) Characterization of grain quality under loading time and grade at ripening. Korean Journal of Crop Science, 51(5), 440-444.
15. Lim JT, Lee KS, Cho KS, Song DS (1992) Analysis of lodging related characteristics in rice plants. Korean Journal of Crop Science, 37(1), 78-85.
16. Lee KW, Choi BS, Park JH, Woo SH, Lee CW (2013) Growth, lodging reduction as affected by iprobenfos-metconazole (IPM) in direct-seeded rice on flooded paddy field. Korean Journal of Corp Science, 58(4), 393-398. https://doi.org/10.7740/kjcs.2013.58.4.393.
17. Marcelo PNM, Tapic RT, Manangkil OE (2017) Relationship of culm anatomy and lodging resistance in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under direct-seeded system. International Journal of Agricultural Technology, 13, 2367-2385.
18. Darke R (2007) The Encyclopedia of Grasses for the Livable Landscapes. pp. 13-59, Timber Press, Portland, OR, USA.
19. Lee CB (2003) Colored Flora of Korea. p. 434, Hyang Mun Sa, Seoul, Korea.
20. Nilsen ET (1987) Influence of water relations and temperature on leaf movements of *Rhododendron* species. Plant Physiology, 83(3), 607-612. https://doi.org/10.1104/pp.83.3.607.
21. Quinn M, Macleod C (2003) Grasses Scapes: Gardening with Ornamental Grasses. pp. 34-35, Ball Publishing, Batavia, IL, USA.
22. Kim GY, Lee CW, Joo GJ (2004) The evaluation of early growth pattern of *Miscanthus sacchariflorus* after cutting and burning in the Woopo wetland. Korean Journal of Ecology and Environment, 37(2), 255-262.
23. Lee JP, Kim DH (2005) Improvement of green-up zoysiagrass and cool-season grass during early spring in Korea. Korean Journal of Turfgrass Science, 19(2), 103-113.
24. Yoo SY, Eom KC, Park SH, Kim TW (2012) Possibility of drought stress indexing by chlorophyll fluorescence imaging technique in red pepper (*Capsicum annuum* L.). Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 45(5), 676-682. https://doi.org/10.7745/KJSSF.2012.45.5.676.
25. An GH, Kim JK, Moon YH, Cha YL, Yoon YM, Koo BC, Park KG (2013) A new genotype of *Miscanthus sacchariflorus* Geodae-Uksae 1, identified by growth characteristics and a specific SCAR marker. Bioprocess Biosystems Engineering, 36, 695-703. https://doi.org/10.1007/s00449-013-0893-7.
26. Kang TH, Zhao HX (2013) Assessment of roof-rainwater utilization system and drought resistance of ground cover plants. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 41(5), 1-8. https://doi.org/10.9715/KILA.2013.41.5.001.
27. Clifton-Brown JC, Lewandowski I, Andersson B, Basch G, Christian DG, Kjeldsen JB, Jørgensen U, Mortensen JV, Riche AB et al. (2001) Performance of 15 *Miscanthus* genotypes at five sites in Europe. Agronomy Journal, 93, 1013-1019. https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351013x.
28. Clifton-Brown JC, Lewandowski I, Bangerth F, Jones MB (2002) Comparative responses to water stress in stay-green, rapid-and slow senescing genotypes of the biomass crop, *Miscanthus*. The New Phytologist, 154(2), 335-345. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00381.x.
29. Alvarez E, Scheiber SM, Beeson JrRC (2007) Drought tolerance responses of purple lovegrass and 'Adagio' maiden grass. HortScience, 42, 1695-1699. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.7.1695.
30. De Vega JJ, Teshome A, Klaas M, Grant J, Finnan J, Barth S (2021) Physiological and transcriptional response to drought stress among bioenergy grass *Miscanthus* species. Biotechnolgy for Biofuels, 14, 60. https://doi.org/10.1186/s13068-021-01915-z.
31. Greef JM, Deuter M, Jung C, Schondelmaier J (1997) Genetic diversity of European *Miscanthus* species revealed by AFLP fingerprinting. Genetic Resource and Crop Evolution, 44, 185-195.
32. Hodkinson TR, Chase MW, Takahashi C, Leitch IJ, Bennett MD, Renvoize SA (2002) The use of DNA sequencing (ITS and trnL-F), AFLP, and fluorescent in situ hybridization to study allopolyploid *Miscanthus* (Poaceae). American Journal of Botany, 89(2), 279-286. https://doi.org/10.3732/ajb.89.2.279.
33. Slavov G, Robson P, Jensen E, Hodgson E, Farrar K, Allison G, Hawkins S, Tomas-Jone S, Ma XF et al.

(2013) Contrasting geographic patterns of genetic variation for molecular markers vs. phenotypic traits in the energy grass *Miscanthus sinensis*. Global Change Biology: Bioenergy, 5(5), 562-571. https://doi.org/10.1111/gcbb.12025.

34. Cichorz S, Gośka M, Litwiniec A (2014) *Miscanthus*: Genetic diversity and genotype identification using ISSR and RAPD markers. Molecular Biotechnology, 56(10), 911-924. https://doi.org/10.1007/s12033-014-9770-0.
35. Zhao Y, Basak S, Fleener CE, Egnin M, Sacks EJ, Prakash CS, He G (2017) Genetic diversity of *Miscanthus sinensis* in US naturalized populations. Global Change Biology: Bioenergy, 9(5), 965-972. https://doi.org/10.1111/gcbb.12404.
36. Ju JH, Kim WT, Yoon YH (2011) Change in growth of *Chrysanthemum zawadskii* var. *coreanum* as effected by different green roof system under rainfed conditions. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 39(1), 117-123. https://doi.org/10.9715/KILA.2011.39.1.117.
37. Ahn GY, Han SW, Lee EH (2013) Soil moisture reduction pattern and that influences for plants in the condition of no rainfall and no irrigation. Korean Journal of Environment and Ecology, 27(6), 745-756. https://doi.org/10.13047/KJEE.2013.27.6.745.
38. Park SG, Choi SH, Hong SH, Lee SC, You CY (2017) Growth environment characteristics and decline in Mt. Seunghak's *Miscanthus sinensis* community. Journal of Korean Institute of Landscape Architecture, 45(5), 14-28. https://doi.org/10.9715/KILA.2017.45.5.014.
39. Kim SH, Choi GW, Kim JH (2018) Flow response and habitat region of aquatic plants in urban streams. Journal of Wetlands Research, 20(1), 35-42. https://doi.org/10.17663/JWR.2018.20.1.035.
40. Kim KD, Joo YK (2019) Assessment of heading performance and inflorescence visibility in *Miscanthus sinensis* cultivars. Korean Journal of Horticultural Science and Technology, 37(2), 290-303. https://doi.org/10.12972/kjhst.20190028.
41. Verma V, Worland AJ, Savers EJ, Fish L, Caligari PDS, Snape, JW (2005) Identification and characterization of quantitative trait loci related to lodging resistance and associated traits in bread wheat. Plant Breeding, 124(3), 234-241. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2005.01070.x.
42. Yao J, Ma H, Zhang P, Ren L, Yang X, Yao G, Zhang P, Zhou M (2011) Inheritance of stem strength and its correlations with culm morphological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). Canadian Journal of Plant Science, 91, 1065-1070. https://doi.org/10.4141/cjps2011-033.
43. Zeid M, Belay G, Mulkey S, Poland J, Sorrells ME (2011) QTL mapping for yield and lodging resistance in an enhanced SSR-based map for tef. Theoretical and Applied Genetics, 122, 77-93. https://doi.org/10.1007/s00122-010-1424-4.
44. Kaack K, Schwarz KU, Brander PE (2003) Variation in morphology, anatomy and chemistry of stems of *Miscanthus* genotypes differing in mechanical properties. Industrial Crops and Products, 17(2), 131-142. https://doi.org/10.1016/S0926-6690(02)00093-6.
45. Kashiwagi T, Togawa E, Hirotsu N, Ishimaru K (2008) Improvement of lodging resistance with QTLs for stem diameter in rice (*Oryza sativa* L.). Theoretical and Applied Genetics, 117, 749-757. https://doi.org/10.1007/s00122-008-0816-1.
46. Foulkes MJ, Slafer GA, Davies WJ, Berry PM, Sylvester-Bradley R, Martre P, Calderini DF, Griffiths S, Reynolds MP (2010) Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. Journal of Experimental Botany, 62(2), 469-486. https://doi.org/10.1093/jxb/erq300.
47. Heaton EA, Dohleman FG, Long SP (2009) Seasonal nitrogen dynamics of *Miscanthus* x *giganteus* and *Panicum virgatum*. GCB Bioenergy, 1(4), 297-307. https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2009.01022.x.
48. Rosser B (2012) Evaluation of *Miscanthus* winter hardiness and yield potential in Ontario, pp 73-77, Masters thesis, University of Guelph, Canada.
49. Yokoazwa M, Hara T (1995) Foliage profile, size structure and stem diameter-plant height relationship in crowded corn plant population. Annals of Botany, 76(3), 271-285. https://doi.org/10.1006/anbo.1995.1096.
50. Hiyane R, Shinichi H, Tang C, Boyer JS (2010) Sucrose feeding reverses shade-induced kernel losses in maize. Annals of Botany, 106(3), 395-440. https://doi.org/10.1093/aob/mcq132.
51. Feng G, Li YY, Jing XQ, Cao ZB, Lu BS, Huang CL (2010) Relationship of root and stem characters with lodging resistance of summer maize. Journal of Henan Agricultural Science, 11, 20-22.
52. Yoen JY, Kim MJ, Shin YC, Lee KM, Seo JH, Kim WS (2022) Case analysis of seasonal landscape characteristics of four domestic gardens. Flower Research

Journal, 20(3), 121-128.
https://doi.org/10.11623/frj.2022.30.3.06.

53. Orvar BL, Sangwan V, Omann F, Dhindsa RS (2000) Early steps in cold sensing by plant cells: The role of actin cytoskeleton and membrane fluidity. The Plant Journal: for Cell and molecular Biology, 23(6), 785-794. https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2000.00845.x.
54. Perry TO, Baldwin GW (1996) Winter breakdown of the photosynthetic apparatus of evergreen species. Forest Science, 12(3), 298-300.
https://doi.org/10.1093/forestscience/12.3.298.
55. Ann YJ, Kim BW, Sung KI, Kim CJ (1995) Changes in the growth, chemical composition and nutritive yield of *Miscanthus sinensis* at different cutting dates. Journal of the Korean Society of Grassland Science, 15(4), 274-278.
56. Kim KD, Lee JH, Joo YK (2015) Spring green-up and winter leaf discoloration of three ornamental grasses (*Gramineae* spp.). Weed and Turfgrass Science, 4(1), 49-57. https://doi.org/10.5660/WTS.2015.4.1.49.
57. Younger VB (1961) Growth and flowering of *Zoysia* species in response to temperature, photoperiods, and light intensities. Crop Science, 1(2), 91-93.
https://doi.org/10.2135/cropsci1961.0011183X000100020003x.