

국내 수집 역사 유전자원의 출수 특성

안기홍[†] · 엄경란 · 이준희 · 장윤희 · 이지은 · 유경단 · 차영록 · 문윤호 · 안종웅

농촌진흥청 국립식량과학원

Flowering Patterns of *Miscanthus* Germplasms in Korea

Gi-Hong An[†], Kyoung-Ran Um, Jun-Hee Lee, Yun-Hui Jang, Ji-Eun Lee, Gyeong-Dan Yu, Young-Lok Cha, Yun-Ho Moon, and Jong-Woong Ahn

Bioenergy Crop Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA, 199 Muan-ro, Cheonggye, Muan, 58545, Korea

ABSTRACT *Miscanthus* has been considered as the most promising bioenergy crop for lignocellulosic biomass production. In Korea, *M. sacchariflorus* and *M. sinensis* can be found easily in all regions. It is a great advantage to utilize as important species with respect to genetic and cross-breeding programs materials for creation of novel hybrids. For successful breeding programs, it is important to precisely understand the variability of flowering traits among *Miscanthus* species as breeding parents materials. In this study, flowering traits were observed daily in 960 germplasms of two *Miscanthus* species (*M. sacchariflorus* and *M. sinensis*) for growing seasons over 2 years. The flowering process was divided into three stages. ST (sprouting time) was recorded when first leaf of the plant emerged on soil. FS1 (flowering stage 1) and FS2 (flowering stage 2) were recorded when flag leaf was firstly observed, and 1 cm of panicle was showing on at least one stem, respectively. For 2013 and 2014, the latest germplasms exerted flag leaf, i.e. September 30 (DOY of FS1 164.1) and September 4 (DOY of FS1 141.0) occurred *M. sacchariflorus* cv. Geodae 1 and *M. sacchariflorus* cv. Uram collected from Southern Korea (Jeollanam-do), while *Miscanthus* germplasms collected from northern Korea (Gyeonggi-do) which emerged the earliest flag leaf in July and August, significantly decreased DOY. For DOY from ST to FS2, *M. sacchariflorus* germplasms ranged from 140 to 190 days, and 110 to 170 days for 2013 and 2014. The highest frequency showed to 160 days for 2013, and 150 days for 2014. In *M. sinensis* germplasms, the highest frequency showed to 180 days for 2013, and 170 days for 2014. In the results of correlation between the day of years from ST to FS2 for 2013 and 2014, *M. sacchariflorus* and *M. sinensis* showed high coefficient of correlation (0.70

and 0.89). It can be supposed that flowering characteristics of *Miscanthus* are largely affected by the unique phenotypic characteristic of native habitat than environmental factors of the current planted site. This study for flowering traits of *Miscanthus* may provides an important information in order to expedite the introduction as breeding materials for creation of new hybrid.

Keywords : bioenergy crop, emergence of flag leaf, flowering stage, miscanthus, transition of the plant meristem

역사(*Miscanthus*)는 화본과(Poaceae), 기장아과(Panicoideae), 쇠풀족(Andropogoneae) 역사속에 속하는 식물이다. 또한 C₄ 광합성 경로를 가지는 다년생 식물로서 최근에는 대표적인 섬유질계 바이오에너지작물 중의 하나로 관심이 증가되고 있다 (Atkinson, 2009; Greef *et al.*, 1997; Lewandowski *et al.*, 2000; Yan *et al.*, 2012). 역사의 기본 염색체 수는 19개로서 염색체 배수성에 따라 구분되어진다(Moon *et al.*, 2010). 일반적으로 2배체인 참역사($2n=2x=38$, *Miscanthus sinensis*)와 4배체인 물역사($2n=4x=76$, *M. sacchariflorus*)로 크게 나뉘며 한국, 중국 및 일본을 포함한 동남아시아에 널리 분포하고 있다. 또한 현재까지 유럽, 미국 등지에서 바이오에너지용으로 가장 널리 연구되고 있는 역사는 3배체 역사($2n=3x=57$, *Miscanthus × giganteus*)로서 2배체 참역사와 4배체 물역사의 자연 중간 교잡종으로 알려져 있다(Yan *et al.*, 2012; Yook *et al.*, 2014).

3배체 역사는 바이오매스 생산성과 관련하여 몇 가지 한계 점이 있다고 여러 논문들에서 보고된 바 있다. 북유럽에서의

[†]Corresponding author: (Phone) +82-61-450-0135 (E-mail) agiho@korea.kr

<Received October 5, 2015; Revised October 29, 2015; Accepted November 2, 2015>

경우, 3배체 역사는 재식 후 첫해의 겨울을 넘기지 못하는 등 월동에 취약하다고 보고되고 있으며, 더 나아가 북유럽과 남유럽에서의 생산량의 차이가 큰 것으로 나타나 상이한 기후 조건 하에서 재배 시 일정량의 바이오매스 수확량을 기대할 수 없다고 기술하고 있다(Clifton-Brown *et al.*, 2001). 또한 역사는 지하경을 이용한 영양번식법으로 증식하는 것이 일반적이거나 3배체 역사의 경우, 한정된 단일클론을 이용하여 오랜 기간 증식을 계속해 왔으며 넓은 면적에서 재배함으로써 병해충의 피해가 급격히 증가되고 있다(Heaton *et al.*, 2010; Jensen *et al.*, 2013). 이러한 문제점들을 극복하며 역사를 이용한 바이오 에너지 산업의 발전과 확장을 위해서는 새로운 품종개발이 요구되며, 그 방안으로 다양한 역대 유전자원의 확보는 역사의 유전적 기반을 넓히는 의미에서 중요하다고 할 수 있다(Jensen *et al.*, 2013; Arnoult *et al.*, 2014).

종내 및 종간 교배육종을 통한 품종개발을 하기 위해서 식물의 개화특성은 중요한 연구 중에 하나이다. 일반적으로 속씨식물(Angiosperms)의 개화기에 영향을 주는 요인들은 일장, 기온 등을 포함하여 다양하다고 알려져 있다(Ellis *et al.*, 1997; Jensen *et al.*, 2011; Karsai *et al.*, 2008). 수수(*Sorghum*)와 사탕수수(*Saccharum*)는 대표적인 상대적 단일식물로서 임계 일장이 12시간 이하로 알려져 있다. 하지만 수수의 경우 서로 다른 품종들 간에 4시간 이상의 차이를 보일 수 있으며 식물의 종별, 지리적 기원 및 품종들 간에 따라 임계일장은 다양하다고 보고되어 있다(Caddel and Weibel, 1971). 하지만 역사의 경우는 다른 화본과 기장아과 식물들과 다르게 개화특성에 대한 연구가 비교적 미비한 실정이다. Jensen *et al.* (2011) 의하면 참역사는 일장에 관계없이 개화하는 중성식물인 반면에 물역사는 개화가 일정하지 않으며, 특히 두꺼운 줄기를 가진 물역사는 개화유도를 위하여 단일처리가 필요하다고 보고하고 있다(Deuter, 2000). 하지만 영국 웨일스 애버리스트위스 지역에 위치한 포장의 관찰결과, 일부 물역사의 개화시기를 결정하는 요인은 광주기만으로 설명하기 어려우며, 온도 또한 성숙 및 개화를 결정하는 요인 중의 하나로서 일장과 온도와의 상호작용에 대한 고려가 필요할 것이라고 기술하고 있다(Craufurd and Qi, 2001; Ellis *et al.*, 1997; Hammer *et al.*, 1989).

본 연구에서는 국내외 각지에서 수집한 물역사, 참역사 등을 포함한 약 960 여점의 역대 유전자원의 개화특성을 평가함으로써 교배육종의 모본선발 등에 필요한 기초자료 축적하기 위하여 수행되었다. 이에 2013년과 2014년 2년간 시험포장 조건 하에서 맹아일로부터 지엽전개일 및 출수일까지 조사를 수행하였으며, 각 역대 유전자원의 지엽전개 및 출수까지 소요되는 생육일수 등에 대하여 연차 간 변이를 분석하였다.

Table 1. Number of germplasms of *Miscanthus sacchariflorus* and *M. sinensis* collected in Korea.

Location	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	<i>Miscanthus sinensis</i>
Gyeonggi-do	89	28
Chungcheongbuk-do	96	13
Chungcheongnam-do	125	36
Gyeongsangbuk-do	52	21
Gyeongsangnam-do	85	21
Jeollabuk-do	42	9
Jeollanam-do	62	72
Jeju-do	-	209
Total	551	409

재료 및 방법

역사 유전자원 수집

역사 유전자원은 2010년부터 2013년까지 국내 각지에서 수집하였다. 국내의 각 지역별로 수집한 유전자원 수는 Table 1과 같다. 역사 중중 물역사와 참역사 유전자원은 형태적인 특성에 따라 구분하여 수집하였다. 물역사의 경우는 불규칙한 형태로 줄기가 형성되며 늦가을 및 겨울에는 줄기의 잎집이 탈락되며, 지하경은 길고 가늘며 넓게 뻗어나가며 소수(spikelets)에는 솜털(callus hair)이 있으나 까락(awn)은 없는 것이 특징이다. 참역사는 한 개체가 조밀하게 군락을 이루어 줄기가 형성되며 늦가을 및 겨울에도 잎집이 탈락되지 않으며, 지하경은 짧고 서로 촘촘하게 엉켜있으며, 소수에는 솜털 및 까락이 존재한다고 알려져 있다(Engler and Prantl, 1887; Moon *et al.*, 2010). 위와 같은 특성에 기초하여 역사 한 줄기 당 하나의 지하경을 굴취하였으며 비닐 지퍼백에 밀봉하여 운송하였다.

역사 유전자원 관리

각 수집지역에서 수집된 역사유전자원의 지하경은 전남 무안군에 위치하는 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소로 운송 후 역사 한 개체씩 PVC 통(L: 102 cm × W: 72 cm × H: 35 cm)에 재식하였다. 재식 후에 그 어떠한 화학적 비료처리를 하지 않고 무비재배를 수행하였다. 각 역대 유전자원은 재배기간 동안 매년 2월 중 하순경에 지상부를 모두 제거하였다. 역사 유전자원 보존포장 내의 역사 생육상은 Fig. 1과 같다.

역사 유전자원 출수 특성조사

출수 특성조사 대상의 역사 유전자원은 재식연차가 3년 이상인 유전자원에 한하여 실시하였다. 각 역대 유전자원의 초엽

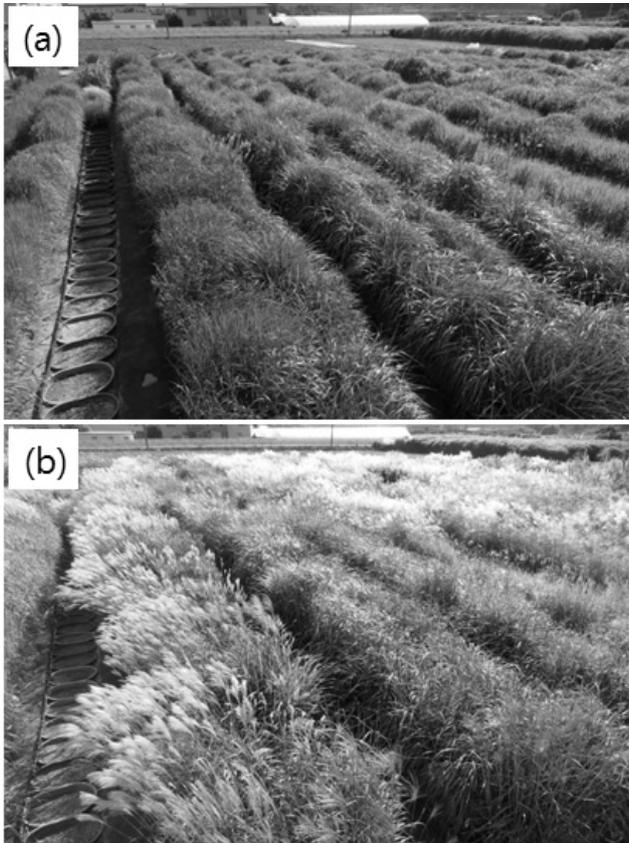


Fig. 1. The growth of *Miscanthus* germplasm on Bioenergy Crop Research Institute, RDA in 31 July (a), and 10 September (b) 2014.

이 최초로 관찰된 일을 맹아일(ST, Sprouting time)로 기록하였다. 해당년도에 각 역새 유전자원의 개화특성 조사는 Jensen *et al.*(2011)에 의한 조사기준을 참고하였다. 지엽이 최초로 확인된 일을 지엽전개일(FS1, Flowering stage 1)으로, 유수가 지엽 위 1 cm 이상 출현이 관찰된 일을 출수기(FS2, Flowering stage 2)로 구분하였다. 역새 유전자원의 출수특성 조사를 위하여 매년 6월말부터 역새의 출수가 완료되는 생육말기인 11월말까지 1일 1회 전 유전자원을 대상으로 조사를 수행하였다. 각 역새 유전자원의 생육일수(DOY, day of year)는 맹아일로부터 지엽전개일 및 출수일까지의 소요일수를 계산하였다.

연도별 기후관측은 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소가 위치하는 무안지역의 농촌진흥청 농업기상정보 서비스(<http://weather.rda.go.kr>)에서 제공하는 관측자료를 활용하였다.

통계분석

모든 통계처리는 SAS 프로그램 9.2 버전(Statistical Analysis System ver. 9.2, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 사용하여 수행되었다.

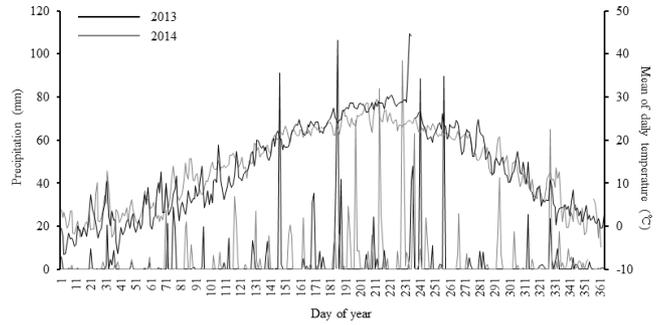


Fig. 2. Mean of daily temperature and precipitation in Bioenergy Crop Research Institute, RDA for 2013~2014.

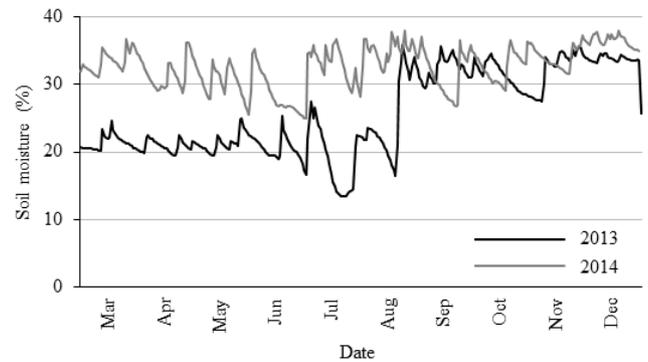


Fig. 3. Soil moisture content for growing season of *Miscanthus* in Bioenergy Crop Research Institute, RDA for 2013~2014.

결과 및 고찰

기후조건

국립식량과학원 바이오에너지작물연구소의 2013년 및 2014년의 월평균 기온 및 강수량의 변화는 Fig. 2에서 보여지고 있다. 2013년의 평균기온은 13.5°C이었으며, 최저기온은 2013년 1월 3일에 -6.6°C이었으며, 최고기온은 2013년 8월 22일에 44.6°C로 관측되었다. 또한 전반적으로 역새의 맹아가 진행되는 4월초부터 생육말기인 11월까지의 평균기온은 19.1°C이었고, 최고기온은 44.6°C, 최저기온은 4.3°C이었다. 2014년의 평균기온은 13.9°C이었으며, 최저기온은 2014년 12월 28일에 -4.8°C이었으며, 최고기온은 2014년 7월 31일에 29.5°C로 관측되었다. 또한 역새의 주요 생육기간인 4월초부터 생육말기인 11월까지의 평균기온은 18.7°C이었고, 최고기온은 29.5°C, 최저기온은 5.7°C이었다. 2014년의 기온을 기준으로 평균기온은 전년도(2013년) 대비 0.4°C 높았으나, 최고기온은 15.1°C 낮았고, 최저기온은 1.8°C 높은 것으로 나타났다. 2013년의 평균 강수량은 3.0 mm이었으며, 누적 강수량은 1,076 mm이었고 총 강수일수는 91일인 반면, 2014년 평균 강수량은 3.5 mm이

었으며, 누적 강수량은 1,249 mm, 총 강수일수는 105일 이었다. 역새의 주요 생육기간인 4월초부터 생육말기인 11월까지의 평균 강수량 및 누적 강수량은 2013년에 3.8 mm와 921.0 mm 이었으며, 2014년에는 4.5 mm와 1092.5 mm이었다.

2013년 및 2014년 3월초부터 11월말까지의 지표로부터 10 cm 이내의 평균 토양수분 조사결과, 2013년에는 24.9%이었으며 2014년에는 32.2%로 나타났다. 하지만 2013년에는 3월초부터 8월 20일까지 20.7%의 평균 토양수분을 나타낸 반면, 2014년 동일시기의 평균 토양수분은 31.7%로 나타났다(Fig. 3).

역새 유전자원 맹아일, 지엽전개일 및 출수일 다양성

국내 각지에서 수집한 역새유전자원은 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소 내 역새 유전자원 보존포장에서 3년 이상 재배를 수행하였다. 그 중 960여점의 역새 유전자원에 대하여 맹아일, 지엽전개일 및 출수일의 조사를 수행하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. 2013년의 경우, 물역새 유전자원 551점

중에서 최초 맹아일은 2013년 3월 26일이었으며, 가장 늦은 맹아일은 4월 9일이었다. 참역새 유전자원 409점 중에서 최초 관찰일은 3월 27일이었으며 4월 8일에 가장 늦게 관찰되었다. 2014년의 경우, 물역새 유전자원 중에서 최초 맹아일은 2014년 3월 26일이었으며, 가장 늦은 맹아일은 4월 5일이었다. 참역새 유전자원의 최초 관찰일은 3월 23일이었으며 4월 8일에 가장 늦게 관찰되었다.

2013년 최초로 관찰된 물역새의 지엽전개일은 8월 1일이었고, 참역새는 8월 1일이었고, 가장 늦게 관찰된 물역새와 참역새의 지엽전개일은 각각 9월 30일과 9월 17일이었다. 2014년의 경우 물역새 및 참역새의 최초 지엽전개일은 각각 7월 7일 및 7월 14일이었으며, 가장 늦게 관찰된 일은 9월 4일 및 9월 14일이었다.

역새 유전자원의 생육일수 분석

수집지역별 역새 유전자원의 맹아일로부터 지엽전개일까지

Table 2. Date of early/late sprouting time (ST) and flowering stage 1 (FS1) of germplasms of *Miscanthus sacchariflorus* and *M. sinensis* for 2013~2014.

Species		2013		2014	
		ST	FS1	ST	FS1
<i>M.sacchariflorus</i>	Early	March 26	August 1	March 26	July 7
	Late	April 9	September 30	April 5	September 4
<i>M.sinensis</i>	Early	March 27	August 1	March 23	July 14
	Late	April 8	September 17	April 8	September 14

Table 3. Mean of day of year from sprouting time (ST) to flowering stage 1 (FS1) for each collection site of *Miscanthus sacchariflorus* and *M. sinensis* germplasms in 2013 and 2014.

Location	n	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>		n	<i>Miscanthus sinensis</i>	
		2013	2014		2013	2014
Gyeonggi-do	89	143.3	121.0	28	133.0	111.2
Chungcheongbuk-do	96	151.5	127.0	13	130.4	112.5
Chungcheongnam-do	125	151.5	129.1	36	137.1	120.1
Gyeongsangbuk-do	52	153.5	130.9	21	128.9	110.1
Gyeongsangnam-do	85	159.4	136.3	21	144.8	126.9
Jeollabuk-do	42	160.8	136.2	9	141.2	127.4
Jeollanam-do	62	164.1	141.0	72	152.5	133.2
Jeju-do	-	-	-	209	165.1	141.7

Significance by ANOVA

Location	**	**	**	**
Year	n.s.		n.s.	

** represent statistical significance at 1% level, and n.s. indicated the non-significant at 5% and 1% level.

평균 생육일수를 분석한 결과는 Table 3과 같다. 경기지역에서 수집한 물억새 유전자원의 2013년도 맹아일로부터 지엽전개일 까지의 평균 생육일수가 가장 짧았으나 남부지역에서 수집한 유전자원은 평균 생육일수가 길어지는 것을 알 수 있었으며, 전남지역에서 수집한 물억새 유전자원의 평균 생육일수는 164.1일로 가장 길었다. 이러한 경향은 2014년도에서도 동일하게 확인되었으며, 지역별로 유의적인 차이를 보였다. 일반적으로 화아분화기(floral initiation stage)는 식물의 영양생장기에서 생식생장기로의 전환을 결정하는 중요한 시기라고 알려져 있다(Jensen *et al.*, 2011). 하지만 역새의 경우 줄기 끝분열 조직(shoot apical meristem)이 잎집에 둘러싸여 있기 때문에 줄기 및 잎집을 쪼개지 않고서는 직접적인 관찰이 불가능하여 지엽이 전개되는 시기를 화아분화기로 예측하고자 하였다(Jensen *et al.*, 2013).

특히 2013년과 2014년 조사결과, 전남지역에서 수집한 물억새 중에서 거대 1호(*Miscanthus sacchariflorus* cv. Geodae 1) 및 우람억새(*M. sacchariflorus* cv. Uram)는 가장 늦게 지엽전개가 관찰되며 맹아일로부터 소요되는 생육일수가 가장 긴 것으로 나타났다. 식물에 있어서 영양생장으로부터 생식생장으로의 식물 생육상 전환시기는 식물의 생육단계 중에서 가장 중요한 시기이다(Jensen *et al.*, 2011). 거대 1호와 우람의 생육량은 타 물억새에 비하여 우수한 것으로 알려져 있으며(An *et al.*, 2010), 이는 다른 역새 종에 비하여 영양생장기간이 길어서 바이오매스 축적량이 많은 것으로 설명될 수 있다. Clifton-Brown *et al.* (2001)에 의하면 조기 출수하는 역새 유전자원은 늦게 출수하거나 출수하지 않는 역새에 비하여 바이오매스 수량이 적다는 것에 대하여 기술하고 있다.

참억새 유전자원의 평균생육일수도 북부지역 수집종이 가장 짧았으며 남부지역으로 갈수록 길어지는 것으로 나타났다. 역새의 지엽전개일까지 소요된 생육기간의 지리적 차이에 대하여 Jensen *et al.* (2011)은 지엽전개일까지 가장 생육기간이 길었던 유전자원은 한국의 남부지역과 일본의 서부지역에서 수집한 것으로 일본의 북동쪽 및 한국의 북쪽 지역으로 갈수록 생육기간이 짧아지는 경향을 나타낸다고 기술하였다. 본 연구 결과에서도 경기지역에서 수집한 참억새 유전자원의 2013년 및 2014년도 평균 생육일수는 각각 133.0일 및 111.2일로 나타났으며, 제주도에서 수집한 참억새 유전자원은 각각 165.1일 및 141.7일로 나타나 가장 생육일수가 길었으며 유의적인 차이를 나타냈다. 2년간의 물억새 및 참억새 유전자원의 평균 생육일수를 살펴보면 2013년에 비하여 2014년의 생육일수가 작아지며 약 10~15일 가량 지엽전개가 빨라진 것을 알 수 있었으나, 연차 간 차이는 통계적으로 유의하지는 않았다.

각 역새 유전자원의 맹아일로부터 출수일까지 소요되는 생

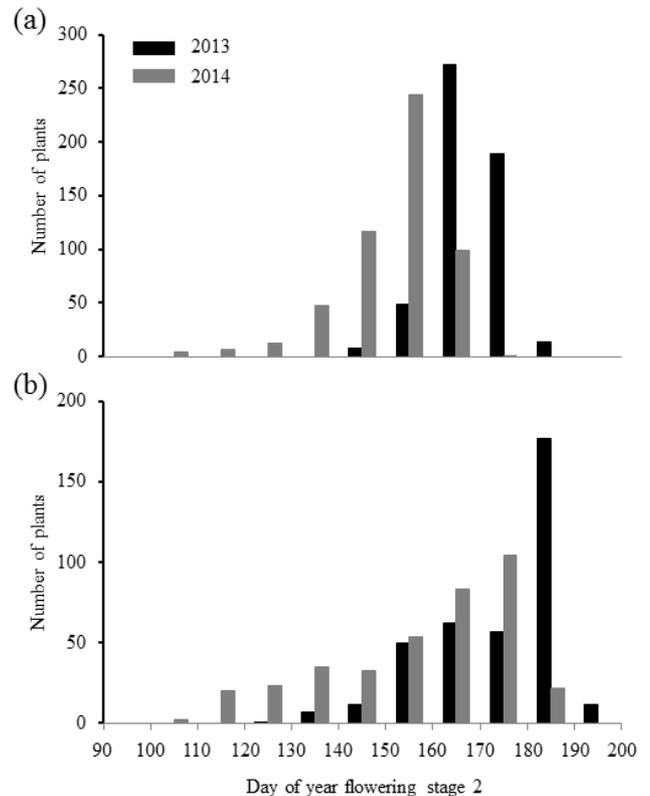


Fig. 4. Frequency in the day of year from sprouting time (ST) to flowering stage 2 (FS2) in *Miscanthus sacchariflorus* (a) and *M. sinensis* (b) for 2013~2014.

육일수의 빈도분포는 Fig. 4에서 나타내고 있다. 물억새 유전자원의 경우, 2013년도에는 160~170일 소요되는 유전자원이 가장 높은 빈도를 나타내었으며, 2014년도에는 출수일까지 150~160일이 소요되는 유전자원이 가장 많았다(Fig. 4a). 참억새 유전자원의 경우는 2013년도 180~190일대의 생육일수의 빈도가 가장 높았으나, 2014년도에는 170~180일대의 생육일수 빈도가 가장 높았다(Fig. 4b). 2년간 각 역새 유전자원의 맹아일로부터 출수일까지 소요되는 생육일수는 지엽전개일과 같은 경향을 보이며 2013년도에 비하여 2014년도 약 10~15일 가량 출수가 빨라지는 것을 확인하였다. Fig. 5에서도 보여지듯이 전반적으로 역새 유전자원의 맹아일로부터 출수일까지 소요되는 생육일수의 연도별 차이를 확인할 수 있었다. 특히 참억새 유전자원 중에서 2013년도에 생육일수가 두드러지게 짧은 유전자원은 2014년도와 비슷한 경향을 보이며 짧은 생육일수를 나타내는 것을 확인하였다. 이러한 역새 유전자원은 대체적으로 국내의 북부지역인 경기 및 경북지역에서 수집된 것으로 지리적으로 역새의 출수가 상이한 것을 확인하였다. 또한 출수까지의 연차간 생육일수 차이가 다소 보였으나 타 수집지역의 역새 유전자원에 비하여 빠르게 출수하는 특성을 지닌 것으로 추

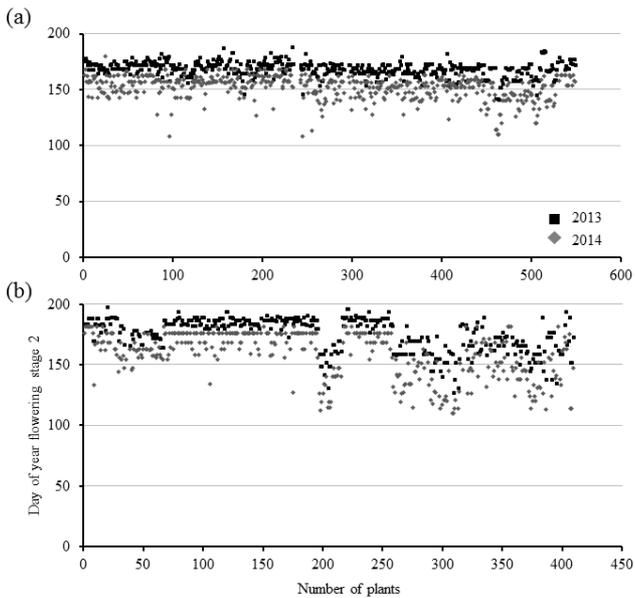


Fig. 5. Day of year from sprouting time (ST) to flowering stage 2 (FS2) in *Miscanthus sacchariflorus* (a) and *M. sinensis* (b) for 2013~2014.

측된다.

각 역사 유전자원의 2013년도 맹아기로부터 출수기까지의 생육일수와 2014년도 생육일수와의 상관관계를 분석하였다 (Fig. 6). 물역사 유전자원의 경우 상관계수(r)가 0.70으로 나타났으며, 참역사 유전자원은 0.89로 나타나 2년간의 생육일수 사이에 높은 상관관계가 있음을 확인하였다.

본 연구결과, 2013년도 역사 유전자원의 생육기간이 2014년도에 비하여 길었던 이유는 2013년은 2014년에 비하여 기온은 높고 강수량은 적었으며, 특히 역사의 주요 생육기간 중에 토양수분이 낮았던 영향에 의한 것으로 추측된다. 작물의 출수에 관여하는 여러 환경적인 요인 중에서 유효수분도 역시 중요하다고 알려져 있다. 수수(*Sorghum*)의 경우 가뭄의 영향으로 우수형성 및 출수가 지연되었다고 보고된 바 있으며(Craufurd *et al.*, 1993), 이와 비슷한 현상은 역사에서도 관찰되었으며, 출수지연의 현상은 수분이 부족한 특정기간의 영향에 의한 것이라고 기술하고 있다(Jensen *et al.*, 2011). 또한 3년 이상 동일조건에서 재배한 역사 유전자원의 출수일까지 생육일수는 수집지역간의 유의적인 차이가 있었던 것으로 나타나 국내에서 수집된 역사 유전자원의 출수특성은 현재 재배지역의 환경적 요인보다 자생지에서 다년간 적응되며 나타난 고유한 유전자형의 영향을 받는다는 것을 추측할 수 있다. 향후 지속적인 개화특성 조사를 수행하며 특히 출수가 완료되고 개화까지 소요되는 생육일수 특성 분석 및 환경적 요인과의 상호관계 분석 등을 수행할 예정이며, 이러한 기초자료는 중간 및 종내 교배

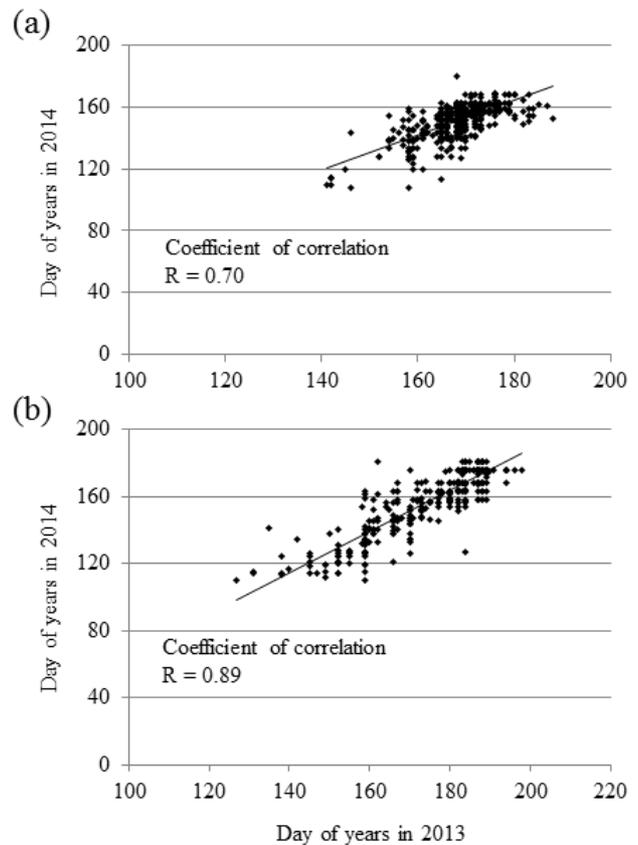


Fig. 6. Correlation between the day of years from sprouting time (ST) to flowering stage 2 (FS2) in 2013 and the day of year from ST to FS2 in 2014 of *Miscanthus sacchariflorus* (a) and *M. sinensis* (b).

육종에 필요한 모본선발을 위하여 비슷한 시기의 생육일수, 출수 및 개화되는 우수역사 유전자원의 선발에 활용하고자 한다.

적 요

본 연구는 국내에 자생하는 역사 유전자원의 생육특성을 구명하기 위하여 국내외로부터 1,200 여점의 유전자원을 수집하였으며, 그 중에서 재배연수가 3년 이상인 유전자원 960여점을 대상으로 2013년과 2014년 역사의 주요 생육기간 동안인 맹아일로부터 지엽전개일 및 출수일까지의 생육특성을 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 역사의 맹아가 진행되는 4월초부터 생육말기인 11월까지의 2013년도 평균기온은 19.1°C이었고, 2014년의 평균기온은 13.9°C로 관측되었다. 평균 강수량 및 누적 강수량은 2013년에 3.8 mm와 921.0 mm 이었으며, 2014년에는 4.5 mm와 1092.5 mm 이었다.

2. 2013년 및 2014년 3월초부터 11월말까지의 지표로부터 10 cm 이내의 평균 토양수분 조사결과, 2013년에는 24.9% 이었으며 2014년에는 32.2%로 나타났다. 하지만 2013년에는 3월초부터 8월 20일까지 20.7%의 평균 토양수분을 나타낸 반면, 2014년 동일시기의 평균 토양수분은 31.7%로 나타났다.
3. 수집지역별 역사 유전자원의 맹아일로부터 지엽전개일까지 평균 생육일수를 분석한 결과, 경기지역에서 수집한 역사 유전자원의 평균 생육일수가 가장 짧았으나 남부지역으로 내려갈수록 평균 생육일수가 긴 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 2014년도에서도 동일하게 확인되었으며, 지역별로 유의적인 차이를 보였다.
4. 2년간의 조사결과, 전남지역에서 수집한 물억새 중에서 거대 1호(*Miscanthus sacchariflorus* cv. Geodae 1) 및 우람억새(*M. sacchariflorus* cv. Uram)는 지엽전개가 가장 늦은 것으로 조사되었으며 맹아일로부터 소요되는 생육일수가 가장 긴 것으로 나타나, 타 역사종에 비하여 영양생장기간이 긴 것으로 판단된다.
5. 2013년도 맹아일로부터 출수일까지의 생육일수와 2014년도 생육일수와의 상관관계 분석결과, 물억새 유전자원의 경우 상관계수(r)가 0.70으로 나타났으며, 참억새 유전자원은 0.89로 나타나 2년간의 생육일수 사이에 높은 상관관계가 있음을 확인하였다.
6. 2014년에 비하여 2013년도 출수가 지연된 요인으로는 높은 기온, 낮은 강수량 및 토양수분의 영향인 것으로 추측할 수 있으며, 3년 이상 동일조건에서 재배한 역사 유전자원의 생육일수는 수집지역간의 유의적인 차이가 있었으며, 역사 유전자원의 출수특성은 현재 재배지역의 환경적 요인보다 자생지에서 다년간 적응되며 나타난 고유한 유전자형의 영향을 받는다는 것을 추측할 수 있다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제명 : 역사 품종육성을 위한 특성구명 및 교배방법 개발, 세부과제번호 : PJ009304)의 지원에 의하여 수행된 것임.

인용문헌(REFERENCES)

An, G. H., J. K. Kim, Y. H. Moon, Y. L. Cha, Y. M. Yoon, B. C. Koo, and K. G. Park. 2013. A new genotype of *Miscanthus sacchariflorus* Geodae-Uksae 1, identified by growth characteristics and a specific SCAR marker. *Bioprocess Biosyst.*

Eng. 36 : 695-703.

Arnoult, S., M. Quillet, and M. Brancourt-Hulmel. 2014. *Miscanthus* clones display large variation in floral biology and different environmental sensitivities useful for breeding. *Bioenerg. Res.* 7 : 430-441.

Atkinson, C. J. 2009. Establishing perennial grass energy crops in the UK: A review of current propagation options for *Miscanthus*. *Biomass Bioenergy* 33 : 752-759.

Caddel, J. L. and D. E. Weibel. 1971. Effect of photoperiod and temperature on the development of sorghum. *Agronomy J.* 63 : 799-803.

Clifton-Brown, J. C., I. Lewandowski, B. Andersson, G. Basch, D. G. Christian, J. B. Kjeldsen, U. Jorgensen, J. V. Mortensen, A. B. Riche, K. -U. Schwarz, K. Tayebi, and F. Teixeira. 2001. Performance of 15 *Miscanthus* genotypes at five sites in Europe. *Agron. J.* 93 : 1013-1019.

Clifton-Brown, J. C. and I. Lewandowski. 2002. Screening *Miscanthus* genotypes in field trials to optimise biomass yield and quality in Southern Germany. *European J. Agro.* 16 : 97-110.

Craufurd, P. Q., D. J. Flower, and J. M. Peacock. 1993. Effect of heat and drought stress on sorghum(*Sorghum bicolor*). 1. Panicle development and leaf appearance. *Exp. Agri.* 29 : 61-76.

Craufurd, P. W. and A. M. Qi. 2001. Photothermal adaptation of sorghum (*Sorghum bicolor*) in Nigeria. *Agri. Forest Meteorol.* 108 : 199-211.

Deuter, M. 2000. Breeding approaches to improvement of yield and quality in *Miscanthus* grown in Europe. In: Lewandowski, I. J. Clifton-Brown. *European Miscanthus improvement Final Report.* pp. 28-52.

Ellis, R. H., A. Qi, P. Q. Craufurd, R. J. Summerfield, and E. H. Roberts. 1997. Effects of photoperiod, temperature and asynchrony between thermoperiod and photoperiod on development to panicle initiation in Sorghum. *Annals Botany.* 79 : 169-178.

Engler, H. G. A. and K. A. E. Prantl. 1887. In: *Nat. Pflanzenfam.* 2(2) : 23.

Greef, J. M., M. Deuter, C. Jung, and J. Schondelmaier. 1997. Genetic diversity of European *Miscanthus* species revealed by AFLP fingerprinting. *Genet. Resour. Crop Ev.* 44 : 185-197.

Hammer, G. L., R. L. Vanderlip, G. Gibson, L. J. Wade, R. G. Henzell, D. R. Younger, J. Warren, and A. B. Dale. 1989. Genotype-by-environment interaction in grain-Sorghum. 2. Effects of temperature and photoperiod on ontogeny. *Crop Sci.* 29 : 376-384.

Heaton, E. A., F. G. Dohleman, A. F. Miguez, J. A. Juvik, V. Lozovaya, J. Widholm, O. A. Zaborina, G. F. McIsaac, M. B. David, T. B. Voigt, N. N. Boersma, and S. P. Long. 2010. *Miscanthus*. A promising biomass crop. *Advance Bot. Res.* 56 : 75-137.

Jensen, E., K. Farrar, S. Thomas-Jones, A. Hastings, I. Donnison, and J. Clifton-Brown. 2011. Characterization of flowering time diversity in *Miscanthus* species. *GCB Bioenergy* 3 : 387-400.

Jensen, E., P. Robson, J. Norris, A. Cookson, K. Farrar, I. Donnison,

- and J. Clifton-Brown. 2013. Flowering induction in the bioenergy grass *Miscanthus sacchariflorus* is a quantitative short-day response, whilst delayed flowering under long days increases biomass accumulation. *J. Exp. Botany* 64(2) : 541-552.
- Karsai, I., P. Szucs, B. Koszegi, P. M. Hayes, A. Casas, Z. Bedo, and O. R. N. Veisz. 2008. Effects of photo and thermo cycles on flowering time in barley: a genetical phenomics approach. *J. Exp. Botany* 59 : 2707-2715.
- Lewandowski, I., J. C. Clifton-Brown, J. M. O. Scurlock, and W. Huisman. 2000. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass Bioenerg.* 19 : 209-227.
- Moon, Y. H., B. C. Koo, Y. H. Choi, S. H. Ahn S. T. Bark, Y. L. Cha, G. H. An, J. K. Kim, and S. J. Suh. 2010. Development of "Miscanthus" the promising bioenergy crop. *Kor. J. Weed Sci.* 30(4) : 330-339.
- Yan, J. W. Chen, F. Luo, H. Ma, A. Meng, X. Li, M. Zhu, S. Li, A. Zhou, W. Zhu, B. Han, S. Ge, J. Li, and T. Sang. 2012. Variability and adaptability of *Miscanthus* species evaluated for energy crop domestication. *GCB Bioenergy* 4 : 49-60.
- Yook, M. J., S. H. Lim, J. S. Song, J. W. Kim, C. J. Zhang, E. J. Lee, Y. Ibaragi, G. J. Lee, G. Nah, and D. S. Kim. 2014. Assessment of genetic diversity of Korean *Miscanthus* using morphological traits and SSR markers. *Biomass Bioenerg.* 66 : 81-92.