

## 평균온도를 이용한 전북지역 단수수의 출수기 추정 및 파종시기별 수량 변화

최영민<sup>1,†</sup> · 최규환<sup>1</sup> · 신소희<sup>1</sup> · 한현아<sup>1</sup> · 허병수<sup>1</sup> · 권석주<sup>2</sup>

### Estimation of Heading Date using Mean Temperature and the Effect of Sowing Date on the Yield of Sweet Sorghum in Jellabuk Province

Young Min Choi<sup>1,†</sup>, Kyu-Hwan Choi<sup>1</sup>, So-Hee Shin<sup>1</sup>, Hyun-Ah Han<sup>1</sup>, Byong Soo Heo<sup>1</sup>, and Suk-Ju Kwon<sup>2</sup>

**ABSTRACT** Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), compared to traditional crops, has been evaluated as a useful crop with high adaptability to the environment and various uses, but cultivation has not expanded owing to a lack of related research and information in Korea. This study was conducted to estimate heading date in 'Chorong' sweet sorghum based on climate data of the last 30 years (1989 - 2018) from six regions (Jeonju, Buan, Jeongup, Imsil, Namwon, and Jangsu) in Jellabuk Province. In addition, we compared the growth and quality factors by sowing date (April 10, April 25, May 10, May 25, June 10, June 25, and July 10) in 2018. Days from sowing to heading (DSH) increased to 107, 96, 83, 70, 59, 64, and 65 days in order of the sowing dates, respectively, and the average was 77.7 days. The effective accumulated temperature for heading date was 1,120.3°C. The mean annual temperature was the highest in Jeonju, followed in descending order by Jeongup, Buan, Namwon, Imsil, and Jangsu. The DSH based on effective accumulated temperature gradually decreased in all sowing date treatments in the six regions during the last 30 years. DSH of the six regions showed a negative relationship with mean temperature (sowing date to heading date) and predicted DSH ( $R^2 = 0.9987^{**}$ ) calculated by mean temperature was explained with a probability of 89% of observed DSH in 2017 and 2018. At harvest, fresh stem weight and soluble solids content were higher in the April and July sowings, but sugar content was higher in the May 10 (3.4 Mg·ha<sup>-1</sup>) and May 25 (3.1 Mg·ha<sup>-1</sup>) sowings. Overall, the April and July sowings were of low quality and yield, and there is a risk of frost damage; thus, we found May sowings to be the most effective. Additionally, sowing dates must be considered in terms of proper harvest stage, harvesting target (juice or grain), cultivation altitude, and microclimate.

**Keywords** : days from sowing to heading, effective accumulated temperature, fresh stem yield, mean temperature, sugar yield

**단수수**(*Sorghum bicolor* L. Moench)는 광 이용 효율이 높은 화본과(Graminae) 일년생 C<sub>4</sub> 식물로써 생육기간이 4 개월 정도로 짧고, 양·수분의 이용 효율이 높아 한계지역에서의 생장이 가능하다(Anten *et al.*, 1995). 특히 생체수량과 당도가 높아(Bian *et al.*, 2006; Carpita & McCann, 2008) 착즙액은 시럽(syrup)으로 이용하거나 당화과정을 거치지 않고 발효와 증류과정을 통해 에탄올 생산이 가능하므로 생산비가 저렴한 장점이 있다(Gibson, 2009; Gnasounou *et al.*, 2005). 또한 이삭은 곡물 가격에 미치는 영향이 상대적

으로 적다(Liu & Feng, 2008). 우리나라에서는 1965년부터 당 원료 작물로 관련 연구가 시도되었으나(Bang *et al.*, 2009), 값싼 당 원료의 수입, 에너지의 효율성 제고, 가공 및 유통 경로의 한계 등으로 재배가 확대되지 못하고 있는 실정이다(Choi *et al.*, 2019). 하지만 최근 생활수준의 향상과 천연 당원에 대한 관심으로 소비 수요가 증가하고 있으며, 농업 생태계의 순환과 자연계의 보존을 이유로 농업 부산물의 환원에 대한 관심이 커지고 있어 용도(식량, 당원료, 사료 등)가 다양한 단수수의 활용 가능성은 상당히 큰 편이다.

<sup>1</sup>전라북도농업기술원 작물식품과 농업연구소 (Scientist, Crops & Food Division, Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea)

<sup>2</sup>전라북도농업기술원 작물식품과 농업연구관 (Senior Scientist, Crops & Food Division, Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea)

<sup>†</sup>Corresponding author: Young Min Choi; (Phone) +82-63-290-6033; (E-mail) [cym9288@korea.kr](mailto:cym9288@korea.kr)

<Received 4 April, 2019; Revised 26 May, 2019; Accepted 28 May, 2019>

최근 우리나라는 급격한 산업·도시화에 따라 지난 100년 간 1.8°C 상승하였는데(Yun, 2002), 기온상승, 겨울철 이상 난동(an abnormally warm winter) 등과 같은 기후변화는 농산물의 생육과 품질뿐만 아니라 재배적지에도 매우 큰 영향을 미치고 있다(RDA, 2002). 이에 벼(Kwon *et al.*, 2013), 밀(Ozkan & Akcaoz, 2002), 옥수수(Tao & Zhang, 2010) 등 여러 식량작물에서 기상변화와 생육 및 품질과의 관계 또는 추정하기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔으나 일부 작물에만 국한되어 있는 실정이다.

단수수의 수확과 관련하여 자당함량과 출수기와의 연관성에 대해 다소 상반된 결과들이 있기는 하나, 출수기를 기준으로 수확시기를 결정하는 것(Tsuchihashi & Goto, 2004)은 비교적 쉬운 식별 요인으로 인식되고 있다(Teetor *et al.*, 2011). 생장과 발육은 기상요인과 매우 밀접한 관계에 있으므로 단수수 재배에 있어 출수기의 예측은 이기작 또는 이모작 등 작부체계 전반에 영향을 미칠 수 있다. 특히 관련 연구의 부재로 새로운 부가가치원인 단수수의 재배 시도에 한계가 있는 상황이다. 따라서 본 연구는 단수수 ‘초롱’의 출수기에 영향을 미치는 온도특성을 찾고 파종시기에 따른 생육 및 수량특성을 분석함으로써 전북지역 단수수 재배한계지 탐색 및 안정생산 재배 매뉴얼 개발에 관한 정보를 제공하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 재배관리 및 기상자료의 수집

실험재료는 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소에서 2017년 3월 분양받은 단수수 ‘초롱’ 종자를 2018년 총 7시기로 파종시기(4월 10일, 4월 25일, 5월 10일, 5월 25일, 6월 10일, 6월 25일, 7월 10일)를 달리하여 파종간격 60×20 cm, 4×2 m의 시험구에 난괴법 3반복으로 파종하였다. 전라북도농업기술원 내 위치한 시험포장(35°56′22.1″N, 126°59′28.1″E)은 pH, EC 및 유기물 함량이 각각 6.6, 0.74 dS·m<sup>-1</sup>, 18.3 g·kg<sup>-1</sup>의 식양토(모래, 미사, 점토의 함량이 각각 42.0, 20.2, 37.8%)로 조사되었고, 유효인산 513 mg·kg<sup>-1</sup> (150~250), 치환성 칼륨 0.70 cmolc·kg<sup>-1</sup> (0.45-0.55), 칼슘 7.01, 마그네슘 1.55이었으며, 모든 재배관리는 농촌진흥청 농업기술 길잡이 ‘수수’(RDA, 2016)에 준하였다.

1989~2018년까지 30년간의 기상자료는 기상청(KMA, Korea Meteorological Administration)의 자동기상관측시스템(AWS, automatic weather system)으로부터 247 (남원), 243 (부안), 244 (임실), 248 (장수), 146 (전주), 245 (정읍) 지점의 평균·최고·최저온도 데이터를 수집하여 분석하였다. 평년

자료에서 각 지역의 연평균온도 및 연평균일교차를 산출하였으며, 이중 파종시기 적용을 위해 평균온도와 최저온도는 4~7월까지 10일 간격으로 상·중·하순의 평균데이터를 구하였다. 시험포장의 대기온도와 실측값에 근거한 유효적산온도(effective accumulated temperature)는 2017, 2018년 30분 간격으로 데이터를 수집하는 실외용 온·습도 측정 로거(Hobo pro V2, Onset Computer Corp., USA)로 산출하였으며, 태양광 등의 간섭을 배제하고자 radiation shield로 센서를 보호하였다.

### 생육, 생육시기 판정 및 전북지역 출수기 추정

파종시기에 따른 생육의 정도를 비교하고자 초장, 경태, 분지수를 개체의 크기가 약 20 cm 일 때부터 10일 간격, 5개체씩 3반복으로 Choi *et al.* (2019)과 동일한 방법으로 조사하였다.

출수기는 이삭이 육안으로 보이는 주수가 실험구(experimental unit)의 40% 이상이 되는 시점을 출수기로 하였으며, 최대생장까지의 도달일수는 간장 및 경태의 생장이 완만해지는 시점으로 정하였다. 각 지역별 30년간의 출수기 추정은 파종일부부터 기준온도 10°C 이상의 온도를 누적하여 실측한 유효적산온도에 도달하는 시점을 출수기로 판단하였다.

출수기 추정을 위해 각각의 파종시기부터 전라북도 6개 지역의 30년간 유효적산온도에 도달하는 시점까지의 평균 온도를 산출한 후 추정된 출수기와의 회귀분석을 실시하여 2차 방정식을 도출하였고, 해당 식을 2017, 2018년의 평균 온도(출수까지)를 대입하여 산출한 추정값과 관찰값간의 검증(회귀분석)을 실시하였다.

### 수량 관련 요인 조사

수확기 수량 조사는 출수 후 50일이 되는 시점에 처리당 7주씩 3반복 무작위로 채취한 후 조사하였다. 가용성 고형물 함량은 각 줄기의 중간부위(약 20 cm의 절편)에서 착즙하여 디지털 굴절당도계(PR-101a, Atago Co. Ltd., Japan)로 측정하였고, 잎과 이삭을 제거하여 생경수량을 측정하고 60°C에서 4일 이상 건조하여 건물수량을 산출하였다. 착즙액 및 당수량은 Wortmann *et al.* (2010)의 다음 식을 적용하여 추정하였다.

$$CSY = (FSY - DSY) \times (^{\circ}Brix / 100) \times 0.75$$

$$JY, 80\% \text{ extracted} = [FSY - (DSY - CSY)] \times 0.8$$

$$SY = JY \times (^{\circ}Brix / 100) \times 0.75$$

위 식에서 보존적 당수량(CSY, conservative sugar yield), 생경수량(FSY, fresh stem yield), 건물수량(DSY, dry stem yield), 착즙액 수량(JY, juice yield), 당수량(SY, sugar yield)은 hectare 당 Mg (ton)으로 산출하였고, 0.75는 착즙액 내 당 농도를 나타내는 상수를, 0.8은 착즙액의 수율(착즙율)을 나타낸다.

유리당 함량은 수확 직후에 착즙액을 시험포장과 약 300 m 거리에 위치한 전북농업기술원 종합분석연구센터(Analysis & Research Center)로 이동하여 분석을 실시하였다. 착즙액은 50 mL conical tube에 희석하여 원심분리기(Centrifuge 5804R, Eppendorf AG, Hamburg, Germany)로 3,000 rpm, 10분간 원심분리한 후, 0.45 µm syringe filter (13 mm, PTFE, 0.45 µm, Jet Biofil, MA, China)로 여과하여 분석에 사용하였다. 분석은 HPLC (Agilent Technologies 1260 infinity, USA)와 동일회사의 refractive index detector (RID)를 사용하였고, column은 Zorbax carbohydrate (250×4.6 mm, 5 µm, Agilent Technologies, USA)를 사용하였으며 column 분석 온도는 35°C이었다. 이동상은 acetonitrile (Fisher Scientific, MA, USA) 75%로 하였고, injection volume은 10 µL, flow rate는 1.0 mL·min<sup>-1</sup>이었다. 표준물질인 sucrose, glucose 및 fructose는 Junsei (Junsei chemical Co, Japan) 제품을 사용하였다. 또한 착즙액의 순도는 sucrose 함량을 가용성 고형물 함량으로 나눈 값의 백분율을 이용하였다.

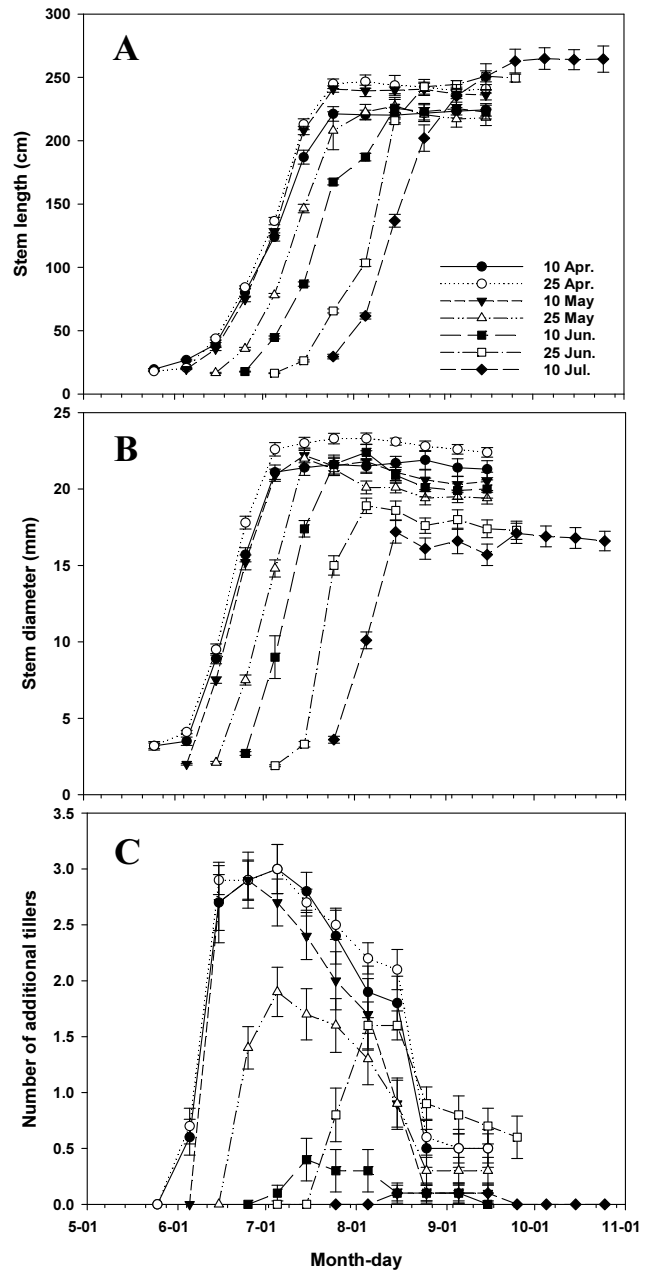
**통계분석**

수집된 데이터는 Windows용 SAS system release 8.01 (SAS Institute Inc, Cary, N.C., USA)을 이용하여 Duncan의 다중검정( $p=0.05$ )과 회귀분석을 실시하였다.

**결과 및 고찰**

**파종시기별 생육특성 및 유효적산온도**

단수수 ‘초롱’의 파종을 7시기(4월 10일, 4월 25일, 5월 10일, 5월 25일, 6월 10일, 6월 25일, 7월 10일)로 달리하였을 때, 간장, 경태, 분지수를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 간장의 경우 4월 파종은 초기 다소 완만한 후 224.4~241.0 cm까지 급격하게 신장하였고, 6월 25일, 7월 10일 파종은 각각 249.5, 264.5 cm로 고온·다습한 기후의 영향으로 다소 도장하는 경향이였다. 또한 모든 처리구는 파종 후 50~60 일경부터 생육이 완만해졌으며, 평균 236.6±16.6 cm 신장하였다. 출수의 영향으로 경태의 비대는 간장보다 완만해지는 경향이 빠르게 나타났다. 분지수의 경우 4~5월 파종이 빠른 순서부터 각각 1.6, 1.7, 1.4, 1.0개로 최소 1개 이



**Fig. 1.** Changes in stem length (A), diameter (B), and number of additional tillers (C) at the different sowing dates of sweet sorghum ‘Chorong’ in 2018. Vertical bars represent standard error of the means ( $n = 15$ ).

상의 분지가 발생하였고, 6월 10일과 7월 10일 파종은 분지수가 각각 0.2, 0.0개로 가장 적었다. 단수수의 수량구성 요소는 품질을 제외하면 양적인 생장(간장, 분지수 등)이 크게 영향을 미치는데, 비교적 파종시기가 빠를수록 경태가 두껍고 분지의 발생이 많아 수량이 높아진다고 보고한 Almodares & Mostafafi-Darany (2006)와 Petrini *et al.* (1993)

**Table 1.** Changes in growing and developmental stage at the different sowing dates of sweet sorghum ‘Chorong’ in 2018.

Sowing date	Heading date	Harvest stage	Required number of days			AT <sup>z</sup> to heading date (°C)	ADS <sup>y</sup> to heading date (hours)
			Maximum growth	Heading date	Harvest stage		
Apr. 10	Jul. 26	Sep. 14	60	107	157	1,163.6	773.9
Apr. 25	Jul. 30	Sep. 18	60	96	146	1,199.0	707.8
May 10	Aug. 1	Sep. 20	50	83	133	1,155.7	599.4
May 25	Aug. 3	Sep. 22	50	70	120	1,059.4	532.0
Jun. 10	Aug. 8	Sep. 27	50	59	109	991.6	451.4
Jun. 25	Aug. 28	Oct. 17	50	64	114	1,138.8	482.1
Jul. 10	Sep. 13	Nov. 2	50	65	115	1,133.7	530.2
Mean			-	77.7	127.7	1,120.3	582.4

<sup>z</sup>AT, accumulative temperature.

<sup>y</sup>ADS, accumulative duration of sunshine.

의 보고와 일치하였다.

파종시기가 빠른 순서부터 출수기는 각각 7월 26일, 7월 30일, 8월 1일, 8월 3일, 8월 8일, 8월 28일, 9월 13일로 조사되었다. 출수까지의 소요일수는 파종이 빠른 시기부터 107, 96, 83, 70, 59, 64, 65일로 파종이 늦어짐에 따라 짧아지는 경향을 보였으며 평균 출수소요일수는 77.7일이었다. 또한 파종부터 출수까지의 유효적산온도(10°C 이상)는 파종시기가 빠른 순서부터 1,163.6, 1,199.0, 1,155.7, 1,059.4, 991.6, 1,138.8, 1,133.7°C로 적산온도가 평균 1,120.3°C 정도 누적되었을 때 출수하는 것으로 나타났다(Table 1). 특히 4월 파종을 제외하고 다른 처리구에서 유효적산온도와 최대생육까지의 도달일수가 약 50일로 큰 차이를 보이지 않았던 것은 온도가 벼와 밀의 출엽 속도에 영향을 주어 성장 속도에 관여한다는 보고(Slafer *et al.*, 1994; Yoshida, 1981)와 달리 파종시기가 달라도 기준온도 이상의 누적된 온도가 단수의 성장과 발달에 크게 영향을 미친 것으로 보여진다(Benoit *et al.*, 1965).

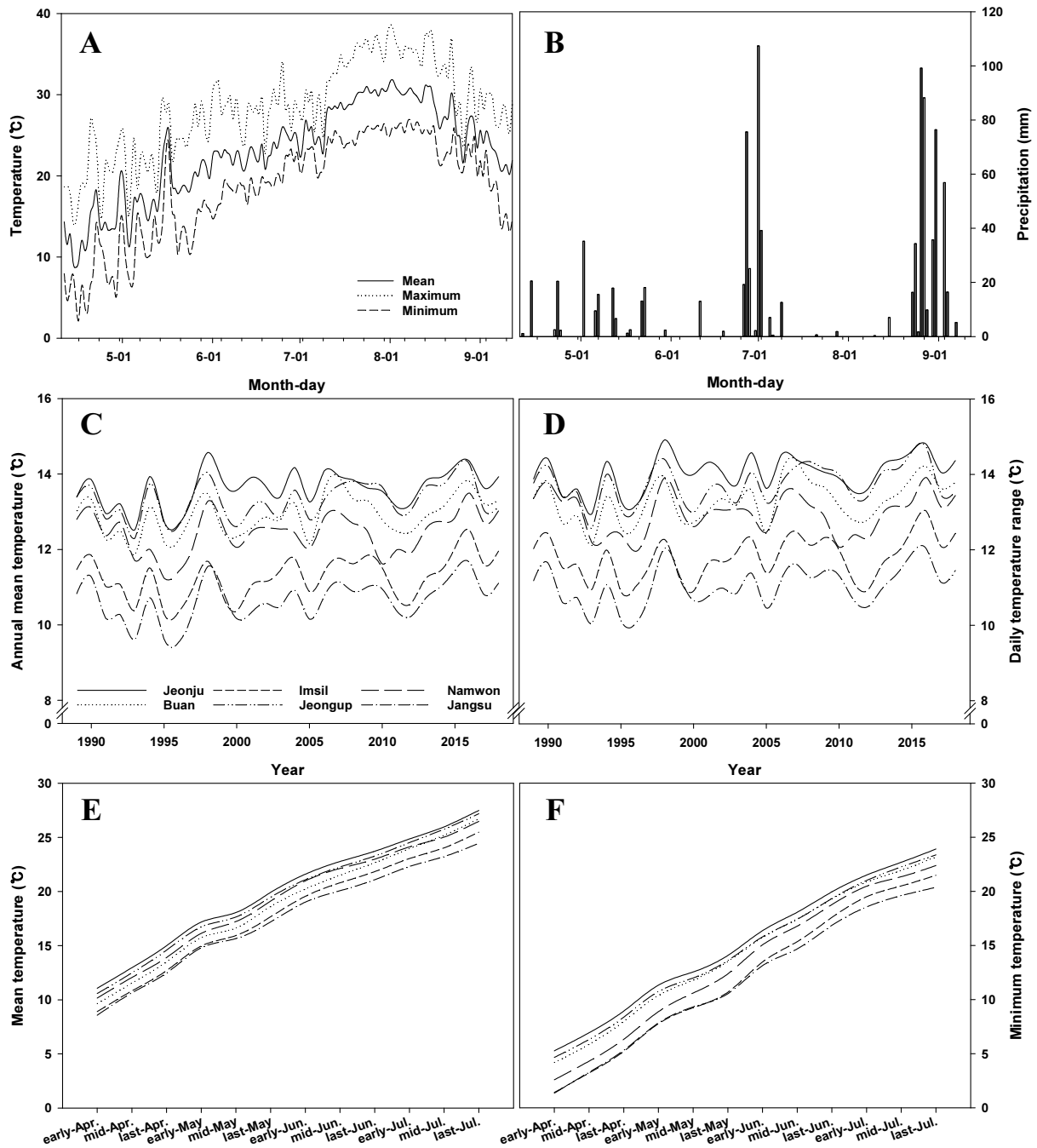
누적 일조시간은 출수소요일수와 마찬가지로 6월 10일 파종까지 짧아진 후 다소 길어지는 경향을 보여 처리간 유사한 범위 내에 포함되지 않았다. 일조는 불규칙한 강우에 의한 변이가 크기 때문에 기준자료로 활용하는데 어려움이 있을 것으로 판단되었다(Yang *et al.*, 2018). 일반적으로 열대 및 아열대 원산인 수수는 생육기간이 50~300일까지 변이가 크며, 늦게 수확하는 품종들은 광주기(12.5시간 이하의 단일성)에 민감하다. 반면 특정 품종의 경우 출수기가 5~7월 사이에 파종시기와 관계없이 일정하게 나타나는 경우도 있고(Clerget *et al.*, 1994), 온대지역에 적응한 품종의 경우, 광주기에 무관한 중일성(day-neutral) 품종들이 널리

재배되는데, 이는 계절적으로 일장을 효율적으로 이용하여 수량 증가에 더욱 유리하기 때문이다(Cuevas *et al.*, 2016). 4~9월까지 일일 일조시간의 시계열 변화 역시 큰 차이가 없었다(데이터 미제시). 따라서 8월까지 일장이 길어지는 국내 기후 특성과 더불어 출수기가 파종시기별로 7~8월경에 집중된 점을 고려해볼 때, 재래종 선발 품종인 ‘초롱’의 출수에 일장의 영향은 크지 않았던 것으로 판단된다.

#### 기상분석 및 유효적산온도에 따른 출수기 변화

가장 이른 파종기인 4월 10일부터 7월 10일 파종기의 출수기인 9월 13일까지의 평균·최고·최저온도를 조사한 결과(Fig. 2A), 8월 중순까지는 주요 온도가 지속적으로 상승하였고, 4월 중·하순의 최저온도는 10°C 이하로 유지되었다. 따라서 4월 파종은 최저온도의 영향으로 다른 파종기보다 최대생육까지의 도달일수가 60일로 약 10일 정도 지연된 것으로 판단되었다. 또한 주요온도가 점차 증가함에도 6월 10일 파종의 경우 출수까지의 소요일수와 유효적산온도가 각각 59일, 991.6°C로 상대적으로 가장 낮았는데, 이와 같은 결과는 Fig. 1C와 Fig. 2B와 같이 생육 초기의 강수량이 극히 적어 분지의 발생이 적었고, 영양생장에서 생식생장으로 전환되는 최대생육기 전후인 7월 하순~8월 상순경 극심한 가뭄 등에 기인하는 것으로 생각되었다.

1989~2018년까지, 최근 30년간 전라북도 6개 시·군의 기상데이터를 분석한 결과는 Fig. 2C-F와 같다. 30년간의 연평균온도는 전주와 정읍이 각각 13.6, 13.3°C로 가장 높았으며, 부안과 남원이 각각 12.9, 12.4°C, 임실과 장수가 11.3, 10.7°C로 가장 낮았다. 30년 중 연평균 최고온도와 최저온도는 평균온도에서 약 ±1°C였으며, 가장 낮았던 장



**Fig. 2.** Cardinal temperature (A) and precipitation (B) from sowing to heading date of the experimental area in 2018. Annual mean temperature (C) daily temperature range (D), and mean (E) and minimum temperature (F) in one quarter (May to July) of the six regions (Jeonju, Buan, Imsil, Jeongup, Namwon, and Jangsu) in Jellabuk-do measured automatic weather system in the last 30 years (1989 - 2018). The legends for C - F are the same.

수지역은 연평균최저온도가 9.5°C이었다(Fig. 2C). 연평균 일교차도 전주, 정읍, 부안, 남원, 임실, 장수 순으로 높게 나타나 연평균온도와 비슷한 경향이였다(Fig. 2D).

무상기간(frostless period)을 근거로 파종~수확까지 단수

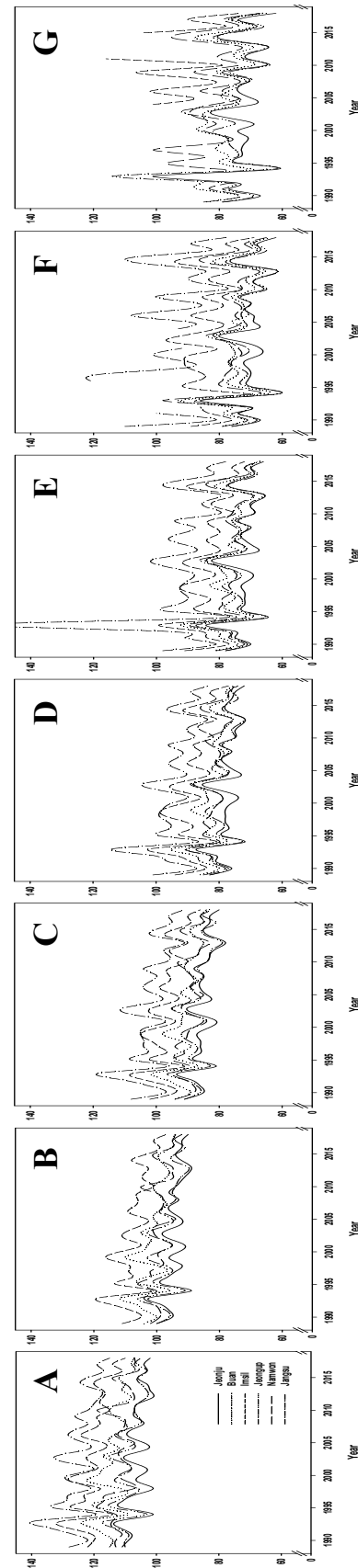
수를 재배할 수 있는 일반적인 시기는 4~10월이며, 10월 이내에 수확하기 위해서는 7월 상순까지는 파종해야 가능하다. 평년 4~7월까지의 기온특성 중 평균기온은 전주가 20°C로 가장 높고, 장수, 임실지역이 각각 17.5, 18.0°C로

가장 낮았다. 이 중 4월 평균온도는 전주, 부안, 임실, 정읍, 남원, 장수가 각각 13.0, 11.6, 10.8, 12.6, 12.0, 10.6°C로 조사되었다(Fig. 2E). 4월 최저온도는 하순으로 갈수록 높아지기는 하나 전주, 부안, 임실, 정읍, 남원, 장수가 각각 7.0, 6.0, 3.3, 6.5, 4.4, 3.3°C로 나타나 일반적인 여름작물의 기준온도인 10°C보다 낮았다(Fig. 2F).

본 실험에서 파종시기별로 Table 1의 유효적산온도(평균값 1,120.3°C)를 적용하여 최근 30년 동안의 출수기를 추정하면, 실측값과 마찬가지로 파종시기가 늦어질수록 파종부터 출수기까지의 소요기간은 단축되는 것으로 나타났다(Fig. 3 and Table 2). 전북의 6개 지역 모두 4월 10일에 파종할 경우, 출수까지 평균 100일 이상의 기간이 필요하였으며, 부안, 임실, 장수지역은 4월 25일에 파종하여도 100일 이상이 소요되었다. 특히 모든 지역에서 6월 10일과 25일에 파종하였을 경우 평균소요일수가 각각 전주 72.1, 70.2, 부안 76.4, 74.3, 임실 83.1, 83.3, 정읍 73.8, 71.7, 남원 76.4, 75.6, 장수 91.9, 94.1일로 짧은 경향이였다. 지역간 차이는 전체 파종기에 대한 평균 출수소요일수가 전주, 부안, 임실, 정읍, 남원, 장수가 각각 82.6, 87.9, 95.7, 84.7, 87.8, 104.0일이 소요되어 30년 평균기온과 동일한 경향을 나타내었다. 즉 지구온난화에 따른 기온상승으로 과거에 비해 각각의 지역 및 파종시기가 늦어질수록 출수소요기간이 점차 감소하였다. Kim (2013)의 방법으로 해발고도에 따라 전주, 정읍, 부안의 경우 평야지, 남원과 임실은 중·산간부, 장수는 산간부로 구분했을 때, 이모작 또는 이기작 등 작부체계를 고려하여 재배기간을 단축하기 위해서는 전주와 부안 등 평야부에서 5월 하순 이후 파종하여야 가장 유리할 것으로 판단되었고, 4월에 파종하여도 장수지역보다는 짧거나 비슷한 수준이었다. 특히 임실과 장수와 같은 중·산간부 지역의 출수소요일수는 5월 이후 파종하면 전주와 비교했을 때 약 10~20일 정도 지연되었기 때문에 적기 파종이 필요할 것으로 생각되었다.

### 평균온도를 이용한 출수기의 추정

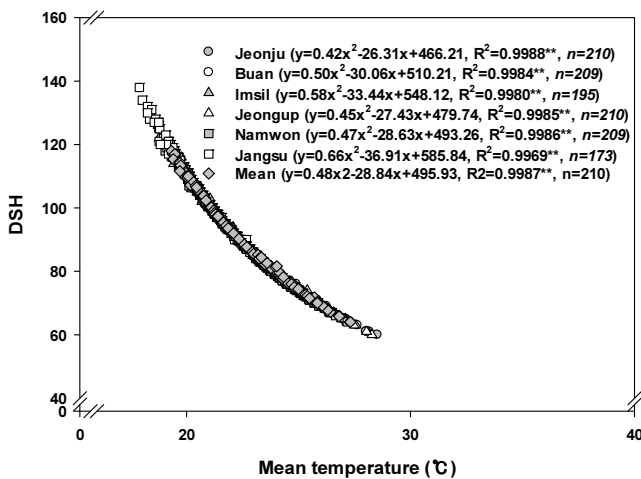
1,120.3°C의 유효적산온도에 도달하는 추정 출수기와 함께, 6개 각 지역의 평균온도와의 회귀분석 결과는 Fig. 4와 같다. 전주( $R^2=0.9988^{**}$ ), 부안( $R^2=0.9984^{**}$ ), 임실( $R^2=0.9980^{**}$ ), 정읍( $R^2=0.9985^{**}$ ), 남원( $R^2=0.9986^{**}$ ), 장수( $R^2=0.9969^{**}$ ) 및 6개 지역의 평균인 전북평균( $R^2=0.9987^{**}$ )은 온도가 상승함에 따라 단수수의 출수소요일수가 감소하는 고도로 유의한 부의 관계를 나타내었다. 또한 2017, 2018년의 출수기 관찰값과 위 회귀분석 결과를 통해 도출한 추정값과의 관계는  $y=0.8976x+8.6808$ 로 89%의 고도로 유의한 설명력



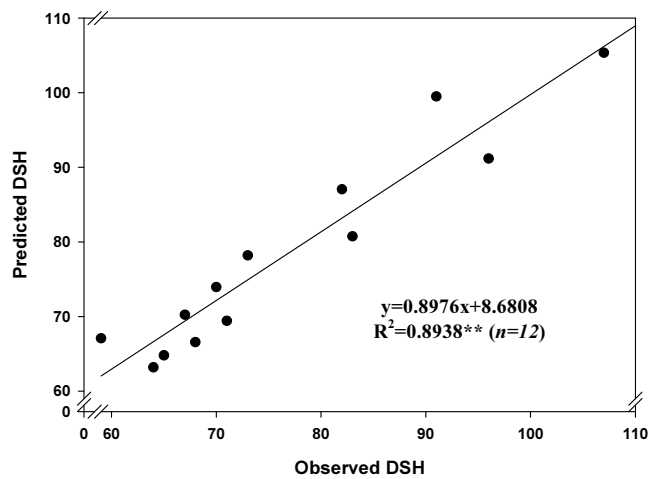
**Fig. 3.** Changes in heading dates with different sowing dates based on effective accumulated temperature (1,120.3°C) of sweet sorghum 'Chorong' of the six regions in Jeollabuk-do in the last 30 years (1989 - 2018). Y axis: days from sowing to heading. The graphs represent April 10 (A), April 25 (B), May 10 (C), May 25 (D), June 10 (E), June 25 (F), and July 10 (G) sowings.

**Table 2.** Changes in mean and range values of days from sowing to heading for the different sowing dates based on effective accumulated temperature (1,120.3°C) of sweet sorghum ‘Chorong’ of the six regions in Jellabuk-do in the last 30 years (1989 - 2018).

Sowing date	Jellabuk Province											
	Jeonju		Buan		Imsil		Jeongup		Namwon		Jangsu	
	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
Apr. 10	106.1	101-112	113.7	107-123	119.9	110-130	108.6	103-116	111.2	105-119	124.6	115-139
Apr. 25	94.2	89-102	100.8	94-111	106.9	97-118	96.5	90-105	98.9	92-106	111.8	102-128
May 10	85.0	78-93	90.5	83-101	96.5	86-107	86.9	79-96	89.1	82-95	101.6	91-118
May 25	77.3	72-87	82.1	75-95	88.3	77-102	79.2	72-90	81.5	74-91	94.0	83-114
Jun. 10	72.1	65-84	76.4	67-92	83.1	72-99	73.8	66-87	76.4	68-90	91.9	78-156
Jun. 25	70.2	61-86	74.3	64-93	83.3	69-96	71.7	61-88	75.6	65-98	94.1	78-121
Jul. 10	73.1	62-101	77.8	65-87	91.7	73-116	76.1	64-114	81.6	67-101	110.3	92-131
Mean	82.6	-	87.9	-	95.7	-	84.7	-	87.8	-	104.0	-



**Fig. 4.** Quadric regression results between mean temperature (sowing date to heading date) and days from sowing to heading (DSH) based on effective accumulated temperature (1,120.3°C) of sweet sorghum ‘Chorong’ of the six regions in Jellabuk-do in the last 30 years (1989 - 2018).



**Fig. 5.** Linear regression results between predicted and observed days from sowing to heading (DSH) of sweet sorghum ‘Chorong’ in 2017 and 2018.

을 나타내었다(Fig. 5). 유효적산온도의 개념은 Neild & Greig (1971)의 보고 이래, 식물의 성장과 발달이 시간 경과가 아닌 특정 온도의 축적에 관계되어 있음이 밝혀져 작물의 질적 변화를 예측하는 주요 지표로 이용되어 왔다(Neild & Seeley, 1977). 따라서 파종시기가 늦어질수록 평균온도가 높아져 출수까지의 소요일수가 짧아지므로(Tector *et al.*, 2011), 평균온도와 출수소요일수간에 유의한 부의관계가 성립될 수 있다(Coleman & Belcher, 1952). 즉 단수수를 재

배하고자 하는 지역에서는 최근의 기상자료를 분석함으로써 출수기의 예측이 가능하며, 이를 통해 작부체계를 확립할 수 있을 것으로 판단되었다. 반면 본 연구에서 기상데이터는 기상청의 주요 기상대(meteorological observatory)의 자료를 수집 및 분석한 것으로서 해당 지역 내 모든 구역에 대한 대표성은 부족하다. 기상은 재배지의 고도, 지형, 미기상 등에 영향을 받고 토양 역시 작물에 지대한 영향을 주므로 단수수의 출수기 및 재배기간의 예측을 위해서는 재배·환경적 요인들이 충분히 고려되어야 할 것이다.

**Table 3.** Comparison of soluble solids content (SSC), fresh stem yield (FSY), dry stem yield (DSY), juice yield (JY), sugar yield (SY), sucrose content (SC), juice purity (JP), and ear weight (EW) by the different sowing dates in sweet sorghum 'Chorong' at harvest (50 days after heading date).

Sowing date	SSC (°Brix)	FSY (Mg·ha <sup>-1</sup> )	DSY (Mg·ha <sup>-1</sup> )	JY (Mg·ha <sup>-1</sup> )	SY (Mg·ha <sup>-1</sup> )	SC (%)	JP (%)	EW (Mg·ha <sup>-1</sup> )
Apr. 10	11.1 c <sup>z</sup>	61.0 a	20.7 a	35.0 a	2.9 ab	6.5 cd	58.7 bc	8.1 a
Apr. 25	11.2 c	61.0 a	19.2 a	36.1 a	2.9 ab	5.4 d	48.3 c	7.4 ab
May 10	14.5 b	46.4 b	11.2 b	31.3 ab	3.4 a	10.0 b	68.8 ab	6.4 b
May 25	13.7 b	45.7 b	11.2 b	30.3 ab	3.1 ab	8.6 bc	63.5 b	6.2 b
Jun. 10	14.1 b	39.7 b	9.2 bc	27.0 b	2.9 ab	9.6 b	67.8 ab	4.2 c
Jun. 25	14.1 b	40.2 b	9.6 bc	27.1 b	2.9 ab	9.6 b	67.0 b	2.9 c
Jul. 10	16.8 a	26.9 c	7.0 c	18.0 c	2.3 b	13.4 a	79.6 a	1.1 d

<sup>z</sup>The same letters are not significantly different at  $p < 0.05$  using Duncan's multiple range tests.

### 파종시기별 수량구성요소의 비교

모든 파종처리구를 출수 후 50일에 수확하여 수량 조사를 진행한 결과(Table 3), 가용성 고형물 함량은 7월 10일 파종이 16.8 °Brix로 가장 높았고, 5~6월 파종은 13.7~14.5 °Brix로 통계적 차이가 없었으며, 4월 파종(파종이 빠른 시기부터 각각 11.1, 11.2 °Brix)이 가장 낮았다. 반면 생경수량은 4월 10, 25일 파종이 각각 61.0, 61.0 Mg·ha<sup>-1</sup>로 가장 높았으며 파종시기가 늦어질수록 감소하는 경향이였다. 건물수량도 생경수량과 유사한 경향이였다. 단수수의 수량관련 요소들은 출수까지의 소요일수와 직선적인 관계가 성립되는데(Hoshikawa *et al.*, 1994), 본 연구에서도 파종시기가 빠를수록 출수소요일수가 길어지고 생경수량이 높아 일치하는 결과를 보였다. 착즙액의 수량도 생경수량과 유사한 경향이였으나, 당수량은 5월 10일 파종이 3.4 Mg·ha<sup>-1</sup>로 가장 높았으며, 7월 10일 파종은 2.3 Mg·ha<sup>-1</sup>로 가장 낮았다. 자당 함량은 가용성 고형물 함량, 착즙액의 순도와 정의 관계에 대해 보고한 Almodares *et al.* (2008)의 연구결과와 유사하였다. 단수수의 당 축적의 기초가 되는 생리학적 기작은 잘 알려져 있지 않으나(Shukla *et al.*, 2017), 파종시기가 빠를수록 생육기간이 길어져 탄수화물을 합성하고 축적하는 온도요인 및 일조량 등이 관계가 있을 것으로 추측되며, 반대의 경우 생경수량이 낮다는 많은 연구결과와도 일부 일치하였다(Almodares & Mostafafi Darany, 2006; Balole, 2001). 반면 본 실험결과 중 7월 10일 파종의 가용성 고형물 함량과 자당 함량은 각각 16.8 °Brix, 13.4%로 다른 파종처리구보다도 높게 조사되어 일부 선행연구(Cowley & Smith, 1971; Hipp *et al.*, 1970)들과 상반된 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 분지 발생이 적거나 빠르게 퇴화하였으며(Fig. 1C), 수정률이 상당히 떨어져 이삭중이 1.1 Mg·ha<sup>-1</sup>

으로 가장 낮았기 때문에 sink-source의 관계(탄수화물 축적)가 줄기에 집중된 것으로 추측되었다.

이상의 결과는, 4월 파종 시 생경수량은 높으나 가용성 고형물 및 자당 함량이 낮아 최종적인 당수량이 낮으며 출수 소요일수(전체 재배기간)가 길어지고, 6월 이후 파종은 출수 소요일수는 짧아지나 생경수량과 이삭수량이 낮았다. 따라서 본 시험포장과 유사한 기후를 나타내는 지역에서는 5월에 파종했을 때 수량과 품질 향상에 가장 효과적이였다. 하지만 모든 처리구는 수확시기(출수 후 50일)를 일괄적으로 결정하였으므로 정확한 수량 및 품질의 판단을 위해 각각의 파종시기별로 출수한 다음 일정 기간이 경과된 후 °Brix를 측정하여 최종적으로 수확기를 결정해야 하고(Tsuchihashi & Goto, 2004), 추가적으로 작부체계, 수확의 대상(착즙액 또는 이삭), 재배지대, 미기상 등이 고려되어야 할 것이다.

### 적 요

단수수(*Sorghum bicolor* L. Moench)는 전통적인 식량작물보다 높은 환경적응성과 다양한 용도로 유용한 작물로 평가받아 왔지만, 국내에서는 관련 연구 및 정보의 부족으로 재배가 확대되지 못하고 있다. 본 연구는 단수수 '초롱'의 전라북도 6개 지역(전주, 부안, 정읍, 임실, 남원, 장수)의 최근 30년(1989-2018년)간 기상자료에 근거한 출수기를 추정하고, 파종시기(4월 10일, 4월 25일, 5월 10일, 5월 25일, 6월 10일, 6월 25일)에 따른 생육 및 품질요인 등을 비교하고자 수행하였다. 파종부터 출수까지의 소요일수는 파종시기가 빠를수록 107, 96, 83, 70, 59, 64, 65일로 길어지는 경향을 보였으며, 평균출수소요일수는 77.7일이였다. 유효적산온도는 평균 1,120.3°C이였다. 지역별 연평균온도는



전주, 정읍, 부안, 남원, 임실, 장수 순으로 높았으며, 평균 온도는 지역별 출수소요일수와도 비슷한 경향이였다. 특히 유효적산온도로 산출한 최근 30년 동안 6개 지역의 출수소요일수는 모든 파종처리구에서 점차 감소하는 경향이였다. 또한 6개 지역에서 출수소요일수는 평균온도(파종~출수까지)와 부의 상관관계가 있는 것으로 나타났고, 2017, 2018년 평균온도를 이용하여 산출한 출수소요일수의 예측값은 관측값( $R^2=0.9987^{**}$ )을 89%로 확률로 설명되었다. 수확기, 4월과 7월 파종은 각각 생경수량과 가용성 고형물 함량이 높았으나, 최종적인 당수량은 5월 10, 25일 파종이 각각 3.4, 3.1  $Mg \cdot ha^{-1}$ 로 가장 높았다. 4, 7월에 파종한 경우 각각 품질과 수량이 낮고 서리피해의 위험성이 있으므로 5월 파종하는 것이 효과적인 것으로 판단된다. 최종적인 파종시기의 결정은 적정 수확기, 작부체계, 수확대상(작업액 또는 이삭), 재배지대, 미기상 등을 고려해야 할 것이다.

## 사 사

본 논문은 전북농업기술원 연구사업(과제번호: LP003524)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Almodares, A. and S. M. Mostafafi Darany. 2006. Effects of planting date and time of nitrogen application on yield and sugar content of sweet sorghum. *J. Environ. Bio.* 27(3) : 601-605.
- Almodares, A., R. Taheri, and S. Adeli. 2008. Stalk yield and carbohydrate composition of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars and lines at different growth stages. *Mala. J. Applied Biol.* 37(1) : 31-36.
- Anten, N. P. R., F. Schieving, E. Medina, M. J. A. Werger, and P. Schuffelen. 1995. Optimal leaf area indices in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> mono- and dicotyledonous species at low and high nitrogen availability. *Physiologia Plantarum* 95(4) : 541-550.
- Balole, T. V. 2001. Strategies to improve yield and quality of sweet sorghum as a cash crop for small scale farmers in Botswana. PhD. Thesis, University of Pretoria, South Africa.
- Bang, J. K., Y. B. Kim, S. S. Nam, S. H. Ahn, and S. J. Suh. 2009. Variation of major characters in sweet sorghum germplasm for bioethanol. *J. Kor. Soc. Intern. Agric.* 21(3) : 189-192.
- Benoit, G. R., A. L. Hatfield, and J. L. Ragland. 1965. The growth and yield of corn. Soil moisture and temperature effects. *Agronomy J.* 57(2) : 223-226.
- Bian, Y. L., S. Yazaki, I. Maiko, and H. W. Caih. 2006. QTLs for sugar content of stalk in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Agric. Sci. China* 5(10) : 736-744.
- Carpita, N. C. and M. C. McCann. 2008. Maize and sorghum: genetic resources for bioenergy grasses. *Trends Plant Sci.* 13(8) : 415-420.
- Choi, Y. M., H. A. Han, S. H. Shin, B. S. Heo, K. H. Choi, and S. J. Kwon. 2019. Effect of planting density on growth and yield components of the sweet sorghum cultivar, 'Chorong'. *Kor. J. Crop Sci.* 64(1) : 40-47.
- Clerget, B., H. F. W. Rattunde, S. Dagnoko, and J. Chantreau. 2007. An easy way to assess photoperiod sensitivity in sorghum: Relationships of the vegetative-phase duration and photoperiod sensitivity. *J. SAT Agric. Res.* 3(1) : 1-3.
- Coleman, O. H. and B. A. Belcher. 1952. Some responses of sorgho to short photoperiods and variations in temperature. *Agronomy J.* 44(1) : 35-39.
- Cowley, W. R. and R. A. Smith. 1971. Sweet sorghum as a potential sugar crop in south Texas. *Proc. Intern. Soc. Sugar Cane Technol.* 14 : 628-633.
- Cuevas, H. E., C. Zhou, H. Tang, P. P. Khadke, S. Das, Y. R. Lin, Z. Ge, T. Clemente, H. D. Upadhyaya, C. T. Hash, and A. H. Paterson. 2016. The evolution of photoperiod-insensitive flowering in sorghum, a genomic model for panicoid grasses. *Molecular. biol. and Evolution.* 33(9) : 2417-2428.
- Gibson, S. 2009. Bioenergy crops "Sweet sorghum". Advanta Seeds Ltd. Austrilia. p. 1-7.
- Gnasounou, E., A. Dauriat, and C. E. Wyman. 2005. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade - AFFS in the context of North China. *Bioresource Technol.* 96 : 985-1002.
- Hipp, B. W., W. R. Cowley, C. J. Gerad, and A. B. Smiti. 1970. Influence of solar radiation and date of planting on yield of sweet sorghum. *Crop Sci.* 10(1) : 91-92.
- Hoshikawa, K., S. Nakamura, Y. Goto, M. Tanaka, and T. Kabeya. 1994. Relationships between changes in the heading date and yield-related traits of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* Moench) in the northern area of Japan. *Jap. J. Crop Sci.* 63(4) : 610-615.
- Kim, S. K. 2013. Occurrence pattern of water core at various altitude in 'Fuji' and 'Hongro' apple. Master's Thesis, University of Chonbuk, Republic of Korea.
- Kwon, O. S., H. K. Cho, E. B. Cho, and J. S. Roh. 2013. Climate Variables and Rice Productivity: A semi parametric analysis using panel regional data. *Kor. J. Agric. Economics* 54(3) : 71-94.
- Liu, C. and F. Wang. 2008. Sweet sorghum: A promising crop for bioethanol. *J. Biotech.* 136(S) : 456-456.
- Neild, R. E. and J. K. Greig. 1971. An agroclimatic procedure to determine growing seasons for vegetables. *Agric. Meteor.* 9 : 225-240.
- Neild, R. E. and M. W. Seeley. 1977. Growing degree days predictions for corn and sorghum development and some

- applications to crop production in Nebraska. Historical Research Bulletins of the Nebraska Agricultural Experiment Station 41.
- Ozkan, B., and H. Akcaoz, 2002: Impacts of climate factors on yields for selected crops in the southern Turkey, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 7(4) : 367-380.
- Petrini, C., A. Belletti, and F. Salamin. 1993. Accumulation and distribution of dry matter and soluble carbohydrates in two sweet sorghum cultivars; influence of sowing date and harvesting time. Euro. J. Agron. 2 : 185-192.
- RDA (Rural Development Administration). 2002. Research trends of climate change and changes in Agricultural Ecosystems. Jeonju, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2016. Standard farming handbook. 'SORGHUM'. Jeonju, Korea.
- Shukla, S., T. J. Felderhoff, A. Saballos, and W. Vermerris. 2017. The relationship between plant height and sugar accumulation in the stems of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Field Crops Res. 203 : 181-191.
- Slafer, G. A., D. J. Connor, and G. M. Halloran. 1994. Rate of leaf appearance and final number of leaves in wheat effects of duration and rate of change of photoperiod. Annals of Botany 74(5) : 427-436.
- Tao, F. and Z. Zhang. 2010. Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: quantify the relative contributions of adaptation options. Euro. J. Agronomy 33(2) : 103-116.
- Teetor, V. H., D. V. Duclos, E. T. Wittenberg, K. M. Young, J. Chawhuaymak, M. R. Riley, and D. T. Ray. 2011. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. Industrial Crops and Products 34(2) : 1293-1300.
- Tsuchihashi, N. and Y. Goto. 2004. Cultivation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) and determination of its harvest time to make use as the raw material for fermentation, practiced during rainy season in dry land of Indonesia. Plant Production Sci. 7(4) : 442-448.
- Wortmann, C. S., A. J. Liska, R. B. Ferguson, D. J. Lyon, R. N. Klein, and I. Dewikat. 2010. Dryland performance of sweet sorghum and grain crops for biofuel in Nebraska. Agronomy J. 102(1) : 319-326.
- Yang, W., S. kang, S. Kim, J. S. Choi, and J. H. Park. 2018. Assessment of the safe rice cropping period based on temperature data in different regions of North Korea. Kor. J. Agric. Forest Meteor. 20(2) : 190-204.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. Los Banos, Philippines, IRRI.
- Yun, J. I. 2002. Urbanization effect on observed warming in Korea during the recent half century. Kor. J. Agric. Forest Meteor. 4(1) : 58-63.