

Research Article

중북부지역에서 수수×수단그라스 교잡종의 생산성과 기후요인과의 상관분석

이배훈, 박형수, 정종성*
국립축산과학원 초지사료과

Correlation Analysis between Productivity of Forage Sorghum × Sudangrass Hybrids [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] and Climatic Factors in Central Northern Region of South Korea

Bae Hun Lee, Hyung Soo Park and Jeong Sung Jung*

Grassland and Forage Division, National Institute of Animal Science, Cheonan, 31000, Republic of Korea

ABSTRACT

Sorghum×sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, SSH) is one of the most important summer forage crop and it is widely used for silage in Korea. Agriculture is highly dependent on the climate condition and experiencing significant loss of productivity due to climate change. This study was conducted to investigate the correlation analysis between productivity of forage SSH and climatic factors in Central Northern region of South Korea for 3 years (2017 to 2019). Plant height and dry matter yield of SSH were significantly higher in Gyeonggi-do than Ganwon-do. The productivity of SSH is more closely related with temperature than other climatic factors. Maximum temperature and Growing degree days in May and June showed a positive correlation. However, correlation between production of SSH and precipitation was not clear in this study, but rainy days showed a negative correlation (0.42). In conclusion, temperature is most important climatic factor to the maintenance of plant yield.

(Key words: Sorghum×Sudangrass Hybrids, Dry Matter Yield, Climate Factors, Correlation Analysis)

I. 서론

우리나라에서 하계사료작물 중 Sorghum×sudangrass hybrids (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)는 수수와 수단그라스의 중간적 특징을 가지고 있으며, 환경적응성이 우수하고, 사료가치가 높아 주로 사일리지용으로 많이 이용하고 있다(Kim et al., 2002). 농가에서 여름철 재배하는 하계작물은 옥수수와 수단그라스 등으로 국내 총 생산량이 821천톤(60천 ha)이다(MAFRA, 2020). 그러나 옥수수 사일리지는 한여름에 작업하고 노동력이 많이 필요하며, 전용 수확기계가 필요하다는 점에서 농민들이 기피하고 있는 실정이다. 이에 반해 수수×수단그라스 교잡종은 원형근포 사일리지 조제 기술향상 및 원형근포기의 농가보급이 증가됨에 따라 옥수수에 비해 이용하기 용이하다.

기후변화 보고서에 따르면 20세기 지구 평균기온이 0.6 °C 상승하였으며, 우리나라의 경우 평균기온이 1.5 °C 상승하여 전지구적인 온난화 추세를 상회하고 있음을 알 수 있다(IPCC, 2000; Kwon, 2005). 연평균 기온은 2011~2017년 13.0 °C로 이전(80년

대 12.2 °C, 90년대 12.6 °C, 00년대 12.8 °C)에 비해 가장 높으며, 1973~2017년 한반도 폭염일수(+0.89일/10년)가 뚜렷이 증가하였다(ME, 2020). 또한, 기상이변으로 인하여 늦겨울(2월), 봄(3~4월) 및 초가을(9월)에 가뭄이 발생하는 경향이 증가되고 있다. 국내 연간 강수량은 1970년대부터 2000년 초·중반까지 증가하는 추세였으나 이후 감소하는 흐름으로 전환되고 있다(HRI, 2020). 그러나 여름철 집중호우(80 mm/일 이상) 발생이 증가되고 있어 습해 및 일조량 감소 등으로 작물의 생육 및 생산량 피해발생이 우려된다. 이러한 지구온난화의 영향으로 평균기온이 높아져 출수시기가 앞당겨지고 등숙기간이 단축되는 등 재배환경에 많은 영향을 미치고 있다. 기후 온난화는 병충해를 비롯한 각종 기상재해 발생빈도를 심화시켰지만 다르게 생각해보면 재배가능기간을 늘려 새로운 작부체계를 도입할 수 있는 기회요인으로 작용할 수 있다(Jung et al., 2012).

사료용 수수류는 C4의 열대성 작물료(Quinby, 1974) 고온조건에 잘 자라며, 물 이용효율이 좋아 지속되는 가뭄에도 비교적 잘 견디고 척박한 환경에 비교적 잘 적응한다(Dar et al., 2006).

*Corresponding author: Jeong Sung Jung, National Institute of Animal Science, 31000, Cheonan, Republic of Korea. Tel: +82-41-580-6748, Fax: +82-41-580-6779, E-mail: jjs3873@korea.kr

Table 1. Chemical properties of the soil before experiment

Location	pH (1:5)	T-N (%)	OM (g/kg)	Average P ₂ O ₅ (mg/kg)	CEC (cmol ⁺ /kg)
Pyeongchang	7.09	0.16	24.87	115.51	15.85
Anseong	7.33	0.26	40.54	775.49	15.76
Hwaseong	7.19	0.16	25.92	107.69	15.22

T-N: total nitrogen; OM: organic matter; CEC: cation exchange capacity

또한 우리나라에서 재배되는 수수×수단그라스 교잡종의 경우 15℃이상일 때 파종하는 것을 권장하고 있으며(Lee et al., 1997), 토양 온도가 18℃이하의 이른 시기에 파종하면 온도가 낮아 발아 기간이 길어 질 수 있으며 파종시기를 늦추면 분얼 및 생산량이 감소 할 수 있다고 하였으며(Pinthus and Resenblum, 1961), 사료용 수수의 경우 식량용 수수 대비 고온환경에서 HSP(heat shock protein)합성이 증가하여 생산성이 좋아진다는 보고가 있다(Pavli et al., 2011).

기후변화의 영향에 가장 민감한 분야 중 하나가 바로 농업분야로 기후변화에 대한 피해가 상대적으로 크게 발생하고 있다. 그러나 기후변화에 사전적으로 대응하고 국가 정책 수립을 위한 영향 취약성 평가 지표의 개발이 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구는 중북부지역에서 수수×수단그라스 교잡종의 생산량과 기후요인간에 상관관계분석을 통하여 영향 취약성 평가 지표선정을 위한 기초자료로 활용하고자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험설계

본 연구는 중북부지역에서 수수×수단그라스 교잡종의 생산성 평가를 위하여 2017년부터 2019년까지 3년간 실시하였다. 시험장소는 강원도 평창과 경기도 안성 및 화성이었으며 경기도는 안성에서 2018~2019년, 화성에서 2017년에 재배하였다.

공시품종은 수수×수단그라스 교잡종(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)으로 SX-17(출수형)과 Revolution(BMR; brown mid-rib)을 이용하였다.

파종시기는 5월 상순에서 중순으로 2017년 화성 5월 10일, 평창 5월 2일, 2018년 안성 5월 11일, 평창 5월 1일, 2019년 안성 5월 2일, 평창 5월 10일이었었다. 수확시기는 출수기로 2017년 화성 8월 4일, 평창 8월 11일, 2018년 안성 7월 24일, 평창 8월 6일, 2019년 안성 7월 17일, 평창 8월 6일이었었다.

시험설계는 난괴법 3반복으로 진행하였다. 파종량은 40 kg/ha였으며, 12 m(3 m×4 m)의 시험포에 재식거리 50 cm로 조파하였다. 시비량은 질소 175 kg/ha, 인산 150 kg/ha 그리고 가리를 150

kg/ha이고 인산과 가리의 경우 기비로 전량 사용하였으며, 질소의 경우 기비 70%, 4-5엽기에 추비 30% 비율로 분시하였다.

조사항목은 초장, 경직경, 당도, 및 생산량이었으며, 이화학적 토양특성은 Table 1과 같다. 시험 포장의 토양은 pH 적정 범위 6.0~6.5보다 강원도(7.1)와 경기도(7.2~7.3) 모두 높았으며, 강원도는 유기물함량(적정 범위 25~30 g/kg) 및 인산함량(적정 범위 80~120 mg/kg)이 24.87 g/kg 및 115.51 mg/kg로 적정 범위이었으나 경기도 화성은 25.92 g/kg 및 107.69 mg/kg로 평창과 유사하였지만 안성은 40.54 g/kg 및 775.49 mg/kg로 상당히 높았다. 당도는 수확 당일에 예취된 줄기 밑에서부터 10 cm부분에서 샘플을 취하여 휴대용 굴절 당도계(ATAGO PAL-1, 일본)로 측정하였다. 기상자료는 농업기상정보 서비스(www.weather.rda.go.kr)를 이용하여 시험포와 가장 가까운 기상대에서 수집하였다. 수집한 기상요소는 평균기온(℃), 최고기온(℃), 최저기온(℃), 일조시간(hr), 강우일수(day) 및 강우량(mm)이었다. 유효적산온도(℃)는 {(최고기온+최저기온)/2}-10 으로 산출하였다.

2. 통계처리

통계분석은 SAS Enterprise Guide(ver. 9.2)를 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, Duncan's multiple range test에 의하여 5% 유의 수준에서 처리구간의 통계적인 차이를 검정하였다. 변수들간의 상관관계를 확인하기 위하여 R(3.6.1)을 이용하여 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)로 상관분석 후 R package reshape2와 ggplot2를 이용하여 heatmap 형태로 상관도를 표시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수수×수단그라스 교잡종의 생육특성

수수×수단그라스 교잡종의 평균 초장은 강원도가 225±14.0 cm로 경기도 266±4.4 cm보다 유의적으로 작았다($p<0.05$, Table 2). 여름철 평균기온이 경기도에 비해 강원도 평창은 상대적으로 낮아 고온에서 생육이 우수한 열대성 사료작물인 수수

Table 2. Growth characteristics and dry matter to location of sorghum×sudangrass hybrids

Location	Year	Cultivar	Plant height(cm)	Sugar content(Brix °)	Stem diameter(mm)	Dry matter yield(kg ha ⁻¹)	
Gangwon-do	2017	SX-17	313±3.1	8.9±0.4	11.3±0.8	10,864±474	
		Revolution	293±6.9	10.7±0.5	10.6±0.6	9,707±342	
		Mean	303±5.6^a	9.8±0.5^a	10.9±0.5^a	10,286±368^a	
	2018	SX-17	195±10.9	13.6±0.3	12.1±1.7	6,499±176	
		Revolution	199±8.0	14.2±0.7	7.6±0.2	4,287±129	
		Mean	197±6.1^b	13.9±0.4^a	9.9±1.3^a	5,393±504^b	
	2019	SX-17	178±8.2	13.3±0.4	8.0±0.3	4,794±307	
		Revolution	170±4.3	14.1±0.6	6.9±0.5	3,980±77	
		Mean	174±4.5^b	13.7±0.4^a	7.4±0.4^b	4,387±231^b	
	Avg.	225±14.0^b	12.5±0.5^a	9.4±0.6^a	6,689±659^b		
	Gyeonggi-do	2017	SX-17	272±5.4	6.7±0.7	9.6±0.5	8,994±303
			Revolution	242±1.7	6.4±0.6	8.7±0.7	9,166±93
Mean			257±7.2^b	6.6±0.4^b	9.1±0.4^b	9,080±147^b	
2018		SX-17	270±5.1	7.9±0.3	7.5±0.6	14,575±1,992	
		Revolution	266±7.8	9.6±0.3	7.4±0.3	15,656±454	
		Mean	268±4.3^a	8.7±0.4^b	7.4±0.3^a	15,115±945^a	
2019		SX-17	292±9.8	8.3±0.6	12.0±0.5	16,130±1,655	
		Revolution	254±7.7	7.9±0.5	10.7±0.4	15,367±507	
		Mean	273±10.2^a	8.1±0.4^b	11.3±0.4^a	15,749±793^a	
Avg.		266±4.4^a	7.8±0.3^b	9.3±0.4^a	13,315±826^a		

^{a,b} Means with the same letter in a column for each planting date are not significantly different at the 5% level.

All values are presented by means±standard error.

Table 3. Growth characteristics and dry matter to year of sorghum×sudangrass hybrids

Year	Cultivar	Plant height(cm)	Sugar content(Brix °)	Stem diameter(mm)	Dry matter yield(kg ha ⁻¹)
2017	SX-17	293±9.7	7.8±0.6	10.4±0.6	9,929±488
	Revolution	268±12.0	8.5±1.0	9.6±0.6	9,437±199
	Mean	280±8.3^a	8.2±0.6^b	10.0±0.4^a	9,683±262^a
2018	SX-17	233±17.5	10.7±1.3	9.8±1.3	10,537±2,015
	Revolution	233±15.8	11.9±1.1	7.5±0.2	9,972±2,551
	Mean	233±11.2^b	11.3±0.8^a	8.7±0.7^a	10,254±1,552^a
2019	SX-17	235±26.2	10.8±1.2	10.0±0.9	10,462±2,644
	Revolution	212±19.0	11.0±1.4	8.8±0.9	9,674±2,556
	Mean	223±15.8^b	10.9±0.9^a	9.4±0.6^a	10,068±1,757^a

^{a,b} Means with the same letter in a column for each planting date are not significantly different at the 5% level.

All values are presented by means±standard error.

×수단그라스 교잡종의 특성에 의한 결과로 판단된다. 그러나 강원도 2017년의 경우 초장이 303±5.6 cm로 경기도 2017년 (257±7.2 cm)보다 크며 전체 년도 중 가장 컸다. 이로 인해 강원도 2018년과 2019년 건물생산량보다 약 2배가량 높은 건물생산량을 나타내었다. 당도는 경기도가 7.8±0.3 Brix °로 강원도 12.5±0.5 Brix °보다 유의적으로 낮았다($p<0.05$). 평균 경직경은 강원도(9.4±0.6mm)와 경기도(9.3±0.4mm)에서 유의적인 차이가 없었다($p>0.05$). BMR 품종이 일반품종에 비해 당도가 높고 리그닌 함량이 낮다는 연구결과처럼 일반품종인 SX-17보다 BMR 품종인 Revolution에서 당도가 높고 경직경이 가늘게 나타났는데 (Hwang et al., 2017). 평균 건물생산량은 경기도가 13,315±826

kg/ha로 강원도 6,689±659 kg/ha 보다 유의적으로 많았다 ($p<0.05$). 또한, 남부지역에서 중부지역보다 건물생산량이 높았고 보고한 연구와 일치하였다(Hwang et al., 2017; Kim et al., 2012). 그러나 2017년 건물생산량이 경기도(9,080 kg/ha)보다 강원도(10,286 kg/ha)에서 많게 나타난 것은 경기도 6월 강수량이 31 mm로 수수×수단그라스 교잡종 생육에 영향을 준 결과이다. 연도별 수수×수단그라스 교잡종의 초장은 2017년 280±8.3 cm로 2018년 233±11.2 cm 및 2019년 223±15.8 cm보다 유의적으로 높았다($p<0.05$, Table 3). SX-17과 Revolution 두 품종 모두 2017년에서 2018년과 2019년보다 초장이 크게 나타났는데 이는 파종일로부터 수확일까지의 생육일수가 2017년에서 약 10일

Table 4. Climatic variables at Gangwon-do and Gyeonggi-do

Location	Year	Number of growing days	Growing degree days(°C)					Rainy days (days)	Precipitation(mm)					Sunshine (hr.)
			May	Jun.	Jul.	Aug.	Total		May	Jun.	Jul.	Aug.	Total	
Gangwon-do	2017	102	150.3	307.4	449.6	177.7	1,084.9	42	19.5	137.0	450.0	59.0	665.5	670.5
	2018	98	116.6	346.6	487.1	119.2	1,069.4	24	168.0	100.5	188.5	0	457.0	699.1
	2019	89	115.5	301.6	411.9	95.6	924.5	31	20.0	111.0	154.5	8.5	294.0	586.8
Gyeonggi-do	2017	87	185.0	358.9	507.1	74.0	1,125.0	26	13.0	31.0	484.0	2.0	530.0	611.9
	2018	75	171.0	382.8	400.8	-	954.5	22	85.0	135.0	146.5	-	366.5	536.4
	2019	77	204.4	362.2	228.9	-	795.4	16	19.5	69.0	67.5	-	156.0	581.6

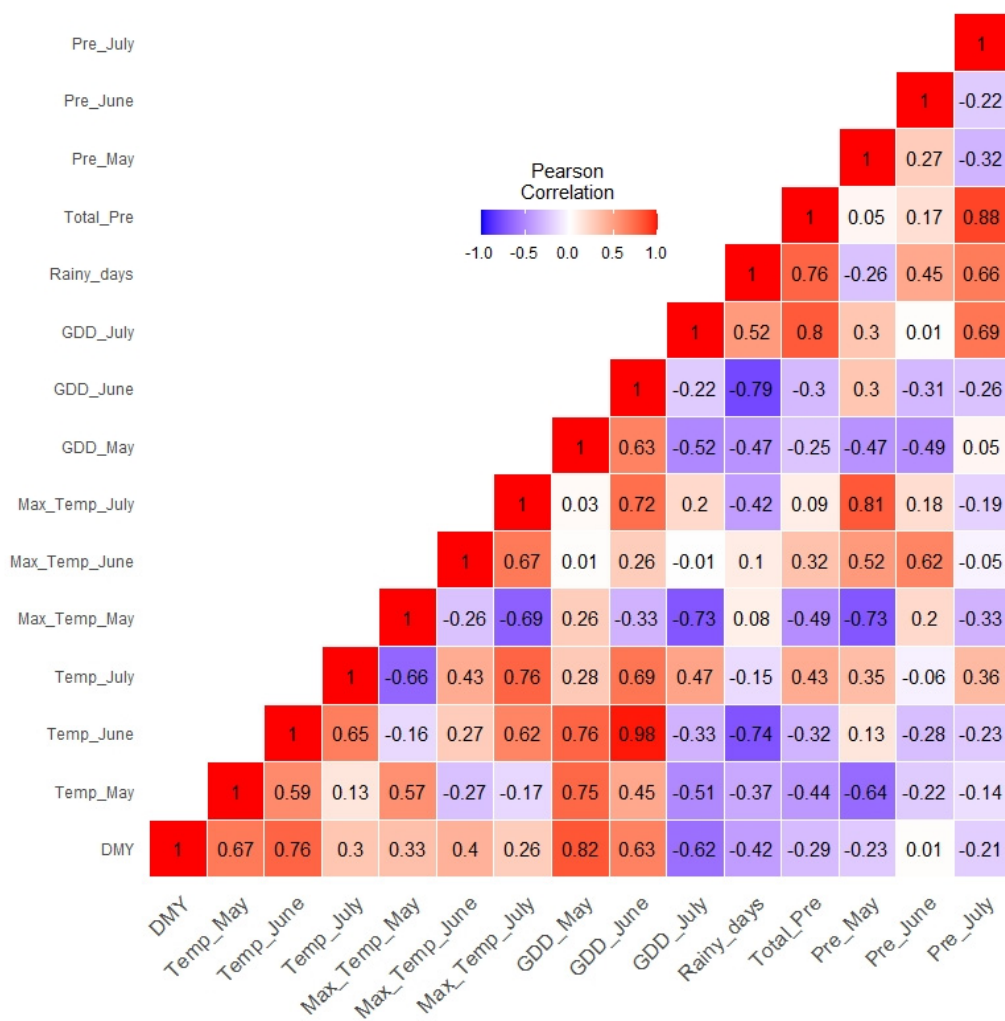


Fig. 1. Correlation coefficient between dry matter yield and climatic variables.

DMY: dry matter yield; Temp_May : average temperature in May; Temp_June : average temperature in June; Temp_July : average temperature in July; Max_Temp_May: maximum average temperature in May ; Max_Temp_June: maximum average temperature in June; Max_Temp_July: maximum average temperature in July; GDD_May: growing degree days in May; GDD_June: growing degree days in June; GDD_July: growing degree days in July; Rainy_days: rainy days during growing period of plant; Total_Pre: total precipitation during growing period of plant; Pre_May: total precipitation in May; Pre_June: total precipitation in June; Pre_July: total precipitation in July

길었던 것이 영향을 주었을 것으로 판단된다. 당도는 2017년 8.2 ± 0.6 Brix °가 2018년 11.3 ± 0.8 Brix °와 2019년 10.9 ± 0.9 Brix °보다 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 수수×수단그라스 교잡종의 초장이 2017년에 2018년과 2019년보다 크다 보니 상대적으로 당도가 낮은 것으로 판단된다. 경직경 및 건물생산량은 연도별 유의적인 차이는 나타나지 않았으나($p > 0.05$), 경직경은 2018년에서 건물생산량은 2017년에서 가장 낮았다. 지역별 건물생산량은 유의적인 차이가 나타났으나($p < 0.05$), 연도별 건물생산량은 유의적인 차이는 나타나지 않았다($p > 0.05$).

강원도에서 경기도보다 유효적산온도, 강수일수, 강수량 및 일조시간이 모두 높게 나타났으나, 강원도의 5월 유효적산온도가 경기도보다 낮아 유식물의 초기 정착 및 생육에 영향을 준 것으로 판단된다(Table 4). 수수×수단그라스 교잡종의 일당생산량을 계산하였을 때 2017년 강원도 100.8 kg/d, 경기도 104.4 kg/d로 비슷하였다. 그러나 2018년 강원도 55.0 kg/d, 경기도 201.5 kg/d, 2019년 강원도 49.3 kg/d, 경기도 204.5 kg/d로 강원도에서 경기도에 비해 약 4배 낮게 나타났다. 이는 강원도가 경기도보다 생육일수가(2018년: 23일, 2019년 12일) 더 많았고 일조시간(2018년 162.7시간, 2019년 5.2시간)이 길게 나타났지만 초기생육에서 유효적산온도의 영향이 가장 크게 나타났다.

2. 수수×수단그라스 교잡종의 생산성과 기후요인간의 상관관계

수수×수단그라스 교잡종의 건물생산량과 기후특성간의 상관관계를 분석하였을 때 월별 온도와 양의 상관관계를 나타내었다($p < 0.01$, Fig. 1). 특히 파종시기인 5월(0.67)과 생육초기인 6월(0.76)에서 가장 강한 양의 상관관계($p < 0.01$)를 나타내고 유효적산온도에서 5~6월에서 각각 0.82와 0.63으로 높게 나타내고 있는 것으로 나타나 초기생육에서 온도가 미치는 영향이 중요하다고 판단된다. 또한, 최고온도의 경우 5월(0.33)과 6월(0.40)에 양의 상관관계($p < 0.05$)로 열대성 사료작물인 수수×수단그라스 교잡종이 생육기간에 최고온도가 성장에 중요한 요인으로 작용하여 나타난 결과이다. 강수일수는 건물생산량과 음의 상관을 가지는 것으로 분석되었다($p < 0.05$). Chemere et al.(2018)의 보고서도 생육기간동안 강수량(-0.18)이 건물생산량과 음의 상관관계($p < 0.01$)를 나타내고 있어 본 실험과 일치하였다. 또한, Sharma et al.(2019)는 작물 성장시기에 강수량이 증가되면 수수의 건물생산량이 18~38 %까지 감소한다고 보고하고 있다.

이상의 결과를 종합해보면 수수×수단그라스 교잡종의 건물생산량은 평균온도가 낮은 강원도지역보다 경기도 지역에서 많았다. 또한, 기후요건 중 강수일수, 파종에서 수확까지 평균온도, 5~6월 최고온도 및 적산온도에서 상관관계를 나타내었다. 따라

서 본 연구에서는 수수×수단그라스 교잡종의 건물생산량은 평균온도 및 적산온도에 영향을 가장 크게 받는 것을 확인 할 수 있었으나 강우에 대한 영향은 분명하게 확인할 수 없었다. 향후 기후요소가 수수×수단그라스 교잡종의 생육과 생산성에 미치는 영향을 정확하게 분석하기 위해서는 강우에 관한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다.

IV. 요약

본 연구는 중북부지역에서 수수×수단그라스 교잡종의 생산량과 기후요인간에 상관관계를 확인하기 위하여 2017년부터 2019년까지 3년간 실시하였다. 시험장소는 강원도(평창)와 경기도(안성, 화성)로 SX-17(출수형)과 Revolution(BMR) 품종을 이용하였다. 파종시기는 5월 상순에서 중순이며, 수확시기는 출수기로 8월이었다. 수수×수단그라스 교잡종의 평균 초장은 강원도가 경기도보다 유의적으로 작았으며($p < 0.05$), 평균 건물생산량은 경기도가 강원도보다 유의적으로 많았다($p < 0.05$). 수수×수단그라스 교잡종의 특성상 파종부터 수확까지 기간 동안 강원도에 비해 유효적산온도가 크고 일조시간이 많은 경기도에서 초장과 건물생산량이 높은 것으로 판단된다. 수수×수단그라스 교잡종의 건물생산량과 기후특성간의 상관관계를 분석하였을 때 월별 온도와 양의 상관관계를 나타내었다. 특히 파종시기인 5월(0.67)과 생육초기인 6월(0.76)에서 가장 강한 양의 상관관계($p < 0.01$)를 나타내고 유효적산온도에서 5~6월에서 각각 0.82와 0.63으로 높게 나타내고 있는 것으로 나타나 초기생육에서 온도가 미치는 영향이 중요하다고 판단된다. 최고온도의 경우 5월(0.33)과 6월(0.40)에 양의 상관관계($p < 0.05$)로 열대성 사료작물인 수수×수단그라스 교잡종이 생육기간에 최고온도가 성장에 중요한 요인으로 작용하여 나타난 결과이다. 강수일수는 건물생산량과 음의 상관을 가지는 것으로 분석되었다($p < 0.05$). 이상의 결과를 종합해보면 수수×수단그라스 교잡종의 건물생산량은 평균온도가 낮은 강원도지역보다 경기도 지역에서 많았다. 또한, 기후요건 중 강수일수, 파종에서 수확까지 평균온도, 5~6월 최고온도 및 적산온도와 상관관계를 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 수수×수단그라스 교잡종의 건물생산량은 평균온도와 적산온도에 영향을 가장 크게 받는 것을 확인 할 수 있었으나 강우에 대한 영향은 분명하게 확인할 수 없었다. 향후 기후요소가 수수×수단그라스 교잡종의 생육과 생산성에 미치는 영향을 정확하게 분석하기 위해서는 강우에 관한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다.

V. 사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(기후변화에 따른 목초·사료작물의 생산성 실태조사 및 영향 취약성평가(1단계), PJ0150792021)과 2021년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

VI. REFERENCES

- Chemere, B., Kim, J.Y., Lee, B.H., Kim, M.J., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2018. Detecting long-term dry matter yield trend of sorghum-sudangrass hybrid and climatic factors using time series analysis in the republic of Korea. *Agriculture*. 8(12):197. doi:10.3390/agriculture8120197
- Dar, W.D., Reddy, B.V.S., Gowda, C.L.L. and Ramesh, S. 2006. Genetic resources enhancement of ICRISAT-mandate crops. *Current Science*. 91:880-884.
- HRI. 2020. Current issues and take. Hyundai Research Institute.
- Hwang, T.Y., Ji, H.C., Kim, K.Y., Lee, S.H., Lee, K.W., Kim, K.S. and Choi, G.J. 2017. Agronomic characteristics of sorghum×sudangrass hybrids ‘Cadan 99B’ and ‘Sweet Sioux WMR’ in middle and southern region of Korea. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 37(4):254-263. doi:10.5333/kgfs.2017.37.4.254
- IPCC. 2000. Report of intergovernmental panel on climate change.
- Jung, G.H., Lee, J.E., Seo, J.H., Kim, S.L., Kim, D.W., Kim, J.T., Hwang, T.Y. and Kwon, Y.U. 2012. Effects of seeding dates on harvesting time of double cropped waxy corn. *Korean Journal of Crop Science*. 57(2):195-201. doi:10.7740/kjcs.2012.57.2.195
- Kim, J.D., Ko, K.H. and Kwon, C.H. 2012. Effect of heading and bmr types on the agronomic characteristics, forage yield and quality of sorghum×sudangrass hybrid. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 32(3):293-300. doi:10.5333/kgfs.2012.32.3.293
- Kim, J.D., Kwon, C.H., Kim, H.J., Park, J.G., Lee, B.S. and Bing, G.S. et al. 2002. Comparison of agronomic characteristics hybrid. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 22(4):297-302. doi:10.5333/kgfs.2002.22.4.297
- Kwon, W.T. 2005. Current status and perspectives of climate change sciences. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*. 41(2-1):325-336.
- Lee, S.M., Ryu, Y.W. and Jeon, B.T. 1997. Effect of seeding dates on growth characteristics and dry matter yield at intercropping cultivation of sorghum×sudangrass hybrid and soybean. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 17(2):177-186.
- MAFRA. 2020. Forage supply and demand statistics. Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs.
- ME. 2020. Korean climate change assessment report 2020. Ministry of Environment.
- Pavli, O.I., Ghikas, D.V., Katsiotis, A. and Skaracis, G.N. 2011. Differential expression of heat shock protein genes in sorghum(*Sorghum bicolor* L.) genotypes under heat stress. *Australian Journal of Crop Science*. 5(5):511-515.
- Pinthus, M.J. and Rosenblum, J. 1961. Germination and seedling emergence of sorghum at low temperatures. *Crop Science*. 1(4): 293-296.
- Quinby, J.R. 1974. Sorghum improvement and the genetics of growth. Texas Agricultural Experiment Station.
- Sharma, O.P., Kannan, N., Cook, S., Pokhrel, B.K. and McKenzie, C. 2019. Analysis of the effects of high precipitation in Texas on rainfed sorghum yields. *Water*. 11(9):1920. doi:10.3390/w11091920

(Received : February 26, 2021 | Revised : March 17, 2021 | Accepted : March 17, 2021)