

Research Article

국내 중부지역에 있어서 기후변화에 따른 사료용 옥수수의 생산성 및 기후영향취약성 평가

정상욱¹, 성시흥¹, 장치만¹, 정종성², 오미래^{1,2}, 윤영식³, 성혜진¹, 문상호^{1,*}

¹건국대학교 대학원 동물산업전공, 충주, 27478, ²국립축산과학원, 천안, 31000, ³축산환경관리원, 대전, 34065

Assessment of Productivity and Vulnerability of Climate Impacts of Forage Corn (*Kwangpyeongok*) Due to Climate Change in Central Korea

Sang Uk Chung¹, Si Heung Sung¹, Qi-Man Zhang¹, Jeong Sung Jung², Mirae Oh^{1,2}, Yeong Sik Yun³, Hye Jin Seong¹ and Sang Ho Moon^{1,*}

¹Division of animal bio and applied chemistry science, Graduate school of Konkuk University, Chungju, 27478, Korea

²National institute of animal science, Cheonan, 31000, Korea

³Institute of livestock environmental management, Daejeon, 34065, Korea

ABSTRACT

A two-year study was conducted from 2017 to 2018 by the establishment of a test field at Chungju-si and Cheongyang-gun. Plant height, number of leaves, insects and diseases, and fresh and dry matter yields for corn hybrid ('*Kwangpyeongok*') were investigated. Daily average, maximum, and minimum temperature, monthly average temperature, daily precipitation, and sunshine duration during the growing season were investigated. We selected climate-critical factors to corn productivity and conducted an evaluation of vulnerability to climate change from 1999 to 2018 for both regions. In 2018, the dry matter yield of forage corn was 6,475 and 7,511 kg/ha in Chungju and Cheongyang, respectively, which was half of that in 2017. The high temperature and drought phenomenon in the 2018 summer caused the corn yield to be low. As well as temperature, precipitation is an important climatic factor in corn production. As a result of climate impact vulnerability assessment, the vulnerability has increased recently compared to the past. It is anticipated that if the high temperature phenomenon and drought caused by climate change continues, a damage in corn production will occur.

(Key words: Climate change, Productivity, Corn, Vulnerability)

I. 서론

옥수수는 비교적 재배가 쉬우며 수량이 많아 오래 전부터 중요한 식량작물 및 사료용 작물로 재배되어 왔으나, 경제수준과 생활 수준의 향상에 의해 고기, 우유 등 축산물의 수요가 급격히 증가하게 됨에 따라 최근에는 식용보다는 사료용으로서의 중요성이 훨씬 증가하게 되었다(Son et al., 2013). 옥수수 사일리지는 재배 면적이 좁은 우리나라 축산업에서 없어서는 안 될 중요한 여름철 사료자원이며, 사료가치가 높아 중북부지방에서부터 남부지역에 이르기까지 전국에서 재배되고 있는 대표적인 하계 사료작물이다. 옥수수는 C₄ 작물로 평균 10℃ 이상에서 생육을 시작한다. 물 질생산에 필요한 수분요구량도 북방형 작물에 비해 1/2 정도로 적어 가뭄에 대한 영향을 적게 받는 작물이다(Kim et al., 2013).

옥수수 생산성은 농기계, 방제, 품종개량 및 재배기술 향상 등으로 인해 1960년대 이후 2008년까지 꾸준히 증가해왔다(Thomas et al., 2009). 가뭄, 홍수, 이상기후 등이 생산량의 감소의 원인으로 보고되고 있으며, 이는 식물의 성장에 기후요인이 밀접한 관계가 있음을 보여준다(Peng et al., 2015). 기상청에서 제공한 RCP 8.5 시나리오에 따르면 옥수수의 고온피해 위험성이 1년에 10일을 초과하는 경우도 있어 실제 옥수수 생식생장기에 고온피해가 나타날 가능성이 매우 높은 것으로 분석되었다(Seo et al., 2016). 현재 온실가스 배출 수준이 유지되었을 경우 미래의 옥수수 생산에 큰 어려움이 있을 수 있으며, 이에 대비하기 위해서는 내재해성 품종으로의 개량, 대체작물의 발굴, 재배시기 변화 등의 대책이 마련되어야 할 것으로 사료된다. 그동안 옥수수에 대한 연구는 생육특성과 생산량, 사일리지의 사료가치 등 이용성에

*Corresponding author: Sang Ho Moon, Division of animal bio and applied chemistry science, Graduate school of Konkuk University, Korea.
Tel: 82-43-840-3516, E-mail: moon0204@kku.ac.kr

초점이 맞추어져 있었으며, 기후조건과 관련한 연구는 적은 편이었다. 농작물에 대한 취약성 평가는 기후변화 및 극단적 기상현상이 미치는 영향을 알아보는 데 효과적인 방법이며(Farhangfar et al., 2015) 현재 외국에선 취약성평가를 통해 작물 생산에 영향을 주는 기후요인을 찾고, 기후변화로 인한 생산 피해를 줄이려는 연구가 시도되고 있다(Hatfield et al., 2018). 우리나라에서도 기후영향취약성 평가는 작물생산에 있어서 기후변화로 인한 피해를 줄이고 대비하는데 도움이 될 것으로 판단된다. 광평옥은 국내에서 개량된 품종으로서 국내 기후영향취약성을 평가하기에 외국 품종에 비해 적합한 품종으로 여겨진다.

본 연구는 광평옥을 이용한 기후영향취약성 평가를 통해 사료용 옥수수 생산에 있어서 치명적인 기후요인을 밝히고, 생산량에 미치는 영향에 대하여 조사하여, 향후의 생산피해 저감 및 옥수수의 기후영향취약성 평가에 있어서 기초자료를 제공하고자 실시되었다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장지 조성

본 연구는 우리나라 중부지역에서의 옥수수 생산성 조사를 위해 충청북도 충주시 대소원면과 충청남도 청양군 운곡면에 각각 시험포장을 조성하여 2017년부터 2018년까지 2년간 실시하였다. 옥수수의 공시품종은 사일리지 생산을 목적으로 하는 국내 육성 품종인 광평옥을 사용하였다. 시험구당 면적은 12m² (3 × 4m) 이었고, 시험구의 배치는 난괴법 3반복으로 하였다. 파종일은 충주 지역은 2017년 4월 24일과 2018년 4월 23일이며, 청양지역은 2017년 4월 22일과 2018년 4월 26일이다. 파종량은 30 kg/ha 기준으로 2립 점파하고 1주 1본을 유지하였다. 생육 중에 발생하는 잡초는 손으로 제초하였다. 재식거리는 75 × 15 cm (4 m, 4열)로 하였다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O = 200-150-150 kg/ha를 기준으로 인산 및 칼리질 비료는 전량 밑거름으로 사용하였고, 질소질 비료는 밑거름과 웃거름을 50%씩 분시 하였다. 웃거름은 경엽 6.7 매의 생육기인 6월 중하순에 시비하였다. 생육기간동안 관수는 하지 않았으며, 수확은 생리적 성숙기인 황숙기를 판단하여 충주 지역은 2017년에는 8월 29일, 2018년에는 8월 20일에 실시하였으며, 청양지역은 2017년에는 8월 31일, 2018년에는 8월 18일에 실시하였다. 착수고는 지면에서 첫 번째 이삭이 달린 마디까지의 높이를 재어서 측정하였다. 출사일은 이삭에서 수염이 80% 정도 출사한 날로 조사하였다. 추가적으로 초고, 엽수, 병충해, 생물수량, 건물수량 등을 조사하였다. 건물수량은 시험구 12m² 중 6m²를 수확하여 이삭과 경엽으로 분리하여 생초수량을 조사하였고,

각 구당 2주씩 선발하여 65℃의 건조기에서 72시간 건조하여 건물물을 산출하였다. 건물수량은 생물수량에 건물물을 곱하여 계산하였다. 기후자료는 충주시와 홍성군 기상관측소의 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온, 월평균기온, 일강수량, 일일 일조시간 등의 자료를 참고하였다. 홍성군 기상관측소는 본 연구를 실시한 청양군 운곡면에서 가장 근접한 기상 관측소이며 청양 실험 포장의 기후값을 대표한다고 할 수 있다.

2. 기후영향취약성 평가

과거의 옥수수 생산량 조사를 위해 최근 약 30년 동안 발간된 옥수수 생산에 관한 논문들의 수량 데이터를 조사하였으며, 충주 및 청양지역의 시청과 농업기술센터에서 데이터를 추가로 수집하였다. 연구논문 데이터를 취합하고 이를 기반으로 옥수수 생산성에 악영향을 미치는 기후인자를 선정하여 1999년부터 2018년까지 두 지역에 대한 기후영향취약성 시범평가를 진행하였다. 농촌진흥청에서 정의한 공식과 세부항목을 기준으로 하였으며 (Table 1), 본 연구에서 실시한 시범평가에서는 보다 세밀한 평가를 위해 Table 1과 같이 지속일수에 따라 노출도에 대한 가중치에 차등을 두고 값을 산출하였다. 민감도는 절반 수준, 적응능력에서 관수는 미실시, 전문인력 없음 등의 상황으로 가정하였고, 나머지 조건은 최상의 경우로 가정하였다. 취약성은 아래의 공식을 활용하여 산출하였다.

취약성(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs et al., 2017) = 노출도(Exposed level) + 민감도(Sensitive level) - 적응능력(Adaptive capacity)

3. 통계분석

결과에 대한 유의성 검증을 위해 SAS program(ver 9.3, SAS Institute, Cary, NC, USA)의 GLM(General Linear Model)을 사용하여 분산분석을 실시 후, 처리 간의 평균값 비교를 위해 Duncan(1955)의 다중검정법으로 유의차 $P < 0.05$ 수준에서 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 옥수수 생육특성 및 생산성

실험기간 중 옥수수의 일반적인 생육특성에 대한 조사 결과를 Table 2에 나타내었다. 옥수수 수확시기의 착수고 및 초고를 조사한 결과, 충주지역은 2017년에 비해 2018년 수치가 소폭 감소하였으나, 청양지역에서는 오히려 증가하였다. 엽수와 병충해는 연

Table 1. Setting the details of the climate impact vulnerability assessment

		Item	
Exposed level	Maximum temperature is 33°C or higher	3~7 days	0.2
		8~9 days	0.3
		10~11 days	0.4
		after than 12 days	0.5
		3~7 days	0.2
Sensitive level	Area of paddy	Daily precipitation is less than 3.4mm	0.3
		8~14 days	0.3
		15~21 days	0.4
		after than 22 days	0.5
Adaptive capacity	Total production in the region	Scale of rural development administration staff	Maximum 0.1
		Land readjustment ratio of plantation	Maximum 0.2
		Reservoir capacity per paddy field area	Maximum 0.2
		Scale of rural development administration staff	Maximum 0.1
		Land readjustment ratio of plantation	Maximum 0.2

차간에 차이가 나타나지 않았다. 옥수수의 출사일은 2017년보다 2018년이 다소 이르게 나타났다(Table 2). 시험포를 조성한 2년간의 건물수량은 최근 20년 평균수량인 21,193 kg/ha 보다 낮았다. 특히 2018년의 충주시와 청양군의 옥수수 건물수량은 각각 6,475 kg/ha과, 7,511 kg/ha으로 나타나 2017년에 비해 절반수준으로 감소하였으며, 20년간의 전국 평균에 비해서도 절반 이하의 수준을 나타냈다(Table 3). 충주와 청양의 2018년 평균기온 및 최고기온은 두 지역 모두 평년에 비해 높게 나타났고, 2018년 여름철의 최고기온 상승폭이 2017년에 비해 높게 나타났다(Table 4, 5).

생육에 영향을 주는 다양한 기상환경 중 온도는 농작물의 생육에 가장 큰 영향을 주며, 농작물은 생육시기마다 알맞은 온도가 있고, 생육에 적합한 온도 범위를 벗어나면 저온 또는 고온에 의해 피해를 입는데(Shim et al., 2013) 2018년 수확 전 여름에 나타난 고온현상이 옥수수 생산량 감소에 영향을 준 것으로 사료된다. 2018년에는 2017년에 비해 6월과 7월 동안 비가 내리지 않는 날이 지속되다가 집중호우의 형태로 한 번에 많은 양의 비가 내렸다(Table 6, 7). 옥수수의 생육이 왕성할 시기에 오랫동안 비가 내리

지 않아 생육이 저하된 것으로 사료된다. 2018년 일조시간은 봄철에는 평년에 비해 낮은 경향을 나타냈으나, 여름으로 넘어가면서 평년에 비해 상승하는 경향을 나타냈다. 본 연구에서 실시한 2018년 옥수수 생육기간 중 5월부터 8월까지 일조시간은 충주지역 873.7시간, 청양지역 942.1시간으로 나타났다. 30년 동안 발표된 옥수수 수량을 비교분석한 결과, 수량성이 높은 상위그룹의 생육기간 일조시간은 평균 689.8시간이었는데(Peng et al., 2015), 본 연구에서는 에 이에 비해 매우 높게 나타났다. 2018년 일조시간은 2017년에 비해 증가하였는데, 이는 2018년의 짧은 장마와 가뭄으로 인한 것으로 여겨지며, 일조시간의 증가는 여름철 최고기온의 상승과 관계가 있을 것으로 사료된다. 또한 최고기온이 상승함에 따라 C4작물인 옥수수도 고온장해를 입어 생육이 불량해졌을 것으로 추정된다. 결국 2018년의 옥수수 건물수량의 급격한 감소는 여름철 고온현상(Table 4, 5), 장기간의 가뭄 및 강수량 부족(Table 6, 7) 등이 직접적인 원인으로 작용했을 것으로 사료된다.

Table 2. Growth characteristics of forage corn(*Kwangpyeongok*) in Chungju and Cheongyang

Region (Year)	Heading date	Ear height (cm)	Plant height (cm)	Number of leaves (ea)	Disease and Insects (1-9)*
Chungju (2017)	21 July	107.5	255	16	2
Chungju (2018)	17 July	104.3	219	16	2
Cheongyang (2017)	16 July	98.0	230	17	3
Cheongyang (2018)	11 July	120.1	270	17	3

*Rating: 1=strong, 9=weak

Table 3. Fresh and dry matter yield of forage corn(*Kwangpyeongok*) in Chungju and Cheongyang

Region (Year)	Fresh matter yield (kg/ha)	Dry matter yield (kg/ha)
Chungju (2017)	61,875 ^a	17,164 ^a
Chungju (2018)	23,341 ^b	6,475 ^b
Cheongyang (2017)	51,646 ^a	14,611 ^a
Cheongyang (2018)	26,551 ^b	7,511 ^b
Domestic average (1990-2018)	75,651	21,193

^{a-b} Means with different superscript in the same row are significantly different ($p < 0.05$).

Table 4. Monthly meteorological data during the experimental periods in Chungju

Year	Month	Mean temp. (°C)	Max temp. (°C)	Sum of sunshine (hr.)
2017	May	18.7 ^a	26.4 ^a	294.4 ^a
2018		17.9 ^{ab}	24.3 ^{ab}	206.5 ^c
normal (1981-2010)		17.1 ^b	24.0 ^b	242.9 ^b
2017	June	22.4 ^{ab}	29.4 ^a	258.4 ^a
2018		22.7 ^a	29.0 ^a	225.6 ^b
normal (1981-2010)		21.7 ^b	27.6 ^b	219.9 ^b
2017	July	26.3 ^b	30.5 ^b	112.0 ^c
2018		27.2 ^a	32.8 ^a	246.2 ^a
normal (1981-2010)		24.7 ^c	29.6 ^c	178.7 ^b
2017	August	25.1 ^b	29.6 ^b	161.8 ^c
2018		27.6 ^a	33.4 ^a	232.5 ^a
normal (1981-2010)		24.9 ^b	30.2 ^b	197.2 ^b

^{a-c} Means with different superscript in the same month are significantly different ($p < 0.05$).

Table 5. Monthly meteorological data during the experimental periods in Cheongyang

Year	Month	Mean temp. (°C)	Max temp. (°C)	Sum of sunshine (hr.)
2017	May	18.4 ^a	25.0 ^a	292.8 ^a
2018		17.6 ^a	22.2 ^b	222.8 ^c
normal (1981-2010)		16.9 ^a	21.6 ^b	256.2 ^b
2017	June	22.1 ^a	28.3 ^a	264.7 ^a
2018		21.9 ^a	27.5 ^a	221.6 ^b
normal (1981-2010)		21.1 ^a	24.0 ^b	229.0 ^b
2017	July	26.5 ^a	30.0 ^a	122.2 ^c
2018		26.6 ^a	31.5 ^a	270.1 ^a
normal (1981-2010)		24.2 ^b	27.5 ^b	195.4 ^b
2017	August	25.0 ^b	29.2 ^b	161.0 ^c
2018		27.6 ^a	32.4 ^a	227.6 ^a
normal (1981-2010)		24.6 ^b	27.5 ^b	220.8 ^b

^{a-c} Means with different superscript in the same month are significantly different ($p < 0.05$).

Table 6. Precipitation data during the experimental periods in Chungju (mm)

Date	Chungju 2017				Chungju 2018			
	May	June	July	August	May	June	July	August
1	0	0.3	3.4	8	0.2	0	80.4	0
2	0	0	19.7	0	18.5	0	37.7	0
3	0	0	41	0	2.6	0	0	0
4	0	0	28	0	0	1.1	0.1	0
5	0	0	0	0	0	0.9	0.5	0.1
6	0	3.3	0	3.4	20.2	0	0	6.3
7	0	3.9	0.5	0.2	0	0	0	0
8	0	0	33.3	0	0	0	0	0
9	2.7	0	11.6	25.4	0	0	27.9	12.8
10	2.6	0.8	44.1	22.9	0	0	0.2	8.4
11	0	0	25.6	0	0	0	1	0
12	8.7	0	0	0	23.7	0.1	0.3	0
13	9.4	1.9	0	0	2.5	0	0	0
14	0	0	14.4	7.5	0	0	0	0
15	0	0	7.1	34.5	0	0	0	0
16	0.1	0	70.8	0	24.5	0	0	0
17	0	0	0	15.3	9.5	0	0	0
18	0	0	1.8	0	42.7	0	0	0
19	0	0	0	0.3	0	0	0	0
20	0	0	0	13.4	0	0	0	0
21	0	0	2.6	13.6	0	0	0	0
22	0	0	0	0	4	0	0	0
23	0	0	14.5	57.6	16.5	0	0	0
24	8.7	0.8	26.6	41.3	0	0	0	22.4
25	0	2.1	1.3	0	0	0	0	0
26	0	1.6	0	0	0	59.6	0	18.4
27	0	0	0	0	0	0	0	47.1
28	0	27.4	4.9	14.5	0	1.6	1	134.2
29	0	1.6	24.1	0	5.3	0.3	0	0
30	0	0	0	0	9.8	0.1	0	52.9
31	0	0	89	0	0	0	0	50.7
Sum	32.2	43.7	464.3	257.9	180.0	63.7	149.1	353.3

2. 옥수수 기후영향취약성 평가

본 연구에서 기상 데이터를 이용하여 Table 1에 따라 충주 및 청양지역의 옥수수 기후영향취약성을 평가한 결과, 2012년을 기점으로 과거에 비해 취약성이 증가하였다. 최고기온 33℃ 이상 지속일수로 인한 노출도는 충주와 청양사이에 다소 차이가 있었으며, 충주지역의 고온 지속일수로 인한 노출도는 2004년과 2007년에 0.2로 나타난 것을 제외하면 2010년 까지 모두 0으로

나타났다. 2011년 이후에는 꾸준히 0.2씩 노출도가 나타나다가 2016년부터 증가하는 것으로 나타났다. 청양지역의 경우 충주지역에 비해 2010년 이전부터 노출도가 꾸준히 나타났다. 일강수량 3.4mm 미만 지속일수로 인한 노출도는 충주지역은 연도별로 다소 차이는 있으나, 조사기간 동안 전체적으로는 큰 차이가 없었다. 청양지역의 경우 2010년까지는 대부분 0.3 으로 평가되었지만, 2011년부터 0.4 이상으로 나타나 과거에 비해 최근들어 노출도가 상대적으로 증가한 경향이 있었다. 이는 지역적인 특성으

Table 7. Precipitation data during the experimental periods in Choengyang (mm)

Date	Choengyang 2017				Choengyang 2018			
	May	June	July	August	May	June	July	August
1	0	0	7.7	8.3	0	0	158.4	0
2	0	0	12.5	7.3	7.5	0	42.9	0
3	0	0	130.5	0	0	0	0.3	0
4	0	0	58	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1.3	0
6	0	4.6	23.2	21.1	35.5	0	0	0.8
7	0	4.2	0.8	0	0	0	0	0
8	0	0	21.4	0	0	0	0	0
9	12.4	0	3.4	2.6	0	5	19.1	3
10	0.6	0	65.9	0.7	0	8.5	0	0
11	0	0	0.4	0.4	0	0	0.3	0
12	0.3	0	0	0	41.7	0	0	2.4
13	5	0	0	1.5	0.3	0	0	0
14	0	0	1.5	68	0	0.6	0	0
15	0	0	37.8	14.9	0	0	0	0
16	0	0	27.9	0.1	0.2	0	0	0
17	0	0	16.3	7.8	6.8	0	0	0
18	0	0	0	30.7	0.9	0	0	0
19	0	0	0	2.4	0	0	0	0
20	0	0	0	49.7	0	0	0	0
21	0	0	0	14.2	0	0	0	5.5
22	0	0	0	0	13.1	0	0	0
23	9.1	0	0	1.4	6.7	0	0	8.3
24	3	0.6	5.8	17	0	0	0	22.3
25	0	0	0.3	0	0	0	0	0
26	0	11.1	0	0	0	71	0	13
27	0	0	0	0	0	0.2	0	73.7
28	0	0	0.1	41.8	0	0.5	0	12.7
29	0	0	0	0	0	0.1	0	0
30	0	0	0	0.3	0	2.3	0	23.8
31	0	0	28.3	0	0	0	0	45.8
Sum	30.4	20.5	441.8	290.2	112.7	88.2	222.3	211.3

로 인한 차이로 사료된다. 1999년부터 2009년까지 충주지역 취약성은 2004년과 2007년을 제외하고 모두 0.3 이하로 나타났으나, 최근인 2012년, 2016년 및 2017년에는 취약성이 0.5로 평가되었다. 특히 2018년에는 조사기간 중 가장 높은 0.8로 평가되어 과거에 비해 취약성이 증가하는 경향을 보였다. 청양지역 취약성은 2004년을 제외하고 2009년까지 0.3 이하로 나타났으며 2012

년과 2014년부터 2016년까지 취약성은 0.5 이상으로 나타났다. 청양지역도 과거에 비해 최근 취약성이 증가하는 경향을 보였으며, 충주지역과 마찬가지로 2018년에 지역 내 조사기간 중 최고인 0.7로 평가되었다(Table 8, 9).

본 연구에서 산정한 조건으로 기후영향취약성 평가를 실시한 결과, 간혹 나타난 특정 년도의 이상기후로 인한 노출도의 증가를 감

Table 8. Climate impact vulnerability assessment of Chungju

Year	Maximum temperature	Daily precipitation	Sensitive level	Adaptive capacity	Climate impact vulnerability
2018	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8
2017	0.3	0.4	0.5	0.7	0.5
2016	0.3	0.4	0.5	0.7	0.5
2015	0.2	0.4	0.5	0.7	0.4
2014	0.2	0.4	0.5	0.7	0.4
2013	0.2	0.4	0.5	0.7	0.4
2012	0.2	0.5	0.5	0.7	0.5
2011	0.2	0.4	0.5	0.7	0.2
2010	0	0.4	0.5	0.7	0.2
2009	0	0.3	0.5	0.7	0.1
2008	0	0.4	0.5	0.7	0.2
2007	0.2	0.4	0.5	0.7	0.4
2006	0	0.4	0.5	0.7	0.2
2005	0	0.4	0.5	0.7	0.2
2004	0.2	0.4	0.5	0.7	0.4
2003	0	0.4	0.5	0.7	0.2
2002	0	0.5	0.5	0.7	0.3
2001	0	0.5	0.5	0.7	0.3
2000	0	0.3	0.5	0.7	0.1
1999	0	0.4	0.5	0.7	0.2

Table 9. Climate impact vulnerability assessment of Cheongyang

Year	Maximum temperature	Daily precipitation	Sensitive level	Adaptive capacity	Climate impact vulnerability
2018	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7
2017	0.3	0.3	0.5	0.7	0.4
2016	0.4	0.4	0.5	0.7	0.6
2015	0.2	0.5	0.5	0.7	0.5
2014	0.2	0.5	0.5	0.7	0.5
2013	0.2	0.4	0.5	0.7	0.4
2012	0.3	0.4	0.5	0.7	0.5
2011	0	0.4	0.5	0.7	0.2
2010	0	0.3	0.5	0.7	0.1
2009	0.2	0.3	0.5	0.7	0.3
2008	0.2	0.3	0.5	0.7	0.3
2007	0	0.3	0.5	0.7	0.1
2006	0.2	0.3	0.5	0.7	0.3
2005	0.2	0.4	0.5	0.7	0.1
2004	0.2	0.3	0.5	0.7	0.3
2003	0	0.3	0.5	0.7	0.1
2002	0	0.4	0.5	0.7	0.2
2001	0.2	0.4	0.5	0.7	0.4
2000	0.2	0.3	0.5	0.7	0.3
1999	0.2	0.3	0.5	0.7	0.3

안하더라도, 과거에 비해 최근 7년간 취약성이 높아진 경향을 나타냈으며, 조사를 실시한 두 지역 모두 2018년의 취약성이 가장 높게 평가되었다. Kucharik and Serbin(2008)는 옥수수의 생산성에 영향을 미치는 명백한 기후요인이 온도와 강수량이라고 보고하였는데, 본 연구결과에서도 평년보다 높았던 최고기온 및 가뭄으로 인해 취약성이 매우 높게 나타난 것으로 사료된다. 옥수수와 더불어 대두, 밀, 팥 등 의 작물들은 세계 각지에서 주요 식량 및 사료자원으로 이용되고 있는데, GCM 기후변화 시나리오에 따르면 기후변화로 인한 날씨조건 변화는 성장기 중인 작물에게 민감하게 작용할 수 있고, 이로 인해 수확량이 감소할 것이라고 보고하였다(Alexandrov and Hoogenboom, 2000). 또한 Kucharik 및 Serbin(2008)은 기후변화로 인한 여름철의 추가적인 온도상승은 옥수수와 대두의 수확량 감소를 일으킬 수 있는 잠재적 위협이며, 더위와 가뭄이 합쳐지면 더 큰 문제가 될 수 있으며, 기온 상승은 수확량 감소와 관계가 있고, 강수량 증가는 수확량 증가와 관계가 있다고 하였다. 여러 연구사례들을 종합해볼 때 기후변화로 인한 이상고온 및 가뭄 현상은 앞으로의 작물 생산량에 있어서 악영향을 미치게 될 것으로 여겨진다. 옥수수는 C₄작물의 특성상 다른 작물에 비해 가뭄에 상대적으로 강한 특성을 가지지만 기후변화로 인하여 향후에도 전년과 같은 가뭄과 고온현상이 계속되거나 더욱 심한 이상기후 현상이 나타난다면 옥수수 생산성은 더욱 감소할 것으로 예측된다. 기후변화에 따른 불확실한 기상환경 변화는 작물 생산에 있어서 불안요소로 작용하게 될 것이며, 기후영향취약성 평가 결과는 정부 및 지자체에서 기후변화에 따른 생산피해 예측 및 대책방안을 마련하는데 있어 중요한 기초자료로 사용 할 수 있을 것으로 기대된다. 옥수수의 생산에 있어서 보다 정확한 기후영향취약성 평가를 위해서는 기온 및 강수량에 더해 토양수분, 습도 등의 다양한 기후요인을 산정한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

VI. 요약

본 연구는 중부지역 사료용 옥수수 생산성 조사를 위해 충청북도 충주시 대소원면과 충청남도 청양군 운곡면에 각각 시험포장지를 조성하여 2017년부터 2018년까지 2년간 실시하였다. 사료용 옥수수의 공시품종은 국내 육성품종인 광평옥을 사용하였고 초고, 엽수, 병충해, 생물수량, 건물수량 등을 조사하였다. 기후자료는 기상청의 기상관측소의 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온, 월평균기온, 일강수량, 일일 일조시간 등의 관측자료를 참고하였다. 과거 연구자료를 바탕으로 옥수수 생산성에 악영향을 미치는 기후인자를 선정하여 1999년부터 2018년까지 두 지역

에 대한 기후영향취약성 시범평가를 진행하였다. 시험포를 조성한 2년간 옥수수 건물수량은 최근 20년 평균 수량인 21,193 kg/ha보다 낮았다. 특히 2018년의 충주시와 청양군의 옥수수 건물수량은 각각 6,475 kg/ha과 7,511 kg/ha으로 나타나 2017년에 비해 절반수준으로 감소하였으며, 20년간의 전국 평균과 비교해도 절반 이하의 수준을 나타냈다. 2018년 충주와 청양의 평균기온 및 최고기온은 두 지역 모두 평년에 비해 높은 경향을 나타냈다. 2018년 생육기간동안 일조시간은 충주지역 873.7시간, 청양지역 942.1시간으로 나타나 과거 30년 동안 생산량 상위그룹의 생육기간 동안의 평균 일조시간 689.8시간을 크게 상회했다. 2018년 옥수수 건물수량의 급격한 감소는 당해 여름철 고온현상, 장기간의 가뭄 및 강수량 부족 때문인 것으로 사료된다. 본 연구에서 산정한 조건으로 기후영향취약성평가를 실시한 결과, 충주와 청양지역 모두 과거에 비해 최근에 취약성이 높아진 경향을 나타냈다. 옥수수의 생산성에 있어서 보다 정확한 기후영향취약성 평가를 위해서는 토양수분, 습도 등의 다양한 기후요인을 산정한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

V. 사 사

이 논문은 농촌진흥청 연구사업 (과제번호 PJ012846)의 지원에 의해 이루어진 것임.

VI. REFERENCES

- Alexandrov, V.A. and Hoogenboom, G. 2000. Vulnerability and adaptation assessments of agricultural crops under climate change in the Southeastern USA. *Theoretical and Applied Climatology*. 67:45-63.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics*. 11:1-42.
- Farhangfar, S., Bannayan, M., Khazaei, H.R. and Baygi, M.M. 2015. Vulnerability assessment of wheat and maize production affected by drought and climate change. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 13:37-51.
- Hatfield, J.L., Morton, L.W. and Hall, B. 2018. Vulnerability of grain crops and croplands in the Midwest to climatic variability and adaptation strategies. *Climatic Change* January. 146:263-275.
- Kim, M.J., Seo, S., Choi, K.C., Kim, J.G., Lee, S.H., Jung, J.S., Yoon, S.H., Ji, H.C. and Kim, M.H. 2013. The studies on growth characteristics and dry matter yield of hybrid corn varieties in Daegwallyeong region. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 33:123-130.

- Korea Meteorological Administration. 2018. <http://www.kma.go.kr>.
- Kucharik, C.J. and Serbin, S.P. 2008. Impacts of recent climate change on Wisconsin corn and soybean yield trends. *Environmental Research Letters*. 3:034003.
- Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs., Rural Development Administration., Korea Forest Service., Korea Rural Community Corporation. 2017. Master plan of survey on the impacts of climate impact vulnerability assessment on agricultural and rural areas. pp.73-75.
- Peng, J.L., Kim, M.J., Kim, Y.J., Jo, M.H., Nejad, J.G., Lee, B.H., Ji, D.H., Kim, J.Y., Oh, S.M., Kim, B.W., Kim, K.D., So, M.J., Park, H.S. and Sung, K.I. 2015. Detecting the climate factors related to dry matter yield of whole crop maize. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 17:261-269.
- Seo, M.C., Cho, H.S., Kim, J.H., Sang, W.G., Shin, P. and Lee, G.H. 2016. The risk assessment on high temperature damage of corn at reproductive stage according to climate scenario RCP8.5 and 4.5. *Proceeding of 2016 annual congress of Korean society of soil science and fertilizer*. pp. 193-193.
- Shim, K.M., Kim, Y.S., Jung, M.P., Kim, S.C., Min, S.H. and So, K.H. 2013. Agro-Climatic Zonal Characteristics of the Frequency of Abnormal Air Temperature Occurrence in South Korea. *Journal of Climate Change Research*. 4:189-199.
- Son, B.Y., Baek, S.B., Kim, J.T., Lee, J.S., Ku, J.H., Kim, S.L., Jung, G.H., Kwon, Y.U., Ji, H.J., Huh, C.S. and Park, J.Y. 2013. Growth characteristics and productivity of single cross maize new hybrid for silage and grain, 'Yanganok'. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 33:94-99.
- Thomas, R.K., Jerry, M.M. and Thomas, C.P. 2009. *Global climate change impacts in the United States*. Cambridge University Press. pp. 71-78.

(Received : June 11, 2019 | Revised : June 17, 2019 | Accepted : June 17, 2019)