

사일리지용 옥수수의 건물수량에 영향을 미치는 기후요인 탐색

팽경륜¹ · 김문주² · 김영주² · 조무환³ · 자릴 가세미 네자드¹ · 이배훈¹ · 지도현¹ ·
김지웅¹ · 오승민¹ · 김병완¹ · 김경대⁴ · 소민정⁵ · 박형수⁵ · 성경일^{1*}

¹강원대학교 동물생명과학과, ²강원대학교 통계학과, ³농어촌청소년육성재단,
⁴강원도농업기술원, ⁵농촌진흥청 국립축산과학원

(2015년 6월 17일 접수; 2015년 8월 23일 수정; 2015년 9월 3일 수락)

Detecting the Climate Factors related to Dry Matter Yield of Whole Crop Maize

Jing-lun Peng¹, Moon-ju Kim², Young-ju Kim², Mu-hwan Jo³, Jalil Ghassemi Nejad¹, Bae-hun Lee¹,
Do-hyeon Ji¹, Ji-yung Kim¹, Seung-min Oh¹, Byong-wan Kim¹, Kyung-dae Kim⁴,
Min-jeong So⁵, Hyung-soo Park⁵ and Kyung-il Sung^{1*}

¹Department of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

²Department of Statistics, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

³Foundation for the Rural Youth, Seoul 135-792, Korea

⁴Gangwondo Agricultural Research and Extension Services, Taebaek 235-200, Korea

⁵National Institute of Animal Science, RDA, Cheonan 330-801, Korea

(Received June 17, 2015; Revised August 23, 2015; Accepted September 3, 2015)

ABSTRACT

The purpose of this research is to identify the significance of climate factors related to the significance of change of dry matter yield (DMY) of whole crop maize (WCM) by year through the exploratory data analysis. The data (124 varieties; n=993 in 7 provinces) was prepared after deletion and modification of the insufficient and repetitive data from the results (124 varieties; n=1027 in 7 provinces) of import adaptation experiment done by National Agricultural Cooperation Federation. WCM was classified into early-maturity (25 varieties, n=200), mid-maturity (40 varieties, n=409), late-maturity (27 varieties, n=234) and others (32 varieties, n=150) based on relative maturity and days to silking. For determining climate factors, 6 weather variables were generated using weather data. For detecting DMY and climate factors, SPSS21.0 was used for operating descriptive statistics and Shapiro-Wilk test. Mean DMY by year was classified into upper and lower groups, and a statistically significant difference in DMY was found between two groups ($p < 0.05$). To find the reasons of significant difference between two groups, after statistics analysis of the climate variables, it was found that Seeding-Harvesting Accumulated Growing Degree Days (SHAGDD), Seeding-Harvesting Precipitation (SHP) and Seeding-Harvesting Hour of sunshine (SHH) were significantly different between two groups ($p < 0.05$), whereas Seeding-Harvesting number of Days with Precipitation (SHDP) had no significant effects on DMY ($p > 0.05$). These results indicate that the SHAGDD, SHP and SHH are related to DMY of WCM, but the comparison of R^2 among three variables (SHAGDD, SHP and SHH) couldn't be obtained which is needed to be done by regression analysis as well as the prediction model of DMY in the future study.

Key words: Whole crop maize, Dry matter yield, Climate factors, Exploratory data analysis



* Corresponding Author : Kyung-il Sung
(kisung@kangwon.ac.kr)

I. 서 론

옥수수 생산량은 1960년대에 비하여 연도에 따라 변동은 있으나 2008년까지 지속적으로 증가하여 왔다 (Thomas *et al.*, 2009). 생산량의 증가는 시비, 관개, 병해충 방제 및 농기계 등 재배기술의 향상과 품종개발에 의한 적지적작(適地適作) 기술이 크게 기여한 것으로 보고하였다. 반면 수량감소의 주요인으로는 가뭄, 홍수, 이른 봄 서리 피해 및 이상기후 등으로 나타났다. 이는 식물의 성장과 발달에는 기후요인(climate factors)과 밀접한 관계를 갖고 있음을 시사한다. 온도 및 강수량과 같은 기상변수(weather variables)는 식물의 생존과 군락의 식생형성을 결정하고 생산량을 좌우한다. 적절한 강우와 시비관리 및 병충해가 없는 경우에는 기온과 일사량이 수량에 영향을 주는 주요인이다(Ottman and Welch, 1988).

최근 컴퓨터기능 향상으로 작물생산, 이와 관련된 토양, 기후 등 관련 자료의 축적이 용이하여 토양과 기후 데이터베이스를 이용한 풀사료의 재배 적지 구분에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Kim, 2012; Kim *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013).

더불어 통계학이 발달함에 따라 상호관계에 대한 다양한 분석과 해석이 이루어지고 있다. 기후와 작물생산간의 상호관계를 분석하면 작물수량의 예측, 작물생산의 농업기후학적 분석, 기상변수에 대한 작물의 반응 평가 및 기후변동이 작물수확에 미치는 영향평가 등을 할 수 있다(Baier, 1977).

특정 지점에서 식물 상태를 기상변수의 관점에서 표현하면, 현재의 작물상태는 과거 기상의 결과이고 잠재 생산력은 미래 기상에 좌우된다고 할 수 있다. 일반적으로 어떤 지역에서의 기상상태는 1년을 기준으로 반복되며, 어떤 한 날의 기상상태의 분포는 연속확률 분포를 나타낸다. 즉 매년 1월 1일의 일평균온도의 분포는 일평균온도의 평균과 표준편차의 정규분포인 연속확률분포로 나타낼 수 있으며, 이는 확률분포를 갖는 변수로 정량화가 가능하므로 주요 기상변수의 확률 분포를 알면 현재의 작물상태를 평가하고 잠재생산력을 예측 할 수 있다(Robertson, 1974). 국내에서도 사료작물과 기상 및 토양과의 관계 구명을 위한 다양한 분석방법이 시도 되고 있다. 정보리(Sung *et al.*, 2013), 이탈리아 라이그라스(Sung *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2014a)에 대해서 다중회귀분석을 이용한 기상

변수와 토양변수를 활용한 건물수량예측을 제시한 바 있다. 그리고 Kim *et al.*(2014b)은 본 연구를 기반으로 선택된 기상변수를 이용하여 구조방정식모형을 통해 이탈리아 라이그라스의 건물수량과 기후의 인과관계를 파악하였다. Sung *et al.*(2011)은 지난 30년간 한국초지조사료학회지에 등재된 사일리지용 옥수수(whole crop maize, WCM)자료를 이용하여 지역별, 연도별 건물수량 변화를 검토한 결과 건물수량은 지역이나 연도에 따라 변동이 심하여 일정한 경향이 보이지 않았다고 보고하였다. 그 이유로는 기후, 토양 및 재배기술 수준(파종시기, 수확시기, 시비량 및 작부체계 등)이 다양한 것에 기인하는 것으로 생각된다. 기후는 식물생존에 가장 중요한 요인이므로 본 연구에서는 연도별 WCM의 건물수량과 기후와의 관계만 고려하였다. 따라서 본 연구는 WCM의 연도별 건물수량에 대한 변동을 검토한 후, 이와 관련된 기후요인에 대하여 통계기법을 이용하여 탐색하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

2.1. 자료

본 연구에 이용된 WCM의 원자료는 1982년부터 2011년까지 농협중앙회의 목초 및 사료작물품질 수입 적응성시험 심의결과에 이용된 자료(생육특성, 건물수량, 파종 및 수확시기 등)를 이용하였다. 수집한 WCM의 원자료는 총 1,027점으로 경기도(수원시 265, 안성시 7, 이천시 99 및 의정부시 11점), 경상남도(진주시 66), 경상북도(경산시 4, 상주시 26, 성주군 155 및 영주시 4점), 전라남도(광주시 9 및 영암군 2점), 전라북도(김제시 4), 충청남도(천안시 358) 및 제주특별자치도(제주시 17)에 분포하였으며 총 124품종(추천 품종 77품종 포함)이었다. WCM의 원자료 중 미비하거나 중복된 자료는 다음과 같은 기준에 의하여 삭제 또는 수정하였다. 즉, 삭제기준은 먼저 품종별로 3년 미만 자료, 지역도 같고 연도도 같은데 건물수량이 다른 경우에는 조사항목(초고, 착수고, 흑조위축병, 내병성, 내충성, 내도복성, 후기녹체성 등)이 적은 자료, 높은 건물수량 순이었으며, 건물수량 오류 자료(건물물 × 생초수량의 값과 틀린 경우)는 수정하였다. 그 결과 본 연구에 최종적으로 정리된 자료 993점의 지역별 분포는 Fig. 1과 같으며, 이것을 상대숙도(relative maturity, RM) 및 출사일수(days to silking, DTS)



Fig. 1. The locations collected and sample numbers for Whole Crop Maize (WCM) (n=993).

기준으로 분류하면 Table 1과 같다. WCM의 RM 및 DTS는 각각 조생종(25품종 200점) 115미만 및 75미

만, 중생종(40품종 409점) 115~124 및 76~82 및 만생종(27품종 234점) 125이상 및 83이상으로 분류하였다. 그 외에 RM과 DTS에 대한 정보가 부족한 경우 기타(others, 32품종 150점)로 분류하였다. 향후 WCM 연구에 있어서 DTS의 정확한 기록은 RM을 예측하는데 매우 중요한 자료가 되므로 모든 연구에서 DTS의 조사는 필수적이며 이를 바탕으로 한 RM의 제공은 농가들이 품종을 선택하는 좋은 정보가 될 수 있다.

일평균기온, 일최고기온, 일최저기온, 일강수량 및 일조시간의 기상자료의 경우 광주시, 상주시, 천안시, 수원시, 안성시, 영주시, 이천시, 제주시 및 진주시는 해당 지역의 기상관측소 자료를 이용하였다. 그러나 기상관측소가 없는 경우 성주군은 구미시, 김제시는 군산시, 의정부시는 양평군, 경산시는 대구광역시 및 영암군은 목포시의 기상관측소 자료를 대신 이용하였다. 단, 2000년 8월부터 10월까지 구미시의 일조시간이 관측되지 않아 인근지역인 대구광역시의 자료를 이용하였다. 이것을 기반으로 기후요인을 측정하기 위한 다음과 같은 변수를 생성하였다(Table 2).

파종수확평균온도(seeding-harvesting mean temperature, SHMT)는 파종일부터 수확일까지 일평균온도의 평균값(°C), 파종출사적산생육온도일수(seeding-silking accumulated growing degree days, SSAGDD)는 파종일부터 출사일까지의 생육온도일수의 합[$\sum\{(\text{일최고기온} + \text{일최저기온})/2 - 10\}$, 단, 일최고기온이 30°C 이상이

Table 1. Relative maturity (RM) and data bulk of different varieties of Whole Crop Maize

Maturity group	Cultivar
Early-maturity (RM:>115, DTS ¹):>75) 25var.(n=200) ²	3394(16), 3723(8), 3845(9), 32B81(6), 33A84(6), 33H05(6), 33H25(6), 33T56(6), 34Y02(6), 36H36(8), DK501(25), DK537(14), Garst8285(6), Garst8396IT(6), GL499(9), GL559(9), GN8640(6), NC+4880(6), P1543(6), P1758(6), P1894(6), PP3303(6), W1429C(6), W1430C(6), W4706C(6)
Mid-maturity (RM :115~124, DTS:76~82) 40var.(n=409)	3156(14), 3352(12), 3358(3), 3540(6), 31N27(16), 31P41(6), 31Y43(6), 32B33(12), 32D78(6), 32G94(9), 32P26(6), 32P75(8), 32T16(6), 32T83(6), 32W86(6), 33B50(9), 33D31(6), 33F18(9), 33J56(21), 33N09(6), 33V15(6), 33Y74(6), 34H31(6), Cap122-60(6), Cap445NG(3), DK697(20), DK754S(6), DKC61-24(9), EXP771(6), GW5018(6), GW737(6), GW785(6), N73-Q3(8), NC+5514(14), NC+6440(17), NC+738(6), P1184(6), Kangdaok (10), Suwon19(79), Jangdaok(10)
Late-maturity (RM: <125, DTS:<83) 27var.(n=234)	3163(6), 3233(8), 3282(12), 8116(3), 3144W(12), 31A12(9), 31G20(9), 32K26(9), 32K61(18), 32R42(9), DK689(19), DK698(3), DK705(6), DK713(9), DK729(18), DK789(3), EX2586(6), EXP874(9), G4614(3), G4743(5), G4766(6), G4868(8), GX5006(6), W1480C(6), X7865(1), Kwanganok(29), Jecheonok(2)
Others (insufficient information) 32var.(n=150)	3160(6), 7382(2), 7509(2), 8344(2), 8532(2), 31G66(6), 32B41(6), 32J55(8), 32N89(6), 33P66(6), Cap444NG(3), DK649(2), DK672(2), EXP665(1), EXP863(6), EXP964(5), EXP976(5), GW6300(6), GX6545(6), MC7676(5), MC7800(1), MC8150(1), MC84AA(1), NC+6131(3), P2023(6), X7762(2), XCF38(1), XL394(3), Y7864(2), Y7865(8), Kwangpyungok(34), Hoengseongok(1)

¹) DTS: days to silking.

²) var.: varieties (n=number of frequency).

면 30, 일최저온도가 10°C이하면 10], 파종수확적산생육온도일수(seeding-harvesting accumulated growing degree days, SHAGDD)는 파종일부터 수확일까지 생육온도일수의 합 및 파종수확일조시간(seeding-harvesting hour of sunshine, SHH)은 파종일부터 수확일까지의 일조시간의 합(hr)이다. 파종수확강수량(seeding-harvesting precipitation, SHP)은 파종일부터 수확일까지 일강수량의 합(mm)이고, 파종수확강수일수(seeding-harvesting number of days with precipitation, SHDP)는 파종에서 수확까지 강수일수(day)이다.

2.2. 분석방법

건물수량에 영향을 미치는 기상변수를 탐색하기 위하여 생성된 변수의 기술통계량(평균, 표준오차, 최소, 최대 및 사분위수)을 계산하였다. 각 연도별 평균건물수량의 경향을 파악하기 위하여 선도표를 작성 후 상위집단(upper group)과 하위집단(lower group)으로 나누었다. 그리고 집단 간 건물수량의 유의한 차이가 있는지와 집단 간 기상변수의 유의한 차이가 있는지를 확인하기 위하여 t-검정을 이용하였다. 여기서 t-검정은 두 집단의 표본크기에 영향을 받지 않기 때문에 (Mann, 2009) 결론에 대해서는 해당 변수의 값만 제거하였다. 또한 t-검정의 정규성은 평균을 신뢰하는데 매우 중요하므로 가정을 만족시키기 위하여 이상점(outlier)을 제거하였다. 정규성검정은 관측값에 대한 순위 통계량의 기댓값을 이용하여 정규분포를 나타내는지를 검정하는 방법인 Shapiro-Wilk (SW)통계량을 이용하였다(Shapiro and Wilk, 1965). 이를 위해서 SPSS 21.0(2012) t-검정 분석을 사용하였고 유의성

검정은 5%수준에서 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 건물수량의 추이와 집단의 분류

WCM의 전체자료(n=993)에 대한 건물수량과 기후요인을 측정하기 위한 기상변수들의 기초통계량은 Table 2에서 보는 바와 같다. 전체 평균 건물수량은 16,073kg/ha이었으며 제1사분위수(하위 25%)는 13,486kg/ha, 제3사분위수(하위 75%)는 18,622kg/ha으로 5,136kg/ha차이를 보여 전체자료의 50%가 해당범위 내에 분포하였다. 평균 건물수량 16,073kg/ha이 제1사분위수와 제3사분위수의 중앙값(16,054kg/ha)에 가까우므로 건물수량의 분포는 정규분포로 추측된다.

SSAGDD 및 SHAGDD의 평균은 각각 1,537 및 2,506이고 최대와 최소의 차이(범위)는 각각 1,023.4과 749.3로 SHAGDD보다 SSAGDD에서 차이가 크게 나타났다. 즉 적산생육온도일수(accumulated growing degree days, AGDD)의 변동이 출사를 기점으로 감소하고 있어 온도가 WCM 생육에 미치는 영향은 파종-출사에서 더 큰 것으로 생각된다. 또한 SHH의 경우에도 평균은 741.41hr였으나 최저와 최고의 차이가 1,116.20hr로 나타났다. 이러한 결과는 연도에 따라 일조량의 변동이 평균에 비하여 큰 것으로 판단된다.

평균건물수량의 연도별 추이는 Fig. 2에서와 같이 연도가 진행됨에 따라 감소하는 경향을 나타냈다($y=1.85E5-84.17x$). 일반적으로 우수한 품종의 지속적인 개발과 재배기술의 향상 등으로 WCM의 건물수량은 해가 거듭될수록 늘어나는 경향을 보이는 것이 보

Table 2. Criteria of climate factors for Whole Crop Maize

Symbols (unit)	Variables	Mean	S.E. ¹⁾	Min.	Max.	Quartile	
						first	third
DMY (kg/ha)	dry matter yield	16073.63	131.94	7214.00	27780.00	13486.00	18622.00
SHMT (°C)	seeding-harvesting mean temperature	21.59	.05	19.20	26.80	20.80	22.06
SSAGDD	seeding-silking accumulated growing degree days	1537.63	5.39	876.20	1899.60	1465.10	1639.60
SHAGDD	seeding-harvesting accumulated growing degree days	2506.81	5.35	2017.90	2767.20	2428.70	2620.50
SHH (hr)	seeding-harvesting hours of sunshine	741.41	6.39	437.2	1553.40	621.20	797.40
SHP (mm)	seeding-harvesting precipitation	726.47	8.46	317.50	1344.40	567.00	867.00
SHDP (day)	seeding-harvesting number of days with precipitation	49.80	.24	30.00	72.00	46.00	55.00

¹⁾S.E.: standard error.

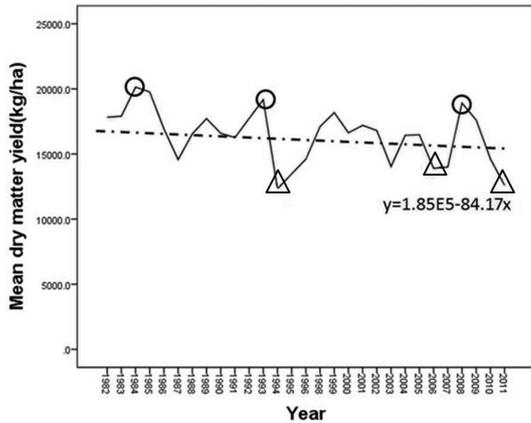


Fig. 2. Trend for the mean of dry matter yield in Whole Crop Maize (WCM) through 30 years. (Å,: upper group, dry matter yield of WCM in the year 1984, 1993, 2008; °,: lower group, dry matter yield of WCM in the year 1994, 2006, 2011).

통이다(Thomas *et al.*, 2009). 그러나 본 연구결과와 Fig. 2에서와 같이 평균건물수량은 연도에 따라 증가와 감소를 병행하는 변동 속에서도 다소 낮아지는 결과를 보였다. 이는 다소의 기록은 있으나 점진적으로 증가할 것이라는 예상과는 다소 다른 결과를 보였다.

일반적으로 연도별 건물수량의 분산이 작을수록 건물수량의 차이가 통계적으로 유의하게 나타난다. 이러한 차이를 확인하기 위하여 상위 및 하위집단으로 분류하고 그 집단의 차이가 통계적으로 유의한지를 확인하였다. 여기서 집단의 선택 기준으로 연도별 건물수량의 꼭짓점(cusp, 증가하다가 감소 또는 감소하다가

증가하는 점)을 택한 이유는 연도별 기상효과가 WCM의 건물수량에 연속적으로 영향을 미치므로 꼭짓점을 선택함으로써 이전 시점의 기상영향이 최소화될 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다(Hamilton, 1994). 증가하다가 감소하는 꼭짓점은 1984년, 1989년, 1993년, 1999년, 2004년 및 2008년에 나타났고, 감소하다가 증가하는 꼭짓점은 1987년, 1990년, 1994년, 2000년, 2003년, 2006년 및 2011년에 나타나 그 중에서 상위 및 하위 꼭짓점 3개를 각각 선택하였다. 그 결과 상위집단은 1984년, 1993년 및 2008년 하위집단은 1994년, 2006년 및 2011년이 선정하였다.

3.2. 상위와 하위집단 간 건물수량의 t-검정 결과

상위와 하위집단 간 건물수량 차이에 대한 통계적 유의성을 확인하기 위한 기술통계량은 Table 3에서 보는 바와 같다. 평균건물수량은 상위집단(n=71) 19,033kg/ha, 하위집단(n=113) 13,188kg/ha이며, Shapiro-Wilk 통계량을 이용한 정규성검정 결과 상위집단 0.98, 하위집단 0.99로 정규성가정을 모두 만족하므로 (p>0.05) 평균을 대표값으로 신뢰할 수 있다. 상위와 하위집단의 차이를 t-검정한 결과, 등분산 가정을 만족하였으며(p>0.05), 상위집단의 건물수량이 하위집단에 비해서 6,000kg/ha 정도 높게 나타났다(p<0.001, Table 4). 이것은 건물수량의 상위와 하위집단 간의 차이가 단순히 표집오차(sampling error)에 의해서 발생한 것이 아니라 기후, 토양 및 재배기술 등의 다른 요인에 의한 차이일 것으로 생각할 수 있다.

Table 3. Normality test for upper vs. lower groups¹⁾ of the mean of dry matter yield in Whole Crop Maize (WCM)

	N	Mean (kg/ha)	S.E. ²⁾	Test of normality	
				SW ³⁾ statistics	p-value
Upper group					
1984	15	20,133	755.49		
1993	14	19,171	615.24		
2008	42	18,910	456.12		
Total	71	19,033	418.14	.98	.47
Lower group					
1994	23	12,325	748.15		
2006	55	13,902	260.65		
2011	39	12,596	307.93		
Total	117	13,187	224.53	.99	.62

¹⁾upper group: dry matter yield of WCM in the year 1984, 1993, 2008; lower group: dry matter yield of WCM in the year 1994, 2006, 2011.

²⁾S.E.: standard error.

³⁾SW: Shapiro-Wilk statistics.

Table 4. Independent sample t-test for upper vs. lower groups¹⁾ of the mean of dry matter yield in Whole Crop Maize (WCM)

	F ²⁾		T ³⁾			Mean difference (kg/ha)
	Statistics	p-value	Statistics	df	p-value	
Equal variance	3.34	.07	15.56	186.00	.00	6062.61
Not equal variance			14.97	130.50	.00	

¹⁾upper group: dry matter yield of WCM in the year 1984, 1993, 2008; lower group: dry matter yield of WCM in the year 1994, 2006, 2011.

²⁾F: test for homoscedasticity.

³⁾t: test for mean comparison.

Table 5. Criteria for independent variables of upper vs. lower groups¹⁾ in Whole Crop Maize (WCM)

Variables	Group	N	mean	S.D. ³⁾	S.E. ⁴⁾
SHMT ²⁾ (°C)	upper	117	21.57	1.55	0.14
	lower	63	21.72	0.81	0.10
SSAGDD	upper	111	1537.35	125.39	11.90
	lower	47	1528.87	86.43	12.60
SHAGDD	upper	117	2553.32	140.46	12.98
	lower	63	2396.55	143.71	18.10
SHH (hr)	upper	117	689.87	56.48	10.82
	lower	63	619.60	86.14	7.94
SHP (mm)	upper	117	579.23	290.79	26.88
	lower	63	929.02	168.16	21.18
SHDP (day)	upper	117	50.40	8.16	0.75
	lower	63	49.59	6.83	0.86

¹⁾upper group: dry matter yield of WCM in the year 1984, 1993, 2008; lower group: dry matter yield of WCM in the year 1994, 2006, 2011.

²⁾SHMT: seeding-harvesting mean temperature, SSAGDD: seeding-silking accumulated growing degree days, SHAGDD: seeding-harvesting accumulated growing degree days, SHH: seeding-harvesting hours of sunshine, SHP: seeding-harvesting precipitation, SHDP: seeding-harvesting number of days with precipitation.

³⁾S.D.: standard deviation.

⁴⁾S.E.: standard error.

3.3. 상위와 하위집단 간 기상변수의 t-검정 결과

앞에서 언급한 바와 같이 상위와 하위집단 간의 건물수량의 차이는 토양, 기후 및 재배조건(파종시기, 관리방법 등)에 기인한 것으로 판단되나 그 중에서도 기후요인에 의해 가장 많이 영향을 받는 것으로 생각하였다(Hatfield *et al.*, 2011). 건물수량 차이에 영향을 줄 수 있는 기후요인에는 온도, 습도, 강수량 및 바람 등 측정 가능한 변수가 있을 것으로 사료되나 본 연구에서 고려한 변수는 온도, 강수 및 일조시간이었다.

상위와 하위집단 간의 기상변수 기초통계량을 비교하면 상위집단에서는 SSAGDD, SHAGDD, SHH 및 SHDP가 높았고 하위집단에서는 SHMT 및 SHP가 높았다(Table 5). 즉, 건물수량이 높을 때는 AGDD,

일조시간 및 강수일수가 높을 때이고, 건물수량이 낮을 때에는 평균온도 및 강수량이 높았을 때였다. 두 집단의 기상변수 차이가 통계적으로 유의한지에 대한 t-검정 결과는 Table 6와 같다. 먼저 등분산검정(F-검정) 결과 SHMT, SSAGDD, SHP 및 SHH는 두 집단의 분산차이가 통계적으로 유의하여 등분산가정을 만족시킬 수 없었으며($p < 0.05$), SHAGDD와 SHDP는 등분산가정을 만족시켰다($p > 0.05$). 상위와 하위집단 간의 평균차이는 SHAGDD가 156.77, SHH가 70.27(hr)로 상위집단에서 유의적으로 높았고($p < 0.05$), SHP는 349.79(mm)로 하위집단에서 유의적으로 높았다($p < 0.05$).

반면 상위와 하위집단 간에 SSAGDD, SHPD 및

Table 6. Independent sample t-test for climate factors between upper vs. lower groups¹⁾ in Whole Crop Maize (WCM)

		F ³⁾		T ⁴⁾			Mean difference (upper-lower)
		Statistics	p-value	Statistics	df	p-value	
SHMT ²⁾ (°C)	Equal variance	7.85	0.01	-.72	178	0.47	-.15
	Not equal variance			-.86	177.9	.39	
SSAGDD	Equal variance	4.27	0.04	.42	156	.67	8.48
	Not equal variance			.49	123.5	.63	
SHAGDD	Equal variance	0.14	0.70	7.09	178	.00	156.77
	Not equal variance			7.04	124.6	.00	
SHH(hr)	Equal variance	9.06	0.01	5.83	178	.00	70.27
	Not equal variance			6.58	171.1	.00	
SHP(mm)	Equal variance	30.47	0.01	-8.78	178	.00	-349.79
	Not equal variance			-10.22	177.1	.00	
SHDP(day)	Equal variance	0.26	0.61	.67	178	.50	.81
	Not equal variance			.71	147.4	.48	

¹⁾upper group: dry matter yield of WCM in the year 1984, 1993, 2008; lower group: dry matter yield of WCM in the year 1994, 2006, 2011.

²⁾SHMT: seeding-harvesting mean temperature, SSAGDD: seeding-silking accumulated growing degree days, SHAGDD: seeding-harvesting accumulated growing degree days, SHH: seeding-harvesting hours of sunshine, SHP: seeding-harvesting precipitation, SHDP: seeding-harvesting number of days with precipitation.

³⁾F: test for homoscedasticity.

⁴⁾t: test for mean comparison.

SHMT는 유의적이지 않았다($p>0.05$). 이것은 두 집단의 WCM 건물수량의 차이가 SHAGDD, 일조시간 및 강수량의 차이로 나타났음을 의미한다. 그러므로 WCM의 건물수량에 미치는 기상변수는 SHAGDD, 일조시간 및 강수량으로 추측할 수 있다. 특히 온도 중 SHMT와 SSAGDD가 유의하지 않았고 SHAGDD가 유의하므로 건물수량을 설명하는 온도 중 가장 신뢰도가 높은 것은 SHAGDD이다. 이것은 Gibson(2003)에서 옥수수 생육이나 수량예측에 주로 생육온도일수 (growing degree days, GDD)를 이용하는 것과 일치하였다. AGDD의 경우 파종에서 출사까지의 평균차이는 유의하지 않은 반면 파종에서 수확까지는 유의하였으므로 출사 이후 온도의 영향이 건물수량과 관련이 있는 것으로 추측하였다. 또한 같은 기간(파종에서 수확)동안 평균온도는 유의하지 않고 AGDD는 유의하였으므로 작물의 수량에는 AGDD가 관련이 있는 것으로 판단하였다.

한편, 우리나라처럼 기후특성상 WCM 재배기간 중에 장마가 있는 조건과 미국처럼 장마가 없는 조건에서의 AGDD는 다소 차이가 있을 수 있다. 장마가 있는 조건에서는 토양수분과 기온은 높고 일조시간은 짧

다. 반면 장마가 없는 곳에서는 온도와 일조량은 높은 반면 토양수분은 낮다. 따라서 같은 AGDD 일지라도 수량에 미치는 영향은 다를 수 있으므로 이에 대한 보다 깊이 있는 연구가 보완되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 건물수량이 높은 집단에서 일조시간이 많았고, 강수량은 건물수량이 낮은 집단에서 크게 나타났다. 즉, 일조시간과 강수량이 높을수록 수량은 증가하고 강수일수는 영향을 미치지 않는 결과를 보여 일조시간과 강수량이 건물수량의 차이에 대해서 설명 가능한 변수라고 한 보고(Sung *et al.*, 2014), 일조시간이 사일리지용 옥수수 수량 예측모형에서 중요 변수라고 보고한 Takahashi(2002)의 결과와도 일치한다. 본 연구에서 강수일수가 유의하지 않게 나타난 이유는 식물이 이용할 수 있는 수분이 되기 위해 요구되는 강수량(유효강수일수)이 다르기 때문이라고 생각된다. 따라서 현재 사용하고 있는 단순한 강수량이나 강수일수 측정정보는 작물에 유효한 강수량과 강수일수에 대한 측정기준을 마련한다면 작물의 수량 차이를 설명하는데 효과적인 것으로 사료된다.

이상의 결과에서 여러 기상변수 중 SHAGDD, SHH 및 SHP가 WCM의 건물수량과 연관이 있는 것

으로 나타났으나, 세 변수 간의 기여도(R^2)는 비교할 수 없었다. 추후 후속연구에서는 회귀분석을 이용하여 건물수량에 미치는 각 변수의 기여도를 파악하거나 건물수량 예측모형을 구축할 필요가 있다. 또한 기후요인과 생산결과간의 경로를 설정하여 인과관계를 설명하거나 변수가 생산량에 미치는 효과와 인과관계를 파악하기 위하여 구조방정식모형 분석을 이용할 수 있을 것이다.

적 요

본 연구는 탐색적 자료분석을 이용하여 사일리지용 옥수수(whole crop maize, WCM) 연도별 건물수량 변동의 유의성과 이와 관련 있는 기후요인의 유의성을 확인 하는데 목적이 있다. WCM의 원자료는 30년간의 농협중앙회 수입적용시험 심의결과(7개도 124품종 1,027점)였으며, 이 중 미비하거나 중복된 자료는 삭제 또는 수정하여 최종적으로 7개 도에서 124품종 993점을 이용하였다. WCM의 상대속도와 출사일수를 기준으로 분류하면 조생종(25품종 200점), 중생종(40품종 409점), 만생종(27품종 234점) 및 기타(32품종 150점)였다. 기상자료를 이용하여 기후요인을 측정하기 위한 6개의 기상변수를 생성하였다. 건물수량 및 기후요인을 탐색하기 위해서 기술통계량 및 정규성검정을 실시하였으며, 통계분석은 SPSS 21.0을 이용하였다. 연도별 평균 건물수량을 상위와 하위집단으로 분류하여 비교한 결과 상위와 하위집단 간에는 건물수량의 유의적 차이가 있었다($p < 0.05$). 두 집단간 차이의 원인을 구명하기 위하여 기후관련 요인들을 분석한 결과 파종수확적산생육온도일수(파종-수확 생육온도일수의 합), 파종수확일조시간(파종일부터 수확일까지의 일조시간의 합) 및 파종수확강수량(파종일부터 수확일까지 일강수량의 합)에서 집단간 유의적 차이가 나타났다($p < 0.05$). 반면 파종수확강수일수(파종에서 수확까지 강수일수)는 건물수량에 영향을 미치지 않았다($p > 0.05$). 이상의 결과에서 여러 기상변수 중 파종에서 수확까지의 적산온도, 일조시간 및 강수량이 WCM의 건물수량과 연관이 있는 것으로 나타났다. 그러나 세 변수 간의 기여도(R^2)는 비교할 수가 없어 추후 회귀분석을 이용하여 WCM의 건물수량에 미치는 각 변수의 기여도 및 건물수량 예측모형을 구축할 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(한우 양질 품사료 생산 전자지도 구축을 위한 정밀화 및 확대 적용 연구, 과제번호: PJ009766)과 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업 사업(313020-4)의 지원을 받아 연구되었음.

REFERENCES

- Baier, W., 1977: Crop-weather models and their use in yield assessments. *WMO Technical Note* no. 151, World Meteorological Organization, Geneva, 48pp.
- Hamilton, J. D., 1994: *Time series analysis*. Princeton University Press, 43-59.
- Hatfield, J. L., K. J. Booteb, B. A. Kimballc, L. H. Ziskad, R. C. Izaurraldeed, D. Ortfe, A. M. Thomsong, and D. Wolfef, 2011: Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agronomy Journal* **103**(2), 351-370.
- SPSS 21.0. Released 2012: IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Kim, M. J., K. I. Sung, B. W. Kim, J. L. Peng, D. H. Ji, B. H. Lee, E. J. Kim, M. H. Jo, Y. C. Lim, and G. D. Kim, 2014a: Study of dry matter yield prediction of Italian ryegrass (IRG) using climatic factors and soil factors. *Proceedings of 2014 Annual Congress of Korean Society of Animal Sciences and Technology*, Hongcheon, Kangwon-do, Korean Society of Animal Sciences and Technology, Vol. II, 204pp. (in Korean)
- Kim, M. J., K. I. Sung, and Y. J. Kim, 2014b: Analysis of climate effects on Italian ryegrass yield via structural equation model. *The Korean Journal of Applied Statistics* **27**(7), 1187-1196 (in Korean with English abstract). doi: 10.5351/KJAS.2014.27.7.1187
- Kim, K. D. 2012: Soil climate maps and suitability classes for forage production in Gangwon Province using soil and climate digital database. Ph.D. thesis, Kangwon National University. Chuncheon. Korea. (in Korean with English abstract).
- Kim, K. D., K. I. Sung, Y. S. Jung, H. I. Lee, E. J. Kim, J. G. Nejad, M. H. Jo, and Y. C. Lim, 2012: Suitability classes for Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) using soil and climate digital database in Gangwon Province. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science* **32**(4), 437-446 (in Korean with English abstract). doi: 10.5333/KGFS.2012.32.4.437
- Kim, K. D., K. I. Sung, J. H. Joo, B. W. Kim, J. L. Peng, B. H. Lee, J. G. Nejad, M. H. Jo, and Y. C. Lim. 2013: Suitability classes for whole crop barley (*Hordeum vulgare* var. hexastichon(L.) Asch.) using soil and climate digital database in Gangwon Province. *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences* **25**(3),

- 26-31. (in Korean with English abstract)
- Mann, P. S. 2009: *Introductory statistics* (6th ed.). JOHN WILEY&SONS, 377-394.
- Ottman, M. J. and L. F. Welch, 1988: Supplemental radiation effects on senescence, plant nutrients, and yield of field-grown corn. *Agronomy Journal* **80**, 619-626.
- Robertson, K. R. 1974: The genera of Rosaceae in the southeastern United States. *Journal of the Arnold Arboretum* **55**, 303-332.
- Shapiro, S. S. and M. B. Wilk, 1965: An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* **52**(3-4), 591-611.
- Sung, K. I., J. G. Nejad, E. J. Kim, M. H. Cho, S. H. Yoon, and G. D. Kim, 2011: Dry matter yield changes of whole crop maize in Suwon and Pyeongchang areas. *Proceedings of 2011 Annual Congress of Korean Society of Animal Sciences and Technology*, Miryang, Gyeongsangnam-do, Korean Society of Animal Sciences and Technology, Vol. II, 163pp. (in Korean)
- Sung, K. I., J. G. Nejad, B. W. Kim, J. L. Peng, D. H. Ji, B. H. Lee, E. J. Kim, M. H. Jo, Y. C. Lim, G. D. Kim, and M. J. Kim, 2014: Study of dry matter yield prediction of Italian ryegrass (IRG) in relation to climatic factors. *Proceedings of 2014 Annual Congress of Korean Society of Animal Sciences and Technology*, Hongcheon, Kangwon-do, Korean Society of Animal Sciences and Technology, Vol. II, 203pp. (in Korean)
- Sung, K. I., Y. S. Jung, K. D. Kim, H. I. Lee, E. J. Kim, J. G. Nejad, M. H. Jo, and Y. C. Lim, 2013: Suitability classes for green barley(whole crop barley, silage barley) using soil and climate digital database in Gangwon Province. *Proceeding of 11th World Conference on Animal Production*, Beijing, China, World Association of Animal Production, 258 pp.
- Takahashi, S. 2002: A model predicting forage maize growth based on temperature and solar radiation. *Grassland Science*, **48**(1), 43-49.
- Thomas, R. K., M. M. Jerry, and C. P. Thomas, 2009: *Global climate change impacts in the United States*. Cambridge University Press, 71-78 pp.
- <http://agron-www.agron.iastate.edu/Courses/agron212/Calculations/GDD.htm> (2015.04.08)