

Research Article

이상기상 시 사일리지용 옥수수의 기계학습을 이용한 피해량 산출

김지웅^{1†}, 최재성^{1†}, 조현욱¹, 김문주², 김병완¹, 성경일^{1*}

¹강원대학교 동물생명과학대학

²강원대학교 동물자원공동연구소

Damage of Whole Crop Maize in Abnormal Climate Using Machine Learning

Ji Yung Kim^{1†}, Jae Seong Choi^{1†}, Hyun Wook Jo¹, Moon Ju Kim², Byong Wan Kim¹ and Kyung Il Sung^{1*}

¹College of Animal Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

²Institute of Animal Resources, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

ABSTRACT

This study was conducted to estimate the damage of Whole Crop Maize (WCM) according to abnormal climate using machine learning and present the damage through mapping. The collected WCM data was 3,232. The climate data was collected from the Korea Meteorological Administration's meteorological data open portal. Deep Crossing is used for the machine learning model. The damage was calculated using climate data from the Automated Synoptic Observing System (95 sites) by machine learning. The damage was calculated by difference between the Dry matter yield (DMY)_{normal} and DMY_{abnormal}. The normal climate was set as the 40-year of climate data according to the year of WCM data (1978~2017). The level of abnormal climate was set as a multiple of the standard deviation applying the World Meteorological Organization(WMO) standard. The DMY_{normal} was ranged from 13,845~19,347 kg/ha. The damage of WCM was differed according to region and level of abnormal climate and ranged from -305 to 310, -54 to 89, and -610 to 813 kg/ha bnormal temperature, precipitation, and wind speed, respectively. The maximum damage was 310 kg/ha when the abnormal temperature was +2 level (+1.42 °C), 89 kg/ha when the abnormal precipitation was -2 level (-0.12 mm) and 813 kg/ha when the abnormal wind speed was -2 level (-1.60 %). The damage calculated through the WMO method was presented as an mapping using QGIS. When calculating the damage of WCM due to abnormal climate, there was some blank area because there was no data. In order to calculate the damage of blank area, it would be possible to use the automatic weather system (AWS), which provides data from more sites than the automated synoptic observing system (ASOS).

(Key words: Abnormal climate, Damage, Machine learning, Whole crop maize, Yield prediction model)

I. 서론

최근 기후변화에 따른 이상기온(고온, 저온) 및 이상강우(다우, 과우)와 같은 이상기상은 작물에 피해를 주며 점차 빈번히 발생하고 있다(Shim et al., 2018). 이로 인해서 작물의 생육 및 생산성에 부정적인 영향을 주고 있으며, 이는 미래에 더욱 심해질 것으로 전망되는 실정이다(IPCC, 2011). 이를 고려하였을 때 사일리지용 옥수수와 같은 사료작물에서도 이상기상에 따른 피해가 야기되고 있는 것으로 판단된다. Jo et al.(2021)은 기계학습을 통한 수량예측모델로 이상기상에 따른 WCM(Whole Crop Maize) 수량의 피해량을 산출하였다. 경기도 지역에서 이상기상에 따른 WCM의 최대 피해량은 양평에서 시간당 풍속이 0.52 m/s 증가할 때

121kg/ha로 나타났으며 이는 정상기상에서의 DMY(Dry Matter Yield)인 17,517 kg/ha의 0.7%에 해당하였다. 이는 7월 폭우(월 강우량 1,000mm 이상)에 의해 WCM의 DMY이 28.9% 감소하였다고 보고한 연구(Kim et al., 2019)보다 낮은 수치를 나타내었다. 이러한 결과가 나타난 원인은 기계학습에 이용된 경기도 기상 데이터(n = 160) 중 이상기상에 해당하는 데이터(n = 26)의 비율(16%)이 정상기상에 해당하는 데이터(n = 134)의 비율(84%)보다 현저히 낮았기 때문인 것으로 사료되었다. 따라서 WCM의 이상기상에 따른 피해량 산출은 기계학습을 통한 수량예측모델 제작 시 이상기상에 속한 데이터를 반복 학습하여 정상기상 범위에 속한 데이터와 유사한 비율로 맞춘 후 연구를 수행할 필요가 있다.

또한 경기도 5개 지역을 대상으로 이상기상에 따른 WCM

[†]Ji Yung Kim and Jae Seong Choi contributed equally to this work.

*Corresponding author: Kyung Il Sung, Department of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Republic of Korea, Tel: +82-33-250-8635, Email: kisung@kangwon.ac.kr

수량의 피해량을 산출할 때 WCM 데이터는 DMY 상·하위 3%에 해당하는 데이터를 이상값으로 판단하여 제거하였다. 그러나 DMY 이상값에 속하는 WCM 데이터는 이상기상으로 인해 수량이 많거나 적은 것일 수 있으므로 이를 제거한 후 수량예측을 통해 나온 결과는 이상기상 조건 하에서 재배된 WCM 데이터를 고려하지 않은 결과일 수 있다. 따라서 WCM 데이터는 DMY 이상값을 제거하지 않고 모두 이용하여 수량예측모델을 제작할 필요가 있다. 최종적으로 산정한 이상기상에 따른 WCM의 피해량은 사용자 (User, 풀사료 농가, 연구자 및 관계자)가 쉽게 이해할 수 있도록 시각적으로 제시할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 기계학습을 통한 수량예측모델로 이상기상에 따른 WCM의 피해량을 산정하고 이를 전자지도로 제시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 데이터 수집

수집된 WCM의 출처별 데이터는 수입적응성 시험보고서, 국립축산과학원 시험연구보고서, 한국축산학회지, 한국초지조사료학회지 및 WCM 재배실험 관련 학위논문으로부터 총 3,232점을 수집하였다(Table 1). WCM의 재배지역별 데이터는 Table 2와 같으며 재배지역이 있는 데이터는 3,085개(40개소)였으며 재배지역이 없는 데이터는 147개였다. WCM의 데이터 수집은 1978년부터 2017년까지였으며 재배지역, 파종일, 수확일 및 DMY 등을 포함하고 있다.

본 연구에 이용한 기상 데이터는 기상청의 기상자료개방포털 (KMA, Weather data service- Open MET data portal, data.ma.go.kr)에서 우리나라 전체 종관기상대 102개소의 데이터를 수집하였다(Table 3). 데이터의 수집은 수집된 WCM의 데이터가 존재하는 1978년부터 2017년까지의 40년간의 기간이며 매년

1월부터 12월까지 시간단위의 자료 수집하였다.

2. 데이터 가공

기상 데이터는 전체 102개 종관기상대 데이터 중 시간단위 데이터가 존재하지 않는 2개 지역(대구(기) 및 강진군)과 1978년부터 2017년까지의 연도별 데이터가 5개 이하인 5개 지역(관악산, 무안, 북춘천, 세종 및 홍성)을 제외한 95개 기상대 데이터를 사용하였다. WCM 재배지역 중 종관기상대가 없는 곳은 가장 가까운 종관기상대의 데이터를 적용하였다(Table 4). 기상 데이터는 WCM의 생육기간을 고려하여 4월 1일부터 10월 31일까지 이용하였다. 본 연구에 사용한 기상요인은 기온, 강수량 및 풍속이었다. 기상요인의 결측값은 해당 시간의 전·후 시간 측정값의 평균을 입력하는 것으로 보완하였다.

3. 수량예측모델 제작

수량예측모델은 수집 후 가공한 WCM 및 기상 데이터를 기반으로 기계학습을 통해 제작되었다. 수량예측모델은 WCM의 생육기간 및 재배지역에 따른 기상 조건의 DMY를 학습하였으며 특정 기상 조건 하에서 DMY 예측값을 산출하였다. 수량예측모델 제작에 이용한 기계학습 기법은 Linear, FM (Factorization Model), Deep, DeepCrossing, Wide&Deep, DeepFM, CIN (Compressed Interaction Network) 및 xDeepFM으로 총 8가지였다. 본 연구에서 피해량 산출을 위하여 기계학습 기법으로 제작된 수량예측모델의 선정은 R²값이 가장 높고 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)값이 가장 낮은 것을 선택하였다.

기상 데이터는 이상기상에 해당하는 데이터 수를 증가시켜 정상기상에 해당하는 데이터의 수와 유사한 수준으로 맞춘 뒤 수량예측모델에 학습시켰다. 이상기상에 해당하는 데이터는 1년간 기상요인의 평균이 지역별 정상기상의 표준편차 ±2배 범위에서

Table 1. Data source and numbers of data on whole crop maize

Data source	Numbers of data
NACF ¹⁾	1,219
NIAS ²⁾	1,294
KSAST ³⁾	8
KSGFS ⁴⁾	707
Thesis	4
Total	3,232

¹⁾National Agricultural Cooperative Federation.

²⁾National Institute of Animal Science.

³⁾Korean Society of Animal Science and Technology.

⁴⁾Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science.

*The description of the source of WCM data collected in this study was omitted because these were too many documents.

Table 2. Numbers of data on WCM according to cultivation area

Cultivation area	Numbers of data	Cultivation area	Numbers of data
Andong	2	Iri	3
Anseong	7	Jeju	40
Asan	6	Jinbu	9
Bonghwa	26	Jinju	75
Cheonan	243	Namhae	8
Cheongju	3	Pyeongchang	31
Chilgok	1	Sangju	89
Chuncheon	1	Seocheon	18
Daegwallyeong	167	Seonghwan	379
Dangjin	16	Seongju	155
Gimje	33	Suncheon	2
Gochang	4	Suwon	1,370
Gunwi	4	Uijeongbu	11
Gwangju(Gyeonggi-do)	12	Wonju	6
Gwangju(Jeollanam-do)	29	Yeoju	21
Gwangsan	3	Yeongam	37
Gyeongsan	66	Yeonggwang	10
Hongcheon	29	Yeongju	33
Hwaseong	14	Yuseong	3
Icheon	99	No region	147
Incheon	20		
Total		3,232	

Table 3. Mean temperature, precipitation, and wind speed by region under normal climate data per hour for experimental period

Region	Temperature (°C)		Precipitation (mm)		Wind Speed (m/s)	
	Mean	SD*	Mean	SD	Mean	SD
Andong	19.30	0.61	0.22	0.06	2.17	0.25
Baengnyeongdo	17.65	0.58	0.27	0.09	3.37	0.48
Boeun	18.26	0.89	0.19	0.06	2.31	0.22
Bonghwa	17.09	0.63	0.19	0.05	1.82	0.15
Boryeong	19.24	0.66	0.18	0.03	1.25	0.31
Boseong-gun	20.59	0.35	0.21	0.05	2.52	0.38
Buan	19.44	0.76	0.21	0.06	1.42	0.15
Busan	20.39	0.63	0.23	0.06	1.15	0.21
Buyeo	19.48	0.65	0.21	0.05	1.84	0.17
Changwon	20.89	0.52	0.19	0.06	1.55	0.11
Cheomchalsan mountain	17.97	0.41	0.24	0.06	1.85	0.24
Cheonan	19.20	0.65	0.23	0.06	1.28	0.15
Cheongju	20.10	0.74	0.22	0.06	1.68	0.25
Cheongsong-gun	18.23	0.37	0.23	0.06	1.05	0.21

Table 3. Continued

Region	Temperature (°C)		Precipitation (mm)		Wind Speed (m/s)	
	Mean	SD*	Mean	SD	Mean	SD
Cheorwon	18.14	0.54	0.26	0.07	1.59	0.17
Chuncheon	19.01	0.65	0.22	0.05	1.70	0.21
Chungju	19.14	0.89	0.24	0.06	1.08	0.26
Chupungryeong	18.69	0.53	0.23	0.06	1.13	0.19
Daegu	21.02	0.64	0.23	0.07	1.64	0.12
Daegwallyeong	13.92	0.74	0.30	0.09	1.68	0.27
Daejeon	20.05	0.63	0.22	0.06	1.22	0.28
Dongducheon	19.05	0.6	0.21	0.05	2.01	0.11
Donghae	18.64	0.92	0.30	0.08	1.64	0.33
Ganghwa	18.40	0.55	0.21	0.06	1.44	0.16
Gangneung-si	19.54	0.66	0.23	0.06	1.39	0.11
Geochang	18.58	0.79	0.26	0.08	1.25	0.23
Geoje	20.11	0.81	0.23	0.06	2.62	0.18
Geumsan	18.95	0.65	0.21	0.05	1.20	0.17
Gimhae-si	21.54	0.42	0.25	0.07	1.56	0.3
Gochang	20.02	0.52	0.25	0.08	2.07	0.31
Gochang-gun	20.50	0.34	0.24	0.06	2.37	0.22
Goheung	19.86	0.73	0.19	0.05	1.04	0.08
Gosan	20.53	0.5	0.22	0.06	1.24	0.18
Gumi	19.55	1.1	0.17	0.04	2.25	0.16
Gunsan	19.65	0.59	0.18	0.05	1.36	0.18
Gwangju	20.61	0.65	0.21	0.05	1.37	0.20
Gwangyang	21.36	0.28	0.20	0.05	1.21	0.17
Gyeongju-si	19.87	0.62	0.19	0.05	1.35	0.11
Haenam	19.79	0.58	0.18	0.04	1.58	0.13
Hamyang-gun	19.52	0.42	0.17	0.05	2.25	0.41
Hapcheon	19.80	0.84	0.22	0.06	1.74	0.4
heuksando	18.66	0.42	0.18	0.04	1.62	0.34
Hongcheon	18.32	1.1	0.17	0.06	3.74	0.54
Icheon	19.18	0.99	0.17	0.05	3.34	0.56
Imsil	18.24	0.73	0.17	0.05	1.03	0.15
Incheon	19.25	0.69	0.15	0.02	1.17	0.04
Inje	17.64	0.87	0.18	0.06	2.7	0.39
Jangheung	19.52	0.82	0.22	0.06	2.09	0.25
jangsu	17.64	0.6	0.18	0.04	2.52	0.39
Jecheon	17.79	1.05	0.23	0.06	1.84	0.28
Jeju	21.07	0.71	0.25	0.07	3.57	0.38
Jeongeup	20.10	0.67	0.24	0.07	2.32	0.26
Jeongseon-gun	18.11	0.53	0.21	0.06	2.01	0.24
Jeonju	20.41	0.63	0.22	0.06	1.75	0.34
Jindo-gun	20.34	0.58	0.13	0.04	4.47	0.49

Table 3. Continued

Region	Temperature (°C)		Precipitation (mm)		Wind Speed (m/s)	
	Mean	SD*	Mean	SD	Mean	SD
Jinju	20.03	0.5	0.20	0.06	2.74	0.42
Juam	19.34	0.76	0.24	0.07	1.39	0.26
Miryang	19.99	0.97	0.24	0.06	1.88	0.09
Mokpo	20.16	0.54	0.18	0.05	3.44	0.52
Mungyeong	18.83	0.85	0.24	0.04	2.41	0.43
Namhae	20.24	0.92	0.26	0.08	1.57	0.10
Namwon	19.46	0.79	0.24	0.06	3.68	0.30
North Changwon	20.81	0.43	0.19	0.04	2.24	0.14
North Gangneung	19.11	0.52	0.24	0.07	2.95	0.64
Paju	18.82	0.62	0.24	0.07	1.66	0.38
Pohang	20.43	0.75	0.26	0.06	1.09	0.16
Samcheok	18.36	0.94	0.18	0.04	2.04	0.09
Sancheong	19.46	0.78	0.24	0.06	4.94	0.41
Sangju	19.67	0.59	0.21	0.06	2.07	0.36
Seogwipo	21.57	0.64	0.18	0.04	4.70	0.35
Seongsan	20.54	1.00	0.19	0.03	2.48	0.21
Seongsanpo	20.46	0.91	0.20	0.05	1.68	0.12
seosan	19.03	0.53	0.20	0.06	3.24	0.80
Seoul	20.02	0.69	0.22	0.06	1.28	0.27
Sokcho	18.43	0.71	0.20	0.05	1.64	0.16
Sunchang-gun	19.88	0.35	0.23	0.04	1.67	0.09
Suncheon	19.58	0.55	0.22	0.06	1.23	0.20
Suwon	19.58	0.79	0.24	0.06	1.62	0.14
Taebaek	15.66	0.78	0.21	0.05	1.64	0.39
Tongyeong	20.22	0.52	0.21	0.05	1.19	0.25
Uiryeong-gun	19.74	0.72	0.17	0.05	5.52	0.52
Uiseong	18.83	0.84	0.30	0.08	2.73	0.52
Uljin	18.39	0.64	0.29	0.07	2.82	0.47
Ulleungdo	18.11	0.65	0.29	0.08	2.81	0.25
Ulsan	20.31	0.60	0.22	0.07	3.09	0.28
Wando	20.07	0.60	0.21	0.05	1.16	0.13
Wonju	19.14	0.94	0.20	0.05	1.93	0.22
Yangpyeong	19.00	0.93	0.22	0.05	1.26	0.19
Yongsan-si	21.21	0.47	0.21	0.06	2.35	0.30
Yeongcheon	19.35	0.86	0.21	0.05	1.60	0.24
Yeongdeok	19.00	0.82	0.22	0.06	1.22	0.16
Yeonggwang-gun	19.96	0.34	0.28	0.32	1.33	0.22
Yeongju	18.59	0.63	0.21	0.05	1.79	0.21
Yeongwol	18.57	0.61	0.23	0.21	2.12	0.41

*SD: Standard Deviation.

Table 4. Used climate data under the non-existing automated synoptic observing

Region of non-existing ASOS*	Applied ASOS	Region of non-existing ASOS	Applied ASOS
Anseong	Suwon	Iri	Jeonju
Asan	Cheonan	Jinbu	Gangneung
Chilgok	Gumi	Pyeongchang	Wonju
Dangjin	Seosan	Seocheon	Boryeong
Gimje	Buan	Seonghwan	Cheonan
Gunwi	Uiseong	Seongju	Gumi
Gwangju (Gyeonggi-do)	Seoul	Uijeongbu	Seoul
Gwangsan	Gwangju (Jeollanam-do)	Yeosu	Icheon
Gyeongsan	Daegu	Yeongam	Haenam
Hwaseong	Suwon	Yuseong	Daejeon

*ASOS: Automated Synoptic Observing System.

벗어나는 연도의 데이터로 선별하였다. 총 408개의 이상기상 데이터 중 중복되는 데이터(n = 18)를 제거한 390개의 이상기상에 해당하는 데이터를 7번 반복 학습시켜(n = 2,730) 정상기상에 해당하는 데이터(n = 2,618)와 유사한 수준으로 맞추었다. 기계학습을 통한 수량예측모델 제작에 사용한 프로그램은 Python 및 Tensorflow였다.

4. 이상기상 피해량 산정

이상기상에 따른 DMY 피해량(Damage)은 종관기상대의 지역별 정상기상 및 이상기상을 설정하고 수량예측모델을 통해 각 기상에서의 DMY를 예측한 후 정상기상에서의 DMY 예측값(DMY_{normal})과 이상기상에서의 DMY 예측값(DMY_{abnormal}) 간 차이를 통해 산출하였다. 피해량 산출 과정은 아래의 식과 같다.

$$\text{Damage} = \text{DMY}_{\text{normal}} - \text{DMY}_{\text{abnormal}}$$

여기서, WCM의 DMY_{normal} 및 DMY_{abnormal} 산출을 위한 정상 및 이상기상은 다음과 같은 방법으로 설정하였다. 지역별 정상기상은 WCM 데이터 수집 연도(1978~2017년)에 해당하는 연도별 기상 데이터의 평균(40년 평균)으로 설정하였다. 지역별 이상기상은 정상기상에서 특정 기상요인(기온, 강수량 및 풍속)에 변동값을 주어 설정하였다. 이상기상의 변동값은 세계기상기구(WMO; World Meteorological Organization)의 방식(Park et al., 2015)을 준용하여 WCM 데이터 수집 기간(1978~2017년) 내 기상요인별 평균 및 표준편차(Standard Deviation, SD)를 계산한 후 SD의 ±1 및 ±2배수의 4단계 수준(SD의 -2, -1, +1 및 +2배)

으로 설정하였다. 기상요인별 SD는 지역에 따라 차이가 있었으며 기온, 강수량 및 풍속이 각각 0.28~1.10°C, 0.02~0.32 mm 및 0.04~0.80 m/s의 범위에 있었다.

5. 이상기상 피해량 전자지도 제시

전자지도는 QGIS(Quantum Geographic Information System)를 이용하여 작성하였으며 국내 행정구역별로 나누어 표현하였다. 피해량은 수준에 따라 5계급으로 나누었으며 많을수록 짙은 색으로 나타내었다. 피해량 산정 지역 중 행정구역이 중복되는 지역은 시청 및 군청에 가까운 지역을 적용하였다. 이 과정에서 고산, 고창군, 북강릉, 북창원, 성산, 성산포, 주암 및 침찰산은 각각 제주, 고창, 강릉, 창원, 서귀포, 서귀포, 순천 및 진도군과 행정구역이 중복되어 전자지도 작성에서 제외하였다. 따라서 최종적으로 이상기상 피해량 전자지도를 작성한 지역은 87지역이었다.

이상기상별 WCM의 피해량은 표준편차에 의해 5계급으로 나누어 전자지도에 나타냈다. 각 지역의 기상요인별 WCM의 피해량은 DMY_{normal}에 대한 비율로 환산한 결과 WCM 피해량의 비율은 -3.42~4.63%의 범위에 있었다. 따라서 전자지도에 나타낼 WCM 피해량의 계급은 -5~-3, -3~-1, -1~1, 1~3 및 3~5%의 5단계로 나누어 작성하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 이상기상 수준에 따른 WCM의 DMY 예측값

8가지 기계학습 기법에 따른 WCM 수량예측모델의 R² 및

RMSE값은 각각 0.4534~0.5442 및 0.1769~0.1938 범위였다 (Table 5). 본 연구에서 기계학습을 통한 WCM의 수량예측모델은 R²값이 0.5442로 가장 높고 RMSE값이 0.1769로 가장 낮은 DeepCrossing을 선정하였다. DeepCrossing을 통한 수량예측모델로 산출한 정상기상에서 WCM의 DMY_{normal}은 지역에 따라 차이가 있었으며 13,845~19,347 kg/ha 범위였다(Table 6).

DeepCrossing을 통한 수량예측모델로 산정한 이상기온, 이상강수량 및 이상풍속에서 WCM의 DMY_{abnormal}은 지역과 수준에 따라 차이가 있었으며 각각 13,792~19,394, 13,834~19,357 및

13,720~19,470 kg/ha 범위였다(Fig. 1).

2. 이상기상 수준에 따른 WCM의 피해량

이상기온, 이상강수량 및 이상풍속 수준에 따른 WCM의 피해량은 각각 -305~310, -54~89 및 -610~813 kg/ha 범위였다(Fig. 2). 이상기온 수준에 따른 WCM의 최대 피해량은 제주 지역에서 시간당 기온이 1.42℃ 증가(+2 수준)할 때 310 kg/ha로 나타났다. 이상강수량 수준에 따른 WCM의 최대 피해량은 양평 지역에서 시간당 강수량이 0.12℃ 감소(-2 수준)할 때 89 kg/ha로 나타났

Table 5. R² and root mean square error of forage yield prediction model by machine learning technique

Machine learning techniques	R ²	RMSE ¹⁾
Linear	0.4534	0.1938
FM ²⁾	0.5278	0.1801
Deep	0.5392	0.1779
DeepCrossing	0.5442	0.1769
Wide&Deep	0.5208	0.1814
DeepFM	0.5000	0.1853
CIN ³⁾	0.5121	0.1831
xDeepFM	0.5254	0.1805

¹⁾RMSE: Root mean square error, ²⁾FM: Factorization model, ³⁾CIN: Compressed interaction network.

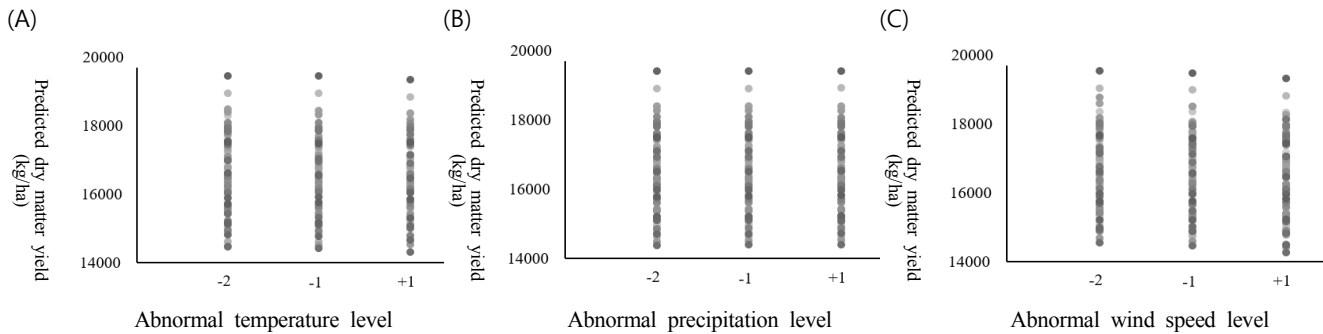


Fig. 1. Predicted dry matter yield according to the level of abnormal temperature (A), precipitation (B), and wind speed (C).

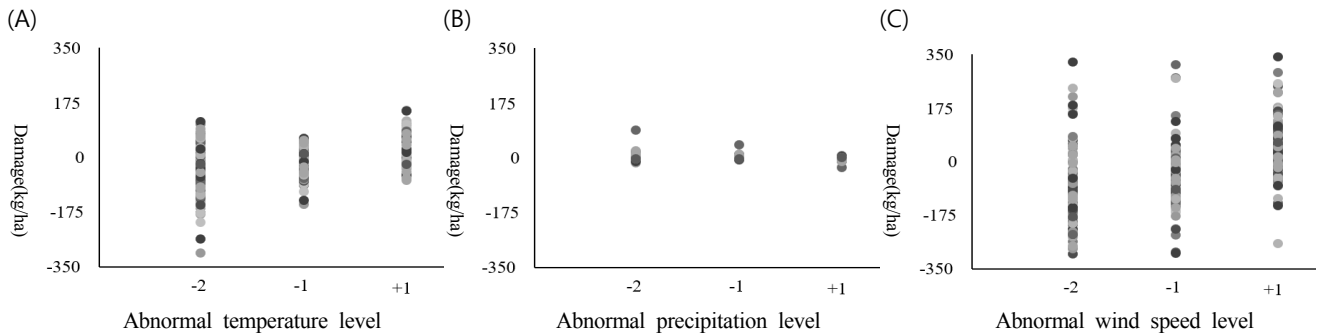


Fig. 2. Damage according to the level of abnormal temperature (A), precipitation (B), and wind speed (C).

Table 6. Predicted dry matter yield of whole crop maize under the normal climate

Region	DMY*	Region	DMY	Region	DMY	Region	DMY
	--kg/ha--		--kg/ha--		--kg/ha--		--kg/ha--
Andong	17,751	Geochang	18,292	Jeju	17,207	Seongsan	17,558
boeun	17,543	Geoje	16,405	Jeju	18,347	Seongsanpo	16,494
Bonghwa	15,780	Geumsan	14,955	Jeongeup	16,770	Seongsanpo	14,861
Boryeong	16,835	Geumsan	13,845	Jeongeup	17,528	Seosan	17,882
Boryeong	15,069	Gimhae-si	15,893	Jeongseon-gun	17,387	Seosan	15,684
Buan	16,826	Gochang	15,190	Jeonju	17,500	Sokcho	16,079
Buan	17,470	Gochang-gun	15,187	Jeonju	17,417	Sunchang-gun	17,761
Buyeo	16,946	Gosan	14,797	Jindo-gun	18,211	Sunchang-gun	16,033
Buyeo	16,678	Gosan	15,158	Jinju	14,500	Suwon	17,811
Changwon	17,329	Gumi	16,814	Juam	15,415	Taebaek	16,889
Cheomchalsan Mountain	17,114	Gunsan	18,853	Miryang	17,882	Tongyeong	17,468
Cheonan	17,828	Gwangju	16,983	Mungyeong	17,088	Uiryeong-gun	17,442
Cheongju	16,091	Gyeongju-si	16,802	Namhae	16,251	Uiseong	15,154
Cheongsong-gun	16,750	Haenam	17,566	Namwon	15,353	Uljin	17,056
Cheorwon	17,035	Hamyang-gun	17,541	North Changwon	15,377	Ulleungdo	14,383
Chuncheon	17,181	Hapcheon	14,617	North Gangneung	16,320	Ulsan	15,076
Chungju	16,209	heuksando	17,080	Paju	16,115	Wonju	14,706
Chupungryeong	16,590	Hongcheon	16,136	Pohang	16,469	Yangpyeong	16,480
Daegu	15,003	Icheon	16,637	Samcheok	15,601	Yongsan-si	15,950
Daegwallyeong	15,079	Imsil	17,887	Sancheong	18,027	Yeongcheon	15,205
Daejeon	16,947	Imsil	15,587	Sangju	15,105	Yeongdeok	19,347
Dongducheon	17,931	Inje	16,217	Seogwipo	17,897	Yeongju	15,782
Donghae	17,575	Jangsu	16,799	Seogwipo	16,090	Yeongwol	17,450
Gangneung-si	16,283	Jecheon	17,578	Seongsan	16,560		

* DMY: Dry Matter Yield.

다. 이상풍속 수준에 따른 WCM의 최대 피해량은 군산 지역에서 시간당 풍속이 1.60 m/s 감소(-2 수준)할 때 813 kg/ha로 나타났다.

이상기온과 이상강수량에서 수준에 따른 DMY의 증가 및 감소 경향은 Jo et al. (2021)의 결과와 동일하게 나타났으나 이상풍속은 -2 수준에서 최대 피해량이 발생하여 상반된 경향을 나타내었다. 그러나 최대 피해량이 발생한 군산을 제외한 대부분의 지역에서 이상풍속은 수준이 증가할수록 DMY가 감소하는 경향을 나타내어 Jo et al.(2021)과 동일한 결과를 나타내었다. 이를 통해 군산에서 풍속이 감소할수록 피해량이 증가하는 것은 기상 외 다른 요인의 영향을 받았을 수 있다고 사료된다. 따라서 군산에서 기상요인 외 WCM의 DMY에 영향을 미치는 지역적 특징이 있는지 조사할

필요가 있다.

최대 피해량이 발생한 군산 지역에서 이상풍속의 변동값 범위 -1.60~1.60 m/s는 보퍼트 풍력계급 중 1계급인 살바람(0.3~1.5 m/s)에 해당된다. 기상청은 13.9 m/s 이상의 풍속(센바람, 13.9~17.1 m/s)을 강풍으로 분류하고 있는데(Na and Jung, 2021) 이는 보퍼트 풍력 계급 중 7계급 이상에 해당된다. 따라서 WMO의 방식을 준용한 이상풍속은 살바람에 해당하므로 WCM의 DMY에 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.

또한 최대 피해량(813 kg/ha)은 군산 지역의 DMY_{normal} (17,558 kg/ha)의 4.6%에 해당하는데 이는 타 연구의 이상기상에 따른 피해량에 비해 적은 수치이다(Kim et al., 2019; Kim and Sung, 2021). 따라서 813 kg/ha의 피해량이 WCM에 있어 피해량으로 판

Damage in Accordance with Abnormal Climate Using Machine Learning

단할 수 있는 수준인지에 대한 검토가 필요하다. 또한 WMO 방식(기상요인별 표준편차 ± 2 배)을 준용한 이상기상이 WCM의 DMY에 피해를 주는 기상 조건인지 검토할 필요가 있다. 따라서

이상기상은 WMO 방식을 준용한 방법과 비교·평가하기 위해 다른 방법으로 설정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

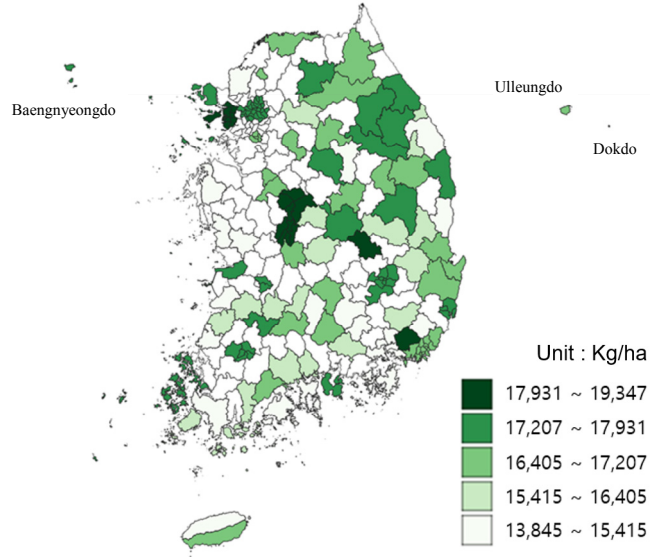


Fig. 3. Mapping on dry matter yield of whole crop maize under normal climate.



Fig. 4. Mapping on damage of whole crop maize under abnormal climate each level.

3. 이상기상 피해량 전자지도 제시

전자지도는 WCM의 DMY_{normal} (Fig. 3)과 WMO 방식을 적용한 이상기상과 그 수준에 따른 피해량(Fig. 4)을 시각적으로 나타내기 위해 제시하였다. WCM의 피해량은 이상기온, 이상강수량 및 이상풍속 모두 지역과 WMO 방식에서 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 이상기상에 따른 WCM 피해량 전자지도는 수치화 되어 있는 피해량을 시각적으로 나타내어 User에게 WCM의 피해량을 효과적으로 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구 결과의 전자지도는 행정구역별로 나누어 표시하였을 때 WCM의 피해량이 산정되지 않아 공백(흰색)인 지역이 존재하였다. 이를 보완하기 위해 데이터의 미기록 및 기기의 고장 데이터의 손실은 많지만 종관기상대보다 많은 지점의 데이터를 제공하고 있는 방재기상대를 이용하면 보다 세밀한 피해량을 산정할 수 있을 것이다.

결론적으로 본 연구에서 DeepCrossing 기반의 수량예측모델로 산정한 이상기상에 따른 WCM의 최대 피해량은 DMY_{normal} 의 4.6% (WMO 기준의 풍속)였다. 또한 이상기상에 따른 WCM의 피해량은 행정구역별로 전자지도로 제시하였다. 본 연구에서 이상기상에 따른 WCM 피해량이 유의미한 피해 수준인지에 대한 검토가 요구된다. 추후 WCM의 피해량 산정 연구는 보다 많은 이상기상 사례의 탐색과 WCM의 생육단계를 고려하여 추가적으로 수행할 필요가 있다.

IV. 요약

본 연구는 기계학습을 기반으로 제작한 수량예측모델을 통해 이상기상에 따른 사일리지용 옥수수(WCM)의 피해량 산정 및 전자지도를 작성할 목적으로 수행하였다. WCM 데이터는 수입작업성 시험보고서(n = 1,219), 국립축산과학원 시험연구보고서(n = 1,294), 한국축산학회지(n = 8), 한국초지조사료학회지(n = 707) 및 학위논문(n = 4)에서 총 3,232점을 수집하였으며 기상 데이터는 기상청의 기상자료개방포털에서 수집하였다. 본 연구에서 이상기상에 따른 WCM의 피해량은 WMO 방식을 준용하여 산정하였다. 정상기상에서 DMY 예측값은 13,845~19,347 kg/ha 범위로 나타났으며 피해량은 이상기온, 이상강수량 및 이상풍속에서 각각 -305~310, -54~89 및 -610~813 kg/ha 범위로 나타났다. 최대 피해량은 이상풍속에서 813 kg/ha로 나타났다. WMO 방식을 통해 산정한 WCM의 피해량은 QGIS를 이용하여 전자지도로 제시하였다. 이상기상에 따른 WCM의 피해량 산정시 데이터가 없어 공백인 지역이 존재하

여 이를 보완하기 위해 종관기상대보다 많은 지점의 데이터를 제공하고 있는 방재기상대를 이용하면 보다 세밀한 피해량을 산정할 수 있을 것이다.

V. 사사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업의 과제번호: PJ01499603의 지원에 의해 이루어졌습니다.

VI. REFERENCES

- IPCC. 2011. Special report on managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. New York, Cambridge University Press. pp.582.
- Jo, H.W., Kim, M.K., Kim, J.Y., Jo, M.H., Kim, M.J., Lee, S.A., Kim, K.D., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2021. Calculation of dry matter yield damage of whole crop maize in accordance with abnormal climate using machine learning model. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 41(4):287-294.
- Kim, M.J. and Sung, K.I. 2021. Impact of abnormal climate events on the production of Italian ryegrass as a season in Korea. *Journal of Animal Science and Technology*. 63(1):77-90.
- Kim, M.J., Befekadu, C. and Sung, K.I. 2019. Effect of heavy rainfall events on the dry matter yield trend of whole crop maize (*Zea mays* L.). *Agriculture*. 9(4):75-85.
- KMA. 2021.05.01. <https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>
- Na, H.N. and Jung, W.S. 2021. Characteristics of strong winds on the Korean peninsula during the non-typhoon period: Data analysis for 116 years from 1904 to 2019. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 37(1):55-65.
- Park, K.H. and Chung, W.H. 2015. Protocol development and notification establishment for fact-finding, impact, and vulnerability assessment for climate change in agriculture. *Rural Development Administration (RDA), Jeonju, Republic of Korea*. pp.92-106.
- Shim, K.M., Kim, Y.S., Jung, M.P., Kim, J.W., Park, M.S., Hong, S.H. and Kang, K.K. 2018. Recent changes in the frequency of occurrence of extreme weather events in South Korea. *Journal of Climate Change Research*. 9(4):461-470.

(Received : June 19, 2022 | Revised : June 22, 2022 | Accepted : June 23, 2022)