

Research Article

기계학습모델을 이용한 이상기상에 따른 사일리지용 옥수수 생산량에 미치는 피해 산정

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

¹강원대학교, 동물생명과학대학, 춘천, 24341

²강원대학교, 동물생명과학연구소, 춘천, 24341

Calculation of Damage to Whole Crop Corn Yield by Abnormal Climate Using Machine Learning

Ji Yung Kim^{1†}, Jae Seong Choi^{1†}, Hyun Wook Jo¹, Moonju 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 Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

ABSTRACT

This study was conducted to estimate the damage of Whole Crop Corn (WCC; *Zea Mays* L.) according to abnormal climate using machine learning as the Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5 and present the damage through mapping. The collected WCC data was 3,232. The climate data was collected from the Korea Meteorological Administration's meteorological data open portal. The machine learning model used DeepCrossing. The damage was calculated using climate data from the automated synoptic observing system (ASOS, 95 sites) by machine learning. The calculation of damage was the 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 WCC data (1978-2017). The level of abnormal climate by temperature and precipitation was set as RCP 4.5 standard. The DMY_{normal} ranged from 13,845-19,347 kg/ha. The damage of WCC which was differed depending on the region and level of abnormal climate where abnormal temperature and precipitation occurred. The damage of abnormal temperature in 2050 and 2100 ranged from -263 to 360 and -1,023 to 92 kg/ha, respectively. The damage of abnormal precipitation in 2050 and 2100 was ranged from -17 to 2 and -12 to 2 kg/ha, respectively. The maximum damage was 360 kg/ha that the abnormal temperature in 2050. As the average monthly temperature increases, the DMY of WCC tends to increase. The damage calculated through the RCP 4.5 standard was presented as a mapping using QGIS. Although this study applied the scenario in which greenhouse gas reduction was carried out, additional research needs to be conducted applying an RCP scenario in which greenhouse gas reduction is not performed.

(Key words: Abnormal climate, Damage, Machine learning, RCP 4.5, Whole crop corn)

I. 서론

최근 국내 축산농가에서 양질 풀사료 생산의 중요성이 높아지면서 건물수량(Dry matter yield; DMY)와 TDN (total digestible nutrients) 수량이 높고 기호성까지 높은 사일리지용 옥수수(whole crop corn; WCC; *Zea Mays* L.)의 재배 필요성이 제기되고 있다 (Kim et al., 2020). 그러나 최근 이상고온, 이상저온 및 이상다우 등과 같은 이상기상이 빈번해 짐에 따라(Shim et al., 2018) 안정적인 WCC 재배가 어려워지고 있다.

이상기상에 따른 WCC의 피해량 산출연구는 Jo et al.(2021) 및 Kim et al. (2022a)이 기계학습모델에 World Meteorological

Organization(WMO)기준을 적용하여 수행하였다. 기존의 WMO 방식을 적용한 이상기상의 조건은 산술적으로 변동값(기온 및 강수량의 표준편차± 2배)을 이용한 것이다. 이 방법은 실제 기상변화를 반영하기 보다는 단순히 기상의 극단값을 만드는 것이므로 현재 기상에서 나오기 어려운 비현실적인 이상기상 데이터가 생성될 수 있는 한계를 가지고 있다. 이를 해결하기 위한 방법은 이상기상 피해량 산정 연구를 수행하는데 있어서 실제로 발생할 수 있는 이상기상을 적용할 필요가 있다. 이는 Kim et al. (2022a)는 이상기상 연구 시 WMO 방법을 비교·평가하기 위해 다른 방법을 설정할 필요하다는 것과 같은 맥락이었다.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제시

[†]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, E-mail: kisung@kangwon.ac.kr

한 대표농도경로(representative concentration pathway, RCP)는 온실가스 배출량의 저감 정도에 따른 기후변화 시나리오로 2.6(지구자정 가능), 4.5, 6.5 및 8.5(온실가스 저감정책 없음)로 4가지 시나리오가 있다(NIMR, 2011). RCP 기후변화 시나리오(RCP 시나리오)는 변화하고 있는 온실가스를 고려하기 때문에 WMO 방식보다는 이상기상을 반영할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 NIHHS(2014)에서 제시한 RCP 시나리오는 각 지역의 월별 평균 기온 및 강수량 데이터를 제시하고 있어 WMO의 방법보다 이상기상에 따른 피해량을 보다 세밀하게 분석할 수 있을 것으로 생각된다.

따라서 본 실험은 RCP 시나리오를 고려한 이상기상을 적용한 WCC 피해량을 제시하기 위해서 기계학습모델을 이용하였으며, 예측된 피해량을 전자지도로 제시하였다. 본 연구에 적용한 RCP 시나리오는 온실가스저감 정책이 진행된 RCP 4.5 시나리오를 고려하였다.

II. 재료 및 방법

1. 데이터 수집 및 가공

WCC의 데이터 수집은 1978년부터 2017년까지였으며 수집된 WCC 데이터는 농협중앙회의 목초 및 사료작물 품종수입적응성 시험인증품종자료(n=1,219), 국립축산과학원 시험연구보고서(n=1,294), 한국축산학회지(n=8), 한국초지조사료학회지(n=707) 및 학위논문(n=4)에서 총 3,232점을 수집하였다. 수집한 항목은 재배지역, 파종일, 수확일 및 DMY 등을 포함하고 있다. 본 연구에 이용한 기상 데이터는 기상청의 기상자료개방포털(KMA, Weather Data Service-Open MET data portal)에서 우리나라 전체 중관기상대(automated synoptic observing system; ASOS, 102개소)의 데이터를 수집하였다(Table 1). 기상데이터의 수집은 WCC의 데이터가 존재하는 지점의 1978년부터 2017년까지의

Table 1. Mean temperature, precipitation, and wind speed by region under normal climate data per hour for experimental period (1978-2107)

Location	Temperature (°C)		Precipitation (mm)	
	Mean	SD*	Mean	SD
Andong	19.30	0.61	0.22	0.06
Baengnyeongdo	17.65	0.58	0.27	0.09
Boeun	18.26	0.89	0.19	0.06
Bonghwa	17.09	0.63	0.19	0.05
Boryeong	19.24	0.66	0.18	0.03
Boseong-gun	20.59	0.35	0.21	0.05
Buan	19.44	0.76	0.21	0.06
Busan	20.39	0.63	0.23	0.06
Buyeo	19.48	0.65	0.21	0.05
Changwon	20.89	0.52	0.19	0.06
Cheomchalsan mountain	17.97	0.41	0.24	0.06
Cheonan	19.20	0.65	0.23	0.06
Cheongju	20.10	0.74	0.22	0.06
Cheongsong-gun	18.23	0.37	0.23	0.06
Cheorwon	18.14	0.54	0.26	0.07
Chuncheon	19.01	0.65	0.22	0.05
Chungju	19.14	0.89	0.24	0.06
Chupungryeong	18.69	0.53	0.23	0.06
Daegu	21.02	0.64	0.23	0.07
Daegwallyeong	13.92	0.74	0.30	0.09
Daejeon	20.05	0.63	0.22	0.06
Dongducheon	19.05	0.60	0.21	0.05
Donghae	18.64	0.92	0.30	0.08
Ganghwa	18.40	0.55	0.21	0.06
Gangneung-si	19.54	0.66	0.23	0.06
Geochang	18.58	0.79	0.26	0.08
Geoje	20.11	0.81	0.23	0.06
Geumsan	18.95	0.65	0.21	0.05
Gimhae-si	21.54	0.42	0.25	0.07
Gochang	20.02	0.52	0.25	0.08

Damage of Whole Crop Corn by Abnormal Climate as RCP 4.5

Table 1. Continued

Location	Temperature (°C)		Precipitation (mm)	
	Mean	SD*	Mean	SD
Gochang-gun	20.50	0.34	0.24	0.06
Goheung	19.86	0.73	0.19	0.05
Gosan	20.53	0.50	0.22	0.06
Gumi	19.55	1.10	0.17	0.04
Gunsan	19.65	0.59	0.18	0.05
Gwangju	20.61	0.65	0.21	0.05
Gwangyang	21.36	0.28	0.20	0.05
Gyeongju-si	19.87	0.62	0.19	0.05
Haenam	19.79	0.58	0.18	0.04
Hamyang-gun	19.52	0.42	0.17	0.05
Hapcheon	19.80	0.84	0.22	0.06
heuksando	18.66	0.42	0.18	0.04
Hongcheon	18.32	1.10	0.17	0.06
Icheon	19.18	0.99	0.17	0.05
Imsil	18.24	0.73	0.17	0.05
Incheon	19.25	0.69	0.15	0.02
Inje	17.64	0.87	0.18	0.06
Jangheung	19.52	0.82	0.22	0.06
jangsu	17.64	0.60	0.18	0.04
Jecheon	17.79	1.05	0.23	0.06
Jeju	21.07	0.71	0.25	0.07
Jeongeup	20.10	0.67	0.24	0.07
Jeongseon-gun	18.11	0.53	0.21	0.06
Jeonju	20.41	0.63	0.22	0.06
Jindo-gun	20.34	0.58	0.13	0.04
Jinju	20.03	0.50	0.20	0.06
Juam	19.34	0.76	0.24	0.07
Miryang	19.99	0.97	0.24	0.06
Mokpo	20.16	0.54	0.18	0.05
Mungyeong	18.83	0.85	0.24	0.04
Namhae	20.24	0.92	0.26	0.08
Namwon	19.46	0.79	0.24	0.06
North Changwon	20.81	0.43	0.19	0.04
North Gangneung	19.11	0.52	0.24	0.07
Paju	18.82	0.62	0.24	0.07
Pohang	20.43	0.75	0.26	0.06
Samcheok	18.36	0.94	0.18	0.04
Sancheong	19.46	0.78	0.24	0.06
Sangju	19.67	0.59	0.21	0.06
Seogwipo	21.57	0.64	0.18	0.04
Seongsan	20.54	1.00	0.19	0.03
Seongsanpo	20.46	0.91	0.20	0.05
seosan	19.03	0.53	0.20	0.06
Seoul	20.02	0.69	0.22	0.06
Sokcho	18.43	0.71	0.20	0.05
Sunchang-gun	19.88	0.35	0.23	0.04
Suncheon	19.58	0.55	0.22	0.06
Suwon	19.58	0.79	0.24	0.06
Taebaek	15.66	0.78	0.21	0.05
Tongyeong	20.22	0.52	0.21	0.05

Table 1. Continued

Location	Temperature (°C)		Precipitation (mm)	
	Mean	SD*	Mean	SD
Uiryeong-gun	19.74	0.72	0.17	0.05
Uiseong	18.83	0.84	0.30	0.08
Uljin	18.39	0.64	0.29	0.07
Ulleungdo	18.11	0.65	0.29	0.08
Ulsan	20.31	0.60	0.22	0.07
Wando	20.07	0.60	0.21	0.05
Wonju	19.14	0.94	0.20	0.05
Yangpyeong	19.00	0.93	0.22	0.05
Yongsan-si	21.21	0.47	0.21	0.06
Yeongcheon	19.35	0.86	0.21	0.05
Yeongdeok	19.00	0.82	0.22	0.06
Yeonggwang-gun	19.96	0.34	0.28	0.32
Yeongju	18.59	0.63	0.21	0.05
Yeongwol	18.57	0.61	0.23	0.21
Yeosu	20.27	0.54	0.21	0.05

*SD : Standard deviation.

40년 간의 자료이며, 매년 1월부터 12월까지 시간단위로 수집하였다. 수량예측모델 구축을 위해서 사용한 기상데이터는 전체 102개 종관기상대 데이터 중 시간단위 데이터가 존재하지 않는 2개 기상대(대구(기) 및 강진군)와 1978년부터 2017년까지의 연도별 데이터가 5개 이하인 5개 기상대(관악산, 무안, 북춘천, 세종 및 홍성)를 제외한 95개 기상대 데이터를 사용하였다. WCC 재배지역 중 종관기상대가 없는 광산, 광주, 김제, 군위, 경산, 당진, 서천, 성주, 성환, 아산, 안성, 이리, 의정부, 여주, 영암, 유성, 진부, 칠곡, 평창 및 화성 총 20개 지점은 가장 가까운 종관기상대의 데이터를 적용하였다(Table 2).

RCP 4.5 데이터는 농촌진흥청의 국립원예특작과학원에서 발행한 기후변화 시나리오-시군별 농업용 미래상세기후정보(NIHHS, 2014)에서 수집하였다. 한편 RCP 4.5 데이터에서는 광역시 단위

의 자료는 제공하지 않아 9개 지역의 데이터를 사용하지 못하여 총 86개 지역의 자료를 이용하였다. RCP 4.5 데이터의 조사항목은 시군별 월평균기온, 최고기온, 최저기온 및 월강수량을 수집하였다. 월평균온도와 월강수량은 ASOS의 기상데이터에서 시간단위 데이터를 수집하였으나 RCP 4.5 데이터는 월평균온도와 월강수량을 제공하고 있다. 그러므로 RCP 4.5 데이터는 기상 데이터와 온도 및 강수량 단위를 매칭하기 위해 월평균온도와 월강수량을 시간단위로 환산하는 과정을 거쳤다.

기상 데이터는 WCC의 생육기간을 고려하여 4월 1일부터 10월 31일까지 이용하였다. 본 연구에 사용한 기상요인은 기온 및 강수량이었다. 기상요인의 결측값은 해당 시간의 전·후 시간 측정값의 평균을 입력하는 것으로 보완하였다.

Table 2. Climate data used under the non-existing automated synoptic observing system

Location of non-existing ASOS*	Applied ASOS*	Location 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	Seoul	Uijeongbu	Seoul
Gwangsan	Gwangju Metropolitan City	Yeoju	Icheon
Gyeongsan	Daegu	Yeongam	Haenam
Hwaseong	Suwon	Yuseong	Daejeon

*ASOS : Automated Synoptic Observing System.

2. 수량예측모델 제작

수량예측모델은 수집 후 가공한 WCC 및 기상 데이터를 기반으로 기계학습을 통해 제작되었다. 수량예측모델은 WCC의 생육 기간 및 재배지역에 따른 기상 조건의 DMY를 학습하였으며 특정 기상 조건 하에서 DMY 예측값을 산출하였다. 수량예측모델 제작에 이용한 기계학습 기법은 Linear, Factorization Model (FM), Deep, DeepCrossing, Wide&Deep, DeepFM, Compressed Interaction Network (CIN) 및 xDeepFM으로 총 8가지였다. 본 연구에서 피해량 산출을 위하여 기계학습 기법으로 제작된 수량예측모델의 선정은 R² (coefficient of determination)값이 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 RCP 4.5 시나리오에서 제시한 지역별 기상자료를 이용하였다. 기계학습을 통한 수량예측모델 제작에 사용한 프로그램은 Python 및 Tensorflow였다.

3. 이상기상 피해량 산정

지점별 정상기상은 WCC 데이터 수집 연도(1978~2017년)에 해당하는 연도별 기상 데이터의 평균(40년 평균)으로 설정하였다. 이상기상은 각 지점의 정상기상에서 기상요인(시간당 평균기온 및 강수량)에 변동을 주는 것으로 설정하였다. 이상기상의 변동값은 IPCC의 RCP 4.5 시나리오를 적용하여 2050년과 2100년의 미래기상과 2020년 현재 기상 간의 차이로 정하였다.

$$\text{Abnormal climate} = \text{Normal climate} + \text{Variation}$$

여기서, Variation은 2050 및 2100년의 기상자료에서 2020년의 기상자료를 뺀 값이다.

이상기상에 따른 DMY 피해량(Damage)은 종관기상대 지점별 정상기상 및 이상기상을 이용하여 수량예측모델로 정상기상의 DMY 예측값(DMY_{normal})과 이상기상의 DMY 예측값(DMY_{abnormal}) 간 차이를 통해 산출하였다. 피해량 산출 과정은 아래의 식과 같다.

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

4. 이상기상 피해량 전자지도 제시

이상기상 피해량 전자지도는 QGIS (quantum geographic information system)를 이용하여 작성하였으며 종관기상대가 설치된 지역을 행정구역 별로 나누어 제시하였다. 피해량 산정 지점 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. 전자지도에서 제외된 지역은 RCP 4.5 시나리오에서 제시한 지역명과 동일하지 않아 제외된 곳이다. 따라서 최종적으로 이상기상 피해량 전자지도를 작성한 지역은 78 지역이었다.

피해량은 수준에 따라 5계급으로 나누었으며, 피해량이 많을 수록 짙은 색으로 나타내었다. 전자지도에 나타낼 WCC 피해량의 계급은 -5 미만~-3 이상, -3 미만~-1 이상, -1 미만~1 이상, 1 미만~3 이상 및 3 미만~5 이상 %로 나누어 작성하였다.

III. 결과 및 고찰

1. RCP 4.5 시나리오에 따른 WCC의 DMY 예측값

8가지 기계학습 기법에 따른 WCC 수량예측모델의 R² 및 RMSE값은 각각 0.4534~0.5442 및 0.1769~0.1938 범위였다 (Table 3). 본 연구에서 기계학습을 통한 WCC의 수량예측모델은 R²값이 0.5442로 가장 높고 RMSE값이 0.1769로 가장 낮은

Table 3. R² and root mean square deviation of whole crop corn yield prediction model by machine learning technique

Machine learning techniques	R ²	RMSE*
Linear	0.4534	0.1938
Factorization model	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
Compressed interaction network	0.5121	0.1831
xDeepFM	0.5254	0.1805

*RMSE : Root mean square deviation.

DeepCrossing을 선정하였다. DeepCrossing을 통한 수량예측모델로 산출한 정상기상에서 WCC의 DMY_{normal}은 지점에 따라 차이가 있었으며, 13,845~19,347 (평균 16,492 kg/ha) kg/ha 범위였다(Table 4).

DeepCrossing을 통한 수량예측모델로 산정한 이상기온 2050년과 2100년에서 WCC의 DMY_{abnormal}은 지점과 수준에 따라 차이가 있었으며 각각 13,974~19,528 (평균 16,583 kg/ha) 및 14,208~19,776 (16,809 kg/ha) kg/ha 범위였다. 이상기온과 마찬가지로 이상강수량 2050년과 2100년에서 WCC의 DMY_{abnormal}은 각각 13,849~19,356 (평균 16,470 kg/ha) 및 13,843~19,349 (평균 16,464 kg/ha) kg/ha의 범위였다.

2. RCP 4.5 시나리오에 따른 WCC의 피해량

2050년 및 2100년의 이상기온에 따른 WCC의 피해량은 각각 -263~360 및 -1,023~92 kg/ha 범위였다(Table 5). 이상기온에 따른 최대피해량은 2050 및 2100년 모두 삼척지점이었으며, 오히려 DMY가 최대로 증가한 지점은 2050년과 2100년 각각 제천과 철원지점으로 나타났다. 이상기온으로 인해서 기온이 증가함에 따라 WCC의 피해량이 발생하지 않고 DMY가 증가하는 것으로 나타났다.

한편 2050년 및 2100년의 이상강수량에 따른 WCC의 피해량은 각각 -17~2 및 -12~2 kg/ha 범위였다(Table 6). 이상강수량은

Table 4. Predicted dry matter yield of whole crop corn by normal climate

Location	DMY*	Location	DMY	Location	DMY
	kg/ha		kg/ha		kg/ha
Andong	17,541	Gunsan	17,558	Pohang	16,799
Boeun	15,950	Gwangyang	15,415	Samcheok	15,069
Bonghwa	16,802	Gyeongju-si	16,814	Sancheong	16,405
Boryeong	14,383	Haenam	15,105	Sangju	17,566
Boseong-gun	17,088	Hamyang-gun	14,797	Seogwipo	16,889
Buan	14,861	Hapcheon	15,158	Seongsan	17,468
Buyeo	15,076	heuksando	17,897	Seongsanpo	17,442
Changwon	15,190	Hongcheon	16,750	seosan	14,706
Cheomchalsan mountain	18,027	Icheon	16,590	Sokcho	16,826
Cheonan	16,480	Imsil	15,684	Sunchang-gun	17,882
Cheongju	19,347	Inje	16,678	Suncheon	16,251
Cheongsong-gun	16,217	Jangheung	16,115	Suwon	17,181
Cheorwon	17,114	Jangsu	16,079	Taebaek	16,091
Chuncheon	17,828	Jecheon	15,205	Tongyeong	15,187
Chungju	17,450	Jeju	15,154	Uiryeong-gun	13,845
Chupungryeong	15,782	Jeongeup	16,033	Uiseong	15,587
Daegwallyeong	17,543	Jeongseon-gun	17,329	Uljin	17,887
Dongducheon	17,035	Jeonju	17,761	Ulleungdo	16,637
Donghae	15,780	Jindo-gun	15,601	Wando	16,320
Gangneung-si	17,751	Jinju	15,893	Wonju	16,946
Geochang	16,947	Juam	16,469	Yangpyeong	16,209
Geoje	15,079	Miryang	16,283	Yongsan-si	14,955
Geumsan	17,056	Mokpo	17,882	Yeongcheon	16,136
Gimhae-si	17,931	Mungyeong	16,983	Yeongdeok	14,617
Gochang	16,090	Namhae	17,575	Yeonggwang-gun	15,377
Gochang-gun	16,560	Namwon	16,494	Yeongju	17,080
Goheung	14,500	North Changwon	18,292	Yeongwol	17,470
Gosan	17,811	North Gangneung	16,835	Yeosu	15,353
Gumi	18,853	Paju	15,003	Mean	16,461

*DMY : Dry matter yield

Damage of Whole Crop Corn by Abnormal Climate as RCP 4.5

Table 5. Calculated damage of whole crop corn by abnormal temperature as RCP 4.5

Location	2050 year	2100 year	Location	2050 year	2100 year
	----- kg/ha -----			----- kg/ha -----	
Andong	-134	-390	Jeju	-160	-312
Boeun	-150	-401	Jeongeup	-180	-425
Bonghwa	-155	-392	Jeongseon-gun	-127	-370
Boryeong	-123	-362	Jeonju	-199	-382
Boseong-gun	-113	-298	Jindo-gun	-144	-371
Buan	-185	-423	Jinju	-123	-346
Buyeo	-162	-436	Juam	-146	-435
Changwon	-115	-337	Miryang	-128	-346
Cheomchalsan mountain	24	42	Mokpo	-114	-194
Cheonan	-145	-427	Mungyeong	-152	-429
Cheongju	-181	-429	Namhae	-123	-338
Cheongsong-gun	-116	-334	Namwon	-171	-395
Cheorwon	-92	-1,023	North Changwon	-127	-341
Chuncheon	-109	-423	North Gangneung	-138	-427
Chungju	-147	-436	Paju	-109	-388
Chupungryeong	-136	-358	Pohang	-95	-285
Daegwallyeong	-51	-117	Samcheok	360	92
Dongducheon	-112	-427	Sancheong	-129	-355
Donghae	-143	-383	Sangju	-153	-396
Gangneung-si	-129	-357	Seogwipo	-161	-334
Geochang	-138	-375	Seongsan	-147	-312
Geoje	-127	-357	Seongsanpo	4	25
Geumsan	-158	-400	Seosan	-136	-384
Gimhae-si	-110	-289	Sokcho	-78	-347
Gochang	-143	-359	Sunchang-gun	-160	-395
Gochang-gun	-150	-375	Suncheon	-132	-323
Goheung	-148	-378	Suwon	-150	-426
Gosan	-41	-92	Taebaek	-65	-230
Gumi	-147	-372	Tongyeong	-100	-323
Gunsan	-114	-289	Uiryeong-gun	-129	-363
Gwangyang	-118	-317	Uiseong	-141	-410
Gyeongju-si	-118	-345	Uljin	-116	-292
Haenam	-144	-375	Ulleungdo	-23	-115
Hamyang-gun	-135	-312	Wando	-130	-316
Hapcheon	-130	-362	Wonju	-132	-414
heuksando	-60	-144	Yangpyeong	-135	-449
Hongcheon	-118	-420	Yongsan-si	-105	-298
Icheon	-129	-419	Yeongcheon	-122	-358
Imsil	-157	-377	Yeongdeok	-109	-374
Inje	-101	-399	Yeonggwang-gun	-141	-353
Jangheung	-174	-398	Yeongju	-158	-412
Jangsu	-163	-365	Yeongwol	-133	-391
Jecheon	-263	-477	Yeosu	-51	-151

Damage of Whole Crop Corn by Abnormal Climate as RCP 4.5

Table 6. Calculated damage of whole crop corn by abnormal precipitation as RCP 4.5

Location	2050 year	2100 year	Location	2050 year	2100 year
	----- kg/ha -----			----- kg/ha -----	
Andong	-7	0	Jeju	-4	-1
Boeun	-14	-3	Jeongeup	-11	-5
Bonghwa	-10	-2	Jeongseon-gun	-11	-2
Boryeong	-9	-3	Jeonju	-8	-4
Boseong-gun	-8	-1	Jindo-gun	-6	2
Buan	-8	-3	Jinju	-7	0
Buyeo	-12	-5	Juam	-8	-4
Changwon	-6	1	Miryang	-17	-12
Cheomchalsan mountain	-11	-2	Mokpo	-9	0
Cheonan	-7	-2	Mungyeong	-9	-3
Cheongju	-9	-2	Namhae	-7	0
Cheongsong-gun	-6	-2	Namwon	-11	-7
Cheorwon	-10	-5	North Changwon	-6	0
Chuncheon	-13	-6	North Gangneung	-4	-2
Chungju	-9	-2	Paju	-8	-5
Chupungryeong	-8	-2	Pohang	-3	-2
Daegwallyeong	-11	-5	Samcheok	-2	0
Dongducheon	-9	-6	Sancheong	-8	-2
Donghae	-4	0	Sangju	-9	-1
Gangneung-si	-4	-2	Seogwipo	-4	-1
Geochang	-11	-5	Seongsan	-4	-2
Geoje	-6	0	Seongsanpo	-4	-2
Geumsan	-12	-3	Seosan	-10	-4
Gimhae-si	-6	0	Sokcho	-11	-5
Gochang	-10	-2	Sunchang-gun	-9	-4
Gochang-gun	-7	-1	Suncheon	-8	-1
Goheung	-9	-1	Suwon	-7	-4
Gosan	-5	-3	Taebaek	-12	-6
Gumi	-6	-2	Tongyeong	-7	1
Gunsan	-11	-4	Uiryong-gun	-4	2
Gwangyang	-10	-2	Uiseong	-6	-1
Gyeongju-si	-4	-1	Uljin	-5	0
Haenam	-6	1	Ulleungdo	-3	1
Hamyang-gun	-11	-4	Wando	-7	-1
Hapcheon	-7	0	Wonju	-10	-3
heuksando	-10	-1	Yangpyeong	-9	-5
Hongcheon	-12	-6	Yangsan-si	-5	0
Icheon	-11	-3	Yeongcheon	-4	0
Imsil	-13	-7	Yeongdeok	-3	0
Inje	-9	-4	Yeonggwang-gun	-9	-2
Jangheung	-8	-1	Yeongju	-7	-3
Jangsu	-17	-9	Yeongwol	-11	-3
Jecheon	-13	-3	Yeosu	-9	-2

2050년에서 모두 DMY가 증가하는 것으로 나타났으며 2100년에는 일부 지점(의령, 울릉도, 진도, 창원, 통영, 해남)에서 피해량이 나타났으나 나머지 지점은 DMY가 증가하였다.

또한 이상기상에 따른 최대 피해량은 이상기온 2050년도의 삼척지역이 360 kg/ha 이었다. 이 피해량의 비율은 삼척지점의 DMY_{normal} (15,069 kg/ha)의 2.4 %에 해당하였다. 이 비율은 타 연구의 이상기상에 따른 피해량에 비해 적은 수준이다(Kim et al., 2019; Kim and Sung, 2021; Kim et al., 2022b).

사일리지용 옥수수는 이상기상 실태조사의 세부기준 및 기후변화 영향 취약성 평가 기준을 설정에 관한 내용은 전무하였다(Park and Chung, 2015). 본 연구의 결과는 사일리지용 옥수수의 이상기상 실태조사의 세부기준 및 기후변화 영향 취약성 평가 기준설정 시 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

3. RCP 4.5 시나리오에 따른 WCC의 피해량 전자지도

전자지도는 WCC의 DMY_{normal} (Fig. 1)과 RCP 4.5 시나리오를 적용한 이상기상과 그 수준에 따른 피해량(Fig. 2)을 시각적으로 나타내기 위해 제시하였다. 각 지역의 기상요인별 WCC의 피

해량은 DMY_{normal} 에 대한 비율로 환산한 결과 WCC 피해량의 비율은 -5.98~2.39%의 범위에 있었다.

RCP 4.5 시나리오에 따른 WCC의 피해량은 이상기온 및 이상강수량 모두 지역과 이상기상에 따른 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 이상기상에 따른 WCC 피해량 전자지도는 수치화 되어 있는 피해량을 시각적으로 나타내어 User에게 WCC의 피해량을 효과적으로 제시할 수 있을 것으로 사료되었다.

따라서, 본 연구에서 DeepCrossing 기반의 수량예측모델로 산정한 RCP 4.5 시나리오에 따른 WCC의 최대 피해량의 360 kg/ha (2.39%, 2050년도 이상기온) 이었다. 또한 이상기온으로 기온이 증가함에 따라서 사일리지용 옥수수의 DMY는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 WCC의 피해량은 ASOS의 기상데이터가 있는 행정구역을 전자지도로 제시하였다.

추가적으로 본 연구에서 이상기상에 따른 WCC 피해량이 유의미한 피해 수준인지에 대한 검토가 요구된다. 또한 본 연구에서는 온실가스 배출량이 저감되었을 경우를 가정한 RCP 4.5 시나리오에서 수행하였다. 그러나 추가적으로 온실가스배출의 저감이 없는 경우를 산정한 수준(RCP 6.0 또는 8.5)을 고려한 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

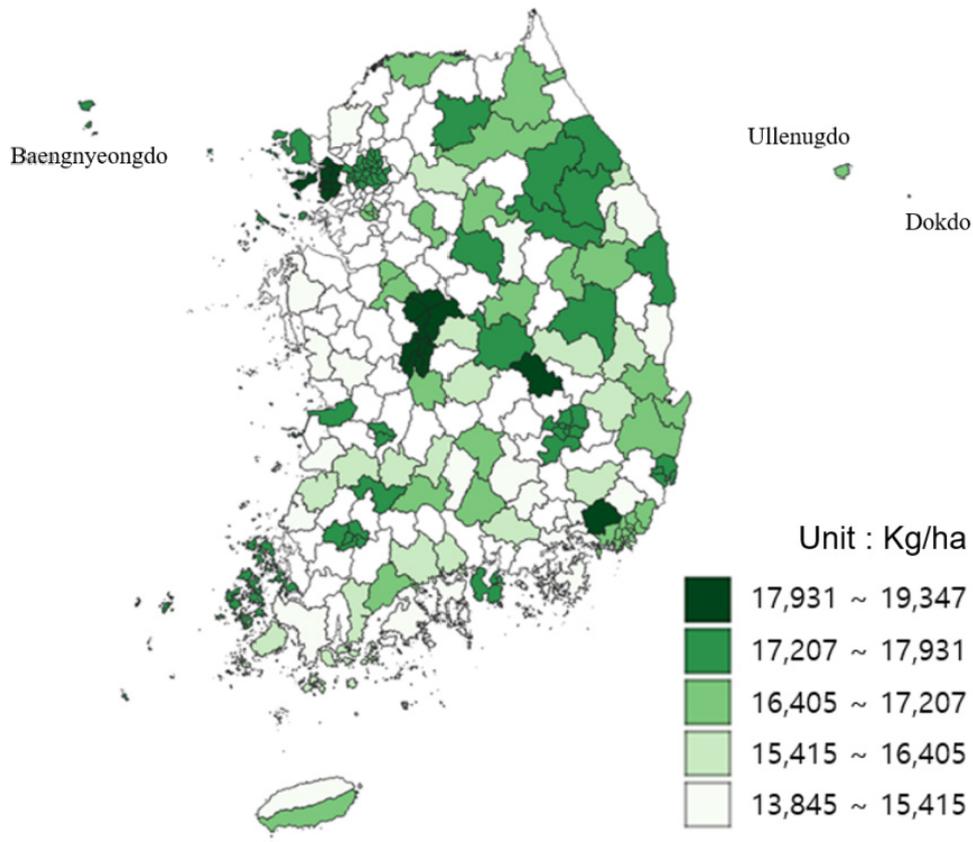


Fig. 1. Mapping on dry matter yield of whole crop corn under normal climate at 2020.

Damage of Whole Crop Corn by Abnormal Climate as RCP 4.5

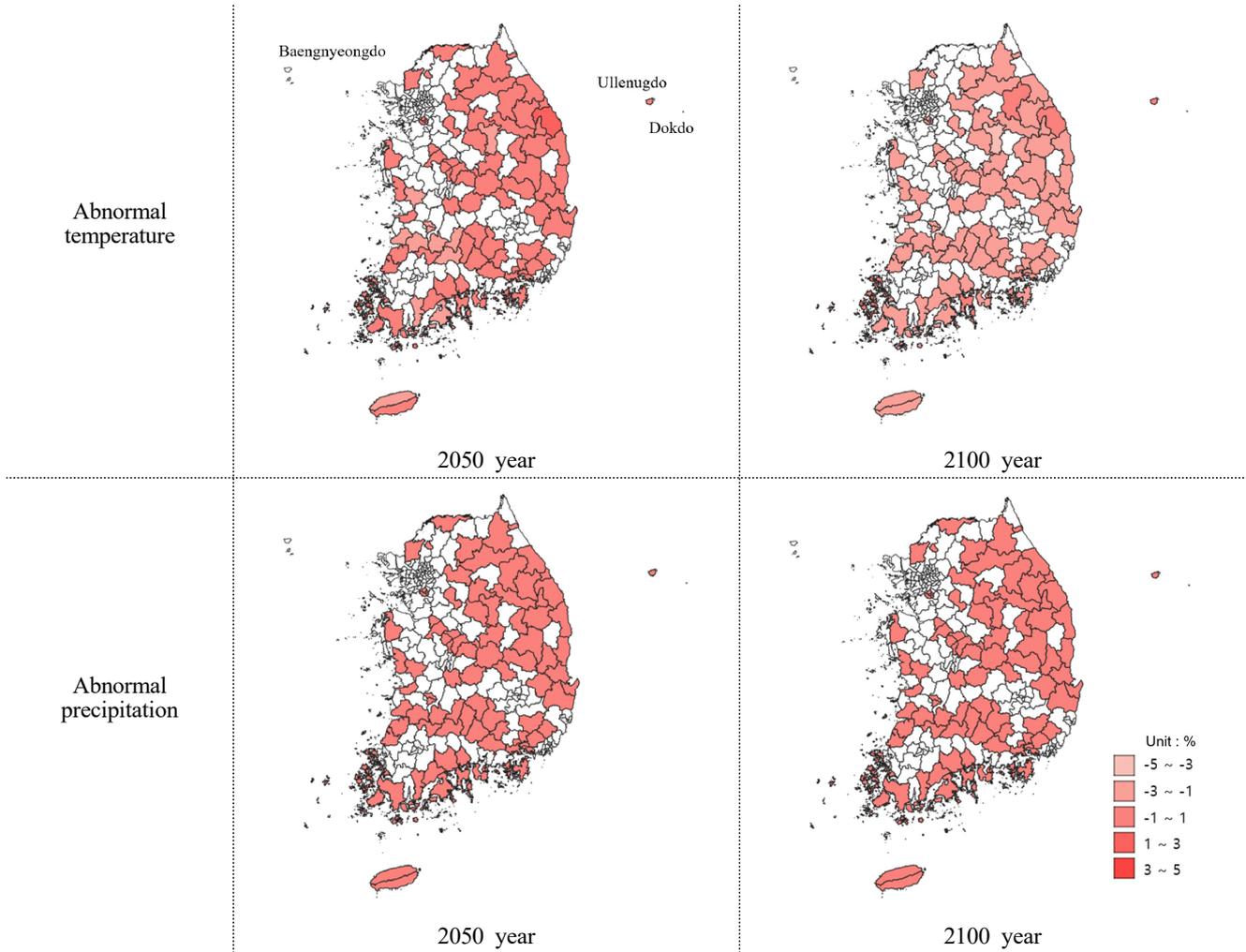


Fig. 2. Mapping on damage of whole crop corn under abnormal climate as RCP 4.5.

IV. 요약

본 연구는 기계학습을 기반으로 제작한 수량예측모델을 이용하여 PCR 4.5 시나리오에 따른 사일리지용 옥수수(WCC)의 피해량 산정 및 전자지도 작성할 목적으로 수행하였다. WCC 데이터는 수입적응성 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 WCC의 피해량은 RCP 4.5 시나리오에 따른 월평균기온 및 강수량을 시간단위로 환산하여 준용하여 산정하였다. 정상기상에서 DMY 예측값은 13,845~19,347 kg/ha 범위로 나타났다. 이상기상에 따른 피해량은 이상기온 2050 및 2100년 각각 -263~360 및 -1,023~92 kg/ha, 이상강수량 2050 및 2100년

각각 -17~2 및 -12~2 kg/ha였다. 월평균기온이 증가함에 따라서 WCC의 DMY는 증가하는 경향으로 나타났다. RCP 4.5 시나리오를 통해 산정한 WCC의 피해량은 QGIS를 이용하여 전자지도로 제시하였다. 본 연구는 온실가스 저감이 진행된 시나리오를 이용했지만, 추가 연구는 온실가스 저감이 되지 않은 RCP 시나리오를 이용한 연구를 수행할 필요가 있다.

V. 사사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업의 과제번호: PJ01499603의 지원에 의해 이루어졌습니다.

VI. REFERENCES

- 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, J.Y., Choi, J.S., Jo, H.W., Kim, M.J., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2022a. Damage of whole crop maize in abnormal climate using machine learning. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 42(2):127-136.
- Kim, M., Choi, J.S. and Sung, K.I. 2022b. Determination of the impacts of extreme weather affecting dry matter yield of Silage Maize (*Zea mays* L.) in Korea. *Annals of Animal Resource Sciences*. 33(4):140-150.
- Kim, M. 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, J.G., Li, Y.F., Wei, S.N., Jeong, E.C. and Kim, H.J. 2020. Comparison of the forage quality and productivity according to varieties and plant parts of imported silage corn (*Zea mays* L.). *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 40(2):98-105.
- 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. KMA weather data service-Open MET data portal. Korea Meteorological Administration. URL: <https://data.kma.go.kr/cmnm/main.do> (Accessed on 2021. 07. 01).
- NIHHS. 2014. Climate change scenario-Future climate information for agriculture by cities and counties. Rural Development Administration-National Institute of Horticultural and Herbal Science, Wanju-gun, Republic of Korea.
- NIMR. 2011. Report on climate change scenario for responding to the IPCC 5th assessment report. National Institute of Meteorological Sciences. Juju-do. Republic of Korea. pp. 3-16.
- 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 change in the frequency of occurrence of extreme weather events in South Korea. *Journal of Climate Change Research*. 9(4):461-470.

(Received : December 24, 2022 | Revised : March 10, 2023 | Accepted : March 13, 2023)