

## 미래 기후조건에서 지발성 냉해의 발생추세 전망

김대준\*, 이호승

경희대학교 식물환경신소재공학과

### An Outlook on the Occurrence of Chronic Chilling Injury under the Climate Condition Projected by the RCP Scenario

Daejun Kim\*, and Hoseung Lee

*Agricultural Climatology Lab, College of Life Sciences, Kyung Hee University, Yongin, Korea*

#### I. 서 언

장기간에 걸쳐 지속적으로 누적된 저온, 일조 부족 등이 작물의 생육과 품질에 영향을 미치는 재해를 지발성 재해(chronic damage)라고 한다. 예컨대 급발성 재해와 같이 최저기온이 작물에 직접적인 영향을 줄 수 있는 낮은 온도는 아니지만, 평년에 비해 낮은 온도가 한두 달 정도 지속이 된다면, 작물에 있어 생리장애가 발생할 수 있다. Kim *et al.*(2014)는 위험기상과 이에 노출된 작물사이 상호작용으로부터 발생할 수 있는 피해가능성을 ‘재해위험지수’로 정의하고 지발성 냉해(chronic chilling injury)에 대한 예측을 한 바 있다. 이에 따르면 과거 30년의 기후특성을 기반으로 평균과 표준편차의 정규분포로 만들고 이를 확률변수  $z$  값을 지수화 하여 상대적인 재해위험정도를 나타냈다. 본 연구에서는 지발성 냉해의 기준이 되는 적산온도 값을 이용하여, 미래기후변화시나리오 하에서 적산온도 값이 이동하는 경향을 분석하여, 냉해의 위험정도를 예측하고, 지리적 이동 경향 또한 분석하였다.

#### II. 재료 및 방법

과거 30년의 기후 특성을 이용하여 평균과 표준편차를 이용한 정규분포로 만들고, 특정년도의 기상조건이 이 평년의 평균 범위를 벗어난 정도에 따라 재해위험의 정도를 정규분포확률변수( $Z$ )로 부터 판정 할 수 있다. 지발성 냉해의 계산 방법은 Kim *et al.*(2014)이 이용한 방법을 사용하였으며, 다음과 같다.

$$DHC = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_b \quad (1)$$

$$\begin{cases} T_{\min} < T_b, T_{\min} = T_b \\ T_{\max} > 30, T_{\max} = 30 \\ T_{\max} < T_b, GDD = 0 \end{cases}$$

\* Correspondence to : djcoming@naver.com

장기간의 저온조건을 평가하기 위하여 적산온도(GDD, Growing Degree Days)를 이용하며, 작물 성장에 기여하는 하루단위의 열량(DHC, Daily heat contribution)은 일최고기온, 일최저기온, 그리고 생육임계온도(Tbase)를 이용하여 계산된다. 위의 식에서 작물생장의 비가역성을 반영하기 위하여, 일 최저기온이 생육임계온도보다 낮을 경우에는 일 최저기온이 생육임계온도(Tbase)로 대체되며, 30°C이상의 고온일 경우 호흡량이 증가하여 대계 성장량이 축적되지 않는 것을 감안하여 일최고기온은 30°C로 제한한다. 생육임계온도는 여름작물을 기준으로 10°C로 설정한다. 이렇게 계산된 일 DHC를 해당기간(4주, 8주)동안 누적하면 GDD가 된다(식(2)).

$$GDD = \sum(DHC) \quad (2)$$

또한 기후학적 평년(1981-2010)의 평균적인 GDD의 양상을 해당 지역의 기후특성으로 두고, 특정년도의 같은기간 동안의 GDD를 비교하여 평년대비 상대적인 냉해의 위험정도를 산출한다.

본 연구에서는 과거와 현재 뿐 아니라 미래의 냉해 위험 정도를 예측하기 위하여 기후변화 시나리오인 RCP (Representative Concentration Pathways) 8.5를 사용하였다. 격자단위(12.5km 해상도의 raster)의 최고기온, 최저기온에 해당되는 1951년 - 2100년의 일자료를 수집하여 사용하되, 계산은 30년 평년단위인 1981-2010, 미래평년인 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100년 4개 평년으로 분류하였다.

적산기간은 4주(28일)로 하였으며, 전국을 810개로 나눈 집수역 별로 계산하기 위하여, raster 파일을 ArcMap (Esri, Inc., USA)의 summarize 기능을 이용하여 추출하였다. 연별로 1월 1일 - 1월 28일 ((w04), 4주 적산)을 시작으로 51주차(w51)까지 GDD를 매년 계산하여, 전술한 30년 단위로 평균하였다.

### III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 각 평년단위로 4주단위의 적산온도(GDD)의 변동을 평균에 대한 표준편차, 즉 변이계수(coefficient of variation, CV)로 표현한 것이다. 전체적인 양상은 비슷한 것으로 나타났다. 계절 별로 이른 봄이 늦가을과 더불어 변이의 폭이 가장 크고, 상대적으로 여름철에는 변이의 폭이 적어 안정적임을 확인 할 수 있었다. 즉 변이가 큰 시기에는 상대적으로 평년에 비해 낮은 온도가 장기간 유지 될 가능성이 있어 지발성 냉해의 위험이 클 수 있다. 또한 같은 기간을 기준으로 적산온도 값은 미래로 갈수록 변이계수가 작아지는 양상을 보이고 있으나, 2011-2040 평년은 여름에 있어 다른 평년에 비해 변이계수가 큰 것으로 나타났다.

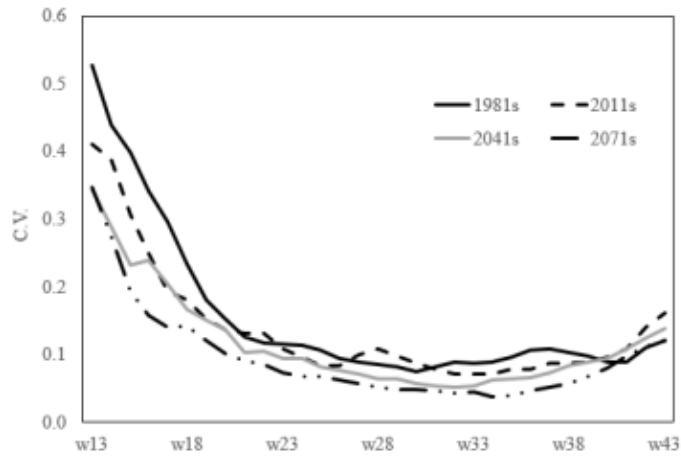


Fig. 1. 평년단위 별 4주간(28일) 적산온도(GDD, 기준온도 10°C)의 변이 계수(CV) 변화추이.

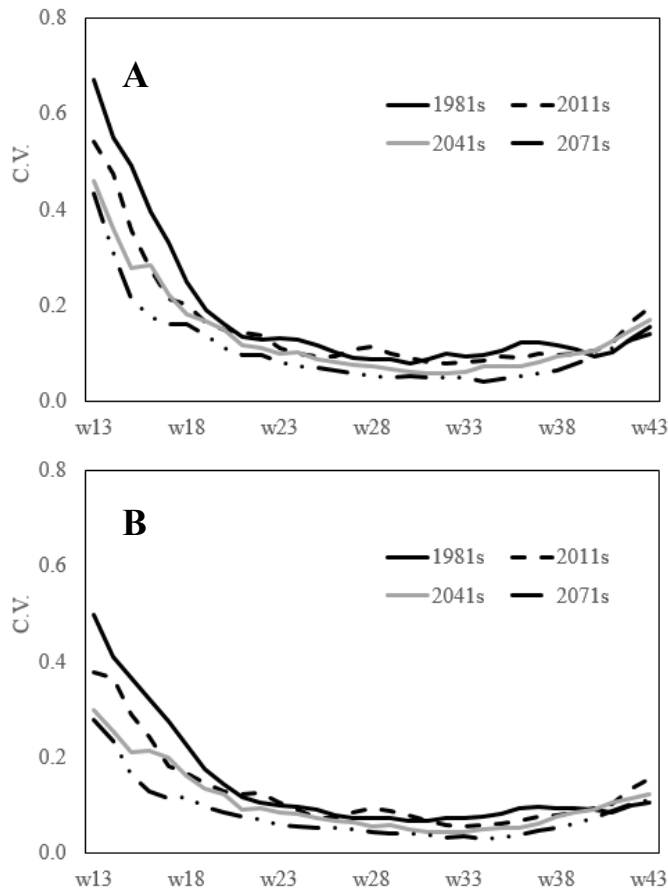


Fig. 2. 평년단위 권역별 4주간(28일) 적산온도(GDD, 기준온도 10°C)의 변이계수(CV) 변화 추이(A: 한강권역, B: 섬진강권역).

Fig. 2 는 집수역을 기준으로 권역을 나누어 변이계수를 나타낸 것이다. Fig. 2의 상단은 한강 권역(유역번호 1xxxxx), 하단은 섬진강권역(유역번호 4xxxxx)이다. 한강권역은 경기도와 강원도

전반에 걸친 지역이며, 섬진강권역은 전라남도 동부와 경상남도 서부가 포함된 지역이다. 전반인 추세는 한강권역과 섬진강유역이 비슷하지만, 이른 봄(w13-w20)에 있어 한강권역이 섬진강유역에 비해 변이의 폭이 훨씬 컸다. 한강권역을 제외한 다른 권역(낙동강유역, 금강유역, 영산강유역, 제주지역)은 큰 차이를 보이지 않았다.

또한 직전 평년값(평균, 표준편차, 예 2011-2040 년도는 1981-2011 평균 및 편차 적용)을 적용하여 지발성 냉해가 발생하는 집수역의 갯수를 계산해 본 것이 Table 1이다. 일반적으로 지구온난화로 인해 기온이 상승할 것으로 예상되며, 냉해의 위험 정도 또한 상대적으로 줄어들 것으로 예상되지만, 표에서 보듯, 이른 봄과 가을에 특히 2041-2070년대가 그 이전 평년에 비해 냉해발생이 예상되는 집수역의 수가 많을 것으로 예상되는 사례를 확인 할 수 있었다.

Table 1. 4주간(28일) 적산온도(GDD, 기준온도 10℃)기준, 지발성 냉해 발생 예상 집수역의 개수

	2011s	2041s	2071s		2011s	2041s	2071s
w13	3509	2351	2025	w29	3060	1405	812
w14	3535	3454	1417	w30	2995	975	1083
w15	2279	2673	1037	w31	2118	783	1500
w16	1899	2714	1285	w32	1485	875	928
w17	2368	2603	1049	w33	1883	692	1135
w18	2948	1583	1691	w34	1732	1354	516
w19	2592	1810	987	w35	2251	1233	417
w20	2101	2071	954	w36	1294	1140	440
w21	1206	2075	580	w37	1328	840	531
w22	1356	2623	410	w38	732	648	587
w23	1391	2817	366	w39	358	696	625
w24	1169	3004	360	w40	146	597	562
w25	1931	1183	567	w41	1081	1018	523
w26	1192	1135	882	w42	1319	1782	482
w27	2314	1125	678	w43	2574	1178	575
w28	2762	1557	721				

지발성 냉해의 계산 방식을 적용하여 z값이 0 이하인 개수를 집수역 단위로 count한 뒤 전체로 나누어, 전국의 각 평년 시간단위에서 냉해의 발생 확률을 그림으로 표현한 것이 Fig. 3이다. 2011-2040 년대에는 강원도 산간지역과 호남지역을 중심으로 10%를 상회하는 확률로 냉해발생 위험이 있으며, 상대적으로 해안지역과 영남지역은 발생확률이 낮았다. 2041-2070 년대에는 강원도 해안지역, 중부내륙지방을 중심으로 10% 이상의 확률로 냉해 위험이 나타났으며, 남부해안지방은 그 확률이 낮았다. 2071-2100년대는 전반적으로 냉해의 위험이 적으나, 산발적으로(경기, 경남 일부지역)에 20% 이상의 높은 확률로 냉해위험이 나타날 것으로 예상되었다.

이를 분석해보면, 2011-2040, 2041-2070년대의 경우 지역 간의 특성으로 인해 냉해의 발생확률이 나타났다면, 2071-2100년대의 경우 지역 간의 특성 보다는 기상이변의 영향으로 인해 국지적인 냉해의 발생패턴이 나타날 수 있음을 예상할 수 있다.

## 감사의 글

이 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ010007)에 의해 이루어진 것임.

## 인용문헌

Kim, S. O., D. K. Kim, and Y. J. Choi, 2014: Forecasting the likelihood of chronic chilling injury in crops based on daily temperature data. *Proceeding 15th Conference on Agricultural and Forest Meteorology*. Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology. 221-226.

Kim, J. H., and J. I. Yun, 2008: On mapping growing degree-days (GDD) from monthly digital climatic surfaces for South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**(1), 1-8.