

Short Communication

중국 동북지역에서 옥수수 유효적산온도의 시공간적 분포

정명표^{1*}, 박혜진², 심교문¹, 안중배²

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과

²부산대학교 자연과학대학 대기환경과학과

Temporal and Spatial Distribution of Growing Degree Days for Maize in Northeast District of China

Myung-Pyo Jung^{1*}, Hye-Jin Park², Kyo-Moon Shim¹ and Joong-Bae Ahn² (¹Climate Change & Agroecology Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, ²Division of Atmospheric Sciences, College of Natural Sciences, Pusan National University, Pusan 46241, Korea)

Received: 5 September 2016 / Revised: 14 October 2016 / Accepted: 26 October 2016

Copyright © 2015 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Myung-Pyo Jung

<http://orcid.org/0000-0002-6955-6010>

Hye-Jin Park

<http://orcid.org/0000-0002-2196-9262>

Kyo-Moon Shim

<http://orcid.org/0000-0003-1147-8088>

Joong-Bae Ahn

<http://orcid.org/0000-0001-6958-2801>

Abstract

BACKGROUND: The northeast district of China, especially Liaoning province, Jilin province, and Heilongjiang province, is one of the largest agricultural production regions in China. These regions play a significant role in ensuring food security. Accumulated temperature such as growing degree days (GDD) is an important environmental factor for plant growth and yield. Therefore, in this study, temporal and spatial distribution of GDD for maize was examined as a basis to estimate the growth and yield of maize in these regions.

METHODS AND RESULTS: Meteorological data produced by NASA (MERRA-2) was used to estimate GDD of maize at this study sites. The GDD was calculated from sowing (May 1) to harvesting (Sep. 30). The average GDD of this region between 2010 and 2015 was 1323.0°C

day (595.3–1838.9). The spatial distribution of GDD showed a similar pattern during the different years surveyed. Double cropping for maize could be in only Liaoning province, northwestern Jilin province, and western and eastern Heilongjiang province where the GDD was over 1600°C day. However, The GDD in eastern Heilongjiang province was varied by year.

CONCLUSION: The GDD of maize in northeast district of China was varied spatially, but similar among recent six years at the same region. This result can be used to predict growth stage and yield of maize at these regions.

Key words: Growing degree day, Maize, Northeast district of China

서론

기온은 농업 생산성에 영향을 미치는 중요한 기후요소 중 하나이다. 기온은 작물의 출현일, 개화일, 성숙일 등 작물의 생장과 생육에 중요한 역할을 한다(Iannucci *et al.*, 2008).

*Corresponding author: Myung-Pyo Jung
Phone: +82-63-238-2520; Fax: +82-63-238-3823;
E-mail: jung7504@korea.kr

각 작물은 생장이 멈추는 최저생육온도(base temperature)가 있으며, 한계온도 이상에서 대부분의 생물학적 반응 및 생장이 이루어진다(Sack and Kucharik, 2011). Reaumur이 1730년에 열수지의 개념을 처음으로 소개한 이후, 농업연구에서 열수지를 계산하기 위한 많은 방법이 제시되었다. 이 중 유효적산온도(growing degree days, GDD)는 최저생육온도 이상의 온도를 적산하여 계산한다. GDD는 작물생육기 동안 작물의 생장과 생육을 추정하는데 사용되며, 작물의 개화일, 성숙일, 수확일 등의 생물계절(phenology)을 판단하는데 사용될 수 있다.

중국 동북지대는 중국의 가장 넓은 식량작물 생산지역 중 한 지역으로, 이 지역에서는 주로 밀과 옥수수를 이모작의 작부형태로 재배하고 있다(Li and Wang, 2010; Liu *et al.*, 2010). 특히 옥수수는 중국 전체 재배면적의 약 80%, 전세계의 17%가 이 지역에서 재배되고 있으며, 중국 전체 옥수수 생산량의 82%, 전세계 옥수수 생산량의 15.2%를 차지하고 있다. 옥수수 대부분을 수입하는 국내 상황에서 이 지역의 옥수수 생산량은 국내 식량안보 차원에서 중요한 역할을 하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 중국 동북지역의 옥수수 작황을 추정하기 위한 기초자료를 확보하기 위해서 해당지역의 기후자료를 바탕으로 중국 동북지역의 옥수수 파종부터 수확기까지 GDD의 시간별 및 공간별 분포를 살펴보았다.

재료 및 방법

중국 동북평야지대의 옥수수 작물재배기간 동안의 GDD를 계산하기 위해 대상지역의 기온자료를 수집·분석하였다(Fig. 1). 기온자료는 미국 항공우주국(NASA)의 전 지구 모델링 및 동화 센터에서 개발한 MERRA-2(Modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2) 자료(<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/>)를 이용하였다. MERRA 자료는 Goddard 지구 관측 시스템(Goddard Earth Observing System, GEOS) 대기 모델과 자료 동화 기법을 통해 생산된 고해상도 전지구 재분석 자료이다(Rienecker *et al.*, 2011). MERRA-2 자료는 기존의 MERRA 자료에서 land surface mode를 업데이트한 자료로 0.625° 위도×0.5° 경도의 수평 해상도를 가지고 있다. 본 연구에서는 중국 동북지역의(Fig. 1) 2010년부터 2015년까지의 6년 동안의 기온 자료를 1시간 간격으로 수집하였으며, 이를 이용하여 일최고기온 및 일최저기온을 계산하였다.

중국 동북평야지대에서는 일반적으로 4월말에서 5월초에 옥수수를 파종하고 9월말에서 10월초에 수확을 하며, 대부분의 지역에서 Zhendan 958 품종을 사용한다(Hou *et al.*, 2014). Zhendan 958은 다수량, 고품질, 다중저항성 및 높은 적응성을 가진 품종으로 최근 중국 하이브리드 옥수수를 대표하고 있는 품종이다. 본 연구에서는 5월 1일을 옥수수 파종일로, 9월 30일을 수확기로 가정하여 이 기간 동안의 GDD를 계산하였다(Hou *et al.*, 2014). GDD는 식 1과 같이 정의

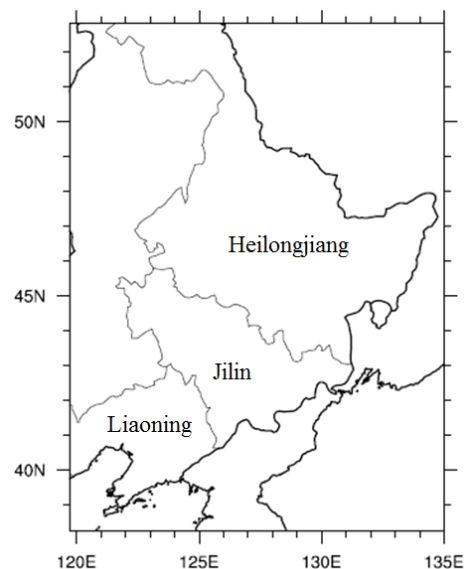


Fig. 1. The study site of Northeast district of China.

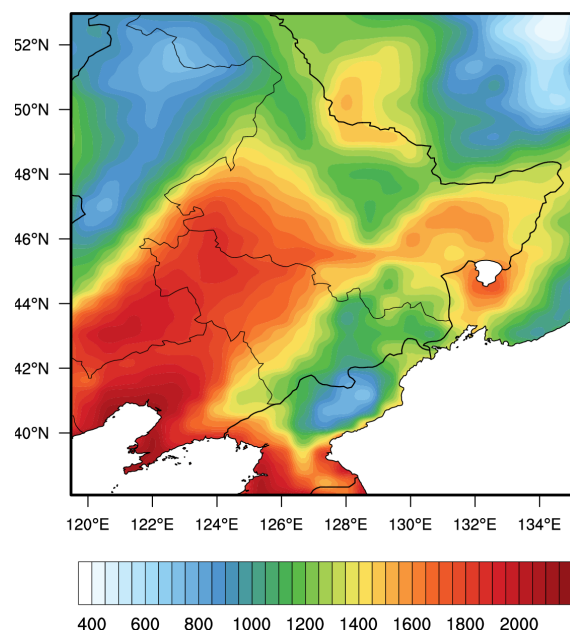


Fig. 2. Average GDD for maize from 2010 to 2015 in Northeast district of China.

하였다.

$$GDD = \sum_{i=0}^n \left[\left(\frac{T_{Max} + T_{Min}}{2} \right) - T_{base} \right] \quad (\text{식 1})$$

여기서 T_{Max} 는 일최고기온, T_{Min} 는 일최저기온이며, T_{base} 는 최저생육온도로 본 연구에서는 10°C로 설정하였다(McMaster and Wilhelm, 1997).

결과 및 고찰

중국 동북평야지대의 옥수수 파종 후 부터 수확기까지의

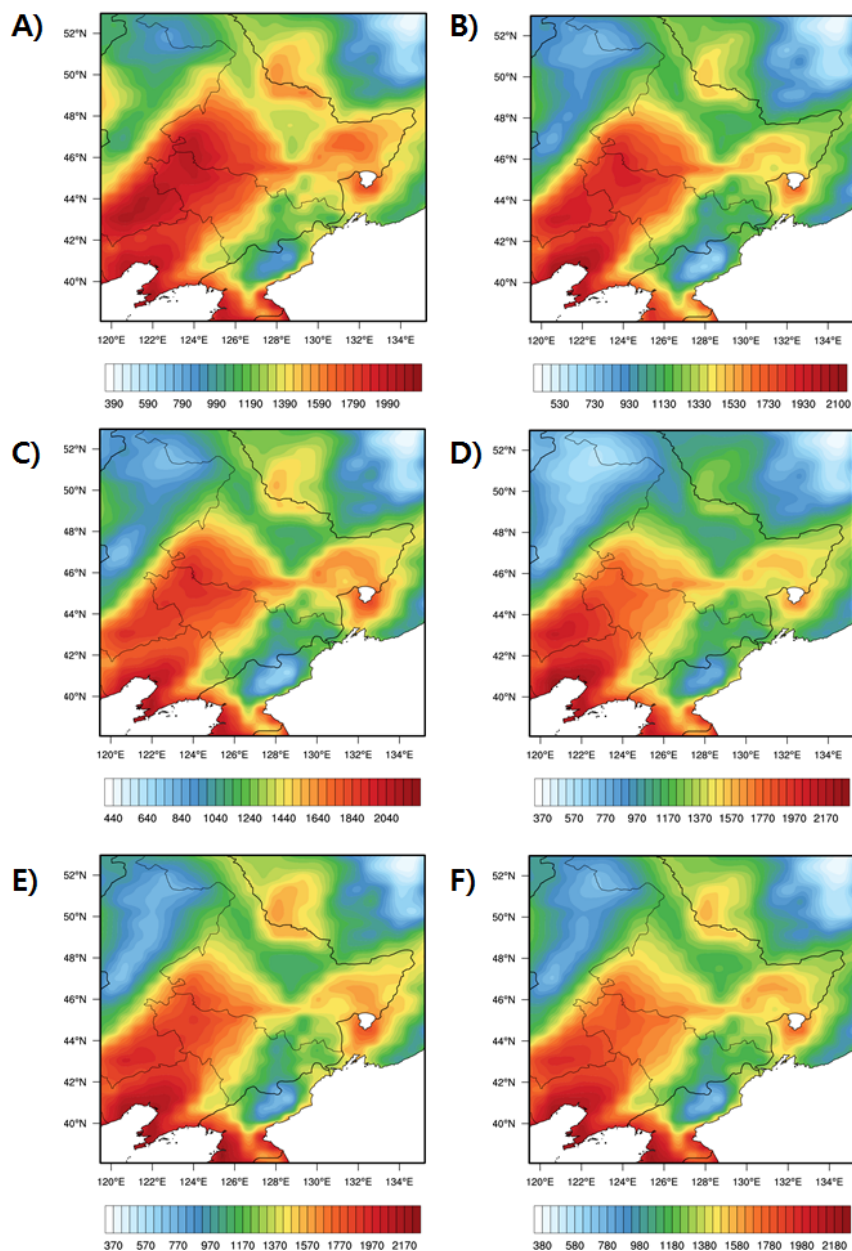


Fig. 3. Temporal and spatial distribution of GDD for maize in Northeast district of China (A: 2010, B: 2011, C: 2012, D: 2013, E: 2014, F: 2015). The number below each figure indicates GDD.

GDD는 평균 $1323.0^{\circ}\text{C day}$ 를 보였으며, 지역에 따라 약 $380\text{--}2200^{\circ}\text{C day}$ 의 분포를 보였다(Fig. 2). 중국 동북지역에서 옥수수 파종 후 성숙기까지의 GDD가 약 1600°C day 정도인 것을 고려할 때(Hou *et al.*, 2014), GDD가 1600°C day 를 상회하는 북위 47° 이하의 요녕성, 길림성 북서지역, 흑룡강성 서부 및 동부 일부지역만 이모작 작부체제에서 옥수수 재배가 가능할 것으로 분석된다.

중국 동북지역 전체에서 2010년의 GDD가 $1403.6^{\circ}\text{C day}(607.0\text{--}1899.8)$ 로 가장 높았으며, 2013년의 GDD가 $1260.8^{\circ}\text{C day}(558.6\text{--}1844.5)$ 로 가장 낮은 특징을 보였다. 하지만, 연도별로 옥수수 GDD의 공간적 분포 및 옥수수 이모

작 작부체제가 가능한 지역의 분포는 유사한 형태를 보였다(Fig. 3). 다만, 연길, 훈춘 등 흑룡강성 동부지역은 연도별로 옥수수 이모작 작부체제가 가능한 지역의 변이가 다른 지역에 비해 큰 특징을 보였다.

기온 뿐만 아니라 옥수수 싹 출현기의 토양수분(Hou *et al.*, 2014), 생육 전 기간의 일조시간(Liu *et al.*, 2013) 등과 같은 기후요소가 옥수수의 생육에 영향을 미치기 때문에, 중국 동북지역의 옥수수 생육을 기온만으로 정확히 평가하기는 힘들다. 하지만 GDD와 같은 기온에 기반한 지수들은 작물의 생육단계와 높은 상관관계를 보인다(Liu *et al.*, 2013),

Zhang 등(2013)은 DOY 105부터 DOY 273까지 중국

길림성의 GDD를 기상관측자료를 이용하여 800-1760°C day 정로로 계산하였으며, Hou 등(2014)은 중국 동북평야지대의 옥수수 재배기간 동안의 GDD를 1603°C day정도로 계산하였다. 이와 같은 결과는 본 연구의 GDD 결과값과 유사하였다. 따라서, 본 연구에서 구축한 중국 동북지역의 기온자료는 해당지역의 옥수수 작황 및 생육정도를 평가하는데 기초자료로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 원격탐사기반 농업연구, 농업기상재해 판단 등에도 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ009953)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Hou, P., Liu, Y., Xie, R., Ming, B., Ma, D., & Li, S. (2014). Temporal and spatial variation in accumulated temperature requirements of maize. *Field Crop Research*, 158, 55-64.
- Iannucci, A., Terribile, M. R., & Martiniello, P. (2008). Effects of temperature and photoperiod on flowering time of forage legumes in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 106(2), 156-162.
- Jung, M.-P., Hur, J., Park, H.-J., Shim, K.-M., & Ahn, J.-B. (2015). Classification of agro-climatic zones in Northeast district of China. *Korean Journal of Agricultural Forest Meteorology*, 17, 1-6.
- Li, S. K., & Wang, C. T. (2010). *Potential and Ways to High Yield in Maize [M]*. Science Press, China.
- Liu, Y., Wang, E. L., Yang, X. G., & Wang, J. (2010). Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s. *Global Change Biology*, 16(8), 2287-2299.
- Liu, Y., Xie, R., Hou, P., Li, S., Zhang, H., Ming, B., Long, H., & Liang, S. (2013). Phenological responses of maize to changes in environment when grown at different latitudes in China. *Field Crops Research*, 144, 192-199.
- McMaster, G. S., & Wilhelm, W. W. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural Forest Meteorology*, 87(4), 291-300.
- Rienecker, M. M., Suarez, M. J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., Liu, E., Bosilovich, M. G., Schubert, S. D., Takacs, L., Kim, G.-K., Bloom, S., Chen, J., Collins, D., Conaty, A., da Silva, A., Gu, W., Joiner, J., Koster, R. D., Lucchesi, R., Molod, A., Owens, T., Pawson, S., Pegion, P., Redder, C. R., Reichle, R., Robertson, F. R., Ruddick, A. G., Sienkiewicz, M., & Woollen, J. (2011). MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications. *Journal of Climate*, 24(14), 3624-3648.
- Sacks, W. J., & Kucharik, C. J. (2011). Crop management and phenology trends in the U.S. Corn Belt: impacts on yields, evapotranspiration and energy balance. *Agricultural Forest Meteorology*, 151(7), 882-894.
- Zhang, L. W., Huang, J. F., Guo, R. F., Li, X. X., Sun, W. B., & Wang, X. Z. (2013). Spatio-temporal reconstruction of air temperature maps and their application to estimate rice growing season heat accumulation using multi-temporal MODIS data. *Journal of Zhejiang University-Science B*, 14(2), 144-161.