

Article

최근 6년간 중국 동북지역의 농업기후지대별 농업기후지수의 분포

정명표*†, 박혜진**, 안중배**

*국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과, **부산대학교 대기과학과

Distribution of Agro-climatic Indices in Agro-climatic Zones of Northeast China Area between 2011 and 2016

Myung-Pyo Jung*†, Hye-Jin Park** and Joong-Bae Ahn**

*Climate Change & Agroecology Division, Department of National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration

**Division of Earth Environment Systems, Pusan National University

Abstract : This study was conducted to compare three agro-climatic indices among 22 agro-climatic zones in Northeast China area. Meteorological data produced by NASA (MERRA-2) was used to calculate growing degree days (GDD), frost free period (FFP), and growth season length (GSL) at this study sites. The three indices did not differ among 6 years (2011-2016). However, they showed statistical spatial difference among agro-climatic zones. The GDD ranged between 531.7°C · day (zone 22) and 1650.6°C · day (zone 1). The range of the FFP was from 141.5 day (zone 22) to 241.7 day (zone 1). And the GSL showed spatial distribution between 125.1 day (zone 22) and 217.9 day (zone 1).

Key Words : Agro-climatic indices, Agro-climatic zones, Northeast China area, MERRA-2

요약 : 본 연구는 중국 동북지역의 22개 농업기후지대별로 유효적산온도(GDD), 무상기간(FFP) 작물생육기간(GSL) 등 3가지 농업기후지수를 비교하기 위해 수행되었다. 농업기후지수는 NASA의 MERRA-2 기상 자료를 이용하여 계산하였다. 분석결과 모든 농업기후지수는 연도별로 유의한 차이는 보이지 않았다. 하지만 농업기후지대별로는 유의한 차이를 보였다. GDD는 지역별로 531.7-1650.6 도일의 범위를 보였으며, FFP는 141.5-241.7 일의 범위를 나타내었다. 그리고 GSL은 125.1-217.9 일의 공간적 분포를 보였다.

1. 서론

농업생산은 지역 및 국지 기후조건에 필연적 영향을 받는다. 기온, 일사, 강수 등 여러 기후요소는 복합적으

로 작물의 생산성에 중요한 영향을 미친다. 따라서 다수의 기후요소를 지수화하여 특정지역의 기후 자원량을 분석하고, 종합·판단하여 특정지역의 농업기후자원의 특성을 한 눈에 알 수 있게 할 필요가 있다(Choi and

Received September 6, 2017; Revised September 18, 2017; Accepted September 20, 2017; Published online October 16, 2017.

† Corresponding Author: Myung-Pyo Jung (jung7504@korea.kr)

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.

Yun, 1989). 한 국가 혹은 지역의 농업기후자원의 특징을 표현하기 위해 농업기후지수(agro-climatic index)가 널리 사용되고 있다. 농업기후지수는 농업생산의 관점에서 기후자원을 평가하기 위한 것이고, 그 지수는 기온, 강수, 일사 등과 같은 기후자원으로부터 작물의 생육과 수량 등을 추정하거나, 모내기 등과 같은 농업의 사결정에 필요한 기초자료로 사용되기 때문에 농업 생산성의 중요한 지표가 될 수 있다(Shim *et al.*, 2008).

1730년 Reaumur에 의해 도입된 식물의 생육기간과 기온간의 관계를 설명한 열수지(Heat unit 또는 thermal time) 개념은 농업분야에서 다방면으로 이용되고 있다(McMaster and Wilhelm, 1997). 일반적으로 한 지역에서 축적된 열수지는 그 지역의 열자원을 나타낸다. 이와 같은 열수지는 식물이 개화기, 성숙기 등 특정 생물계절(phenology)에 도달하기 위한 중요한 요소이기 때문에, 기온에 기반한 유효적산온도(growing degree-days, GDD), 생육기간(growing season) 등과 같은 농업기후지수는 작물의 생육 모니터링, 생산량 예측, 생물계절 예측 등과 같은 농업의사결정 도구로 유용하게 이용되고 있다(Gordon and Bootsma, 1993).

중국 동북지역은 중국에서 가장 넓은 식량작물 생산 지역 중 하나로 특히, 요녕성, 길림성, 흑룡강성의 동북 3성 지역은 옥수수, 벼, 콩, 밀 등 식량작물의 주요 재배 지역이다(Wu *et al.*, 1998). 최근의 지구온난화는 작물생육기간의 연장, 작물재배지대의 확장 등 중국 동북지역의 농업 발전에 긍정적인 면도 있으나, 동시에 물 부족, 도시화 등과 같은 환경과 천연자원의 부족 문제는 이 지역은 농업 생산 뿐만 아니라 자연 생태계에 큰 위협으로 작용하고 있다(Yang *et al.*, 2007). Jung *et al.*(2015)은 중국 동북지역을 22개의 농업기후지대로 구분하여 해당 지역의 농업기후특성을 분석하였으며, 기상재분석 자료의 활용 가능성을 논의하였다. 또한 Jung *et al.*(2016)은 동일 지역에서 옥수수 재배를 위한 유효적산온도의 시공간적 분포를 분석한 바 있다.

본 연구에서는 중국 동북지역의 농업생산성을 평가하기 위한 기초자료 확보를 위해 격자화된 기상자료를 바탕으로 중국 동북지역 22개 농업기후지대별 농업기후지수의 분포를 비교, 분석하였다.

2. 자료 및 방법

중국 동북지역의 농업기후지수는 미국 항공우주국(NASA)의 전 지구 모델링 및 동화 센터에서 개발한 MERRA-2(Modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2) 자료를 이용하였다(<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/>). MERRA-2 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 동북지역 농업기후지대를 대상으로(Fig. 1) 2011년부터 2016년까지의 6년 동안의 기온 자료를 1시간 간격으로 수집하였으며, 이를 이용하여 일평균기온, 일최고기온 및 일최저기온을 계산하였다. Jung *et al.*(2015)은 중국 동북지역을 최난월 평균기온, 연평균기온, 연누적강수량, 해발고도, 식생피복비를 바탕으로 22개의 농업기후지대로 구분하여 각 농업기후지대별로 농업기후특성을 분석하였으며, 이를 작물 생육, 작물 생산량 추정 등에 활용하고자 하였다.

유효적산온도(GDD)는 식 1과 같이 정의하였다. 옥

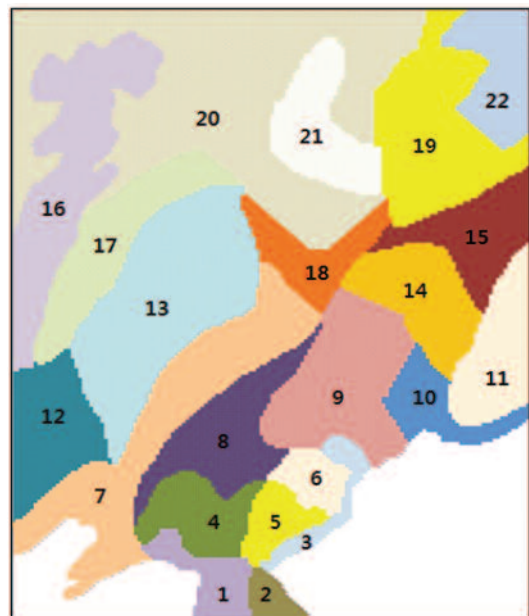


Fig. 1. The 22 agro-climatic zones of Northeast China area (Jung *et al.*, 2015).

수수, 콩 등 주요 작물의 생육기간의 유효적산온도를 계산하기 위해서 1월 1일부터 9월 30일까지의 기온자료를 사용하였다.

$$GDD = \sum_0^n \left[\left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_{base} \right] \quad (1)$$

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

무상기간(frost free period, FFP)은 일평균기온이 0°C 이상인 날 수로 정의하였으며, 작물생육기간(growing season length, GSL)은 생육기간 시작일과 종료일의 차로 정의하였다(Carter, 1998; Linderholm, 2006). 생육기간 시작일은 5°C 초과 일평균기온이 5일간 지속하는 마지막 날, 생육기간 종료일은 10일 이동평균이 5°C 미만인 날로 하였다.

22개 농업기후지대별 농업기후지수값을 분산분석하였으며, 각 비교간 Tukey 다중검정을 하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구결과 최근 6년간(2011-2016) 중국 동북지역의 GDD, FFP 및 GSL은 연도별로 차이를 보이지는 않았지만($p>0.05$), GDD는 연도별로 증가하는 경향을 보였다. Jung *et al.*(2016)은 흑룡강성의 GDD는 연도별로 유의하게 증가한다고 보고하였다. 농업기후지수는 작물 생산량, 재배지 선정, 관개 유무 등 농업적 측면에서 기후 상태에 따른 농업적 영향을 나타낼 수 있기 때문에 농업에 대한 기후변화의 영향을 평가하는데 유용한 도구가 될 수 있다(Patra and Sahu, 2007).

GDD, FFP, GSL과 같은 기온에 기반한 농업기후지수 값은 지구 온난화로 인해 전 세계적으로 과거에 비해서 증가하고 있으며, 이와 같은 지수의 결과는 실제 작물의 생물계절과도 일치하는 경향을 보여주고 있다(Chen *et al.*, 2005; Linderholm *et al.*, 2008; Dong *et al.*, 2013; Lou *et al.*, 2013). 본 연구결과에 따르면 지대 5, 8, 15, 22와 같은 고위도 또는 고지대 일부 지역은 낮은 GDD, 짧은 FFP 및 GSL로 인해 작물을 재배하기엔 적합하지 않은 환경인 것으로 판단된다. 하지만 기후변화에 따른 기온의 상승은 중국 동북지역의 작물생육기간을 확장 시

킬 뿐만 아니라, 해당 지역의 다모작의 가능성 및 작물 재배 불가지역의 작물 재배 가능성을 시사하고 있다(Tian *et al.*, 2014).

분석기간 동안 중국 동북지역의 1월 1일부터 9월 30일까지의 GDD는 평균 1201.0 도일(°C·day)을 보였으며, 지대간에 큰 차이를 보였다($F=69.7528, df=21, p<0.001$)(Fig. 2a). 지대 1의 GDD가 1650.6 도일로 가장 높았으며, 연구지역의 남서지역(지대 1, 7, 12)의 GDD가 높은 것으로 분석되었다. 반면에 연구지역의 고위도 또는 고지대

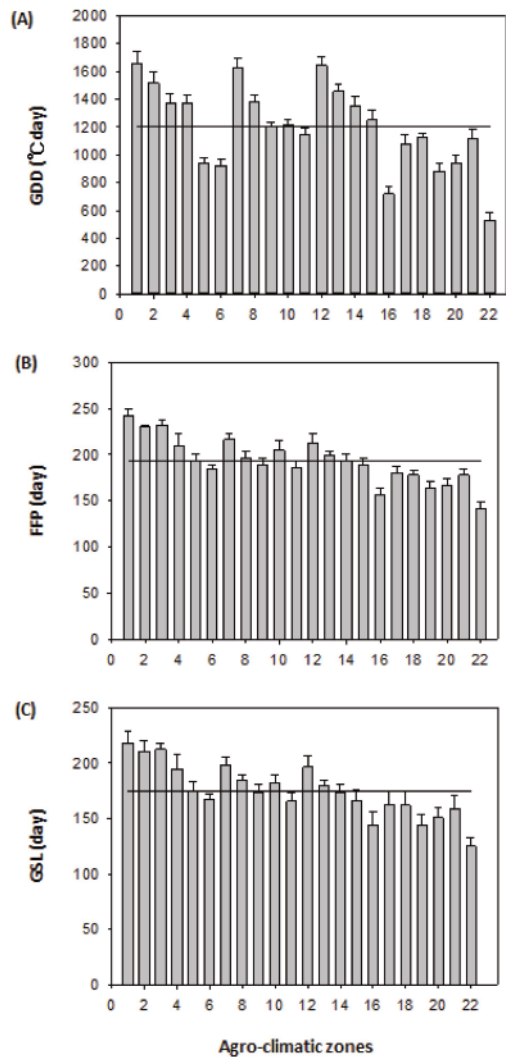


Fig. 2. The average of (a) GDD (growing degree days), (b) FFP (frost free period), and (c) GSL (growing season length) of each agro-climatic zone in Northeast China area during six years. The line indicates the average value of agro-climatic index of 22 zones.

지역은 GDD가 낮은 특징을 보였으며, 특히 지대 5(936.1), 6(921.0), 16(719.9), 19(884.1), 20(939.7), 22(531.7)는 GDD가 1,000 도일 미만이었다. 같은 기간 연구지역의 FFP는 일년 중 평균 192.9일이었으며, 지대간에 유의한 차이를 보였다($F=69.7528$, $df=21$, $p<0.001$)(Fig. 2b). 지대 1, 2, 3, 4, 7, 12의 FFP는 200일을 넘은 반면, 지대 16과 지대 22의 FFP는 160일 이하를 나타내었다. GSL은 평균 174.6일의 기간을 보였으며, 지대별로 유의한 차이를 보였다($F=39.4493$, $df=21$, $p<0.001$)(Fig. 2c). GSL 또한 GDD와 FFP와 마찬가지로 남서지역에서 길었으며, 고위도 또는 고지대 지역이 짧은 특징을 보였다. 남서지역의 높은 GDD, 긴 FFP와 GSL은 낮은 위도 및 고도로 인해 다른 농업기후지대보다 기온이 높았기 때문인 것으로 판단되며, 지대 3과 지대 5와 같이 비슷한 위도의 인접한 농업기후지대간 농업기후지수의 차이는 고도 또는 해양의 효과 때문인 것으로 판단된다(Jung *et al.*, 2015).

중국 동북지역의 기상을 파악하는데 MERRA-2 자료의 재현성은 문제가 없는 것으로 판단되지만(Jung *et al.*, 2016), 농업적으로 활용성을 높이기 위해서는 기상자료의 공간상세화가 필요할 것으로 보인다. 향후 산악, 평지, 해안 등이 혼재한 복잡한 지형을 가진 지역에서는 위성자료를 활용한 지형, 해안효과, 기상관측소의 밀도 정보 등을 고려하여 지역의 특성을 잘 반영할 수 있는 상세화 방법이 개발되어야 할 것이다(Coops *et al.*, 2007; Cristóbal *et al.*, 2008). 또한 작물재배 분포도와 농업기상자료, 농업기후지수 자료 등을 종합하여 중국 동북지역의 농업활동가능지역, 밀, 옥수수, 콩 등의 작황 등을 보다 정밀하게 예측할 수 있을 것이다.

4. 결론

농업기후지수는 한 국가 혹은 지역의 농업기후자원의 특징을 표현할 수 있으며, 농업의사결정에 필요한 기초자료로 사용되기 때문에 농업 생산성 평가 뿐만 아니라, 농업에 대한 기후변화의 영향을 평가하는데 유용한 도구가 될 수 있다.

중국 동북지역은 전 세계적으로 밀, 옥수수, 콩 등의 주요 생산 지역으로 최근 기후변화로 인해 농업 생산에

큰 위협을 받고 있는 지역 중 한 곳이다. 최근 6년간 이 지역의 GDD, FFP, GSL과 같은 주요 농업기후지수의 값은 시간적으로는 큰 변화를 보이지 않았지만, 공간적으로 큰 변이를 보였다. 특히 중국 동북지역 남서지역은 낮은 고도와 위도, 해양의 영향으로 높은 GDD와 긴 FFP, GSL을 보인 반면, 일부 고위도 또는 고지대 지역(지대 5, 8, 15, 22 등)은 낮은 GDD, 짧은 FFP, GSL을 보여 작물의 생육이 부적합한 지역으로 판단되었다.

사사

이 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(PJ009953)의 지원에 의한 것임.

References

- Chen XQ, B. Hu, and R. Yu, 2005. Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate eastern China. *Global Change Biology*, 11: 1118-1130.
- Choi, D.H. and S.H. Yun, 1989. Agroclimatic zone and characters of the area subject to climatic disaster in Korea. *Journal of Korean Society of Crop Science*, 34(2): 13-33 (in Korean with English abstract).
- Carter, T.R., 1998. Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agricultural and Food Science in Finland*, 7: 161-179.
- Coops, N., D. Duro, M. Wulder, and T. Han, 2007. Estimating afternoon MODIS land surface temperatures (LST) based on morning MODIS overpass, location and elevation information. *International Journal of Remote Sensing*, 28(10): 2391-2396.
- Cristóbal, J., M. Ninyerola, and X. Pons, 2008. Modeling air temperature through a combination of remote

- sensing and GIS data. *Journal of Geophysical Research*, 113(D13): D13106.
- Dong, M.Y., Y. Jiang, D.Y. Zhang, and Z.F. Wu, 2013. Spatiotemporal change in the climatic growing season in Northeast China during 1960-2009. *Theoretical and Applied Climatology*, 111: 693-701.
- Gordon, R. and A. Bootsma, 1993. Analyses of growing degree days for agriculture in Atlantic Canada. *Climate Research*, 3: 169-176.
- Jung, M.-P., J. Hur, H.-J. Park, K.-M. Shim, and J.-B. Ahn. 2015. Classification of agro-climatic zones in Northeast district of China. *Korean Journal of Agricultural Forest Meteorology*, 17: 1-6 (in Korean with English abstract).
- Jung, M.-P., H.-J. Park, K.-M. Shim, and J.-B. Ahn, 2016. Temporal and Spatial Distribution of Growing Degree Days for Maize in Northeast District of China. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 35(4): 302-305 (in Korean with English abstract).
- Linderholm, H.W., 2006. Growing season changes in the last century. *Agricultural Forest Meteorology*, 137: 1-14.
- Linderholm, H.W., A. Walther, and D.L. Chen, 2008. Twentieth-century trends in the thermal growing season in the Greater Baltic Area. *Climate Change*, 87: 405-419.
- Lou, W, K. Sun, S. Sun, F. Ma, and D. Wang, 2013. Changes in pick beginning date and frost damage risk of tea tree in Longjing tea-producing area. *Theoretical and Applied Climatology*, 114: 115-123.
- McMaster, G.S. and W. Wilhelm, 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural Forest Meteorology*, 87(4): 291-300.
- Patra, B.K. and D.D. Sahu, 2007. Use of agrometeorological indices for suitable sowing time of wheat under South Saurashtra Agroclimatic Zone of Gujarat. *Journal of Agrometeorology*, 9(1): 74-80.
- Rienecker, M.M., M.J. Suarez, R. Gelaro, R. Todling, J. Bacmeister, E. Liu, M.G. Bosilovich, S.D. Schubert, L. Takacs, G.-K. Kim, S. Bloom, J. Chen, D. Collins, A. Conaty, A. da Silva, W. Gu, J. Joiner, R.D. Koster, R. Lucchesi, A. Molod, T. Owens, S. Pawson, P. Pegion, C.R. Redder, R. Reichle, F.R. Robertson, A.G. Ruddick, M. Sienkiewicz, and J. Woollen, 2011. MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications. *Journal of Climate*, 24: 3624-3648.
- Shim, K.M., G.Y. Kim, K.A. Roh, H.C. Jeong, and D.B. Lee, 2008. Evaluation of Agro-Climatic Indices under Climate Change. *Korean Journal of Agricultural Forest Meteorology*, 10(4): 113-120 (in Korean with English abstract).
- Tian, Z., X. Yang, L. Sun, G. Fischer, Z. Liang, and J. Pan, 2014. Agroclimatic conditions in China under climate change scenarios projected from regional climate models. *International Journal of Climatology*, 34(9): 2988-3000.
- Wu, J.L., C.G. Yan, and M.G. Wu, 1998. Present situation of agriculture of the Northeast District and international cooperation between China and Korea. *Proceedings KSCS & KBS Symposium*. pp. 174-187.
- Yang, X., E. Lin, S. Ma, H. Ju, L. Guo, W. Xiong, Y. Li, and Y. Xu, 2007. Adaptation of agriculture to warming in Northeast China. *Climatic Change*, 84: 45-58.