

중국 동북지역의 농업기후지대 구분

정명표¹ · 허지나² · 박혜진² · 심교문^{1*} · 안중배²

¹국립농업과학원 기후변화생태과, ²부산대학교 대기과학과
(2015년 1월 5일 접수; 2015년 4월 28일 수정; 2015년 5월 18일 수락)

Classification of Agro-climatic zones in Northeast District of China

Myung-Pyo Jung¹, Jina Hur², Hye-Jin Park², Kyo-Moon Shim^{1*} and Joong-Bae Ahn²

¹Climate Change & Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science,

²Division of Earth Environmental System, Pusan National University

(Received January 5, 2015; Revised April 28, 2015; Accepted May 18, 2015)

ABSTRACT

This study was conducted to classify agro-climatic zones in Northeast district of China. For agro-climatic zoning, monthly mean temperature and precipitation data from Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) of National Aeronautics and Space Administration (NASA, USA) between 1979 and 2010 (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/>) were collected. Altitude and vegetation fraction of East Asia from Weather Research and Forecasting (WRF) were also used to classify them. The criteria of agro-climatic classification were altitude (200 m, between 200-800 m, 800 m), vegetation fraction (60%), annual mean temperature (0°C), temperature in the hottest month (22°C), and annual precipitation (700 mm). In Northeast district of China, mean annual temperature, annual precipitation, and solar radiation were 3.4°C, 613.2 mm, and 4,414.2 MJ/m² between 2009 and 2013, respectively. Twenty-two agro-climatic zones identified in Northeast district of China by metrics classification method, from which the map of agro-climatic zones for Northeast district of China was derived. The results could be useful as information for estimating agro-meteorological characteristics and predicting crop development and crop yield of Northeast district of China as well as those of North Korea.

Key words: Agro-climatic zone, Northeast District of China, Temperature, Precipitation, Solar radiation, Vegetation fraction

I. 서 론

경제활동으로써 농업은 기상 및 기후 정보에 전적으로 의존하는 산업으로(Pereira *et al.*, 2002), 지역 및 국지 기후 상태에 필연적으로 영향을 받는다. 즉 기후는 재배지 선정부터 판매까지 전반적인 농업생산활동에 영향을 미치는 주요 요인이기 때문에, 특정지역 농작물재배는 기상 및 기후 조건과 밀접한 연관이 있다.

기후지대 구분은 하나 혹은 그 이상의 기상요소를 이용하여 정의한 기준에 따라 유사한 기후 상태를 보이는 지역을 그룹화하는 것이다(Essenwanger, 2001). 지대구분을 위한 정의에 따라 다양한 기후지대가 있지만 Köppen 기후지대와 Thornthwaite 기후지대가 상대적으로 많이 이용되고 있다. 한 국가나 지역의 상세한 기후정보를 바탕으로 그 지역의 농업기후지대를 구분하는 것은 그 지역의 농업기후자원 특성 파악을 통



* Corresponding Author : Kyo-Moon Shim
(kmsim@korea.kr)

해 적합한 동식물, 작물품종 선택 등을 판단하는데 도움이 되기 때문에 농업 생산력과 안정성 제고에 기여할 수 있다.

중국 동북지역, 특히 요녕성, 길림성, 흑룡강성 3성 지역은 중국의 주요 농업지대로 옥수수, 벼, 콩, 밀 등 식량작물을 주로 재배하고 있으며(Wu *et al.*, 1998), 옥수수, 벼, 콩의 주요 산지로서 최근 정책적인 중요성이 높아지고 있다. 중국 식량 생산에서 차지하는 점유율은 2000년에는 요녕성 3%, 길림성 4%, 흑룡강성 6%였지만, 매년 상승해 2011년에는 각각 4%, 6%, 10%를 차지하였다. 또한 동북 3성의 농림 생산액은 전국 평균에 비해 높은 성장률을 보여 2000년부터 10년간 요녕성과 길림성은 전국 평균 대비 약 2배, 흑룡강성은 약 3배의 성장률을 보였다.

Köppen 기후지대에 의하면 중국 동북지역은 겨울철 건조한 한대기후대에 속하며 여름철 온도에 따라 2개의 세부기후지대로 구분된다(Kottek *et al.*, 2006). 하지만 농업분야에서 활용하기 위해서는 공간적으로 좀더 상세하게 구분된 기후지대 구분이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 중국의 동북지역 기후자료를 수집하여 DB를 구축하고, 이들 기후자료를 활용하여 농업기후지대를 구분함으로써 대상지역의 농업기후특성 분석의 기초 정보를 확보하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

중국 동북지역의 농업기후지대를 구분하기 위하여 대상지역(Fig. 1)의 기온과 강수 기후장, 그리고 해발고도와 식물비(식생피복비율) 자료를 수집·분석하였다. 기온과 강수 기후장은 미국 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)의 전지구 모델링 및 동화 센터(Global Modeling and Assimilation Office, GMAO)에서 개발한 MERRA(Modern-era retrospective analysis for research and applications) 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 자료로 $1/2^\circ$ 위도 $\times 3/4^\circ$ 경도(약 50km)의 수평 해상도와 지표면으로부터 0.01hPa까지 72개의 연직층을 가지는 고해상도 전지구 재분석 자료이다(Rienecker *et al.*, 2011). 농업기후구분을 위해 수집된 기상정보는 1979년부터 2010년까

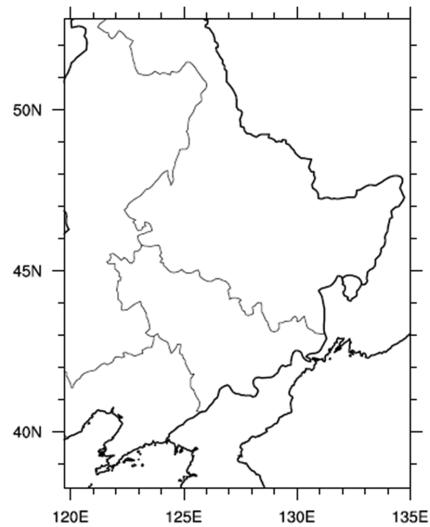


Fig. 1. Site map for agro-climatic zones in Northeast district of China.

지의 32년 동안의 월평균 기온, 강수량 자료이다.

Lorenz and Kunstmann(2012)의 분석에 따르면 농업기후지대 구분에 사용된 MERRA는 전지구 강수기후센터(Global Precipitation Climatology Centre) 자료와 비교하여 동북아시아 영역에 대해 약 2mm/day 내외로 강수를 과대모의하고, 기후연구유닛(Climat Research Unit, CRU) 자료와 비교하여 기온은 흑룡강성에서 -2°C 내외의 음의 편이를 가진다. 또한 MERRA를 ERA-INTERIM(ECMWF Interim Re-Analysis)과 CFSR(Climat Forecast System Reanalysis) 재분석 자료와 비교한 결과, 강수와 기온은 분석 영역에 대해 유사한 수준의 편이를 가지는 것으로 나타났다(Lorenz and Kunstmann, 2012). 이는 사용된 기상재분석 자료에 따라 농업기후지대가 일부 달라질 수 있으며, 농업기후지대의 불확실성 감소를 위해서는 신뢰성 있는 기상자료의 활용이 중요하다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 MERRA가 다른 재분석 자료와 비교하여 큰 편이를 가지지 않는 점에서 농업기후지대 구분에 충분한 활용 가치가 있다고 판단하였다.

해발고도와 식물비 자료는 지역기후모형인 Weather Research and Forecasting(WRF) 모형의 정적 지리정보 자료 중의 하나로써 약 10km의 수평해상도를 가지는 동아시아 영역의 해발고도와 식물비 자료를 활용하였다. WRF는 지형자료로 미국 지질 조사국(United States Geological Survey, USGS)의 지구자원 관측과

학(Earth Resources Observation and Science, EROS) 센터에서 개발된 전지구 30초(약 1km) 고도 자료(Global 30 Arc-Second Elevation, GTOPO30)를, 식물비 자료로 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에서 생산된 0.144° 수평해상도의 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 위성자료를 기반으로 한다.

분석에 사용된 기상정보와 지리정보의 해상도를 같은 수준을 맞춰주기 위해서 약 50km 해상도의 기상정보에 거리 가중치로 계산하는 Barnes 객관분석 기법(Barnes, 1964)을 적용하여 10km의 수평 해상도로 재구성하였다.

중국 대상지역의 농업기후시대 구분을 위해 먼저 Köppen 기후시대 구분 기준(Köppen, 1918)을 바탕으로 기후요소를 고려하였다. Köppen은 전세계 식생 분포를 기후로 설명하기 위해 기온과 강수를 이용한 기후 분류체계를 제시하였다. Köppen의 분류 체계에서 기온은 연평균 기온, 최한월 및 최난월의 월평균 기온으로, 강수는 연강수량, 최건월 및 최우월의 월강수량

으로 각각 세분화되어 구분된다. 본 연구에서도 Köppen의 기후 분류체계를 착안하여 기온과 강수를 세분화하여 분석하였다. 결과적으로 분석 영역에서 뚜렷한 공간적 차이가 나타나는 최한월의 월평균 기온 22°C, 연평균 기온 0°C, 연강수량 700mm을 구분 인자로 선택하였으며, 이를 이용하여 1차적으로 농업기후를 구분하였다. 지형 효과 및 식물에 의한 지면 피복 상태를 고려하기 위해 해발고도와 식물비를 이용하여 2차적으로 농업기후시대를 구분하였다. 최종적으로 해발고도는 200m 이하, 200-800m, 800m 이상, 식물비는 60%, 연평균 기온은 0°C, 최한월 기온은 22°C, 연평균 강수량 700mm를 농업기후시대 구분 기준으로 사용하였다.

구분된 중국 동북지역의 농업기후시대를 이용하여 시대별 2009-2013년까지 최근 5년간의 기온, 강수, 일사량에 대한 관측기상정보를 분석하였다. 사용된 중국 대상지역의 경과기상자료는 HDF(Hierarchical Data Format)와 NetCDF 형태의 파일로 제공(<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/>)되고 있는 1시간, 일,

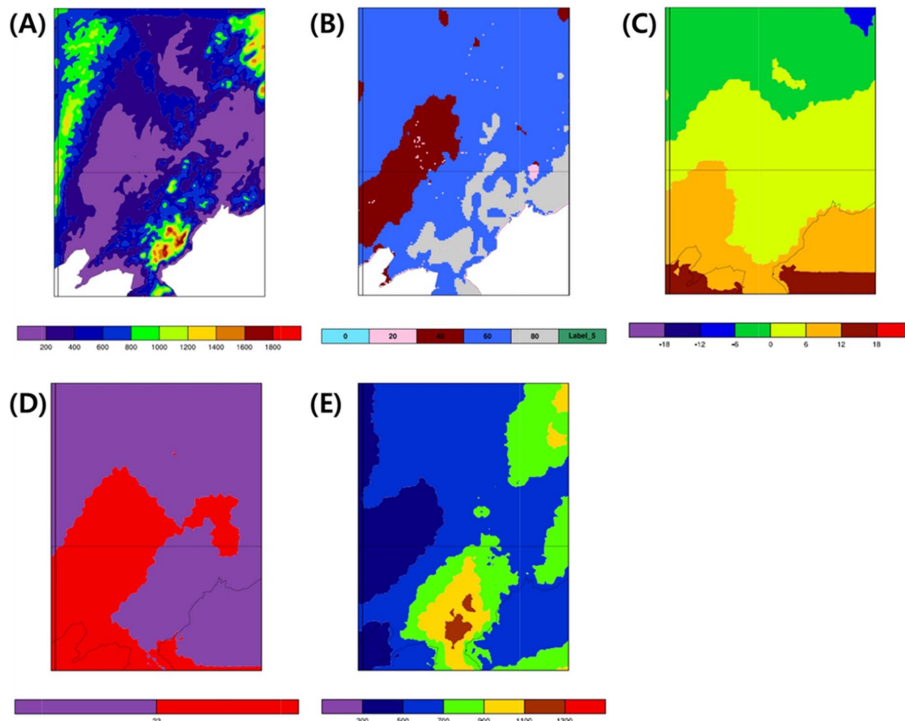


Fig. 2. Distribution of height, vegetation fraction, and meteorological characteristics in Northeast district of China. A: height, B: vegetation fraction, C: mean annual temperature, D: mean temperature of warmest month, E: accumulated annual precipitation.

월 간격의 MARRA 자료이다. 본 연구에서는 기온 자료는 1시간 간격으로, 강수 및 일사량은 월단위로 NetCDF 형태의 격자 기상자료를 수집하였다. 1시간 간격으로 수집된 기온 자료는 일 최고 및 최저 기온을 계산하기 위해 사용되었다.

III. 결과 및 고찰

중국 동북지역 농업기후지대를 구분하기 위한 구분 인자의 분포도는 Fig. 2와 같다. 해당 지역은 고도 200m인 지역이 많은 부분을 차지하였으며, 식물비는 대다수의 지역이 60% 정도를 보였다. 연중 월평균 기온은 $-6 - 18^{\circ}\text{C}$ 의 범위를 나타냈으며, 최난월의 기온은 22°C 를 기준으로 뚜렷이 구분되었다. 그리고 강수량은 대부분의 지역이 500-700mm 내외였다.

중국 동북 지역의 농업기후지대는 Fig. 3과 같이 22개 지대로 구분되었다. 가장 넓은 면적을 차지한 농업기후지대는 고도 200-800m, 강수 700mm미만, 연평균기온 0°C 이하인 지대 20이었다. 22개 농업기후지대는 대체적으로 지형, 위도, 해양의 효과가 잘 반

영된 것으로 판단된다. 특히 지대 1, 3, 7, 10의 4개 농업기후지대는 해양의 효과가, 반면 지대 5, 6, 16, 22의 4개 농업기후지대는 지형의 효과가 잘 반영된 것으로 보인다. 지대 13, 20과 같이 남북으로 광범위하게 분포한 지대는 위도의 영향보다는 다른 요인의 영향을 더 많이 받는 것으로 생각된다.

현재 국내에서 이용되고 있는 북한의 농업지대(Ryu *et al.*, 1996)는 농업지대별 기후특성, 농업환경분석, 기후변화 영향평가 및 취약성 분석 등에 이용되고 있으나(Yoon and Kim., 2006; Hong *et al.*, 2008; Kang *et al.*, 2010; Kim and Yun, 2011), 벼 재배에 필요한 기후요소를 바탕으로 구분된 지대라는 한계점이 있다. 북위 40° 에 인접한 농업기후지대(지대 1-6)는 기존의 북한 농업기후지대와 유사하게 구분되어(Ryu *et al.*, 1996), 향후 북한의 농작물 생육상태, 생산량 등을 추정하는데 유용한 정보로 이용될 수 있을 것이다.

각 농업기후지대의 2009-2013년 5년 동안 기후특성은 Table 1과 같다. 지대 16, 19, 20, 22는 연평균기온이 0°C 이하의 특징을 보였으며, 농업기후지대구분

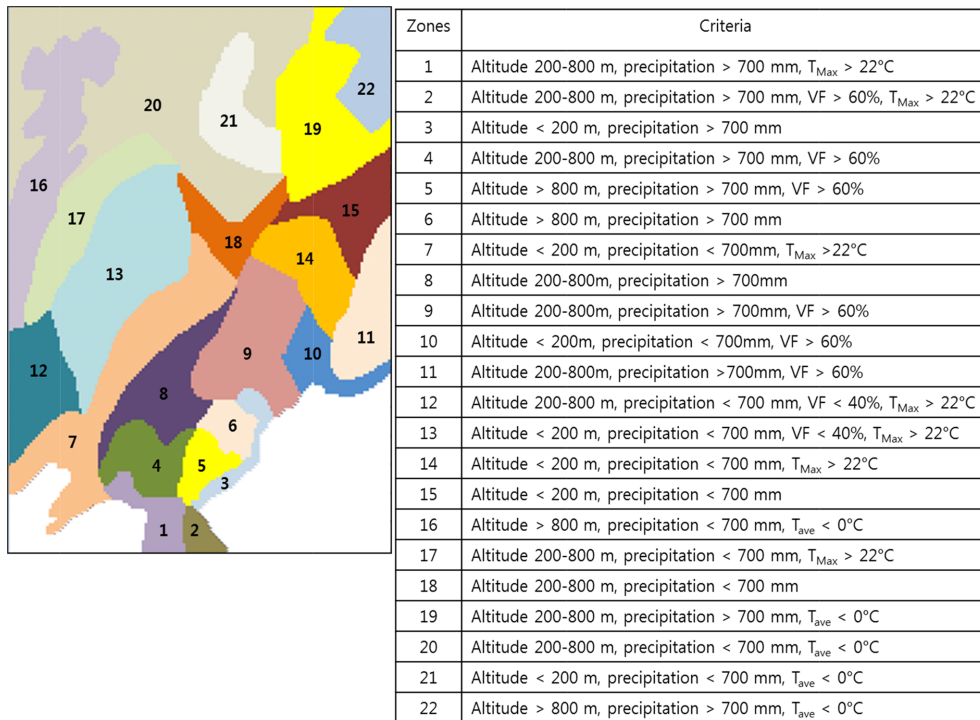


Fig. 3. Agro-climatic zones and their criteria in Northeast district of China. T_{MAX} : temperature in the hottest month, T_{ave} : annual mean temperature, VF: vegetation fraction.

Table 1. Agro-meteorological characteristics of 22 agro-climatic zones in Northeast district of China from 2009 to 2013

Agro-climatic zones	Mean Temperature (°C)	Max. Temperature (°C)	Min. Temperature (°C)	Precipitation (mm)	Solar radiation (MJ/m ²)
1	10.3	15.0	6.4	780.9	4,865.1
2	9.0	14.3	4.7	953.8	4,879.7
3	8.7	13.1	5.1	677.6	4,908.4
4	6.1	11.6	1.6	882.9	4,691.7
5	3.4	8.9	-1.1	1,036.8	4,793.0
6	2.6	8.3	-2.0	833.3	4,800.0
7	7.7	13.2	2.9	471.2	4,693.4
8	5.0	10.6	0.1	714.3	4,508.3
9	3.3	9.0	-1.7	599.1	4,447.3
10	4.7	9.9	0.4	607.4	4,478.0
11	2.0	7.5	-2.9	770.7	4,239.5
12	7.3	13.8	1.6	347.9	4,719.8
13	5.1	11.2	-0.3	347.9	4,468.1
14	3.5	8.9	-1.5	560.1	4,154.1
15	2.0	7.4	-3.1	612.2	3,964.2
16	-1.6	4.3	-7.0	393.2	4,213.1
17	2.3	8.5	-3.2	370.8	4,541.7
18	1.6	7.5	-3.8	492.0	4,256.8
19	-1.8	3.9	-7.0	672.6	3,906.4
20	-1.1	4.8	-6.5	422.2	4,015.4
21	0.7	6.1	-4.3	423.3	3,952.1
22	-4.9	0.3	-9.3	916.7	3,617.0
Total	3.4	9.0	-1.4	631.2	4,414.2

대상지역의 서쪽에 위치한 지대 12, 13, 16, 17은 연 강수량이 400mm이하의 강수 특징을 보였다. 일사량은 지대 22(3,617MJ/m²)가 가장 적었으며, 대부분의 지대는 4,000 MJ/m² 이상으로 같은 기간 국내보다 약 476.9MJ/m² 적었다(Meteorological Information Portal Service System-Disaster Prevention, <https://metsky.kma.go.kr/>).

농업기후지대는 해당지역의 농업기후자원의 간결한 인벤토리를 제공한다는 측면에서 가치가 있으며, 작물 생육 및 생산량 예측, 작물재배적지 평가등에 사용될 수 있다(van Wart *et al.*, 2013; Choudhary *et al.*, 2014; Reddy and Madiwalar, 2014). 또한 특정지역에 적합한 작물에 대한 다양한 기후요소의 영향과 기후변화에 따른 작물 재배적지 선택 등의 연구를 위한 기초자료가 될 수 있다.

IV. 결 론

중국 동북3성을 포함한 동북지역의 연평균기온은

3.4°C, 강수량 613.2mm, 일사량 4,414.2MJ/m²의 기후특성을 보였다. 해발고도 200m 이하, 200-800m, 800m 이상, 식물비 60%, 연평균 기온 0°C, 최난월 기온 22°C, 연평균 강수량 700mm을 농업기후지대 구분 기준으로 사용하였을 때, 중국 동북지역 농업기후지대는 22개 지대로 구분되었다. 본 연구 결과는 중국 동북지역 뿐만 아니라 북한의 작물 생육, 작물 생산량 등을 추정하기 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 중국의 동북지역 기후자료를 수집하여 DB를 구축하고, 이들 기후자료를 활용하여 농업기후지대를 구분함으로써 대상지역의 농업기후특성 분석의 기초정보를 확보하고자 하였으며, 국외의 주요 곡물 수출국의 기상관측정보를 수집, 분석, 제공할 수 있는 체계를 구축하고자 하였다. 중국 동북지역 농업기후지대를 구분하기 위하여 미국 항공우주국의 전 지

구 모델링 및 동화 센터의 1979-2010년까지 32년 동안의 월별 기온 및 강수량 자료와 Weather Research and Forecasting(WRF) 모형의 동아시아 영역의 해발고도와 식물비 자료를 활용하였다. 중국 동북지역은 해발고도는 200m 이하, 200-800m, 800m 이상, 식물비 60%, 연평균 기온은 0°C, 최난월 기온은 22°C, 연평균 강수량 700mm를 기준으로 22개 농업기후지대로 구분되었다. 22개 농업기후지대는 연평균기온은 3.4°C, 강수량 613.2mm, 일사량 4,414.2MJ/m²의 기후특성을 보였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ009953)의 지원에 의해 이루어졌음

REFERENCES

- Barnes, S. L., 1964: A technique for maximizing details in numerical weather-map analysis. *Journal of Applied Meteorology* **3**(4), 396-409.
- Choudhary, D., H. R. Pater, S. B. Yadav, and V. Pandey, 2014: Assessment of climate change under A₂ scenario and its effect on Rabi Maize (*Zea mays* L.) yield using InfoCrop Model for Dahod district of middle Gujarat agro climatic zone. *Annals of biology* **30**, 509-514.
- Essenwanger, O. M., 2001: Classification of climates. In World survey of climatology, Vol 1e, General Climatology. Elsevier, Amsterdam (NL).
- Global Modeling and Assimilation Office (GMAO). <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/>.
- Köppen, W., 1918: Klassifikation der Klimate nach temperatur, Niederschlag und Jahresablauf. *Petermanns Geogr. Mitteilungen* **64**, 193-203.
- Hong, S.-Y., S.-K. Rim, S.-H. Lee, J.-C. Lee, and Y.-H. Kim, 2008: Spatial analysis of agro-environment of North Korea using remote sensing. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **27**, 120-132.
- Kang, Y.-S., J.-H. Lee, and B.-L. Lee, 2010: Global warming on double cropping in North Korea. *Korean Journal of Crop Science* **55**, 214-219.
- Kim, J.-H., and J. I. Yun, 2011: Zoning hydrologic units for geospatial climatology in North Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **13**, 20-27.
- Kottek, M., J. Griger, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, 2006: World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* **15**, 259-263.
- Lorenz, C. and Kunstmann, H., 2012: The hydrological cycle in three state-of-the-art reanalyses: Intercomparison and performance analysis. *J. Hydrometeor.*, **13**, 1397-1420.
- Meteorological Information Portal Service System-Disaster Prevention. <https://metsky.kma.go.kr/>.
- Pereira, A. R., L. R. Angelocci, and P. C. Sentelhas, 2002: Agrometeorology: fundamentals and practical applications. Agropecuaria Press, 478 pp.
- Reddy, M. C., and S.L. Madiwalar, 2014: Productivity assessment and economic analysis of teak plantations in different agro climatic zones of Karnataka. *The Indian forester* **140**, 287-290.
- 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.
- Ryu, I.-S., D.-H. Choi, and S.-H. Yun, 1996: Agroclimatic zones for rice cultivation in North Korea. *The Journal of the Korean Society of International Agriculture* **8**, 206-215.
- van Wart, J., L. G. J. van Bussel, J. Wolf, R. Licker, P. Grassini, A. Nelson, H. Boogaard, J. Gerber, N. D. Mueller, L. Claessens, M. K. van Ittersum, and K. G. Cassman, 2013: Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research* **143**, 44-55.
- 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*. p. 174-187.
- Yoon, S. T., and J. H. Kim, 2006: Crop cultivation and climate characteristics of different agricultural zone in North Korea. *Korean Journal of International Agriculture* **18**, 7-16.