한국농림기상학회지, 제17권 제1호(2015) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 17, No. 1, (2015), pp. 69~74
DOI: 10.5532/KJAFM.2015.17.1.69
ⓒ Author(s) 2015. CC Attribution 3.0 License.

제주도 감귤 재배지역에 대한 환경특성의 정량화

문경환[1] · 손인창[1] · 송은영[1] · 오순자[1] · 박교선[1] · 현해남[2]*
[1]국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소, [2]제주대학교 식물자원환경전공
(2014년 10월 28일 접수; 2015년 2월 23일 수정; 2015년 3월 17일 수락)

Quantification of Environmental Characteristics on Citrus Production Area of Jeju Island in Korea

Kyung Hwan Moon[1], Eun Young Song[1], In-Chang Son[1], SoonJa Oh[1], Kyo Sun Park[1], and Hae-Nam Hyun[2]*
[1]*Agricultural Research Institute for Climate Change, NIHHS, RDA, Jeju 690-150, Korea*
[2]*Major of Plant Resources & Environment, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea*
(Received October 28, 2014; Revised February 23, 2013; Accepted March 17, 2015)

ABSTRACT

To analyze quantitatively environmental characteristics of cultivation area of citrus, Satsuma mandarin (Citrus unshiu Marc.), we made digital maps of environmental elements such as topography and climate. Elevation, degree of slope, and slope aspect were selected as elements of topological environment, and the annual mean air temperature, annual total precipitation, mean air temperature on January, extreme value of daily minimum air temperature, and the number of days below -5°C were selected as elements of climatic environments. The grid values of 8 environmental elements were extracted by shape of citrus farm area and analyzed distribution patterns. We can determine 3 agroclimatic criteria for growing Satsuma mandarin as over 14.5°C of annual mean air temperature, over -10.0°C of extreme value of daily minimum air temperature, and less 5 days of below -5°C of daily minimum air temperature.

***Key words*: Quantification of environmental characteristics, Satsuma mandarin, Spatial analysis, Agroclimatic suitability of Citrus culture**

I. 서 론

감귤류은 상록과수로 추위에 약하기 때문에 재배지는 북위 35° 사이에 위치하고 있으면서 최저기온이 -7°C 이상인 지역에 국한되어 재배되고 있다. 세계 각국에서는 감귤 생산 지역이 단지 지리적 위도로만 결정되지 않고, 지형, 바다와의 근접성, 해류, 대기유동, 토양, 관개, 병해충 발생 등 여러 가지 환경여건이 복합적으로 반영되어 형성되어 있다(Huang, 1991). 일반적으로 과수 재배 여부를 결정하는 중요한 기상인자로 온도, 강수, 광을 들 수 있는데 감귤의 경우에는 온도, 특히 겨울철의 저온이 재배여부를 결정하는 가장 큰 요인이라고 알려져 있다(Huang, 1990). 하지만 감귤의 재배를 결정하는 여러 가지의 환경요인에 대한 것은 일부 지역의 기상자료를 이용하여 도출하거나 부분적인 실험을 통해 관찰한 내용이다.

기후학적으로 한국의 남쪽 지역인 제주도는 위도 범위가 약 33~34°로 감귤류 재배의 북방한계지역에 위

* Corresponding Author : Hae-Nam Hyun (hnhyun@jejunu.ac.kr)

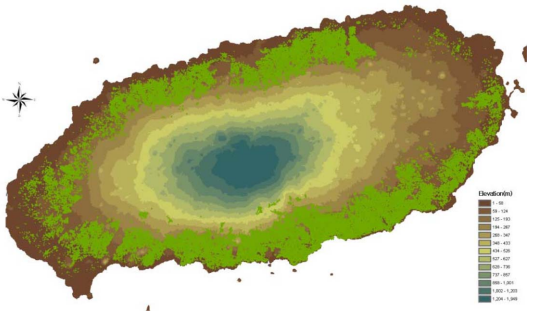

Fig. 1. Distribution of orchard on contour map of Jeju Island. The 94% of orchard, green-colored area, is citrus orchard by statistics.

치하고 있다. 따라서 제주에서는 감귤류 중에서도 비교적 내한성이 강한 온주밀감을 주로 재배하고 있다(Kim *et al*., 2003). 제주에서 감귤은 1960년대 이후 50여 년간 점차 재배지역이 확대되어 현재에는 제주도의 해안 및 중산간의 재배가 가능한 지역에 감귤원이 넓게 분포하고 있다. 즉 제주에서는 장기간에 걸쳐 감귤원이 확대되면서 감귤 재배가 가능한 지역과 어려운 지역이 자연스럽게 구분이 되면서 현재의 감귤 재배지가 형성되었다고 볼 수 있다. 2000년대 들어 시설하우스 등에서 일부 열대과수의 재배가 시도되고 있지만 2013년의 통계청의 자료에도 과수 재배면적 22,594ha 중에 감귤 재배면적이 21,308ha로 전체의 94.3%를 점유하고 있다(Statistics Korea, 2013). 즉 현재까지 제주도에 분포하는 과원의 대부분은 감귤원이라고 할 수 있다(Fig. 1).

인간이 활동하고 농작물이 생육하는 물리적인 환경은 시간이나 공간적으로 다양한 규모를 가지고 있다. 예를 들어 태풍은 수일에 걸쳐 수백 km^2의 범위에 걸쳐 영향을 미치지만 소규모의 회오리바람은 수 분 동안 수십 m^2의 범위에서 나타났다 사라지게 된다. 인간의 활동은 조그만 지점의 회오리바람 보다는 태풍에 의해서 영향을 많이 받으므로 기상청의 일기예보, 기상특보, 기후전망 등의 정보는 대부분의 경우 수십이나 수백 km의 공간해상도를 가진 정보를 제공하고 있다. 하지만 농작물의 경우 전 생육기간을 생각하면 대규모의 기상현상보다는 농작물 근처의 수 m^2범위의 소규모 기상현상의 영향이 매우 크다(Yun, 2004). 이렇기 때문에 농업기상학자들은 농작물에 직접 영향을 미치는 국지기후나 미기후 자료를 생산하고자 노력해 왔고, 중규모의 기후정보로부터 경사, 표고, 지형, 식생 등 지표면의 상태에 따른 공간변이를 추정할 수 있는 다양한 소기후 모형이 개발되었다(Yun, 2010; Chung *et al*., 2002; Chung *et al*., 2009). 최근에는 공간정보를 처리할 수 있는 지리정보시스템(Geographic information system, GIS) 기술을 이용하여 30m 공간해상도의 농업용 전자기후도가 개발되어 활용도를 넓히고 있다. 또 일 최저기온의 극 값, 겨울철 저온일수 등 감귤의 재배 제한인자에 관한 예측모형도 개발된 바 있다(Moon *et al*., 2012a; Moon *et al*., 2012b). 이 밖에도 30m 공간해상도는 농작물이 재배되는 농경지 필지 수준까지 구별할 수 있을 만큼 정밀하므로 이러한 해상도를 가진 해발고도, 경사도, 경사향 등 공간자료는 토양, 기후 등 정량적인 환경 분석에 이용될 수 있다.

기후변화에 관한 국제간 협의기구인 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 기후변화로 금세기 말에는 지구의 연평균기온이 현재에 비해 2.5~4.6°C까지 상승할 것으로 예측하고 있다. 한국 기상청에서는 한반도는 지구 평균보다 더 높은 3.0~5.7°C까지 상승할 것으로 예측하고 금세기 말의 대기 중 온실가스 농도를 기준으로 RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 등 4종의 기후변화 시나리오를 제공하고 있다(Kwon, 2005). 또 4계절 중에서도 겨울철이 여름철의 기온 상승 속도보다 더 높아질 것이라고 한다. 이는 과거에는 겨울철 저온에 의해 재배가 불가능하던 작물의 재배가 미래에는 재배가 가능한 작물로 전환될 수 있음을 암시한다. 따라서 지금까지 기후가 온화한 제주도에서만 온주밀감의 재배가 이루어졌지만 앞으로 한반도의 남부지역까지 재배지역이 확대될 수도 있을 것이다. 기후변화 시나리오에 따른 감귤 재배지역의 변동을 예측하기 위해서는 감귤의 생리학적인 연구 결과도 필요하지만 현실적인 자료를 바탕으로 한 객관적인 재배 기준도 필요할 것이다.

이 연구에서는 제주도 감귤원이 분포하는 지역을 대상으로 농업용 전자기후도와 공간자료들을 이용하여 환경요소의 분포를 정량화하여 그 특징을 파악하고 앞으로 기후변화에 따른 온주밀감의 재배지 변동 등 영향평가에 활용될 수 있는 기준을 제안하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

제주도에 분포하는 감귤원의 분포를 파악하기 위해

서 환경부에서 위성영상을 이용하여 제작된 2005년 기준 지표피복도를 이용하였다. 통계청 자료로부터 제주도에 있는 과수원 재배면적의 94.3%가 감귤을 재배하고 있으므로 지표피복도에서 과수원에 해당되는 지역만을 추출하여 감귤원으로 간주하였다. 분석대상 환경요소로는 지형적인 요소로 해발고도, 경사도 및 경사향을 선정하였고, 기후적인 요소로 연평균기온, 1월의 평균기온, 연강수량, 30년 재현기간의 일최저기온의 극 값, -5℃ 이하 저온일수 등을 선택하였다.

해발고도를 나타내는 전자고도모형(Digital elevation model, DEM)은 지형도를 이용하여 30m 해상도의 격자형 자료로 제작한 것을 이용하였고, 경사도 및 경사향은 ArcGIS(ESRI, ver. 10.0)의 계산도구를 이용하여 DEM을 이용하여 제작하였다. 연평균기온, 1월의 평균기온, 연강수량은 전국 1981~2010년의 30년 평년월자료를 이용하여 소기후모형을 적용하여 제작하였다(Yun, 2010). 재현기간 30년에 대한 일최저기온의 극값 분포도는 Moon *et al.*(2012a)의 방법을 적용하였고, -5℃ 이하 저온일수 분포도는 Moon *et al.*(2012b)이 제안한 방법에 따라 제작하였다.

환경요소 값을 가진 격자들은 감귤원 지역에 한하여 ArcGIS의 계산도구를 이용하여 추출하였고, 추출된 격자의 개수로부터 전체 면적을 환산하여 격자값의 분포를 구하였다.

III. 결과 및 고찰

제주도 감귤원의 해발고도는 1ha를 기준으로 할 때 최고 373m까지 분포하고 있었고 40~60m 지역이 전체 면적의 14.1%로서 가장 많았으며 해발고도가 높아질수록 점차 감소하였다. 해발고도 200 m까지 전체 감귤원의 92.6%가 분포하고 있고 220m 이하인 지역에 95.6%, 260m 보다 높은 지역에는 전체의 약 1%만 분포하고 있었다(Fig. 2). 따라서 해발고도 260m 이상의 지역에서는 감귤 재배가 어려운 환경일 것으로 판단되었다.

제주도 감귤원은 경사도 1도 이하에서 가장 많이 분포하고 있었고, 10도 이하의 경사도를 가진 감귤원이 97.6%를 차지하고 있었다(Fig. 3). 제주도가 아닌 다른 지역에서는 평지는 논이나 밭으로 이용되고 과원들은 경사가 있는 구릉지에 많이 분포하고 있는 것을 감안하면, 제주도 감귤원의 경우에는 대부분 경사도가 낮은 지역에서 재배를 하고 있었다. 이는 감귤 재배에 적합한 기후를 가진 지역이 해안가이고 이 지역은 대부분 경사도가 낮은 점이 영향을 끼친 것으로 판단된다.

감귤원의 경사향은 남동, 남, 남서, 북, 북서, 동, 북동, 서, 평지 순으로 분포되고 있었다(Fig. 4). 이러한 경사향의 분포는 중앙의 해발고도가 높은 한라산을 중심으로 하여 넓적한 타원형을 이루는 제주도의 전체

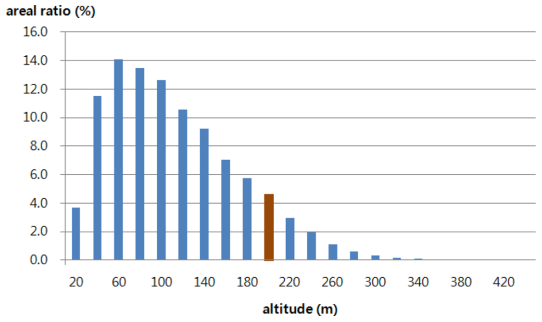

Fig. 2. Distribution of citrus orchard by altitude on Jeju Island. The 92.6% of orchard is located below 200 m altitude.

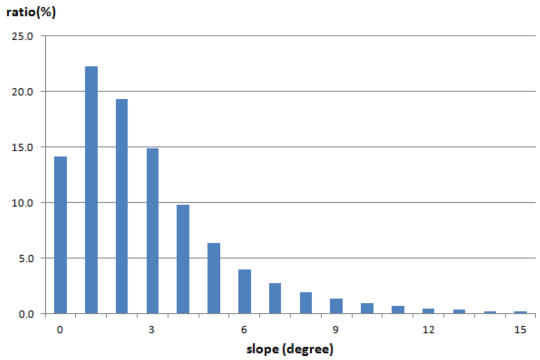

Fig. 3. Distribution of citrus orchard by slope on Jeju Island. The 97.6% of orchard is located below 10 degree.

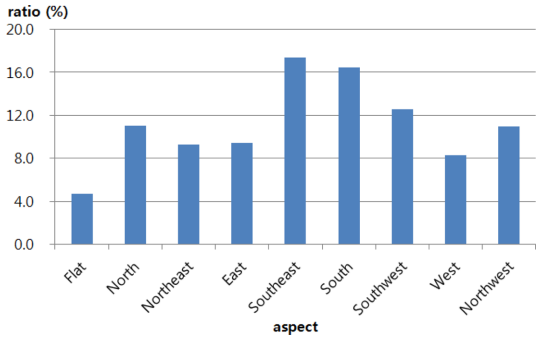

Fig. 4. Distribution of citrus orchard by slope aspect on Jeju Island.

형태와 관련이 있는 것으로 판단된다. 남동, 남, 남서쪽 방향의 과원이 46.4%로 가장 많이 분포하는 것은 감귤원이 섬의 남쪽 사면에 위치한 남원, 서귀포 지역에서 많이 재배하고 있기 때문이며, 한라산 북사면에 위치한 제주, 애월 지역에도 감귤을 많이 재배하고 있다. 반면 제주도의 서쪽이나 동쪽으로는 감귤원이 많이 분포하지 않으므로 서쪽이나 동쪽의 경사향을 가진 감귤원의 분포가 적다. 경사도와 경사향은 재배관리상 문제가 되지 않으면 감귤재배 가능 여부를 판단하는 중요한 환경지표가 되지 않을 것으로 판단된다.

제주도 감귤원의 분포하는 연평균기온의 범위는 13.4~16.9°C 이었으나, 그 중 90.9%의 감귤원이 14.5°C 이상인 지역에 있었다(Fig. 5). 가장 많이 분포하고 있는 온도범위는 14.8~15.2°C인 지역의 40.1% 이었다. 이는 중국 북부지방에서 온주밀감의 재배지역의 연평균기온이 14.6~17.6°C이었다는 보고와 비교하면 넓은 범위였으나, 90.9%의 감귤원이 14.5°C 이상인 지역에 분포하고 있음을 고려하면 온주밀감 재배의 연평균 기온의 하한을 14.5°C 로 설정하는 것이

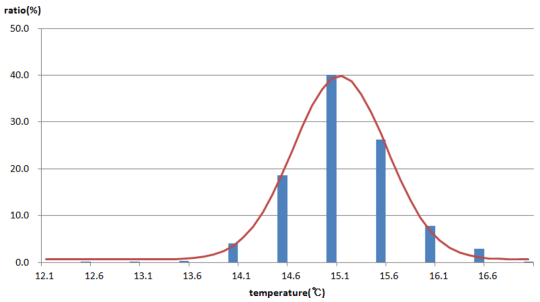

Fig. 5. Distribution of citrus orchard by annual mean air temperature on Jeju Island. The 90.9% of orchard is located above 14.5°C. Line represents Gaussian distribution equation, y = 0.65438+39.23211*EXP(-0.5*((x-15.0843)/0.475168)^2).

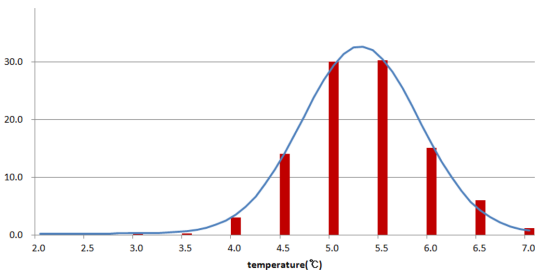

Fig. 6. Distribution of citrus orchard by mean air temperature of January on Jeju Island. The 90.1% of orchard is located above 4.6°C. Line represents Gaussian distribution equation, y = 0.2551+32.5274*EXP(-0.5*((x-5.275)/0.5978)^2).

타당하다고 판단되었다(Huang *et al.*, 1993).

가장 추운 달인 1월의 평균기온 범위는 3.5~7.2°C 이었으며, 92.9%가 4.5°C 이상인 지역에 분포하고 있었고, 4.8~5.7°C의 범위에 가장 많은 60.5%의 감귤원이 분포하고 있었다(Fig. 6). 이는 중국의 감귤 재배 지역의 1월 평균기온이 1.3~5.5°C 범위에 있다는 결과와 다른 온도범위에 해당되었다(Huang *et al.*, 1993). 온주밀감은 감귤류 중에서도 비교적 짧은 기간의 내한성이 강하고, 1월 평균기온이 감귤의 동해 발생에 직접적으로 관여하는 요소가 아니며, 서로 다른 재배 지역의 온도 범위에 차이가 있다는 점을 고려하면 1월 평균기온을 온주밀감 감귤 재배가능 여부를 판단하는 지표로 이용하기에는 곤란하다고 판단되었다.

반면에 온대지방에서 온주밀감 재배 가능 여부는 동해 발생 가능성이 가장 중요한 고려 대상 요인이므로 일 최저기온의 극 값 분포는 재배 제한인자로서 중요한 지표가 된다. 제주지역에서는 -12.5 ~ -5.8°C 의 범위에서 온주밀감이 재배되고 있었으며, 95% 이상이 -9.6°C 이상의 지역에 분포하고 있었다(Fig. 7). 중국에서 감귤 재배지대의 일 최저기온의 극 값은 -10.3 ~ -5.6°C의 범위이었다는 보고와 비교해 볼 때 비교적 잘 일치하는 결과이었다(Huang *et al.*, 1993). 위 두 결과를 종합해서 온주밀감의 일 최저기온의 극 값의 하한은 -10.0°C로 설정하는 것이 합리적이었다.

한 해 중 -5°C 이하인 저온일수는 온주밀감의 내한성을 알아볼 수 있는 간접적인 지표로 쓸 수 있다. 저온일수가 0~14일인 지역에 감귤이 재배되고 있었으나, 전체의 98.8%의 감귤원이 -5°C 이하 저온일수가 7일 이하인 지역에 분포하고 있었다(Fig. 8). 겨울철 저온일이 연속적으로 이어질 때 감귤의 동해 발생 위

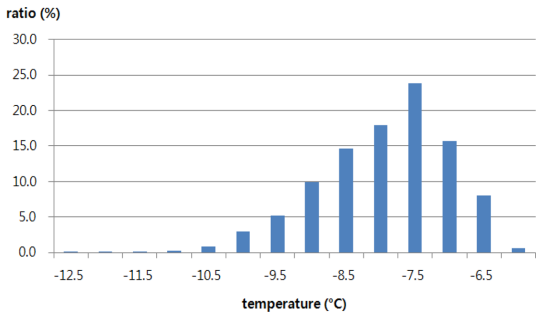

Fig. 7. Distribution of citrus orchard by extremely minimum air temperature with 30 yeras of return period on Jeju Island. The 93.8% of orchard is located above -9.5°C.

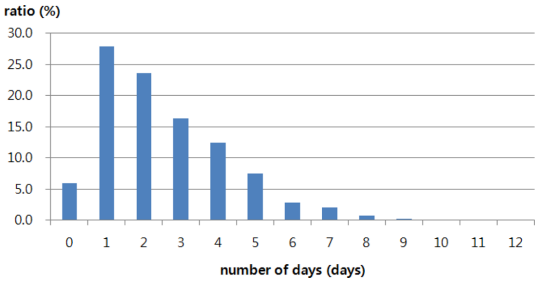

Fig. 8. Distribution of citrus orchard by low temperature days below -5°C on Jeju Island. The 93.8% of orchard is located below 5 days.

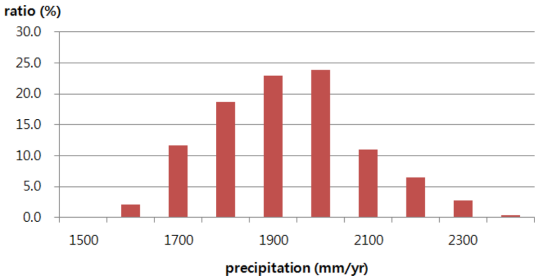

Fig. 9. Distribution of citrus orchard by annual total precipitation on Jeju Island. The 90.4% of orchard is located below 2100 mm year^{-1}.

험이 더 높다는 것과 93.8%의 감귤원이 저온일수 5일 이하인 지역에 분포하고 있다는 점을 고려하면 겨울철 -5°C 이하인 저온일수가 5일 이상인 기준은 감귤의 재배 가능 여부를 판단하는 지표로 쓸 수 있다.

제주도 감귤 재배지대의 연강수량의 범위는 1500~2500mm 이었고, 전체 감귤원의 90%는 2100mm 이하의 지역에 위치하고 있었다(Fig. 9). 중국의 감귤 재배지대는 연강수량이 850mm 이상인 지역에 형성되었다고 하고, 감귤나무가 필요한 수분량이 많지 않으며, 제주도는 사면이 바다로 둘러싸여 한국에서도 연강수량이 가장 높은 지역에 속하는 점을 고려하면 연강수량은 온주밀감의 재배 가능 여부를 결정하는데 중요한 요소가 되지 않을 것이다(Huang *et al.*, 1993).

제주도 온주밀감 재배지대의 환경 특성을 분석을 종합해 보면 온주밀감의 재배 가능 여부 판단 기준은 14.5°C 이상의 연평균기온, -10.0°C 이상의 일 최저기온의 극 값, 연중 -5°C 이하 저온일수가 5일 이상일 것 등 3가지 요소가 중요하게 고려되어야 할 것이다. 이상의 기준은 온주밀감의 재배 가능 여부를 기후학적으로 최소한의 요건을 고려한 것이므로 앞으로 토양 및 병해충에 대한 기준 설정에 대한 연구도 필요하다고 본다. 또 온주밀감의 수량과 품질 등 정밀한 평가 이후에 재배 적합지역을 설정하고자 할 때에는 환경요인을 입력 자료로 하여 생육, 수량, 품질을 예측할 수 있는 기술을 적용하는 것이 필요하다고 하겠다.

적 요

제주지역에서 재배되고 있는 감귤류의 일종인 온주밀감을 대상으로 지형, 기후 등 현재의 재배환경을 공간기술을 이용하여 정량화하여 환경특성 범위를 분석하고, 앞으로 기후변화에 대비하여 온주밀감의 재배가 가능한 지역을 판단할 수 있는 환경 기준을 도출하고자 하였다. 해발고도, 경사도, 경사향, 연평균기온, 1월 평균기온, 일최저기온의 극 값, -5°C 이하 일수, 강수량 등 8종의 기후요소에 대하여 지리정보시스템(GIS) 기술을 이용하여 분포지도의 형태로 제작하였고, 이 분포도에서 감귤원이 분포하는 지역에 포함되는 격자값을 추출하여 환경요소의 분포를 분석할 수 있었다. 온주밀감의 재배 가능 여부를 판단할 수 있도록 14.5°C 이상의 연평균기온, -10.0°C 이상의 일 최저기온의 극 값, 연중 -5°C 이하 저온일수가 5일 이상일 것 등 3 가지 기후학적 환경요소에 대한 기준을 설정하였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 시험연구사업(과제번호 PJ009292052015)의 지원으로 이루어졌습니다.

REFERENCES

Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, and J. I. Yun, 2002: Minimum temperature mapping in complex terrain considering cold air drainage, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **4**, 133-140. (In Korean with English abstract)

Chung, U., K. D. Yun, K. S. Cho, J. H. Yi, and J. I. Yun, 2009: The PRISM-based rainfall mapping at an enhanced grid cell resolution in complex terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**, 72-78.

Huang, S. B., 1990: Agroclimatology of the major fruit production in China: a review of current practice. *Agricultural and Forest Meteorology* **53**, 125-142.

Huang, S. B., 1991: Protecting citrus trees from freezing injury by use of topoclimate in China. *Agricultural and*

Forest Meteorology **55**, 95-108.

Huang, S. B., G. Li, C. Zhou, X. Fan, C. Shen, and M. Xue. 1993: A climatological study of injury to citrus trees from freezing weather in China. *Agricultural and Forest Meteorology* **65**, 129-138.

Kim, C. M., S. W. Koh, Y. E Moon, and D. K. Moon, 2003: Effects of Climatic Parameters on Flowering and Fruit Setting of Satsuma Mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) in Jeju Island. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **21**, 76-76.

Kwon W. T., 2005: Current Status and Perspectives of Climate Change Sciences. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **41**, 325-336.

Moon K. H., I. C. Son, H. H. Seo, and K. S. Choi, 2012a: Estimation of the Periodic Extremes of Minimum Air Temperature Using January Mean of Daily Minimum Air Temperature in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(4), 155-160.

Moon K. H., I. C. Son, H. H. Seo, K. S. Choi, and J. H. Joa, 2012b: Estimation of Duration of Low-temperature in Winter Season Using Minimum Air Temperature on January. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(3),119-123.

Statistics Korea, 2013, Crop production survey 2013 from http://kostat.go.kr.

Yun, J. I., 2004: Visualization of local climates based on geospatial climatology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**, 272-289. (In Korean with English abstract)

Yun, J. I., 2010: Agroclimatic maps augmented by a GIS technology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**, 63-73. (In Korean with English abstract)