

남한 온량지수의 변화와 단감의 안전재배에 관한 연구

Assessment of Safety Cultivation Zones for Sweet Persimmon by Warmth Index Change in South Korea

심교문*[†] · 김용석* · 정명표* · 최인태* · 허지나**

*국립농업과학원 기후변화생태과, **부산대학교 지구환경시스템학부

Shim, Kyo Moon*[†], Kim, Yong Seok*, Jeong, Myung Pyo*,
Choi, In Tae* and Hur, Jina**

*Division of Agro-Climate Change & Ecology, National Academy of
Agricultural Science, Wanju, Korea

**Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan, Korea

ABSTRACT

The monthly mean air temperature datasets of 61 stations in South Korea from 1973 to 2012 were collected to calculate trends in the warmth index (WI) and to analyze the potential enlargement of safety cultivation limit for sweet persimmon. The WI averaged over the last 40 years was 104.1 (°C · Month) at 61 stations, with the highest at Seogwipo station (WI=137.9) and the lowest at Daegwallyeong station (WI=60.9). It has increased by 1.8 (°C · Month) per 10 years over the last 40 years, with the highest in the year 1994 (WI=112.0) and the lowest in the year 1976 (WI=94.7). When the possible stations for sweet persimmon cultivation were classified by the basis on $WI \geq 100$, 38 out of the 61 weather stations were included in the safety cultivation zone for sweet persimmon for the last 40 years. On the other hand, the number of weather stations within the safety cultivation zones for sweet persimmon for the last 10 years (from 2003 to 2012) were 47 by adding additional 9 stations (Socho, Wonju, Chungju, Seosan, Uljin, Yangpyeong, Icheon, Cheonan, and Geochang stations). A further study of the climate conditions and soil characteristics is required for a better assessment of the safety cultivation zones for sweet persimmon.

Key words : Warmth Index, Sweet Persimmon, Safety Cultivation

1. 서론

기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)는 19세기 후반 이후 전지구의 평균 지표온도가 증가해 온 것

이 확실하고, 1901~2012년 동안에 약 0.89(0.69~1.08)°C 상승한 것으로 보고하였다(IPCC, 2013). 또한, 20세기 한반도의 평균 기온 상승률은 1.7°C로

[†] Corresponding author : E-mail: kmshim@korea.kr

전지구 평균기온 상승률에 비해 높으며, 사계절 중 겨울에 가장 크게 증가한 반면, 여름철 평균기온 상승 경향은 뚜렷하지 않다고 보고하였다(NIMR, 2009). 이러한 기온 증가는 지난 30년 동안 우리나라의 온도관련 기후지수와 이상기온의 변화 등을 야기하였다(Choi *et al.*, 2010; Choi *et al.*, 2011; Shim *et al.*, 2013).

식생 발달에 영향을 미치는 주요한 환경인자로는 기후, 토양, 지형 등의 무기적 환경조건과 종내 경쟁, 종간 경쟁 등의 생물적 환경조건이 있다. 생물은 이러한 환경인자들에 의해서 그들의 생육지를 제한받기 때문에, 생물종에 따라서 생육장소가 달라진다. 일반적으로 중위도 이상에서 식생 성장에 가장 중요한 기후요소는 기온과 강수량으로 알려져 있으며, 한반도와 같이 강수량이 다소 충분한 곳에서는 기온이 주요 인자가 된다(Suh *et al.*, 2005).

특히, 온도관련 기후지수 중 온량지수는 식물이 잘 성장하기 위해서는 기준온도 이상의 온도가 일정기간 이상 유지되어야 한다는 개념으로 Kira (1945)가 제안하였다. 국내에서는 Yim(1977)이 우리나라의 식생분포를 설명하기 위해 사용하였는데, 이는 식물생장의 유효열량과 관련이 있다. 또한, 농업적인 측면에서는 온량지수를 단감 등 난지성 과수의 안전재배 한계지를 판단하는 여러 가지 농업 기후지수 중의 하나로 활용하고 있다.

온량지수를 활용한 국내 연구들을 살펴보면, 주로 산림에 서식하는 수종을 대상으로 진행되어왔다. Kong *et al.*(2013)은 RCP 8.5 시나리오에 따른 미래의 온량지수의 변화를 바탕으로 미래에 적응 가능한 식물종을 탐색했다. 그리고 전국에 분포하는 느티나무를 대상으로 온량지수를 이용하여 온량지수 분포별로 적합한 느티나무 다층복원식재모델에 대해서도 연구하여 보고하였다(Kong, 2012). 또한, 식생 분포와 관련이 깊은 온량지수의 변화와 도시화 지표 중의 하나인 인구와의 비교 연구도 수행하였는데(Park *et al.*, 2012), 이 연구도 장기적으로는 도시화 및 도시 성장이 식생 분포에 미치는 영향을 예측하는 일환으로 온량지수를 활용하였다.

하지만, 기온상승으로 대표되는 기후변화가 농업

부분에 미치는 영향이 다른 어떤 분야보다 큼에도 불구하고(RDA, 2011), 기온관련 대표적인 기후지수인 온량지수의 변화와 작물재배조건 변화, 재배 한계지의 변화 등에 대한 연구는 많이 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 과거 40년(1973~2012년) 동안의 우리나라에서의 온량지수의 변화 추세와 이에 따른 대표적인 난지성 과수인 단감의 안전재배 한계지의 확대 가능성에 대해서 분석하였고, 그 일차적인 연구 결과를 보고한다.

2. 실험방법

본 연구는 기상청 소속 61개소의 기상대 혹은 관측소(Fig. 1)에서 과거 40년(1973~2012년) 동안 관측한 월평균기온을 이용하여 우리나라의 관측지점 및 연도별 온량지수(WI; Warmth Index)를 아래 식으로 산정하였다(식 1). 온량지수는 월평균기온이 5°C 이상인 달에 대해서 월평균기온에서 5°C를 빼 값을 모두 합친 값이다.

$$WI = \sum_{1}^n (t - 5), \quad t > 5^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

여기서 t 는 월평균기온이 5°C를 초과하는 달의

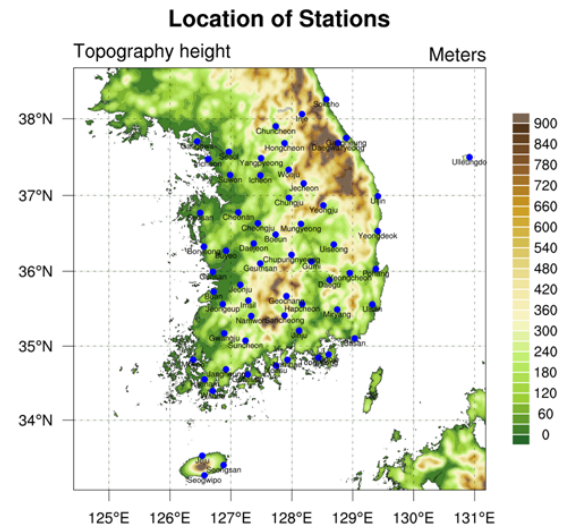


Fig. 1. Location of weather stations used in this study.

월평균기온이다.

단감의 안전재배를 위한 기후적 조건에는 연평균기온의 13℃ 이상, 식물기간의 250일 이상 등 여러 가지가 있다. 이중에 온량지수는 100~120(℃·month) 이상인데(RDA, 2014), 본 연구에서는 100이상을 기준으로 하여 단감의 안전재배 한계지의 확대 가능성을 평가하였다.

3. 결과

3.1 연도별 온량지수의 변화

1973년부터 2012년까지 과거 40년 동안의 전국 61개 지점의 연도별 평균 온량지수는 선형으로 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 2). 평균 온량지수는 매년 약 0.18씩 증가하여 과거 40년 동안에 7.3정도 증가한 것으로(WI=100.4 → WI=107.7) 조사되었다. 과거 40년 동안의 온량지수의 연도별 변동을 살펴보면, 1994년의 평균 온량지수가 112.0으로 가장 높았고, 1976년의 평균 온량지수는 94.7으로 가장

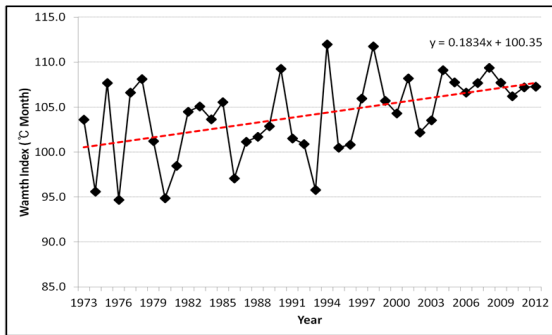


Fig. 2. Interannual changes in the average warmth index of the 61 weather stations during from 1973 to 2012.

낮아서, 두 연도의 평균 온량지수의 차이는 17.3인 것으로 분석되었다.

조사기간(1973~2012년)을 10년씩 4개 세부기간으로 나누어 온량지수의 변화 경향을 분석하면, 가장 최근 10년(2003~2012년, d)의 평균 온량지수는 107.3으로 가장 높은 기간이고, 조사기간 중에 현재로부터 가장 먼 과거 10년(1973~1982년, a)의 평균 온량지수는 101.6으로 가장 낮은 기간이었으며, 두 기간의 온량지수의 차이는 5.7로 조사되었다. 그리고 가장 최근 10년 동안의 온량지수의 연간 변동이 다른 기간(a~c)에 비해서 가장 낮은 것으로 분석되었다(Table 1). 이와 같은 결과는 우리나라에서 최근 10년 동안은 식물생장에 필요한 유효열량이 다소 안정적으로 확보되었다는 것을 뒷받침하고 있다.

3.2 관측지점별 온량지수의 변화

1973년부터 2012년까지 과거 40년 동안의 전국 61개 지점의 평균 온량지수는 104.1(℃·Month)이었다. 관측지점 중에 서귀포 지점의 평균 온량지수는 137.9로 가장 높았고, 대관령 지점의 평균 온량지수는 60.9로 가장 낮았으며, 이 두 지점간의 평균 온량지수의 차이는 77.0으로 분석되었다(Table 2).

현재로부터 가장 최근 10년과 가장 먼 과거 10년의 평균 온량지수의 변화를 관측지점별로 조사하면, 대부분의 지점(문경지점 제외)에서 가장 최근 10년의 평균 온량지수가 높아졌는데, 특히 서귀포 지점에서는 두 기간의 평균 온량지수의 차이가 13.5로 가장 크게 증가하였고, 육지에서는 청주, 원주, 수원, 대구 지점에서 두 기간의 평균 온량지수의 차이|(d-a)가 10.1~12.5 범위로 크게 증가하였다.

Table 1. The average warmth index of the 61 weather stations at a 10-year interval

	1973~1982 (a)	1983~1992 (b)	1993~2002 (c)	2003~2012 (d)	Difference (d-a)
Warmth index (℃ month)	101.6	102.9	104.7	107.3	5.7
Coefficient of variation	5.3	3.2	4.9	1.5	-3.8

Table 2. Changes in warmth indices at 61 weather stations at a 10-year interval

Station	1973 ~1982 (a)	1983 ~1992 (b)	1993 ~2002 (c)	2003 ~2012 (d)	1973 ~2012	Station	1973 ~1982 (a)	1983 ~1992 (b)	1993 ~2002 (c)	2003 ~2012 (d)	1973 ~2012
Sokcho	96.3	95.1	98.2	100.3	97.5	Yangpyeong	93.5	94.6	98.5	101.9	97.1
Daegwallyeong	60.0	58.3	60.9	64.3	60.9	Icheon	94.9	98.3	98.8	100.2	98.1
Chuncheon	93.6	96.1	97.5	99.1	96.6	Inje	85.3	86.9	87.5	89.6	87.4
Gangneung	103.1	103.9	108.3	108.1	105.8	Hongcheon	89.8	89.4	91.7	96.4	91.8
Seoul	102.1	104.2	109.4	109.2	106.2	Jecheon	89.3	90.5	87.6	90.4	89.5
Incheon	96.2	98.6	104.2	104.8	101.0	Boeun	90.6	92.0	91.8	95.3	92.4
Wonju	91.9	94.9	99.3	104.2	97.6	Cheonan	97.0	99.2	99.8	102.8	99.7
Ulleungdo	94.2	95.5	97.8	97.7	96.3	Boryeong	97.3	100.2	103.5	105.4	101.6
Suwon	95.9	98.7	105.4	107.3	101.8	Buyeo	99.5	100.1	103.5	105.4	102.1
Chungju	96.4	98.8	97.2	102.1	98.6	Geumsan	96.4	97.5	96.4	99.8	97.5
Seosan	97.6	98.1	100.1	100.7	99.1	Buan	100.1	102.5	103.3	108.8	103.7
Uljin	98.1	97.6	100.5	100.3	99.1	Imsil	90.9	91.9	90.7	96.3	92.4
Cheongju	99.5	103.2	107.8	112.0	105.6	Jeongeup	103.8	107.6	108.6	112.6	108.1
Daejeon	101.2	105.9	108.5	109.7	106.3	Namwon	101.6	102.7	101.5	104.6	102.6
Chupungnyeong	96.9	96.3	98.1	97.3	97.1	Suncheon	101.2	103.2	103.1	106.2	103.4
Pohang	109.5	113.2	117.7	118.6	114.8	Jangheung	103.4	105.6	103.4	109.0	105.3
Gunsan	103.0	104.5	107.0	107.2	105.4	Haenam	107.1	108.3	108.3	110.3	108.5
Daegu	111.7	114.3	119.3	121.8	116.8	Goheung	109.9	111.0	108.9	111.6	110.4
Jeonju	107.4	108.7	112.9	115.2	111.0	Yeongju	94.8	93.0	96.4	97.8	95.5
Ulsan	110.0	112.1	115.5	117.3	113.7	Mungyeong	102.3	99.5	97.2	97.0	99.0
Gwangju	109.0	111.8	114.8	118.2	113.4	Yeongdeok	102.2	101.8	100.5	106.4	102.7
Busan	114.5	116.6	121.3	120.0	118.1	Uiseong	96.7	94.9	95.5	99.9	96.8
Tongyeong	114.1	115.2	117.0	118.2	116.1	Gumi	100.3	100.0	106.5	109.9	104.2
Mokpo	110.4	112.1	113.6	112.6	112.2	Yeongcheon	101.8	100.1	103.6	105.2	102.7
Yoesu	112.6	113.8	117.8	116.9	115.3	Geochang	94.3	93.9	95.3	100.6	96.0
Wando	109.9	113.9	112.9	115.0	112.9	Hapcheon	106.1	104.5	106.4	113.2	107.5
Jeju	123.5	126.2	131.9	132.3	128.5	Miryang	106.6	108.1	109.4	114.1	109.5
Seongsan	121.3	124.5	123.5	128.3	124.4	Sancheong	104.3	103.6	102.6	108.2	104.7
Seogwipo	131.0	134.7	141.4	144.5	137.9	Geoje	109.9	113.7	112.4	116.1	113.0
Jinju	108.9	106.0	109.0	112.3	109.0	Namhae	111.7	114.8	113.9	117.1	114.4
Ganghwa	92.7	94.1	93.8	96.1	94.2	Mean	101.6	102.9	104.7	107.3	104.1

반면, 추풍령과 제천 지점의 두 기간의 평균 온량지수의 차이는 0.4과 1.1으로 온량지수의 증가 정도가 상대적으로 낮은 지점으로 평가되었으며, 문경 지점에서는 가장 최근 10년의 평균 온량지수가 97.0으로 가장 먼 과거 10년(WI=102.3)보다 오히려 5.3정도 낮아진 것으로 조사되었다.

실질적으로 최근 한반도의 온난화 경향과는 달리, 문경 지점의 과거 40년 동안의 연평균기온은 10년마다 0.14℃씩 낮아지는 것으로 분석되었고, 추풍령과 제천 지점의 연평균기온의 상승률은 각각 0.07℃/10년, 0.06℃/10년으로 동 기간의 전국 평균의 기온상승률(0.23℃/10년)보다 현저히 낮아서, 이들 지점의 온량지수의 변화 경향에 영향을 미친 것으로 분석되었다(Fig. 3). 반면에 온량지수가 크게 증가한 서귀포를 비롯한 청주, 원주, 수원, 대구 지

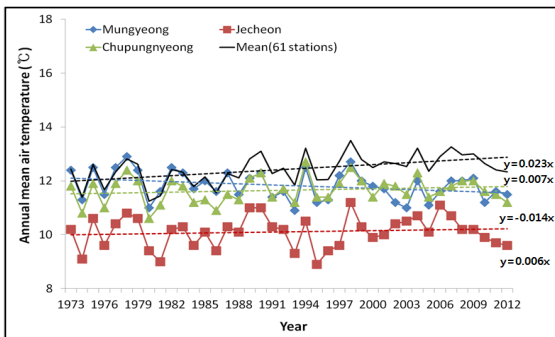


Fig. 3. Interannual changes and trends of annual mean air temperature at Mungyeong, Jecheon, and Chupungnyeong stations from 1973 to 2012.

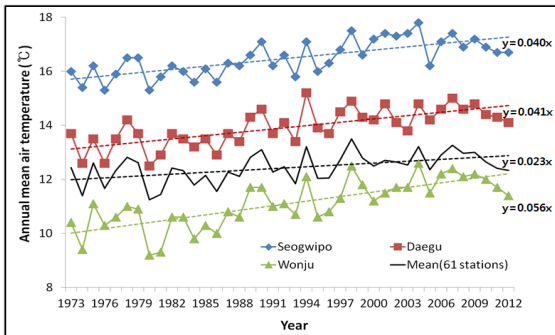


Fig. 4. Interannual changes and trends of annual mean air temperature at Seogwipo, Daegu, and Wonju stations from 1973 to 2012.

점의 과거 40년 동안의 연평균기온의 상승률은 0.40 ~ 0.56℃/10년으로 전국 평균의 기온상승률보다 훨씬 큰 것으로 조사되었다(Fig. 4).

3.3 온량지수 기준 단감의 안전재배 한계지 변화

우리나라의 단감 안전재배 한계지 구분의 기후적 조건 중에서 온량지수는 100이상이어야 한다. 과거 40년 동안의 평균 온량지수를 기준으로 단감의 안전재배가 가능한 지점을 분석하면, 61개 관측 지점 중에 62%인 38개 지점에서 단감의 안전재배가 가능한 것으로 분석되었으며, 그 분포도는 그림 4e와 같다. 반면, 최근의 기온상승이 반영된, 가장 최근 10년 동안의 평균 온량지수를 기준으로 단감의 안전재배 한계지를 구분하면, 속초, 원주, 충주, 서산, 울진, 양평, 이천, 천안, 거창지점 등 9개 지점의 평균 온량지수가 추가로 100 이상이 되어서, 단감의 안전재배 가능 지점이 총 47개로 확대되는 것으로 분석되었다(Fig. 5d).

4. 고찰

본 연구는 과거 40년 동안의 우리나라에서 온량지수의 변화 추세와 이에 따라 대표적인 난지성 과수인 단감의 안전재배 한계지의 확대 가능성에 대해서 분석하였다. 과거 40년 동안의 우리나라의 평균 온량지수는 증가하는 경향이었으며, 가장 최근 10년의 평균 온량지수는 조사기간 중 가장 먼 과거 10년의 평균 온량지수에 비해서 5.6%(WI=5.7) 증가한 것으로 분석되었다. 다만, 일부 지점에서는 온량지수의 증가 정도가 미미했고, 문경지점에서는 오히려 감소한 것으로 조사되었다. 이와 같은 지점별 평균 온량지수의 변화 경향을 반영하여, 가장 최근 10년의 단감의 안전재배가 가능한 지점을 구분한 결과, 과거 40년에 비하여 속초, 원주, 충주, 서산, 울진, 양평, 이천, 천안, 거창 등 9개 지점이 안전재배 가능지점으로 추가되어 총 61개 조사지점의 77%인 47개 지점까지 단감의 안전재배지가 확대되는 것으로 조사되었다. 하지만, 단감의 안전재배지

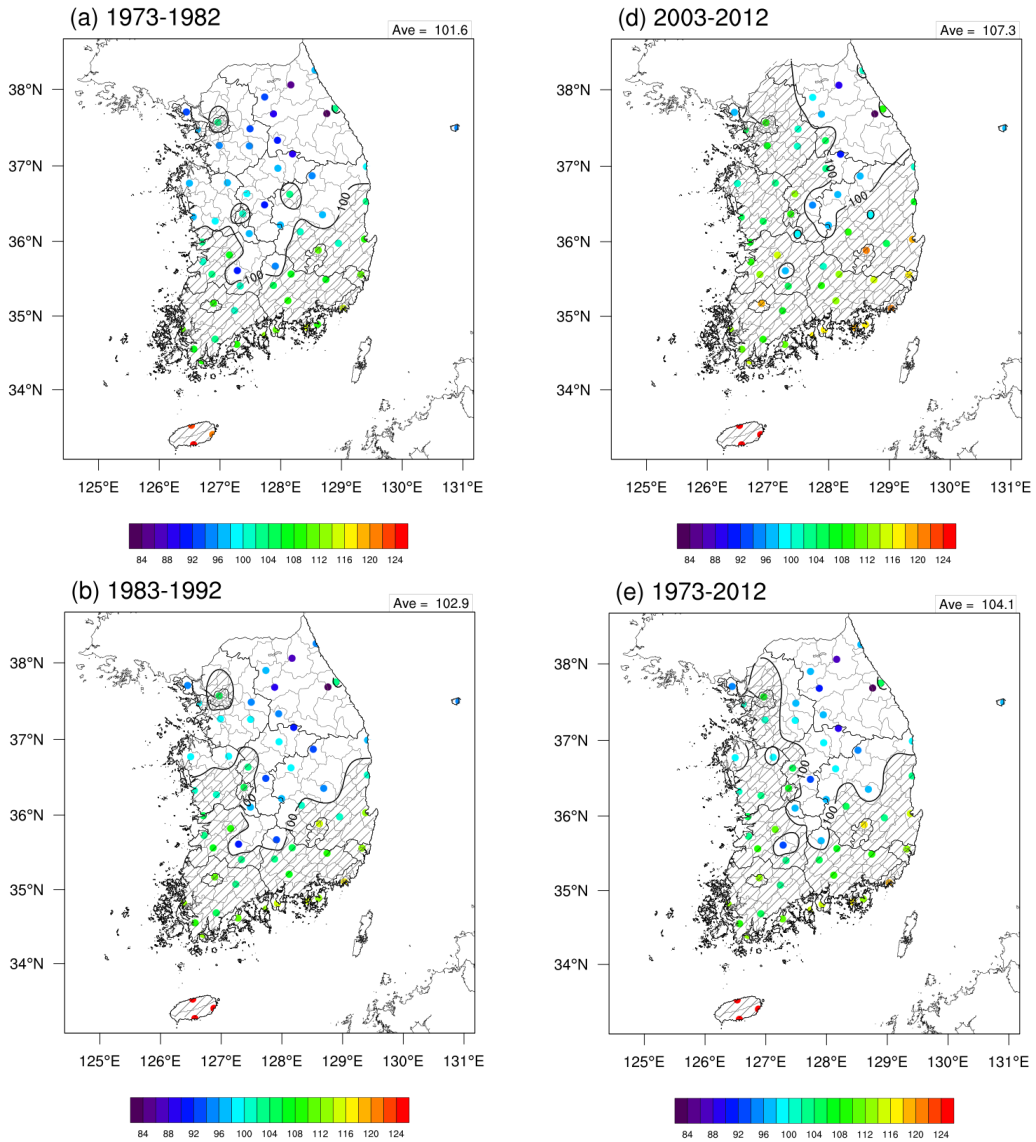


Fig. 5. Distribution maps of warmth index (WI) : (a) from 1973 to 1982, (b) from 1983 to 1992, (d) from 2003 to 2012, and (e) from 1973 to 2012. The line stands for the contour line which the WI value is 100. It should be noted that the distribution map of WI for the period from 1993 to 2002(c) is not included.

대를 설정하는 기후적인 조건으로는 온량지수를 포함하여, 연평균기온, 식물기간, 적산온도, 최저극기온 등이 있으며, 본 연구에서는 온량지수만을 기준으로 안전재배지 확대 가능성을 검토하였다. 따라서 보다 정확한 단감의 안전재배지대를 구분하기 위해서는 최저극기온 등 기후적인 조건뿐만 아니라, 토양조건도 추가하는 종합적인 분석이 앞으로 수행

되어야 할 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 과거 40년(1973~2012년) 동안의 우리나라의 온량지수(WI)의 변화 추세와 이에 따른 단감의 안전재배 한계지의 확대 가능성을 분석하였다. 이를 위해 남한의 61개 기상관측소의 월평균기

온 자료를 이용하였다. 과거 40년 동안의 61개 관측지점의 평균 WI는 104.1($^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$)이었는데, 이중 서귀포 지점의 평균 WI는 137.9로 가장 높았고, 대관령 지점의 평균 WI는 60.9로 가장 낮았다. 연도별로는 1994년의 평균 WI는 112.0으로 가장 높았고, 1976년의 평균 WI는 94.7로 가장 낮았다. 과거 40년 동안의 61개 관측지점의 평균 WI는 10년에 약 1.8씩 높아지는 것으로 조사되었다. $\text{WI} \geq 100$ 기준으로 단감의 안전재배 가능지점을 분석하면, 과거 40년 동안에는 총 61개 지점 중에 38개 지점에서 단감의 안전재배가 가능한 것으로 분석되었고, 최근 10년(2003~2012년) 동안에는 속초, 원주, 충주, 서산, 울진, 양평, 이천, 천안, 거창 등 9개 지점이 추가되어, $\text{WI} \geq 100$ 기준에서 단감의 안전재배가 가능한 지점이 총 47개로 확대되는 것으로 분석되었다. 향후, 단감의 안전재배지대 분석에 식물기간, 적산온도, 최저극기온 등의 기후조건과 토양조건을 고려한 종합적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

사사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호 : PJ009353)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Choi S, Lee WK, Kwak DA, Lee S, Son Y, Lim JH, Saborowski J. 2011. Predicting forest cover changes in future climate using hydrological and thermal indices in South Korea. *Climate Research* 49:229-245.
- Choi S, Lee WK, Son Y, Lim JH. 2010. Changes in the distribution of South Korean forest vegetation simulated using thermal gradient indices. *Sci China Life Sci* 53:784-797.
- IPCC. 2013. Summary for policymakers. In: *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[Stocker, TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kira T. 1945. A new classification of climate in eastern asia as the basis for agricultural geography. Horticultural Institute, Kyoto University, Kyoto.
- Kong SJ, Shin JH, Yang KC. 2012. Multi layered planting models of *Zelkova serrata* community according to warmth index. *J Korean Env Res Tech* 15:77-84. (in Korean with English abstract).
- Kong SJ, Shin JH, Yang KC. 2013. The study of adaptation plant species according to warmth index using RCP 8.5 scenarios in Cheonan-Si. *J Korean Env Res Tech* 16:19-30. (in Korean with English abstract).
- NIMR. 2009. Understanding climate change II - Korean peninsular climate change: Present and future -. (in Korean).
- Park JC, Jung IW, Chang HJ, Jang DH. 2012. Relationship between population and changes in warmth and coldness indices in South Korea. *Journal of Climate Research* 7:210-225. (in Korean with English abstract).
- RDA. 2011. Climate change and agriculture (II) - Challenge and problem -. RDA interrobang 33. (in Korean).
- RDA. 2014. Agricultural technology. http://rda.go.kr/board/board.do?mode=html&prgId=arg_cropfarm-skillEntry#ac_con_view. (in Korean).
- Shim KM, Kim YS, Jung MP, Kim SC, Min SH, So KH. 2013. Agro-climatic zonal characteristics of the frequency of abnormal air temperature occurrence in South Korea. *Journal of Climate Change Research* 41:89-199. (in Korean with English abstract).
- Suh MS, Lee JR, Kang JH, Lee DK, Ahn MH.

2005. On the relationship between seasonal change of vegetation and climate elements in East Asia. *Asia-Pacific J Atmos Sci* 41:557-570.
- Yim YJ. 1977. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula III. Distribution of tree species along the thermal gradient. *Japanese Journal of Ecology* 27:177-189. (in Japanese).