

기후변화 시나리오에 근거한 온도상승이 고추의 생육양상 및 과실특성에 미치는 영향

송은영 · 문경환 · 손인창 · 위승환 · 김천환 · 임찬규 · 오순자*
농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소
(2015년 9월 7일 접수; 2015년 9월 22일 수정; 2015년 9월 22일 수락)

Impact of Elevating Temperature Based on Climate Change Scenarios on Growth and Fruit Quality of Red Pepper (*Capsicum annuum* L.)

Eun Young Song, Kyung Hwan Moon, In Chang Son, Seung Hwan Wi,
Chun Hwan Kim, Chan Kyu Lim and Soonja Oh*

National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Jeju 690-150, Korea

(Received September 7, 2015; Revised September 22, 2015; Accepted September 22, 2015)

ABSTRACT

This study was conducted to determine the impact of temperature elevated based on climate change scenario on growth and fruit quality of red pepper (*Capsicum annuum* L.) in walk-in plant growth chambers. The intraday temperatures of climate normal years (IT) were determined using intraday mean temperatures of climatic normal years (1971~2000) in the Andong Province during the growing season (May 1~July 30). Red pepper plants were cultivated under different temperatures (starting at IT rise by up to 6°C, 2°C increment). Plant height, stem diameter, branch number, leaf number, fresh weight and dry weight increased under the temperatures higher than IT. The number of flower was the greatest under IT+2°C (mean temperature at 22.8°C). The total number and the weight of fruits were the highest under IT+2°C. While the fruit weight, fruit length and fruit diameter decreased more than IT+2°C as the temperature increased gradually. These results concluded that in condition that the current diurnal temperature change cycle is maintained in Andong area, in accordance with climate change scenarios, when the temperature rise 2°C higher than intraday temperature of Andong area the quantity of pepper fruits will increase while maintaining quality, but increases more than that degree yields are expected to decrease significantly. This result suggests that the fruit yield could increase under IT+2°C and fruit quality could maintain great, but the fruit yield could decrease under the temperatures higher than IT+2°C.

Key words: Climate change scenarios, Fruit quality, Fruit yield, Intraday temperatures of climate normal years, Red pepper

I. 서 론

고추(*Capsicum annuum* L.)는 우리 식생활에서 가장 널리 이용되는 조미채소 가운데 하나로 전 세계적으로 소비량이 점차 늘어나는 추세에 있다(Andrew,

1995). 고추는 한국의 채소류 재배면적 292,000ha 가운데 약 20%를 차지하는 중요한 경제작물 중 하나이며, 안동을 중심으로 한 경북지역은 한국 최대의 고추 생산지이다(Seo *et al.*, 2011). 고추의 수량 및 품질은 착과 및 성숙기의 일조량, 강우량, 기온 등과 같은 기상



* Corresponding Author : Soonja Oh
(osoonja@korea.kr)

환경 및 재배지의 토양조건에 의해서 큰 영향을 받는다 (Hwang and Lee, 1978; Kim *et al.*, 1995; Jang *et al.*, 2000). 온도, 강우와 같은 기후 조건은 작물 생육에 중요할 뿐만 아니라 농업생태계의 변화를 초래하므로 최근에는 기후변화에 의한 식물의 반응을 파악하기 위하여 작물의 재배적지 변화, 수확량 변동예측 모형 개발 등에 관한 연구들이 활발하게 이루어지고 있다(Hadley *et al.*, 1995; Poster and Semenov, 2005). 환경 요인 중에서도 온도는 식물의 지리적 분포와 생존, 그리고 생산량에 직결되는 중요한 요인으로 일정 수준보다 낮거나 높으면 저온 또는 고온 스트레스를 받게 된다(Oh *et al.*, 2014). 고온성 작물에서 적정 범위 내에서의 기온상승은 작물의 생육가능 기간을 연장하여 생산성과 품질 향상에 유리한 측면이 있다(Shin and Yun, 2011).

지구온난화로 인한 지구 평균기온은 지난 133년간(1880~2012년) 0.85°C 상승하였고, 21세기 첫 10년이 가장 높았던 것으로 나타나 지구온난화가 현재에도 진행 중인 것으로 보고하였다(IPCC, 2013). 한반도 기후변화시나리오에 의하면 20세기말(1971~2000)에 비해 2030년경에는 기온이 1.2°C 상승하고, 21세기말(2071~2100)에는 약 4°C 상승할 것으로 예측하고 있다(NIMR, 2011). 작물재배에 있어 온도가 1°C 상승하게 되면 재배가능지역이 위도상으로 81km 북상하게 되고, 해발고도상으로는 154m 높아지게 된다(Heo *et al.*, 2013). Houghton *et al.*(1996)은 21세기말 경에는 현재보다 대기 중 CO₂ 농도는 2배, 기온은 2~5°C 높은 환경에서 작물이 생육할 것으로 예측하고 있다. 지구온난화는 작물의 개화, 출수시기 변화 등 생리적 변화를 일으키고 작물의 품질변화, 재배적지를 이동시켜 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다(FAO, 2004). 특히 기온상승은 작물에 따라 다르지만 대체적으로 농업생산에 부정적 영향을 미칠 것으로 예측된다(Wolfe *et al.*, 2005).

본 연구에서는 우리나라 대표적 노지채소인 고추의 생육기간 동안 미래 기후변화 시나리오에 근거하여 예측되는 온도조건을 환경제어챔버를 이용하여 구현함으로써 생육 및 과실의 특성에 미치는 영향을 살펴보았다.

II. 재료 및 방법

2.1. 실험재료 및 재배조건

실험재료는 노지 전용고추인 무한질주(*Capsicum*

annuum L. cv. Muhanjilju, Syngenta Korea, Seoul, Korea)를 사용하였으며, 모든 실험은 국립특작과학원 온난화대응농업연구소내 환경제어챔버(GR96, Environmental Growth Chambers, Inc., Chagrin Falls, USA)에서 수행하였다. 고추 종자는 2013년 2월 25일에 원예용 상토를 채운 50구 육묘용 플러그 트레이에 1립씩 파종하여 20±1°C(주간)/15±1°C(야간)의 조건으로 육묘하였다. 파종 70일 후 본엽이 10~13매 나온 균일하게 자란 개체를 선발하여 원예상토와 펠라이트를 4:1(v:v)로 혼합된 배양토가 들어있는 화분(30×30×25cm)에 정식하였다. 이후 정식된 고추는 양액재배용 제4종 복합비료(코짚)를 주 2회 관주하여 재배하였고, 2013년 5월 1일부터 7월 30일까지 3개월(90일)간 온도를 달리한 챔버에서 배양하면서 식물의 생육 및 과실 특성을 조사하기 위한 재료로 사용하였다.

챔버내 온도는 노지고추 주산지인 안동지역의 평년(1971~2000; 30년) 5월부터 7월까지의 일평균 기온자료를 토대로 기후변화 시나리오에 근거하여 IT (Intraday temperature: 기준온도), IT+2°C, IT+4°C, IT+6°C 등 4수준으로 설정하였다(Fig. 1). 설정된 온도는 안동지역의 일기온 변화에 가깝게 1시간 간격으로 미세하게 변화하도록 조절하였으며, 재배기간 동안

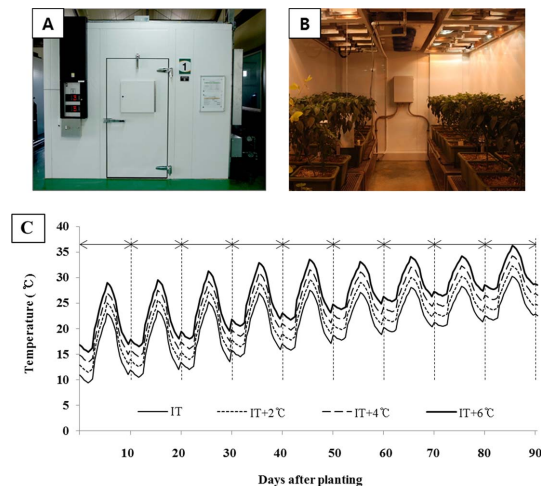


Fig. 1. Photos of outside (A) and inside (B) of growth chamber used in this study, and temperature conditions designed based on climate change scenarios (C) for cultivation of red pepper (*Capsicum annuum* L.). The intraday temperatures of climate normal years (IT) were determined using intraday mean temperatures of climatic normal years (1971~2000) in the Andong province during the growing season (May 1~July 30).

매 10일 단위로 총 9차례에 걸쳐 온도가 변화하도록 하였다(Fig. 1). 광조건은 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (13h light/11h dark)로 설정하였다.

2.2. 고추의 생육특성 조사

고추의 생육 특성은 정식 후 21, 42, 63, 84일 각각 처리구별로 3개체를 무작위로 선별하여 초장, 경경, 분지수, 엽수, 지상부의 생체중과 건물중을 조사하였다. 초장은 지면에서 식물의 정단부까지의 길이를 측정하였으며, 경경은 주경장의 가장 두꺼운 부분을 측정하였다. 분지수는 식물 줄기가 갈라지는 마디의 수로 처음 갈라지는 위치에서 가장 길게 신장된 가지를 선정해 그 가지의 마지막으로 갈라지는 부분의 개수를 조사하였고, 엽수는 잎의 길이가 1cm 이상인 것을 모두 조사하여 개체당 총엽수로 나타내었다. 지상부의 무게는 생체중을 먼저 측정한 후 65°C 건조실에서 72시간 건조시켜 건물중을 측정하였다. 개화특성은 정식 후 30일부터 58일까지 일주일 간격으로 개체당 꽃수를 조사하였다. 과실특성은 정식 후 84일째에 진홍색으로 완숙된 고추를 수확하여 과장, 과경, 과중, 그리고 개체당 착과수와 생체중을 측정하였다.

2.3. 통계분석

조사된 자료의 통계분석은 SAS (Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하였으며, Duncan의 다중검정($P < 0.05$)으로 평균치간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

고추 유묘를 온도를 달리하여 3개월 동안 재배하였을 때, 온도가 증가함에 따라 초장은 길게 신장하였고, 분지수와 엽수도 많아졌다(Fig. 2). 초장은 안동지역의 5~7월 IT조건으로 재배하였을 때 76.5cm인데 반해, IT+6°C에서 재배하였을 때에는 113.4cm로 1.5배 더 신장하였다(Fig. 2A). 경경은 높은 온도로 재배하였을 때 일찍 굵어졌으나 정식 후 42일 이후부터는 재배온도간에 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 2B). 분지수와 엽수도 정식 후 84일까지 IT+6°C에서 재배하였을 때 더 많이 발생하였다. 분지수는 정식 후 42일까지는 온도간에 큰 차이를 보이지 않았으나 그 이후부터 IT+4°C와 IT+6°C에서 많아져 재배온도간에 뚜렷한

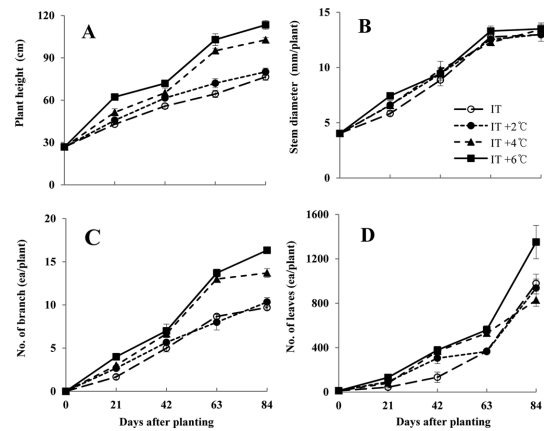


Fig. 2. Changes in plant height (A), stem diameter (B), branch number (C) and leaf number (D) of red pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under different temperatures in the environmentally controlled chambers.

차이를 보였다. 특히, 정식 후 84일에는 IT+6°C에서 분지수가 16.3개로 대조구의 1.7배로 분화의 정도가 큼을 알 수 있었다(Fig. 2C). 분지수는 갈라지는 마디의 수를 측정하는 것으로 개화 및 과실의 착과와 밀접한 관련이 있으므로 그 수가 많을수록 많은 열매를 맺을 것으로 보인다. 엽수도 재배기간 동안 꾸준히 증가하여 정식 후 84일 까지 IT+6°C에서 1351개로 대조구인 IT 처리구의 979개보다 372개나 많았다(Fig. 2D). 고추는 생육적온인 25°C보다 고온인 30°C에서 재배하면 엽수가 증가하며 생육일수가 늘어날수록 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 보고하였는데(Heo *et al.*, 2013), 본 연구에서도 IT 보다 6°C 온도 상승시 엽수가 증가하는 동일한 경향을 나타내었다.

고추 생육기 온도조건별 개체당 지상부의 생체중과 건물중을 살펴보면(Fig. 3), 정식 후 84일에 지상부 생체중은 대조구인 IT에서 199.3g에 비해 IT+6°C에서 296.0g으로 1.5배 증가하였고(Fig. 3A), 건물중도 IT+6°C에서 48.7g으로 대조구인 IT 처리구의 34.3g에 비해 1.4배 더 증가하였다(Fig. 3B). 이러한 결과는 고추를 생육적온인 25°C보다 고온인 30°C에서 재배하였을 때 생체중과 건물중이 증가한다는 보고와 유사하였다(Heo *et al.*, 2013). 한편 25°C에서는 균형적인 생육과 생식생장이 전개되었으나 30°C의 고온에서는 영양생장이 촉진되어 전체적으로 웃자라는 경향을 보이는 것으로 보고되었다(Heo *et al.*, 2013). 또한, 고온성 채소인 고추는 생육 한계온도인 35°C까지 상승

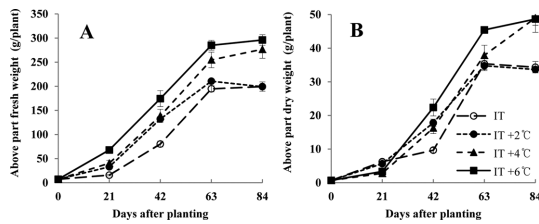


Fig. 3. Changes in fresh (A) and dry weight (B) of red pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under different temperatures in the environmentally controlled plant growth chambers.

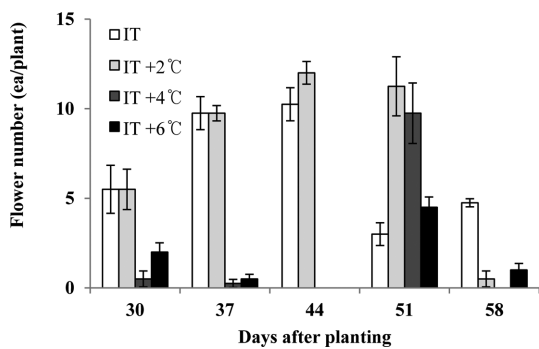


Fig. 4. Changes in the number of flowers of red pepper (*Capsicum annuum* L.) grown different temperatures in the environmentally controlled plant growth chambers.

할수록 생육이 촉진될 수 있다고 하였는데 본 연구에서도 대조구인 IT에서 재배하였을 때보다 고온조건에서 재배하였을 때 고추 식물체의 생체중과 건물중이 증가하였다.

개화는 정식 후 30일부터 시작되었으며, 개화수는 조사기간 동안 IT와 IT+2°C에서 가장 많았고, IT+4°C와 IT+6°C에서는 현저하게 낮았다(Fig. 4). 고추의 개화에 적절한 온도는 18~23°C이며, 30°C 이상에서는 꽃눈 분화가 불량하거나 분화가 되더라도 화분발아와 화분관 신장이 원활하게 이루어지지 않아 착화 및 착

과율이 낮아질 수 있다고 하였다(Kim *et al.*, 2013). 고추의 성장 및 발달에 있어서 중요한 개화 및 착과는 6월 1일~6월 30일(정식 후 30~60일간)경에 주로 이루어지는데, 이 때 IT와 IT+2°C의 평균온도는 Fig. 1에서 살펴본 바와 같이 각각 20.8°C와 22.8°C로 개화에 적절한 온도범위에 속한다. 그러나, IT+4°C와 IT+6°C에서는 평균온도가 24.8°C, 26.8°C로 개화 적정온도보다 높아 착화율이 저조한 것으로 보인다. 생산성 측면에서 보면 식물체가 정상적으로 개화하고 수분과 수정이 원활하게 이루어져 많은 수의 과실이 착과되도록 하여 수량을 증가시키는 것이 바람직할 것이다. 이러한 측면에서 기후변화 시나리오에 근거하여 평년보다 4°C이상 온도가 상승하게 되면 꽃눈분화와 수분, 수정 등 생식생장이 원활하게 이루어지지 않아 수확량이 급격하게 낮아질 것으로 예상된다.

고추 정식 후 84일째에 붉은 고추를 일시에 수확하여 과실의 특성을 살펴보면, IT+2°C에서 수확한 과실이 가장 크고 무거웠다(Table 1). 과중은 IT+2°C에서 10.1g으로 가장 무거웠으며 그 보다 높은 온도인 IT+4°C와 IT+6°C에서는 각각 7.3g과 4.4g으로 온도가 높아짐에 따라 크게 감소하였다. 과장은 IT+2°C에서 10.5cm로 가장 길었고, IT+6°C에서 7.6cm로 짧았다. 과경은 IT, IT+2°C, IT+4°C에서 17.0~17.1mm로 차이가 없었으나 IT+6°C에서 14.0mm에 비해 3.1mm나 두꺼웠다. 개체당 착과수는 IT+2°C에서 48.7개로 타 처리에 비해 많았는데 대조구인 IT의 34.0개 보다 14.7개나 더 많았다. 개체당 과실 생체중은 평년온도에서 재배하였을 때 개체당 263.2g인데 반하여 IT+2°C에서 재배하였을 때 개체당 471.7g으로 증가하여 온도가 2°C 상승하였을 때 수확량이 대략 1.8배 많아질 것으로 보인다. 그러나 IT+4°C와 IT+6°C에서는 과실 생체중이 각각 183.5g과 182.9g으로 낮아져 품종에

Table 1. Morphological traits, total number and total weight of red pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits harvested at 84 days after planting

Treatment	Morphology trait of fruit			Total number of fruit (ea/plant)	Total weight of fruit (g/plant)
	Fresh weight (g/ea)	Length (cm)	Diameter (mm)		
IT	8.4±0.8 a ^z	8.6±0.4 ab	17.0±0.3 a	34.0±2.6 ab	263.2±43.0 ab
IT +2°C	10.1±0.9 a	10.5±0.3 a	17.1±1.9 a	48.7±2.1 a	471.7±42.4 a
IT +4°C	7.3±1.3 ab	8.7±0.6 ab	17.1±0.6 a	25.3±4.0 b	183.5±34.8 b
IT +6°C	4.4±0.5 b	7.6±0.3 b	14.0±0.3 b	39.3±5.5 ab	182.9±30.9 b

^zThe data are represented as mean±standard deviation (SD) of three replicates. The different letters in each column indicate significant differences among different temperature levels (P<0.05).

따라서는 평년온도보다 4°C 이상 증가하게 되면 수확량이 급격하게 감소할 것으로 보인다. 이러한 결과는 재배온도가 높아졌을 때 과실비대가 잘 되지않아 과중이 감소하고 과장이 짧아진데서 비롯된 것으로 판단된다.

고온성 작물인 경우 적정범위 내에서 기온의 상승은 작물의 생육가능 기간을 연장하여 생산성과 품질 향상에 유리한 측면이 있다(Heo *et al.*, 2013). 고추에서도 생육한계온도(35°C)까지는 온도가 증가함에 따라 생육이 촉진될 수 있으나 그 이상 고온에서는 화분발아율이 낮아 낙과율이 증가할 것이며, 이는 수량 감소로 이어질 수 있다(Heo *et al.*, 2013). 본 연구에서도 대조구인 IT에서 보다 IT+2°C에서 재배하였을 때 과실 수량이 증가하고 품질도 유지되는 경향을 보였으나 그 이상의 온도에서는 수량이 감소하고 과실품질이 저하될 것으로 보인다.

적 요

본 연구는 미래 기후변화 시나리오에 근거하여 예측되는 온도를 노지채소인 고추에 적용하여 환경제어챔버에서 재배하였을 때 생육 및 과실품질에 미치는 영향을 살펴보았다. 챔버내 온도는 노지고추 주산지인 안동지역의 평년(1971~2000; 30년) 5월 1일부터 7월 30일까지의 일평균 기온자료를 토대로 IT (Intraday temperature: 기준온도), IT+2°C, IT+4°C, IT+6°C 등 4 수준으로 설정하였다. 대조구인 일평균온도보다 고온에서 재배하였을 때 초장도 길었고, 분지수, 엽수와 지상부 생체중과 건물중이 증가하였다. IT+2°C(평균온도 22.8°C)에서 정식 후 30~60일간의 개화수가 가장 많았다. 따라서 개체당 착과수 및 과실 생체중은 IT+2°C에서 가장 많았으며, 그 이상의 온도에서 온도가 높을수록 과중은 적었고 과장도 짧아졌으며 과경도 줄었다. 이상의 결과로 보아 안동지역에서 현재의 일일 온도변화 주기가 유지된다고 가정할 경우, 기후변화시나리오에 따라 온도가 평년기온보다 2°C 상승하였을 때, 과실 수량이 증가되고 품질도 유지되었으나, 그 이상의 온도에서는 수확량이 크게 감소할 것으로 예측된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 시험연구사업(과제번호: PJ009292)의 지원으로 이루어졌습니다.

REFERENCES

- Andrew, J., 1995: *Peppers; The domesticated capsicum*. Univ. Texas Press. Austin.
- FAO., 2004: Impact of climate change on agriculture in Asia and the Pacific. *Twenty-seventh FAO Regional Conference for Asia and the Pacific*. Beijing, China, 17-21.
- Hadley, P., G. R. Batts, R. H. Ellis, J. I. L. Morison, S. Pearson, and T. R. Wheeler, 1995: Temperature gradient chamber for research on global environment change. II. A twin-wall tunnel system for low-stature, field-grown crops using a split heat pump. *Plant, Cell & Environment* **18**, 1055-1063.
- Heo, Y., E. G. Park, B. G. Son, Y. W. Choi, Y. J. Lee, Y. H. Park, J. M. Suh, J. H. Cho, C. O. Hong, S. G. Lee, and J. S. Kang, 2013: The Influence of abnormally high temperature on growth and yield of hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agriculture & Life Science* **47**(2), 9-15. (in Korean with English abstract)
- Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harriss, A. Katenberg, and K. Maskell, 1996. *Climate change 1995. The science of climate change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Hwang, J. M., and B. Y. Lee, 1978: Studies on some horticultural characters influencing quality and yield in the pepper (*Capsicum annuum* L.). II. Correlations and selection. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **19**, 48-55. (in Korean with English abstract)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007: *Climate change 2007: Mitigation of climate change, contribution of working group III*. contribution to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, New York, USA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013: *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jang, K. S., D. J. Choi, D. H. Pae, J. T. Yoon, and S. K. Lee, 2000: Effects of altitudes on growth and fruit quality in red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **41**(5), 485-489. (in Korean with English abstract)
- Kim, B. S., K. Y. Kim, S. K. Kim, and J. K. Sung, 1995: *Pepper profitable techniques and marketing strategy*. Nongminshinmunsa.
- Kim, S. H., H. You, E. G. Park, B. G. Son, Y. W. Cho., Y. J. Lee, Y. H. Park, J. M. Suh, J. M. Suh, J. H. Cho, C. O. Hong, S. G. Lee, and J. S. Kang, 2013: The influence of temperature, amino acid and polyamin on pollen germination of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agriculture*

- & Life Science* **47**(2), 1-8. (in Korean with English abstract)
- NIMR. 2011: *Climate change scenario report*. National Institute of Meteorological Research. 79-99.
- Oh, S., K. H. Moon, I. C. Son, E. Y. Song, Y. E. Moon, and S. C. Koh, 2014: Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of chinese cabbage in response to high temperature. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **32**(3), 318-329. (in Korean with English abstract)
- Poster, J. R., and M. A. Semenov, 2005: Crop response to climatic variation. *Philosophical Transactions B* **360**, 2021-2035.
- Seo, J. A., Y. K. Yi, B. S. Kim, J. M. Hwang, and S. W. Choi, 2011: Disease Occurrence on Red-pepper Plants Surveyed in Northern Kyungbuk Province, 2007-2008. *Research in Plant Disease* **17**(2), 205-210.
- Shin, J. W., and S. C. Yun, 2011: Impact of Climate Change on Fungicide Spraying for Anthracnose on Hot Pepper in Korea During 2011-2100. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **13**(1), 10-19. (in Korean with English abstract)
- Wolfe, D. W., M. D. Schwartz, A. N. Lakso, Y. Otsuki, R. M. Pool, and N. J. Shaulis, 2005: Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA. *International Journal of Biometeorology* **49**, 303-309.