

ORIGINAL ARTICLE

이상저온 조건이 고추의 생육 및 수량에 미치는 영향

박은지·허 유·손병구·최영환·이용재·박영훈·서정민¹⁾·조재환²⁾·홍창오³⁾·이상규⁴⁾·강점순*

부산대학교 원예생명과학과, ¹⁾부산대학교 바이오환경에너지학과, ²⁾부산대학교 농업경제학과,
³⁾부산대학교 생명환경화학과, ⁴⁾농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과

The Influence of Abnormally Low Temperatures on Growth and Yield of Hot Pepper(*Capsicum Annum* L.)

Eun-Ji Park, You Heo, Beung-Gu Son, Young-Whan Choi, Yong-Jae Lee, Young-Hoon Park, Jeong-Min Suh¹⁾, Jae-Hwan Cho²⁾, Chang-Oh Hong³⁾, Sang-Gye Lee⁴⁾, Jum-Soon Kang*

Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

¹⁾Department of Bio-Environmental Energy, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

²⁾Department of Agricultural Economics, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

³⁾Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

⁴⁾Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Sciences, Suwon 440-706, Korea

Abstract

Growth and physiological disorders caused by abnormally low temperatures were evaluated in pepper, an important field crop in Korea. In addition, the effects of chemical treatment using glutamine was verified on minimizing the damages by low temperature. The growth of pepper plants in stem length and diameter was suppressed as the temperature decreased from 25°C, and the suppression level was the highest for plants grown for 90 days at 20°C. However, root growth was not affected by the different temperatures. The number of leaf and leaf area decreased at the temperatures below 25°C, an optimum temperature for growth. Fresh weight and dry weight decreased for plants grown at 20°C. Pepper fruit yield also decreased by 11% at 20°C in comparison to 25°C. Falling blossom rate was different depending on the growth temperature, and the rate was 27.2% at 25°C, 35.2% at 22.5°C, and 41.0% at 20°C, indicating that falling blossom rate increased as temperature decreased. Different growth temperatures did not affect on the level of symptom of calcium deficiency and Phytophthora blight. Falling blossom was severe at abnormally low temperature of 20°C, but the treatment of glutamine reduced falling blossom rate and increased the yield by 7.0% as compared to control. The optimum concentration of glutamine treatment was 10 mg/L for yields.

Key words : Abnormally low temperatures, Calcium deficiency, Glutamine, Flower abscission, Growth temperature

1. 서론

지구 곳곳은 온난화로 인해 기상재해 등 기후변화로 인한 피해가 점차 커지고 있다. 우리나라는 지구평

균의 두배 수준으로 온난화 진행속도가 빠르게 진행되고 있어 기후영향에 의존적인 농업분야는 적극적인 대응이 요구되고 있다. 기후변화는 작물의 개화, 출수 시기 변화 등 생리적 변화를 일으키고 작물의 품질변

Received 20 November, 2013; Revised 27 January, 2014;

Accepted 17 February, 2014

*Corresponding author : Jum-Soon Kang, Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea
Phone : +82-55-350-5523
E-mail : kangjs@pusan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© 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.

화, 재배적지를 이동 시켜 농업에 영향을 미친다(FAO, 2001; FAO, 2004; Parry 등, 2004).

우리나라는 온난화 영향으로 식물재배에 적합한 일수가 증가하나 강수량이 큰 폭으로 늘고 고온에 약한 작물들의 생산성이 줄어들 것으로 전망되고 있다.

일평균기온 5°C 이상 일수를 의미하는 식물기간은 과거보다(1969~1987)보다 9일 정도 길어졌으며, 아울러 노지작물 재배에 중요한 무상일도 10년 1에 6.7일 길어지는 등 작물재배의 작물재배에 유용한 측면도 있다.

그러나 온난화에 따라 여름과 겨울의 기후변화 역시 극값을 기록해 최근 이상고온과 이상저온 함께 나타나는 이상기후의 빈도가 증가하고 있다. 최근에 발생하는 기상재해는 이상기온, 집중호우, 황사, 폭설, 가뭄, 건조 등(Menzel, 2000; Tao 등, 2006)이며, 기상재해 1회 발생에 따른 평균 발생일수는 가뭄이 45.7일로 가장 길고, 이상고온 7.8일, 이상저온 4.0일, 대설 2.6일, 황사 2.5일, 호우 2.4일, 태풍 2.1일, 우박 1.5일 순이다. 이에 따라 2000년대 이후 기상재해에 따른 피해액 증가하고 있고, 농업분야 피해액은 전체피해액의 11% 내외이며, 연간 900억원 수준으로 추정되고 있다(Lee와 Sim, 2011).

지구온난화에 따른 기후변화는 대체적으로 농업생산에 부정적 영향을 미칠 것으로 예측된다(Assa 등, 2004; Chmielewski 등, 2004; McWilliam, 1986; Midmore 등, 1992; Pereira와 Chaves, 1995; IPCC, 2007; Wolfe 등, 2005). 특히 고온성 작물에서는 지속적인 기온저하는 생육지연과 착과율 저하로 인한 수량감소 및 착색불량 등이 발생할 확률이 높다.

기상재해를 최소화하고 농업생산성을 유지하기 위해서는 작목별 적지적작물 선정, 내재해성 품종개발과 새로운 작물의 도입 등 대응전략 구축에 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 고추의 경우 고추에서 광합성에 적합한 온도는 25~30°C의 비교적 높은 온도를 요구하며, 생육에 적합한 온도는 24°C 범위이다. 20°C 이하의 온도에서는 생육이 불량해지고, 화분발아율이 낮아 낙과율이 증가할 것이며, 이는 곧 수확량의 감소로 이어질 수 있다.

본 연구는 이상저온이 우리나라의 대표적인 노지 채소인 고추에서 생육 및 생리장해 미치는 영향을 파

악함으로써 이상저온 등 기상재해 대응책을 강구하기 위한 기초자료를 얻고자 수행되었다. 아울러 저온피해를 최소화하기 위한 화학적 대응방안으로 아미노산인 글루타민을 사용하여 그 효과를 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시작물의 이상저온 조건설정

본 실험에 사용된 공시작물 및 품종은 노지 전용 고추인 녹광(문산토) 이었다. 실험장소는 경남 밀양시 삼랑진읍 청학리 산50번지 부산대학교 첨단온실에서 수행되었다. 2013년 9월 1일 50공 플러그 트레이 파종하여 30일간 육묘한 후 10월 2일에 플라스틱 포트(내경 30 cm)에 상토(비로커, 서울바이오)를 충진한 후 포트 당 1주씩 정식하였다.

이상저온 조건이 생육에 미치는 영향을 조사하고자 재배온실의 온도환경을 생육적온인 25°C, 평균재배온도 보다 2.5°C 낮은 22.5°C 및 평균재배온도보다 5°C 낮은 20°C의 온도조건에서 재배하였다. 시험구는 처리당 30개체를 완전임의배치 3반복으로 하였다. 재배상의 기타 관리는 농시표준법에 준하였다.

생육조사는 정식한 묘를 온도처리한 후 30일, 60일 및 90일 등 30일 간격으로 식물체의 생육을 조사하였다. 조사방법은 시험구에서 반복 당 10주의 묘를 채취하여 초장, 경직경, 엽면적, 엽수, 근장, 생체중 및 건물중을 조사하였다. 엽면적 측정기는 엽면적 측정기를 이용하였고, 근장은 뿌리를 물로 완전히 씻어 흙을 제거한 후 뿌리의 가장 긴 부분을 측정하였다. 엽수는 잎의 길이가 1 cm 이상인 것을 조사하였다. 건물중은 105°C에서 3시간 건조 후 측정하였다.

이상저온 조건이 고추의 생리장해 및 발병율에 미치는 영향을 조사하기 칼슘결핍증과 역병 발병율을 조사하였다. 조사방법은 각각의 처리온도에서 생육과정 중에 나타나는 칼슘결핍 증상 및 역병 발병정도를 달관으로 조사하여 전체 공시처리구의 백분율로 환산하였다.

2.2. 저온 피해 최소화를 위한 화학적 처리 수준 구명

이상저온에서 고추피해 최소화를 위한 화학적 대응방안을 강구하고자 아미노산인 글루타민을 사용하였다. 이상저온 조건은 고추의 평균재배온도인 25°C

보다 5°C 낮은 20°C의 온도조건을 설정하였다. 글루타민 처리수준은 5 mM 및 10 mM 이었고, 정식하여 30일 경과 한 60일묘에서 1주일 간격으로 2회 엽면살포 하였다.

생육조사는 글루타민을 처리한 후 30일이 경과한 90일묘에서 실시하였다. 조사항목은 초장, 경직경, 엽면적, 엽수, 근장, 낙화율, 생체중 및 건물중 이었고, 조사방법은 위의 방법과 동일하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 0.2 SAS Institute Inc., USA)을 이용하여, 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 평균 간 비교는 최소유의차(LSD) 검정을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 이상저온이 생육에 미치는 영향

우리나라도 최근 들어 계절이 불규칙해지고, 기상재해가 빈번해지는 기후변화가 증가하고 있다. 이와 같은 기후변화는 기후의존적인 농업에 가장 큰 피해를 줄 것으로 예상된다. 따라서 기상이변이 노지 고추의 생육과 수량에 미치는 피해정도를 과학적으로 진

단할 필요성 높아지고 있다. 이러한 관점에서 이상저온이 고추의 생육에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 이를 위해 생육적온인 25°C를 기준하여 -2.5°C 저온은 22.5°C 및 -5°C 저온인 20°C로 조절된 온실에서 재배하면서 시기별 생육을 조사하였다.

Table 1에서보면 고추의 신장생장은 생육적온인 25°C보다 온도가 낮을수록 신장생장은 낮았고, 경직경도 이와 유사한 경향을 보였다. 이러한 현상은 생육이 진전된 90일간 재배한 식물체에서 현저하였다. 25°C에서 90일간 생육시킨 식물체는 초장이 116.5 cm 이었으나, 20°C에서는 73.1 cm로 신장 생장이 낮았다. 또한 25°C에서 생육된 식물체는 경직경이 7.12 mm 인데 비해 20°C에서는 6.62 mm로 경직경이 낮았다. 반면 뿌리생육도 생육온도에 따른 큰 차이는 없었다. 따라서 고추에서 생육적온을 기점으로 하여 -5°C 낮은 20°C의 저온은 25°C에 비해 전반적인 생육이 낮았다.

Table 2에서 보면 고추의 생육적온인 25°C보다 저온에서 재배하면 엽수와 엽면적이 감소하였다. 이러한 경향은 저온인 20°C에서 생육일수가 진전될수록 뚜렷하였다. 수확량은 생육온도에 따라 차이가 있었

Table 1. Changes in plant height, stem diameter and root length of pepper seedling as affected different growth temperature. Growth was measured at 30, 60 and 90 days after sowing

Temperature (°C)	Plant height (cm)			Stem diameter (mm)			Root length (cm)		
	30 ^z	60	90	30	60	90	30	60	90
20.0	13.4	33.1	73.1	2.36	4.58	6.62	10.56	12.23	51.23
22.5	14.6	35.3	96.3	2.48	4.68	6.88	10.89	13.28	50.28
25.0	15.8	36.5	116.5	2.53	4.73	7.12	11.45	14.63	53.63
LSD(0.05)	0.9	1.2	7.2	0.13	0.21	0.21	NS	1.02	NS

^z Days old seedling

^y Means separation in columns by LSD test, P=0.05.

Table 2. Changes in number of leaves, leaf area and yield of pepper seedling as affected different growth temperature. Growth was measured at 30, 60 and 90 days after sowing. Growth was measured at 30, 60 and 90 days after sowing

Temperature (°C)	No. of Leaves			Leaf area(cm ²)			Yield(g/plant)		
	30 ^z	60	90	30	60	90	30	60	90
20.0	16.1	82.1	289.5	97.2	979.2	3,245.1	-	16.3	60.9(88.9)
22.5	17.2	85.3	302.2	104.4	1,121.1	3,562.4	-	26.4	64.7(94.5)
25.0	18.1	94.6	312.1	117.3	1,246.4	3,723.3	-	32.2	68.5(100.0)
LSD(0.05)	0.6	2.1	6.7	8.1	103.1	121.2	-	2.8	1.1

^z Days old seedling

^y Means separation in columns by LSD test, P=0.05.

Table 3. Changes in fresh and dry weight of pepper seedling as affected different growth temperature. Growth was measured at 30, 60 and 90 days after sowing

Temperature (°C)	Fresh wt.(g)			Dry wt.(g)		
	30 ^z	60	90	30	60	90
20.0	0.56	48.5	117.2	0.56	48.5	117.2
22.5	0.61	51.5	125.4	0.61	51.5	125.4
25.0	0.66	53.8	128.3	0.66	53.8	128.3
LSD(0.05) ^z	0.04	2.8	3.5	0.04	2.8	3.5

^z Days old seedling^y Means separation in columns by LSD test, $P=0.05$.

으며, 생육적온인 25°C에서 90일 재배한 식물체는 주당 68.5g의 고추 생산량을 보였으나 20°C에서는 61.2g에 불과하였다. 이는 생육적온인 25°C에 비해 생산량이 88.9% 수준에 불과하며, 저온에 의해 생산량이 11% 감소함을 의미한다.

Table 3.에서 보면 생체중 및 건물중은 생육적온인 25°C보다 저온인 20°C에서 재배된 식물체에서 낮았다. 이와 같이 고추는 25°C에서 균형적인 안정생육과 생식생장이 전개되었으나 20°C의 저온재배는 전반적인 생육이 성장적온보다 낮았다(Table 3). 이와 같이 영양생장과 생식생장을 병행하는 고추에서 저온에 의한 생육의 저하는 담과 능력에도 영향을 줄 것으로 예상된다. 담과 능력은 수량을 좌우하는 지표로서 식물체가 강건할수록 담과 능력은 커진다. 전반적으로 생육적온에서는 생육이 원활하여 건물생산이 높아 담과 능력이 향상되지만 (Heo 등, 2013), 생육적온보다 낮은 저온재배는 담과능력이 저하될 것으로 판단된다.

3.2. 이상저온이 고추의 생리장애 및 발병율에 미치는 영향

고추의 이상저온에 의한 낙과율, 칼슘결핍증, 역병

발생에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 4에 나타내었다. 고추재배에서 낙화는 수확량을 감소시키는 요인이며, 낙화의 발생 원인은 생리적인 원인과 환경적인 요인으로 대별된다. 생리적인 원인은 식물체의 담과 능력의 차이이고, 환경적인 요인은 재배에 관련된 모든 환경요인들인데 이들은 단독 또는 복합적으로 낙화에 작용한다고 알려져 있다(Marcelis 등, 2004; Snyder 등, 2001).

고추의 생육온도를 달리하여 낙화율을 조사한 결과 생육적온인 25°C에서는 낙화율이 27.2% 였으나, 22.5°C에서는 35.2%, 20°C에서는 41.0%로 생육온도가 낮아질수록 낙화율이 높았다. 20°C의 저온에서는 개화한 꽃들 중에서 59.0%만 착화하였는데, 이는 생육적온인 25°C에 비해 낙화율이 13.8%로 높았다. 이와 같이 낙화율의 증가는 착과율의 감소를 의미하고, 이는 곧 수량성 저하로 연결 된다. 고추에서 담과 능력은 식물체당 착과된 과실수와 토양중의 비료성분 및 식물체내의 영양 등에 의해 달라지는데 개화수 및 착과수가 많으면 광합성작용에 의한 동화물질의 생산과 축적 및 소비되는 양의 불균형을 초래하여 상호균형을 유지하기 위해 자연적으로 낙과 및 낙화가 발생하

Table 4. Changes in flower abscission, calcium deficiency and fruit rot of pepper seedling as affected different growth temperature. Growth was measured at 90 days after sowing

Temperature (°C)	Flower abscission (%)	Calcium deficiency (%)	Fruit rot (%)
20.0	41.0(152)	1.8	0.0
22.5	35.2(129)	0.3	0.0
25.0	27.2(100)	0.0	0.0
LSD(0.05) ^z	2.5	NS	NS

^z Means separation in columns by LSD test, $P=0.05$.

게 된다(Marcelis, 1996; Marcelis 등, 2004). 고추에서 이상 저온에 의해 낙화율이 높아졌고, 생육적온을 벗어난 저온은 담과 능력을 저하시켰다.

칼슘결핍 증상은 배꼽썩음과가 대표적이며, 칼슘 결핍증은 생육적온에서는 나타나지 않았으나, 22.5℃에서는 0.3%, 20℃에서는 1.8%로 생육온도가 낮아질수록 경미한 증가를 보였다. 고추의 병해 중 가장 피해를 초래하는 역병은 주로 연작재배지에 흔히 발생한다. 생육온도를 달리하여 역병 발병율을 조사한 결과 생육온도에 따른 차이는 없었다(Table 4).

3.3. 고온 피해 최소화를 위한 글루타민 처리 수준 구명

기후변화는 전 세계적으로 농작물에 피해를 초래하여 식량공급 및 수요에 큰 영향을 미친다(Assa 등, 2004; Chmielewski 등, 2004; Mcwilliam, 1986). 우리나라 대표적인 노지채소 작물인 고추에서도 이상저온에 의해 생리장해 및 생육저해 현상이 발생되었다. Table 5는 이상저온에서 고추 피해를 최소화 할 수 있는 화학적 방법을 모색하고자 아미노산제인 글루타민을 사용하여 그 효과를 검증하였다. 아미노산인 글루타민을 원예작물의 생육촉진용으로 이용되고 있다.

고추의 생육조건보다 낮은 20℃의 저온에서 재배 중인 고추에 글루타민을 농도별로 처리하여 90일간 생육시킨 식물체의 생육을 조사하였다. 글루타민 처리에 의해 초장과 근장에는 큰 차이가 없었다. 반면 엽수와 엽면적은 글루타민 처리에 의해 증가되었다. 생체중과 건물중은 글루타민 엽면살포에 의해 증가되었으며, 이러한 경향은 10 mM 처리에서 현저하였다. 20℃의 이상저온에서 고추재배는 높은 낙화에 의한 착과

율이 문제되었으나, 글루타민 엽면살포하면 낙화율이 감소하였다. 20℃에 글루타민을 처리하지 않은 무처리구의 낙화율은 41.2% 높았으나, 글루타민을 엽면살포하면 낙화율이 38~39% 낮아졌다. 이는 글루타민이 저온에서 화분발아율을 증진시켜 수정율을 높인 결과로 해석된다. 또한 수확량도 글루타민 엽면살포에 의해 무처리에 비해 6~7% 향상시키는 효과가 있었다. 따라서 고추에서 이상저온 피해를 최소화하기 위한 화학적 대응 기술의 방편으로 아미노산인 글루타민의 엽면살포가 효과가 입증되었다.

4. 결론

본 연구는 우리나라의 대표적인 노지작물인 고추에서 이상저온에 따른 생육 및 생리장해 등 피해정도를 파악하기 위해 수행되었다. 아울러 저온피해를 최소화하기 위한 화학적 대응 기술을 확립하기 위해 글루타민(Glutamine)을 사용하여 그 효과를 검증하고자 하였다.

고추의 초장과 경직경은 생육적온인 25℃보다 온도가 낮을수록 신장생장은 낮았고, 이러한 경향은 20℃에서 생육이 진행된 90일간 재배한 식물체에서 현저하였다. 반면 뿌리생육은 생육온도에 따라 큰 차이는 없었다.

고추의 생육적온인 25℃보다 저온에서 재배하면 엽수와 엽면적이 감소하였다. 생체중 및 건물중은 생육적온인 25℃보다 저온인 20℃에서 재배된 식물체에서 낮았다. 고추 수확량도 20℃의 저온재배는 생육적온인 25℃에 비해 수확량이 11% 감소하였다.

고추의 생육온도에 따라 낙화율에 차이가 있었으

Table 5. Effect of glutamine treatment on growth and yield of pepper seedling at 20℃. Growth was measured at 90 days after sowing

Glutamine concentration (mM)	Plant height (cm)	Leaf area (cm ²)	Root length (cm)	No. leaves	Fresh wt.(g)	Dry wt.(g)	Flower abscission (%)	Yield (g/plant)
5	77.6	3,364	52.12	298.9	114.5	120.2	38.2	62.9(106)
10	78.3	3,454	51.45	301.6	116.3	121.6	38.8	63.7(107)
Control	75.4	3,125	50.24	291.3	109.3	118.2	41.2	59.5(100)
LSD(0.05) ²	NS	112	NS	3.1	3.6	1.3	1.1	1.2

² Means separation in columns by LSD test, P=0.05.

며, 생육적온인 25℃에서는 낙화율이 27.2% 였으나, 22.5℃에서는 35.2%, 20℃에서는 41.0%로 생육온도가 낮아질수록 낙화율이 높았다. 칼슘 결핍증과 역병은 생육온도에 의한 차이는 없었다.

20℃의 이상저온은 낙화율이 문제되었으나, 글루타민을 엽면살포하면 낙화율이 감소하였다. 수확량도 글루타민 엽면살포 처리에 의해 대조구보다 7% 향상되었는데 처리농도는 10 mM 처리에서 좋았다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ008316)의 지원에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- Assa, A., Jaagus, J., Ahas, R., Sepp, M., 2004, The influence of atmospheric circulation on plant phenological phases in central and eastern Europe, *International Journal of Climatology*, 24, 1551-1564.
- Chmielewski, F. M., Muller, A., Brums, E., 2004, Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121, 69-78.
- FAO., 2001, Climate variability and change, A challenge for sustainable agricultural production. Committee on Agriculture, Sixteenth Session Report, Rome, 26-30.
- FAO., 2004, Impact of climate change on agriculture in Asia and the Pacific. Twenty-seventh FAO Regional Conference for Asia and the Pacific. Beijing, 17-21.
- Heo, Y., Kim, S. H., Park, E. G., Son, B.G., Choi, Y. W., Lee, Y.J., Park, Y. H., Suh, J. M., Cho, J. H., Hong, C. H., Lee, S. G., Kang, J. S., 2013, The influence of abnormally high temperatures on growth and yield of hot pepper(*Capsicum annum* L.). *J. Agriculture & Life Sci.*, 47, 9-15.
- IPCC., 2007, Climate change 2007: The physical science basis, contribution of working group I to the fourth.
- Lee, D. B., Sim, K. M., 2011, Impact and counter-measures of climate change on agriculture. Korea Rural Economic Institute.
- Marcelis, L. F. M., 1996, Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. *J. Expe. Bot.*, 47, 1281-1291.
- Marcelis, L. F. M., Heuvelink, E., Baan Hofman-Eijer, L. R., Den Bakker, J., Xue, L. B., 2004, Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *J. Expe. Bot.*, 55, 2261-2268.
- McWilliam, J. R., 1986, The national and international importance of drought and salinity effects on agricultural production. *Austral J. Plant. Physiol.*, 13, 1-13
- Midmore, D. J., Roan, Y. C., Wu, M. H., 1992, Management of moisture and heat stress for tomato and hot pepper production in the tropics. In: Kuo C.G (ed) *Adaptation of food crops to temperature and water stress*. AVRDC, Shanhua, 453-460.
- Menzel, A., 2000, Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996, *Int. J. Biometeorol.*, 44, 76-81.
- Parry, M. L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, Fisher. M. G., 2004, Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14, 53-67.
- Pereira, J. S., Chaves, M. M., 1995, Plant responses to drought under climate change in Mediterranean-type ecosystems. In: Moreno JM, Oechel WC (eds) *Global change and mediterranean-type ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin, 140-160.
- Rubio, J. S., Garcia-Sanchez, F., Flores, P., Navarro, J. M., Martinez, V., 2010, Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilization with Ca²⁺ and K⁺, *Span. J. Agric. Res.*, 8, 170-177.
- Snyder, R. L., Spano, D., Duce, P., Cesaraccio, C., 2001, Temperature for phenological models, *International J. of Biometeorology*, 45, 178-183.
- Tao, F., Yokozawa, M., Xu, Y., Hayashi, Y., Zhang, Z., 2006, Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, *Agricultural and Forest Meteorology*, 138, 82-92.
- Wolfe, D. W., Schwartz, M. D., Lakso, A. N., Otsuki, Y. R., Pool, M., Shaulis, N. J., 2005, Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA, *Int. J. Biometeorol.*, 49, 303-309.