

생식생장기의 고온장해가 콩의 생육과 질소 및 이온함량에 미치는 영향

박기웅* · 안태환** · 조진웅**†

*한국생명공학연구원 바이오평가센터, **충남대학교 농업생명과학대학

Effect of High Temperature during Reproductive Growth Period on Soybean Growth, Nitrogen and Cation Content

Kee Woong Park*, Tae-Hwan Ahn**, Jin-Woong Cho**†

*Bio-Evaluation Center, KRIBB, 685-1 Yangcheong-ri, Ochang-eup, Cheongwon-gun, 363-883, Korea

**College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

ABSTRACT This study was conducted to investigate the effect of high-temperature during the reproductive growth period on the soybean growth and yield. Two soybean cultivars, Hwangkeumkong (HKK) and Pungsannamulkong (PSNK) were used in this study. By high-temperature treatment, plant height was increased in the two soybean cultivars, however, leaf area and dry weight were greatly reduced. Number of pod per plant was not changed by high-temperature treatment. However, number of seeds and 100 seed weight were reduced in two soybean cultivars. As compared with control, yield were decreased by 45% in both HKK and PSNK. It was also appeared that nitrogen contents in leaf, stem, and root of the HKK and PSNK were decreased by high-temperature treatment.

Keywords : Soybean, High temperature, Yield

지구 온난화로 인해 아시아의 여름철 기후는 점차 아열대화 되고 있으며 특히 우리나라의 경우 지난 100년간 평균 기온이 약 1.5°C 상승하여 전 세계 온난화 추세를 상회하고 있음이 밝혀졌다(기상연구소, 2004). 기온 관측 자료와 모델 시나리오자료를 분석한 결과에 따르면 2100년에는 우리나라의 산지 주변을 제외한 대부분이 아열대 기후에 포함될 것이라고 전망하였다(권 등, 2007).

최근에는 지구 온난화로 인하여 작물재배에 미치는 고온스트레스의 영향에 대한 관심이 높아졌다. 고온은 콩의 출아에 영향을 미치며, 37°C 이상이 되면 출아율이 급격히 감

소하기 시작하여 40°C에서는 출아가 이루어지지 않는 것으로 나타났다(Wallace, 1988). 콩에서 낙화나 낙협은 결협율을 감소시키기 때문에 수량을 제한하는 중요한 요인 중 하나이다. 두과작물에 속하는 여러 작물의 경우 고온에 민감하여 총화수나 결협율이 감소된다고 한다(Ahmed, 1992; Gross & Kigel, 1994; Prasad *et al.*, 1999).

콩은 일장과 온도 변화에 매우 민감하게 반응하며 온도가 상승함에 따라 영양생장기에는 잎의 생장과 광합성이 증가하지만 생식생장기의 고온은 결협율을 감소시키기 때문에 수량이 감소한다. 콩은 10시간 단일조건에서 35°C의 고온에 노출되면 정상적인 온도에서의 수량에 비하여 약 27% 감소된다고 한다(Boote *et al.*, 1997; Gibson & Mullen, 1996; Vu *et al.*, 1997). 콩 광합성량은 30~40 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Lauer and Shibles, 1987)으로 일반적으로 35°C까지는 광합성이 증가하지만 40°C에서는 크게 감소된다(Hofstra and Hesketh, 1969). 특히 등숙기간의 고온은 광합성을 크게 감소시켜 수량을 저하시키며 종자의 발아력 및 활력을 감소시킨다고 한다(Ashley & Boerma, 1989; Egli *et al.*, 2005). 콩은 결협율이 매우 낮는데 착엽시의 광합성 능력에 따라 결협율에 차이가 있으며 이 시기의 광합성량은 수량과 밀접한 관계가 있다(Ferris *et al.*, 1998). 또한 고온장해는 양분흡수를 억제시키며 식물체내 N, P와 같은 필수원소 함량도 크게 변화시키는 것으로 알려져 있다(Huang & Xu, 2000).

콩은 생식생장기가 길며 이 기간 동안의 고온스트레스는 수확량을 크게 감소시킨다. 따라서 본 연구는 생식생장기의 고온스트레스가 콩의 생장 및 수량에 미치는 영향을 구명함으로써 앞으로 지구온난화에 따른 고온스트레스에 적응하는 품종 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

†Corresponding author: (Phone) +82-42-821-5725
(E-mail) jwcho@cnu.ac.kr <Received September 11, 2009>

재료 및 방법

본 연구는 2007년 충남대학교 농업생명과학대학 부속농장 비닐하우스에서 실시하였다. 공시품종은 장류콩인 황금콩과 나물용콩인 풍산나물콩 두 품종을 이용하였다. 품종별 두 개의 종자를 플라스틱 사각포트(40 cm × 60 cm × 20 cm)에 파종(5월 20일)하였다. 토양은 사양토를 사용하였으며 시비는 10a 당 N, P, K를 각각 3, 3, 3.4 kg을 기비로 전량 사용하였다. 시험구 배치는 완전임의배치 4반복으로 수행하였다.

고온스트레스는 콩의 생육과정 중 개화시(R1)에 시작하여 수확시기까지 비닐하우스를 밀봉하여 재배하였으며 수분 공급은 정상적인 생육이 가능하도록 매일 관찰하여 공급하였다. 생식생장기간 동안의 고온처리구와 무처리구의 평균최고 및 최저 기온은 표 1과 같다.

착형성기인 9월 18일에 초장, 건물중, 엽수 등을 조사하였으며, 수량구성요소인 개체당 종자수, 꼬투리수, 100립중을 10월 28일에 조사하여 면적당 수확량을 계산하였다. 건물중은 80°C 열풍건조기에서 72시간 건조 후 측정하였으며, 엽면적은 엽면적측정기(Li-Cor 3100, USA)를 이용하여 측정하였고, 엽수는 정상적인 3복엽을 1개의 잎으로 정하여 측정하였다.

질소함량은 고온처리 후 20일째에 잎, 줄기 및 뿌리로 구분하여 Kjeldahl 법으로 측정하였으며, K⁺, Ca²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺ 등의 무기이온은 HNO₃로 습식분해 후 무기이온분석기(ICP

analyzer, GBC integra XMP, Australia)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

콩의 생식생장기 고온처리는 8-10월에 이루어 졌으며 처리구의 평균 최고 온도는 무처리보다 약 10°C 정도 높았으며, 평균 최저온도는 처음에는 차이가 없었으나 10월에는 7°C 정도의 차이를 보였다(표 1). 개화시기에 고온처리를 한 후 착형성기에 황금콩 및 풍산나물콩의 생육특성을 조사한 결과 고온처리를 하지 않은 대조구에 비해 처리구의 초장이 약 10% 증가하였으나 줄기 직경은 다소 감소하였다(표 2). 두 품종의 엽수, 주경절수 및 근장은 처리구와 대조구간에 차이가 없었다. (표 2). 고온처리에 따른 콩의 엽면적 및 건물중은 두 품종에서 모두 감소하였다. 황금콩의 엽면적은 고온처리 시 개체당 3,060 cm²로 무처리의 4,253 cm² 보다 약 28% 감소하였으며, 풍산나물콩에서는 고온처리 시 21%의 엽면적 감소를 나타냈다(표 3). 건물중은 잎, 줄기 및 뿌리를 구분하여 조사하였으며, 모두 고온처리에 의하여 감소하였으며 잎, 줄기, 뿌리에서 모두 비슷한 수준(약 25%)으로 감소하였다.

생식생장기 고온처리에 따른 수량구성요소와 수량을 살펴보면 개체당 입수는 풍산나물콩이 황금콩보다 더 많았다(표 4). 고온처리에 의한 입수의 감소정도를 보면 황금콩에서 42%의 입수 감소를 보였으며 풍산나물콩에서는 32%의 감소를 보였다. 하지만 개체당 협수는 두 품종에서 고온처리에 의해서 감소되지 않았다. 또한 100립중 역시 수량감소에 원인이 되는데 황금콩은 21.6 g으로 약 8% 감소를 보였고 풍산나물콩은 10.5 g으로 약 17%의 100립중 감소를 보였다. 무처리 시 황금콩의 수량은 개체당 12.8 g, 풍산나물콩은 개체당 13.1 g으로 풍산나물콩의 수량이 더 많은 것으로 나타났다. 고온처리에 의한 품종별 수량은 황금콩이 개체당 6.8 g, 풍산나물콩이 7.4 g으로 두 품종 모두 약 45%의 감소를 나타냈다. 이와 같이 고온조건에서

Table 1. Maximum and minimum air temperatures during the reproductive growth period of soybean.

Month	Control		Treatment	
	Max.	Min.	Max.	Min.
Temperature (°C)				
Aug.	30.1±5.2	19.7±2.6	38.5±5.8	21.5±3.1
Sep.	29.3±7.2	14.5±3.8	40.3±6.0	18.9±3.4
Oct.	29.7±2.7	9.0±2.9	39.6±3.2	15.6±2.7

Table 2. Growth characteristics of two soybean cultivars grown at high temperature during the reproductive growth period.

Cultivar	Treatment	Plant height (cm)	No. of Leaf (plant ⁻¹)	No. of node (plant ⁻¹)	Root length (cm)	Stem width (mm)
HKK	Control	93±4.6	46±9.3	13.3±1.6	47.8±7.0	6.4±0.8
	High-Temp.	101±7.7	40±12.1	13.4±1.6	42.3±6.9	5.8±1.3
PSNK	Control	83±6.2	58±12.8	14.9±1.9	47.8±6.0	6.0±0.7
	High-Temp.	93±9.5	51±9.7	14.1±1.4	46.4±7.1	5.5±1.2

HKK: Hwangkeumkong, PSNK: Pungsannamulkong

Table 3. Leaf area and dry matter of two soybean cultivars grown at high temperature during the reproductive growth period.

Cultivar	Treatment	Leaf area (cm ² plant ⁻¹)	Dry matter (g plant ⁻¹)			
			Control	Stem	Root	Total
HKK	Control	4,253±748	25.5±5.2	27.1±5.5	18.8±1.4	71.4±7.7
	High-Temp.	3,060±461	19.4±5.0	23.3±2.9	14.8±2.1	57.5±7.7
PSNK	Control	5,766±1,011	25.1±1.8	29.9±2.4	15.0±0.4	70.0±4.3
	High-Temp.	4,557±804	19.4±4.2	23.1±3.5	11.0±0.8	53.5±7.8

HKK: Hwangkeumkong, PSNK: Pungsannamulkong

Table 4. Seed yield and yield components of two soybean cultivars grown at high temperature during the reproductive growth period.

Cultivar	Treatment	No. of seed (plant ⁻¹)	No. of pods (plant ⁻¹)	100 grain wt. (g)	Seed yield (g plant ⁻¹)
HKK	Control	54.3±7.4	27.3±12.3	23.5±0.9	12.8±2.7
	High-Temp.	31.3±5.7	26.1±10.4	21.6±0.5	6.8±1.8
PSNK	Control	103.6±11.3	51.2±13.3	12.7±0.3	13.1±1.4
	High-Temp.	70.5±12.4	51.5±11.2	10.5±0.3	7.4±1.9

HKK: Hwangkeumkong, PSNK: Pungsannamulkong

Table 5. Nitrogen contents in the leaf, stem, and root of two soybean cultivars grown at high temperature during the reproductive growth period.

Cultivar	Treatment	Nitrogen content(mg g ⁻¹)			
		Leaf	Stem	Root	Total
HKK	Control	38.7±1.5	19.7±0.7	31.1±1.3	89.5±3.5
	High-Temp.	34.4±2.3	16.9±1.0	23.2±1.4	74.5±4.6
PSNK	Control	40.2±2.2	26.2±1.2	33.3±1.1	99.7±4.4
	High-Temp.	37.4±1.5	22.0±0.9	29.0±0.9	88.4±3.3

HKK: Hwangkeumkong, PSNK: Pungsannamulkong

수량 감소는 Mochizuki 등(2005)은 생식생장기의 고온은 종실의 발달을 억제하고 그 결과 개체당 수량이 감소된다는 연구와 또한 평년기온보다 약 3~4°C 높을 경우 수량은 유의하게 감소된다는 Shiraiwa 등(2006)의 결과와 비슷한 결과를 보였다. 결과적으로 고온처리에 의한 두 품종에서의 수량감소가 비슷한 정도로 나타났는데, 이는 황금콩에서는 주당 입수가 풍산나물콩에 비해 10% 더 감소한 반면 100립중은 풍산나물콩에 비해 약 10% 덜 감소되었기 때문으로 생각된다.

한편, 생식생장기 고온처리에 따른 개체 전체의 질소함량 변화를 보면 풍산나물콩에서는 11%의 감소를, 황금콩에서는 17%의 감소를 나타냈다(표 5). 특히 황금콩에서는 뿌리에서의 질소함량 감소가 잎이나 줄기보다 크게 나타났으며 풍산나물콩에서는 줄기에서 가장 큰 감소를 보였다. Thomas

등(2003)은 고온 장애를 받은 콩 종실의 질소함량은 크게 감소되었다고 하며, Hungria와 Vargas(2000)는 근류균의 질소고정능력이 감소되어 그 원인이 있다고 하여 생식 생장기에 고온 조건에서 생육할 경우 질소고정량이 감소하고 근류균의 활성이 급격히 감소되어 지상부 및 뿌리의 질소함량이 감소된 것으로 생각된다. 또한 생식생장기 고온처리에 따른 대량원소인 K와 Ca, 미량원소인 Fe와 Mn 함량변화를 살펴보면 풍산나물콩에서는 처리구와 대조구가 비슷한 수준 이었다. 황금콩에서는 K와 Ca 함량이 처리구와 대조구 간에 비슷한 수준이었으나 미량원소인 Fe와 Mn의 함량은 잎, 줄기, 뿌리에서 모두 대조구에 비해 크게 증가하였다. 박 등(2009)은 지하수위가 높을 경우 콩의 Mn과 Fe 함량이 급격히 증가된다고 보고하고, 또한 과습지에서 Mn과 Fe 함량은 과도하게 흡수되어 독성작용을 일으켜 작물 생

Table 6. K, Ca, Fe, and Mn concentrations in the leaf, stem, and root of two soybean cultivars grown at high temperature during the reproductive growth period.

Cultivar	Treatment	K (mg g ⁻¹)			Ca (mg g ⁻¹)			Fe (mg kg ⁻¹)			Mn (mg kg ⁻¹)		
		Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
HKK	Control	10.0	7.5	6.6	15.7	10.8	3.4	291	211	2941	393	79	135
	High-Temp.	10.6	11.1	7.6	17.5	10.9	5.0	874	377	3678	839	197	820
PSNK	Control	8.5	10.9	7.9	15.8	11.6	2.9	252	119	1798	414	104	206
	High-Temp.	10.6	10.9	4.6	18.9	10.5	3.4	392	160	1637	535	143	141

HKK: Hwangkeumkong, PSNK: Pungsannamulkong

육에 영향을 미친다고 하였는데 고온조건에서도 이들 이온의 흡수 증가는 고온장해를 일으키는데 상승적으로 작용하는 것으로 생각된다.

생식생장기 고온스트레스에 의한 수량감소는 협수의 감소보다는 협당 입수의 감소와 100립중의 감소가 심하게 일어나 수량의 감소를 보이는 것으로 나타났다. 콩의 용도에 따른 분류를 보면 황금콩은 대립종으로서 주로 장류용으로 이용되어 100립중 감소는 품질적인 결함을 초래하지만 나물용인 풍산나물콩은 보다 100립중이 적은 소립종을 선호하는 추세로서 전체적인 수량감소가 나타나지 않는 범위에서의 일시적인 고온처리로 소립화를 유도하는 것도 필요하다고 생각된다. 앞으로 지구온난화에 의한 고온현상이 빈번히 일어날 것이며 이에 따른 콩의 수량감소가 클 것으로 예상된다. 따라서 앞으로 보다 많은 품종들을 검정하여 고온스트레스에 강한 품종들을 선별할 필요가 있다.

적 요

본 연구는 생식생장기의 고온스트레스에 의한 콩의 생육과 수량에 미치는 영향을 구명하고자 대립종인 황금콩과 소립종인 풍산나물콩을 이용하여 수행하였다. 고온처리에 따라 두 품종 모두 초장은 증가하였으나 엽면적 및 건물중은 크게 감소하였다. 고온처리에 따라 개체당 협수는 감소하지 않았으나 잎수와 100립중이 감소하여 전체 수량이 황금콩과 풍산나물콩 모두 약 45% 감소하였다. 또한 잎, 줄기, 뿌리의 질소함량에서도 고온처리에 의한 감소를 보여 주고 있다.

사 사

이 논문은 2007년도 충남대학교 학술연구비의 지원에 의하여 연구되었음.

인용문헌

기상연구소. 2004. 기후변화협약 대응 지역기후 시나리오 산출 기술개발(III), 기상연구소.

권영아, 권원태, 부경은, 최영은. 2007. A1B 시나리오 자료를 이용한 우리나라 아열대 기후구 전망. 대한지리학회지 42(3): 355-367.

박관수, 안태환, 조진웅. 2009. 생식생장기에 지하수위 처리가 콩의 생육과 질소 및 몇가지 양이온 함량에 미치는 영향. 한국작물학회지. 54: 225-230.

Ahmed, F. E., A. E. Hall and D. A. Demason. 1992. Heat injury during floral development in cowpea (*Vigna unguiculata*, Fabaceae). Am. J. Bot. 79: 784-791.

Ashley D. A. and H. R. Boerma. 1989. Canopy photosynthesis and its association with seed yield in advanced generations of a soybean cross. Crop Sci. 29: 1042-1045.

Boote, K. J., N. B. Pickering, and L. H. Jr. Allen. 1997. Plant modeling : Advances and gaps in our capability to predict future crop growth and yield. In : Allen, L. H., Jr, M. B. Kirham, D. M. Olszyk, and C. E. Whitman.(eds). Advances in Carbon Dioxide Effects Reserch. ASA Special Publication No. 61, ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, pp. 179-228.

Egli, D. B., D. M. TeKrony, J. J. Heitholt, and J. Rupe. 2005. Air temperature during seed filling and soybean seed germination and vigor. Crop Sci. 45: 1329-1335.

Ferris, R., T. R. Wheeler, P. Hadley, and R. H. Ellis. 1998. Recovery of Photosynthesis after Environmental Stress in Soybean Grown under Elevated CO₂. Crop Sci. 38: 948-955.

Gibson, L. R. and R. E. Mullen. 1996. Soybean seed quality reductions by high day and night temperature. Crop Sci. 36: 1615-1619.

Gross, Y. and J. Kigel. 1994. Differential sensitivity to high temperature of stages in the reproductive development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Field Crops Res. 26: 201-212.

Huang, B. R., and Xu, Q. 2000. Root growth and nutrient

- status of creeping bentgrass cultivars differing in heat tolerance as influenced by supraoptimal shoot and root temperature. *J. Plant Nutr.* 23: 979-990.
- Hofstra, G., and J. D. Hesketh. 1969. Effects of temperature on the gas exchange of leaves in the light and dark. *Planta.* 85: 228-237.
- Hugria, M., and M. A. T. Vargas. 2000. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Res.* 65: 151-164.
- Lauer, M. J. and R. Shibles. 1987. Soybean leaf photosynthetic response to changing sink demand. *Crop Sci.* 27: 1197-1199.
- Marchner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic press. pp. 626-641.
- Mochizuki, A., T. Shiraiwa, H. Nakagawa, and T. Horie. 2005. The effect of temperature during the reproductive on development of reproductive organs and occurrence of delayed stem senescence in soybean. *Jpn. J. Crop Sci.* 74: 339-343.
- Prasad, P. V. V., P. Q. Craufurd and R. J. Summerfield. 1999. Fruit number in relation to pollen production and viability in groundnut exposed to short episodes of heat stress. *Ann. Bot.* 84: 381-386.
- Shiraiwa, T., M. Sakashita, Y. Yagi, and T. Horie. 2006. Nitrogen fixation and seed yield in soybean under moderate high-temperature stress. *Plant Prod. Sci.* 9: 165-167.
- Thomas, J. M. G., K. J. Boote, L. H. Allen, Jr., M. Gallo-Meagher, and J. M. Davis. 2003. Elevated temperature and carbon dioxide effects on soybean seed composition and transcript abundance. *Crop Sci.* 43: 1548-1557.
- Vu, J. C. V., L. H. Allen, K. J. Boote and G. Bowes. 1997. Effects of elevated CO₂ and temperature on photosynthesis and Rubisco in rice and soybean. *Plant, Cell and Environ.* 20: 68-76.
- Wallace, S. U. 1988. Soybean seedling emergence at high temperatures. *Plant and Soil* 109: 139-140.