

고추냉이 잎 수경재배시 차광정도가 광합성 특성 및 생육에 미치는 영향

이주현¹ · 나상자르갈² · 최기영³ · 이용범^{2*}

¹원에연구소 채소과, ²서울시립대학교 환경원예학과, ³원광대학교 생명자원과학연구소

Effects of Shading on Photosynthetic Response and Growth Characteristics in Hydroponics for Wasabi Leaf Production

Joo Hyun Lee¹, T. Nasangargale², Ki Young Choi³, and Yong-Beom Lee^{2*}

¹National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 440-706, Korea

²Department of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743

³Institute of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University Iksan 570-749, Korea

Abstract. The wasabi was planted in glasshouse to investigate the effect shade level (0, 10, 30, 70%) on growth and photosynthetic response. The net photosynthetic rate and stomatal conductance were the highest under 10% shading rate in greenhouse. The lowest transpiration rate was in the non-shading treatment. 70% shading rate significantly reduced in photosynthetic characteristics. The number of leaf was decreased with increasing of shading rate. Leaf and petiole weight was the highest 10% shading and then followed by the non-shading treatment. Number of leaves, leaf, petiole and total weight were severely declined in 70% shading treatment. Shading rate (0%, 10%, and 30%) did not significantly influenced on the leaf length, leaf width and root growth. 10% shading level was the most effective for wasabi leaf production in hydroponics.

Key words : hydroponics, photosynthetic response, shading, wasabi

*Corresponding author

서 론

고추냉이(*Wasabia japonica*)는 십자화과에 속하는 다년생 숙근성 향신료 작물이다. 자생지는 맑은 물이 흐르는 산간계곡 등이며, 주로 근경을 생산하나 최근 잎과 엽병 생산을 목적으로 하우스 잎 고추냉이가 재배되고 있다. 고추냉이는 근경 뿐 아니라 잎, 줄기와 화경도 매운맛의 주성분인 allylisothiocyanate를 함유하여 고유한 풍미를 가지고 있다. 고추냉이의 매운 맛은 식욕 촉진 외에도 혈액순환 촉진, 류마티스와 관절염의 치료 등에 효과가 있어 한방에서는 전초를 산유채, 봄에 잔뿌리를 제거하여 말린 뿌리를 산규근이라하여 건위, 진통, 살균 등의 목적으로 사용하는 약용작물이다(Choi 등, 2006). 최근 식생활의 고급화와 함께 고추냉이 수요가 증가하고 있어 원산지인 일본에서도 뉴질랜드, 대만 등에서 재배하여 수입하고 있으며, 국

내 고급 호텔에서의 소비량은 거의 수입에 의존하고 있다. 고추냉이는 반음지나 음지 등 일조량이 적은 조건에서 생육하며, 기온이 30°C 이상, 20°C 이상의 지온에서는 생육지연과 세균성 근경부패병, 묵입병 등의 뿌리썩음병이 급격히 발생하여 재배에 어려움이 있다(Lee 등, 1996; Moon 등, 1999). 따라서 고추냉이의 수량성을 높이기 위해서는 품종개량과 환경조건 및 재배기술의 개선이 필수적이다(Choi 등, 2000). 고온 억제 방법인 차광은 지온, 엽온 및 광도를 낮추는 효과가 있으나 지나친 차광은 광도가 낮아져 순광합성량의 감소로 영양생장이 부족하여 초장, 측지수, 엽장, 엽면적 및 건물중 등의 감소가 나타난다(Brand, 1997; Hong 등, 1996; Kim과 Sang, 1982; Russo, 1993; Son과 Chae, 2003). 따라서, 본 실험에서는 고추냉이 잎 생산을 위한 수경재배시 시설내 차광률이 고추냉이 생육 및 광합성 특성에 미치는 영향을 조사하여 재배

의 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

고추냉이 ‘달마’ 품종을 조직배양하여 순화묘를 2개월 육묘한 후 2006년 11월에 주간 25cm 간격으로 정식하여 2007년 3월까지 약 5개월간 서울시립대학교 유리온실에서 재배하였다. 순환식 담액수경재배방식으로 서울시립대 엽채류 배양액(N 11.7, P 2, K 6.7, Ca 3.5, Mg 2me·L⁻¹)을 사용하였다. 배양액의 EC와 pH는 각각 1.0±0.2dS·m⁻¹, 5.5-6.5로 관리하였다. 차광처리는 재배 전 기간동안 유리온실 내에 가로 5m, 세로 2m, 높이 2.5m의 소형차광시설물을 제작하고 차광막을 소형 하우스에 덮어 온실내 직사광의 10, 30, 70% 차광과 무차광의 4 처리구를 설치하였다. 실험기간 중 맑은 날 광도가 1000μmolm⁻²s⁻¹일 때, 시설내의 광도는 무차광, 10, 30, 70%차광이 각각 800, 700, 500, 100μmolm⁻²s⁻¹이었다. 정식 90일 후 LED light source와 CO₂ injector system을 부착한 휴대용 광합성 측정기(Li-6400, Li-cor, USA)를 사용하여 차광정도에 따른 광합성률(Pn), 기공 전도도(g_s), 증산률(Tr), 세포내 CO₂농도(Ci)를 측정하였다. 엽록소 형광 측정기(PAM 2000, Germany, Walz)의 LED 광원을 이용하여 광을 조절하여 전자 전달률(electron transport rate, ETR), 광화학적 에너지 전환에 유효한 양자수율(quantum yield, Yield)과 광화학적 소멸(photochemical quenching, qP)를 측정하였다. 생육조사는 엽면적(Li-3100, Li-cor, USA), 엽장, 엽폭, 엽수, 엽병장, 잎과 엽병의 생체중과 건물중을 조사하였다. 조사된 데이터는 SAS 프로그램(Window용 V. 9.1)을 이용하여 처리 평균간 유의성 검정을 하였다.

결과 및 고찰

고추냉이의 수경재배시 차광정도에 따른 엽록소 형광 특성인 광계 II의 전자전달률(ETR), 광계 II의 양자수율(Yield)과 광화학적 소멸(qP)을 광도 0-500 μmolm⁻²s⁻¹로 증가시키며 측정하였다(Fig. 1). 엽록소 형광은 주로 엽록소a에서 방출되며 환경스트레스에 민감한 광계 II의 활성화와 밀접한 관계가 있다는 것이 밝혀진 이후로 엽록소 형광지표들이 광합성 분석을 위해

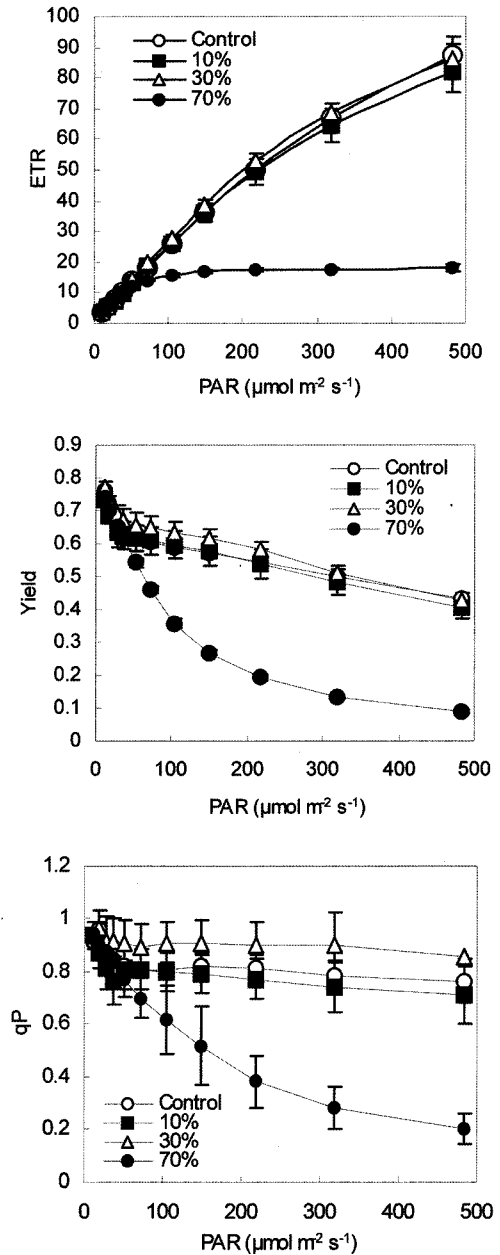


Fig. 1. Effect of different treatments on photosynthetic electron transport rate (ETR), effective quantum yields of PS II (Yield), and photochemical quenching (qP). The four curves were obtained by supplying either 30s of actinic light at each of the different irradiance levels.

사용되고 있다(Baek 등, 2005). 광계 II의 reaction center에서 일어나는 광화학적 에너지 전환에 유효한 ETR은 광도가 0에서 500μmolm⁻²s⁻¹까지 증가함에 따라 0%, 10%, 30% 차광처리는 직선적으로 증가하는

Table 1. Several photosynthetic characteristics of *Wasabia japonica* under different shading treatments.

Shading (%)	Pn ^z	g _s	Tr	Ci
Control	9.24 b ^y	0.151 a	0.427 c	240.7 b
10	10.50 a	0.168 a	1.846 a	278.1 a
30	9.09 b	0.146 a	2.174 a	276.5 a
70	3.55 c	0.056 b	0.968 b	258.7 ab

^zPn[Photosynthesis rate ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)]; g_s[Stomatal conductance ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)]; Tr [Transpiration rate ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)]; Ci [Intercellular CO₂ concentration ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)]

^yMean separated by LSD 0.05

Table 2. Effect of different shading treatment on leaf area, leaf length, leaf width, and number of leaf of *Wasabia japonica*.

Shading (%)	Leaf area (cm ² /plant)	Leaf		No. of leaf	Petiole length (cm)
		Length (cm)	Width (cm)		
Control	3330.3 b ^z	14.9 a	16.3 a	112.3 a	23.7 ab
10	4794.9 a	15.4 a	17.4 a	99.0 a	28.9 a
30	2860.0 b	14.7 a	15.2 a	65.7 b	25.5 a
70	484.5 c	8.4 b	9.1 b	14.7 c	17.0 b

^zMean separated by LSD 0.05

Table 3. Effect of different shading treatment on fresh weight and dry weight of *Wasabia japonica*.

Shading (%)	Fresh weight (g/plant)			Dry weight (g/plant)	
	Leaf	Petiole	Root	Leaf	Petiole
Control	98.56 ab ^z	185.9 a	30.6 a	30.5 ab	78.5 a
10	120.40 a	200.5 a	29.7 a	37.3 a	84.6 a
30	74.84 b	127.4 a	26.6 a	23.3 b	53.7 b
70	12.65 c	12.6 b	5.9 b	4.19 c	5.2 c

^zMean separated by LSD 0.05

경향을 나타내고 처리간 차이가 크지 않았다. 그러나 70% 차광은 100 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상에서 더 이상 증가하지 않고 현저히 낮은 값을 보였다. 식물체가 흡수한 빛의 광화학적 소멸 에너지의 분산을 나타내는 qP는 무차광과 차광 10%, 30%처리구에서 50 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 까지 감소 후 일정하게 유지되었다. 그러나 차광률이 가장 높았던 70% 차광처리는 qP값이 광도의 증가와 함께 계속적으로 감소되었다. 엽면적과 엽중이 가장 높았던 10% 차광처리는 무차광과 30% 차광에 비해 qP 값이 낮은 경향을 나타내었다.

차광에 따른 광합성률(Pn), 기공전도도(g_s), 증산률(Tr)과 세포내 CO₂ 농도(Ci)를 측정된 결과는 Table 1과 같다. 광합성률은 10%차광에서 가장 높고, 무차광, 30, 70% 차광 순으로 높게 나타났으며, 세포내 CO₂ 농도는 10, 30% 차광이 무차광보다 유의적으로 높게 나타났다. 이러한 무차광에서의 광합성과 세포내 CO₂

농도의 감소는 광포화점을 초과하는 강광에 노출될때 light-harvesting protein complex에서 PS-II로의 에너지 전달이 억제되는 현상(Xin 등, 2000)에 기인한 것으로 판단된다. 또한, 광합성률이 가장 높았던 10% 차광처리는 광도가 700 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 실험기간동안 고추냉이의 광포화점인 600~700 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에 가장 가깝게 유지된 결과로 판단된다. 증산률은 무차광 처리에서 10% 차광의 1/4수준으로 현저한 감소를 나타내었다. 기공전도도는 무차광, 차광 10, 30%에서 차이가 없었으나, 차광 70%처리는 다른 처리구의 1/3수준으로 낮게 나타났다.

광환경은 식물의 광합성과 형태발생에 관여하는 주요한 환경요인 중 하나이며, 작물의 생장에 결정적인 영향을 미친다. 차광 실험 후 고추냉이 생육 조사 결과는 Table 2, 3과 같다. 엽면적은 10% 차광 처리에서 무차광의 143%로 증가되어 가장 높았고, 70% 차

광처리의 엽면적은 10% 차광의 1/10수준으로 생장이 매우 낮았다. 엽폭과 엽장은 14~17cm로 무차광, 10%, 30% 차광간에 통계적 유의차가 없었으며, 70% 차광이 현저히 낮았다. 엽수는 무차광과 10%차광에서 가장 높았으며, 차광률이 증가할수록 엽수가 감소하는 경향을 나타내었다. 70%차광에서 엽수는 무차광의 10%수준으로 현저한 성장 저하를 나타내었다. 높은 광도에서 측지 발생이 증가하는 경향은 Schoellhorn (1996)등도 국화 재배에서 보고하고 있다. 이러한 경향은 강광도에서 식물체 상부의 cytokinin 함량이 증가되어 세포분열(van der Werf와 Nagel, 1996), 측지생성(Emery 등, 1998)과 잎 성장을 촉진하는 것으로 알려져 있다. 엽병장은 10, 30% 차광처리가 각각 28.9, 25.5cm로 무차광 23.7cm에 비해 유의적으로 길었다. 일본의 고추냉이 엽생산 출하규격은 잎의 크기에 따라 0(S), 8(M), 10(L), 15cm(2L)의 4종류가 엽병 길이는 15cm로 100g씩 다발을 만들어 출하되고 있다(Hwang, 2004). 건물중은 10%차광 처리에서 가장 높고, 무차광, 30%, 70% 차광 순으로 낮게 나타나 광합성과 기공전도도 등과 같은 경향을 보였다. 이러한 무차광의 성장 감소는 높은 광도에 노출된 식물의 형광, 산소 발생에 의한 photoinhibition 작용(Ralph과 Burchett, 1995)에 의한 것으로 판단되었다. 엽병의 건물중은 10%차광, 무차광에서 가장 높고, 30%, 70% 차광 순으로 나타났다. 차광 무차광과 10%, 30%의 차광률에 따른 지상부 생장은 유의적 차이를 보였으나 지하부 생장은 처리간 유의적 차이가 없어(Table 3), 차광률이 뿌리생장에 미치는 영향이 지상부 생장에 비해 적은 것으로 판단되었다. Percy와 Sims(1994)은 광조건이 제한 요인으로 작용할 때 줄기, 잎의 지상부로 분배가 지하부 보다 많아진다고 보고하였다. 이러한 차광률에 따른 지상부와 지하부로의 분배는 식물종과 차광에 대한 저항성에 따라 다르게 나타난다(Waters 등, 1993). 70%차광에서 고추냉이의 잎, 엽병 등의 생장이 매우 저조하였는데, Gardner 등(1985)은 광도는 식물체 유지 및 생장의 에너지원으로 광도가 광포화점 이상일때는 식물의 생장에 미치는 영향이 적으나 광포화점 이하로 차광되면 성장 둔화가 심하다고 보고하고 있다. 고추냉이 잎 생산을 위한 수경재배시 시설 내 차광률에 따른 엽면적, 잎과 엽병의 생체중 등의 성장량과 광합성 특성을 조사한 결과 가을~봄 재배시

시설내 10% 차광($700\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)이 적합한 것으로 판단되었다.

적 요

본 연구는 고추냉이 수경재배시 유리온실내 무차광, 10, 30, 70% 차광률이 고추냉이 생육 및 광합성 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 광도가 증가할수록 엽록소 형광특성 ETR은 함께 증가하였으며, 무차광, 10%, 30% 차광간의 차이가 없었으나, 70% 차광 처리구는 다른 처리구에 비해 현저히 낮게 나타났다. Yield와 qP는 광도 증가와 함께 감소하였으며, 70% 차광 처리구에서 감소폭이 컸다. 광합성과 기공전도도는 10%차광에서 가장 높았으며, 증산율은 무차광 처리구에서 가장 낮게 나타났다. 고추냉이 엽면적과 성장량은 10%차광에서 가장 높았으며, 엽수는 무차광에서 가장 많고 차광률이 증가할수록 감소하였다. 엽장, 엽폭은 무차광, 10-30%차광간에 유의적인 차이가 없었으나, 엽병장은 무차광에서 유의적으로 감소하였다. 뿌리의 생장은 70%차광을 제외하고 처리간에 큰 차이가 없었다. 70%차광에서 고추냉이 잎과 뿌리의 생장이 현저히 감소하였다. 고추냉이를 11월에 정식하여 순환식 담액수경 방식으로 5개월간 재배한 결과 시설내의 차광률은 엽중, 엽병중, 엽면적과 광합성 특성 등을 고려할 때 10% 차광($700\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)이 잎 생산에 적합하였다.

주제어 : 고추냉이, 광합성, 수경재배, 차광

사 사

농촌진흥청 특정연구과제로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. Baek, M.H., B.Y. Chung, J.H. Kim, S.G. Wi, J.S. Kim, and I.J. Lee. 2005. Synergistic effects of low dose gamma irradiation and growth regulators on seed germination, growth and photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.). Korean J. Environ. Biol 23(1):64-70.
2. Brand, M.H. 1997. Shade influences plant growth, leaf

- color, and chlorophyll content of *Kalmia latifolia* L. cultivar. HortScience 32:206-208.
3. Choi, K.Y., Y.B. Lee, and S.T. Ko. 2006. Healthy function and research situation of wasabi. TAL 4(1):37-45.
 4. Choi, S.Y., K.S. Lee, and J.S. Eun. 1995. Effect of temperature, light intensity and CO₂ concentration on photosynthesis and respiration of *Wasabia japonica* Matsum. Korean J. Medicinal Crop Sci. 3(3):181-186.
 5. Choi, S.Y., K.J. Chang, K.C. Lee, and C.H. Park. 2000. Effects of planting density and rhizome weight on growth and yield of *Ligusticum chuangxion* Hort. and *Cnidium officinale* Makino. Korean J. Medicinal Crop Sci. 8(3):201-208.
 6. Emery, R.J., N.E. Longnecker, and C.A. Atkins. 1998. Branch development in *Lupinus angustifolius* L. II. relationship with endogenous ABA, IAA and cytokinins in axillary and main stem buds. *J. Expl. Bot.* 49 320, p. 555-562.
 7. Hong, C.K., S.B. Bang, and J.S. Han. 1996. Effects of shading net on growth and yield of Aster scaber Thunb. and *Ligularia fischeri* Turcz. RDA. *J. Agri. Sci.* 38:462-267.
 8. Hwang, Y.T. 2004. Wasabi import status in Japan, p. 30-40. Korea agricultural trade information. Korea Agro-Fisheries Trade Corporation.
 9. Gardener, F.P., R.B. Pearce, and R.I. Mitchell. 1985. Photosynthesis. p. 3-30. In F.P. Gardner, R.B. Pearce, and R.I. Mitchell(eds.). *Physiology of crop plants* (1st ed.). Iowa state Univ. Press. Amer. Iowa 50010. USA.
 10. Kim, J.K. and C.K. Sang. 1982. Effect of light intensity on the growth and flowering of saintpaulia. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 23:323-331.
 11. Lee, S.W., J.S. Sang, H.S. So, H.S. Beon, J.H. Park, and S.D. Kim. 1996. Possibilities of *Wasabia japonica* Matsum culture using Soyang river Dam. Korean J. Medicinal Crop Sci. 4(4):586-590.
 12. Moon, J.S., Y.J. Song, B.R. Ko, D.W. Kim, and M.H. Sung 1999. Effects of sulfuric fertilizers on growth and allylthiocyanate contents of *Wasabia japonica* Matsum cultivated in heating condition. Korean J. Medicinal Crop Sci. 7(1):31-36.
 13. Percy, R.W. and D.A. Sims. 1994. Photosynthetic acclimation to changing light environments: scaling from the leaf to the whole plant. In: Caldwell, M., Percy, R.W. (Eds.), *Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants: Ecophysiological Processes Above- and Below-ground*. Academic Press, London, p. 145-174.
 14. Ralph, P.J. and M.D. Burchett. 1995. Photosynthetic responses of the seagrass *Halophila ovalis* to high irradiance stress using chlorophyll a fluorescence. *Aquatic Botany* 51:55-66.
 15. Russo, V.M. 1993. Shading of tomato plants inconsistently affects fruit yield. HortScience 28:1133.
 16. Schoellhorn, R.K., J.E. Barrett, and T.A. Nell. 1996. Branching of chrysanthemum cultivars varies with season temperature and photosynthetic photon flux. HortScience 31:74-78.
 17. Son, H.Y. and S.C. Chae. 2003. Effects of shading, potting media, and plant growth retardant treatment on the growth and flowering of *Spiranthes sinensis*. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21:129-135.
 18. Walters, M.B., E.L. Kruger, and P.B. Reich. 1993. Growth, biomass distribution and CO₂ exchange of northern hardwood seedlings in high and low light: relationship with successional status and shade tolerance. *Oecologia* 94:7-16.
 19. van der Werf, A. and O.W. Nagel. 1996. Carbon allocation to shoots and roots in relation to nitrogen supply is mediated by cytokinins and sucrose: opinion. *Plant Soil* 185:21-32.
 20. Xin, Y., L. Feng, Y. Yu, D. Jiao, L. Ki, and T. Kuang. 2000. Effects of high light stress on chlorophyll-protein complexes of two subspecies of rice. *Acta Botanica Sinica.* 42(12):1278-1284.