

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.6.1097>

JCCT 2023-11-131

파프리카 생장에 따른 줄기의 정부와 하부 간 광량, 엽온, 증산속도 및 수증기압포차 비교 분석

Comparative Analysis of Lighting Intensity, Leaf Temperature, Transpiration Rate, and Vapor Pressure Deficit between the Top and Branching Point of Stem during Growing Period of Paprika Plant

우승미*, 김호철**

Seung Mi Woo*, Ho Cheol Kim**

요약 2022년 11월부터 2023년 3월까지 유리온실에서 파프리카 식물체가 생육함에 따라 식물체 높이별 광량, 엽온, 증산속도, 수증기압포차를 측정하였다. 적산된 엽온은 식물체 정부에서 하부보다 높았다. 시간이 지남에 따라 오전 11-13시경 측정된 엽온은 하부(pL)에서 26.55→23.21→22.80→26.67℃로 변화하였고, 상부(pAs)에서는 26.52→24.48→24.55→27.78℃로 변화하였다. 그리고 VPD는 pL에서 1.45→0.94→0.74→1.46kPa, pAs에서는 1.11→0.86→0.71→1.28kPa로 변화하였다. 이에 따른 증산속도는 pL에서는 4.25→0.17→4.08→0.52mmol·m⁻²·s⁻¹, pAs에서 7.61→2.45→1.94→4.39→0.52mmol·m⁻²·s⁻¹로 변화하였고, pAs에서 pL보다 상당히 높았다. 하부와 상부 차이(pL-pAs)는 엽온, 광량, 증산속도에서는 pL보다 pAs에서 더 높았으나 수증기압포차는 pL에서 더 높았다. 이와 같이 파프리카는 재배 기간 중 상부와 하부 간 환경과 이에 따른 광합성 요소가 차이를 나타내어 향후의 연구에서는 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

주요어 : 파프리카, 증산속도, 엽온, 수증기압포차

Abstract As paprika plants grew in a glass greenhouse from November 2022 to March 2023, the amount of light at each plant height, leaf temperature, transpiration rate, and water vapor pressure were measured. Accumulated leaf temperature was higher at the top of the plant than at the bottom. Over time, the leaf temperature measured around 11-13 AM changed from 26.55→23.21→22.80→26.67℃ in the lower part (pL), and from 26.52→24.48→24.55→27.78℃ in the upper part (pAs). And VPD changed from 1.45→0.94→0.74→1.46kPa in pL and from 1.11→0.86→0.71→1.28kPa in pAs. Accordingly, the transpiration rate changed from 4.25→0.17→4.08→0.52mmol·m⁻²·s⁻¹ in pL, 7.61→2.45→1.94→4.39→0.52mmol·m⁻²·s⁻¹ in pAs, and from pAs to pL. It was significantly higher than The difference between the lower and upper parts (pL-pAs) was higher in pAs than pL in leaf temperature, light intensity, and transpiration rate, but the water vapor pressure difference was higher in pL. In this way, paprika shows differences in the environment and photosynthetic factors between the upper and lower parts during the cultivation period, so it is judged that this needs to be taken into consideration in future research.

Key words : Paprika, transpiration rate, leaf temperature, vapor pressure deficit

*준회원, 원광대학교 일반대학원 원예학과 석사과정 (제1저자) Received: October 5, 2023 / Revised: October 25, 2023

**정회원, 원광대학교 원예산업학과 교수 (교신저자)

접수일: 2023년 10월 5일, 수정완료일: 2023년 10월 25일

게재확정일: 2023년 11월 10일

Accepted: November 10, 2023

**Corresponding Author: go-hc@daum.net

Department of Horticulture Industry, Wonkwang Univ, Korea

I. 서론

국내 파프리카(*Capsicum annuum* L.)는 다수 지역에서 8-9월에 정식하는 동계작형과 강원도나 고랭지에서 7-8월에 정식하는 여름작형이 있다. 그러나 광이 부족한 겨울철과 고온기인 여름철에는 수확량이 저하되어 수확량이 적은 편이다[1][2][3][4]. 작물의 성장은 기초 물질대사를 기반으로 하며 이중 광 환경은 과실 생육과 수확량에 영향을 준다. 식물체에서 광의 조사는 식물호르몬인 앱시스산(abscisic acid)이나 옥신(auxin), 그리고 세포막 포텐셜 변화와 단백질 합성에 관여하는 피토크롬(phytochrome) 등이 기공 열림[5]에 관여한다. 특히, 식물이 주로 사용하는 것으로 알려져 있는 PAR에서 blue와 red 파장의 강도가 기공의 직경 확장에 영향을 미친다[6]. 그리고 광, 그리고 기온에 의한 스트레스는 작물의 광합성 속도에 영향을 미칠 뿐만 아니라 증산작용에 관여하여 잎 온도, 그리고 기공 전도도나 증산속도에도 영향을 준다[7][8]. 일반적으로 일사량과 기온, 엽온은 상관성을 갖고 있고 이에 따라 증산속도나 수증기압포차가 영향을 받는다[9][10]. 파프리카 재배는 에너지의 비용이 경영비에서 많은 부분을 차지하고 있다. 이러한 에너지 절약을 위해서는 현 열과 잠열의 이론적 산출량에 기반을 둔다. 특히, 작물에서는 증산량이 잠열량 계산에 매우 중요한 지표로 활용되고 있다. 특히, 파프리카는 수직형으로 자라는 작물로 상부와 하부 간 광, 온도 등이 차이가 엽온에 영향을 주어 증산량에서 부위별로 차이를 나타낸다. 하지만 기존 연구들에서는 샘플 실험에 그치고 있어 현장 적용 효율이 떨어진다. 따라서 파프리카의 전주기 동안 증산량의 변화를 예측할 수 있다면 향후 에너지 투입 산출 모델에 있어 정확도를 더 높일 수 있고, 이는 에너지 절약에 기여할 것으로 판단된다.

이에 본 연구는 파프리카를 재배하는 전 시기 동안에 작물 생육에 따른 상부와 하부 간 엽온, 수증기압포차, 그리고 증산속도 등의 차이를 비교 분석하여 온실 에너지 산출 모형에 기여하고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 2022년 11월부터 2023년 3월까지 겨울 작형 파프리카가 재배되고 있는 전북 익산에 위치한 유리

온실 내에서 줄기의 정단부와 하부, 그리고 마디별 엽온, 증산속도, 수증기압포차를 알아보기 위해 수행되었다. 엽온 센서는 하부(pL)에서 분지점으로부터 세 번째 잎으로 고정 설치하였고, 정단부(pAs)에서는 파프리카 생장에 따라 2022년 11월 12일 160cm (pA1) 위치에 첫 설치한 후 2023년 1월 7일 180cm (pA2), 2월 11일 225cm (pA3), 3월 18일 245cm (pA4) 위치의 잎으로 이동 설치하여 측정하였다(Figure 1). 엽온모니터링 시스템은 2분 간격으로 자동 측정 및 저장되도록 설정되었다. 또한 일주일 간격으로 11시-13시경에 엽온센서가 장착된 잎의 온도, 주변 광량, 증산속도 및 VPD를 측정하였다. 수집된 데이터를 비교하였고, 그 차이를 나타내었다.

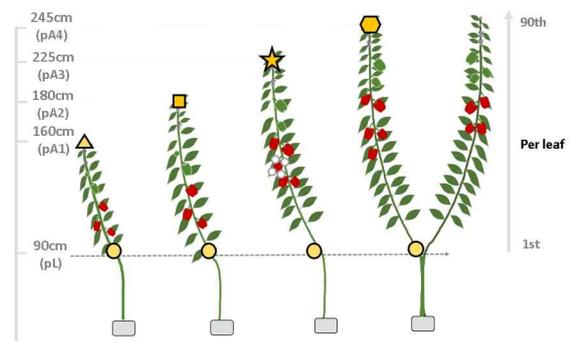


그림 1. 본 연구기간 동안 파프리카의 엽온, 광량, 수증기압포차, 증산속도의 측정 위치.

Figure 1. Measured position of leaf temperature, light intensity, vapor pressure deficit, and transpiration rate during the study period.

III. 결과 및 고찰

온실에서 자라고 있는 파프리카 식물체에서 상부(pA)와 하부(pL)를 시기별로 조사하였다(Table 1). 그리고 하부는 고정된 위치이며 상부는 시간이 지남에 따라서 위치를 옮겨주었다(pA1-4). pL은 시간이 지남에 따라서 22.80-26.67℃ 범위로 증감을 하는 패턴이었는데 특히, 겨울로 들어서면서 식물체 엽온도 낮아지는 경향이었고 다시 3월로 들어서면서 올라가 제어하는 온실이나 다소 계절적 영향을 받은 것으로 판단된다.

식물이 자람에 따라 높아지는 pAs는 pL보다 다소 높은 경향을 나타내었는데 pL에서 가장 낮았던 1-2월에 그 차이가 가장 컸다. 광도는 엽온의 차이보다 매우 크게 나타났는데 겨울철 1-2월에는 pL에서는 22.25

-75.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 pAs의 198.5-449.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 보다 매우 낮았다. 그리고 차이에서도 매우 컸다. 그리고 증산속도도 2월을 제외하고 모든 기간에서 pAs에서 높았다. 하지만 수증기압포차는 pL에서 다소 높은 경향이 있었다. 하지만 시기(pA-pA4)별 pL과 pA 간에 엽온과 수증기압포차는 유의한 차이가 인정되지 않았다. 이의 증산속도는 pA3 시기를 제외하고, 광량은 pA1 시기를 제외하고 유의한 차이가 인정되었다. 이들 중 증산속도는 pA2 시기에, 광량은 pA4 시기에 가장 높은 유의성을 나타내었다.

재배 기간 중 pAs와 pL 간 차이 차이를 막대그래프로 나타내었다(Figure 2). pAs에서 pA1은 160cm, pA2는 180cm, pA3는 225cm, pA4는 245cm 높이이다. 엽온은 식물체가 성장하면서 pL에 비해 pAs에서 1.0-1.7 $^{\circ}\text{C}$ 정도 높았다. 수증기압포차는 엽온과 반대의 경향을 나타내면서 pL에서 0.05-0.34kpa 정도 높았다. 주변 광량은 엽온과 유의한 관계를 나타내지 않았다. 이는 온실은 환경제어가 가능한 온실로 내부의 온도는 일정하게 유지하고 광량은 외부에 다소 의존적이다. 특히, 광세가 지나친 경우에는 온도는 공조기를 통해 제어

표 1. 연구기간 동안 파프리카 줄기의 상부와 하부 평균 엽온, 수증기압포차, 증산속도, 광량..

Table 1. Average leaf temperature (LT), vapor pressure deficit (VPD), transpiration rate (TR), and light intensity (LI) at branching point (pL) and the higher position (the top) than pL(pAs) of main stem in paprika plant during the study period.

Location		pA1	pA2	pA3	pA4
pL	LT	26.55	23.21	22.80	26.67
	VPD	1.45	0.94	0.74	1.46
	TR	4.25	0.17	4.08	4.39
	LI	339.75	30.8	75.5	22.25
pAs	LT	26.52	24.48	24.55	27.78
	VPD	1.11	0.86	0.71	1.28
	TR	7.61	2.45	1.94	4.39
	LI	449	282	198.5	243.5
Sig.	LT	NS	NS	NS	NS
	VPD	NS	NS	NS	NS
	TR	*	***	NS	*
	LI	NS	*	**	***

ns, *, **, *** not significant and significant at $P=0.05$, 0.01, 0.00, respectively.

하나 광은 차광을 통해 감소시키기 때문으로 판단된다. 증산속도는 160cm와 180cm 성장시에는 pAs에서 pL보다 2-3 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도 더 높았지만 이후에는 적은 경향을 나타내었다. 전반적으로 광량은 다소 요소에 영향을 미치지 않은 것으로 판단되고, 엽온, 수증기압포차, 증산속도는 상호 정의 또는 부의 관계성을 나타내었다.

동일한 시간에 파프리카 식물의 마디마다에 착생된 잎을 대상으로 주변광량, 엽온, 엽의 증산속도, 수증기압포차를 조사하였다(Figure 3). 엽온과 광량은 80여 마디까지는 정의 상관성을 나타내며 증가하는 경향이 있었다. 하지만 이후에는 엽온이 급격히 감소하였는데 이는 측정 시 그늘의 영향을 판단되며 최종적으로 동일 조건

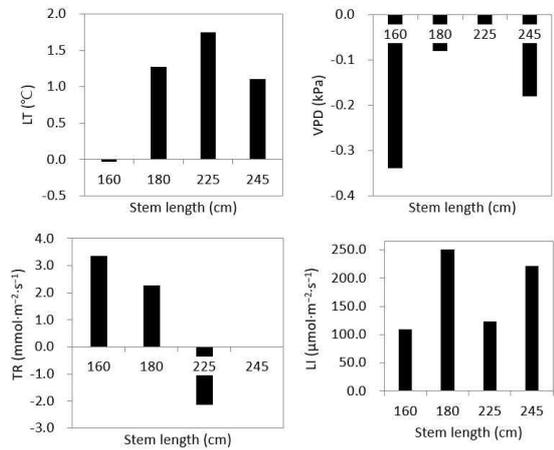


그림 2. 연구 기간 동안 파프리카 식물체의 pL과 pAs 간 평균 잎 온도(LT), 수증기압포차(VPD), 증산율(TR), 광도(LI)의 차이

Figure 2. Difference in average leaf temperature (LT), vapor pressure deficit (VPD), transpiration rate (TR), and light intensity (LI) between location of pL and pAs in paprika plant during the study period.

에서는 광량은 엽온에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그리고 증산속도는 엽온보다는 광량과 가장 유사한 패턴을 보였다. 하지만 그 변이폭이 다소 컸다. 광량, 엽온, 증산속도 모두 다소 증가하는 패턴인 반면, 수증기압포차는 다소 낮아지는 패턴이었다. 이는 일정 범위 내에서 광량이나 엽온의 증가에 따른 증산속도 즉, 시간당 증산량이 증가함에 따라서 온실 대기의 절대습도가 높아지면서 상대적으로 잎과 대기 간 수증기압의 차이가 적어진 것으로 판단된다.

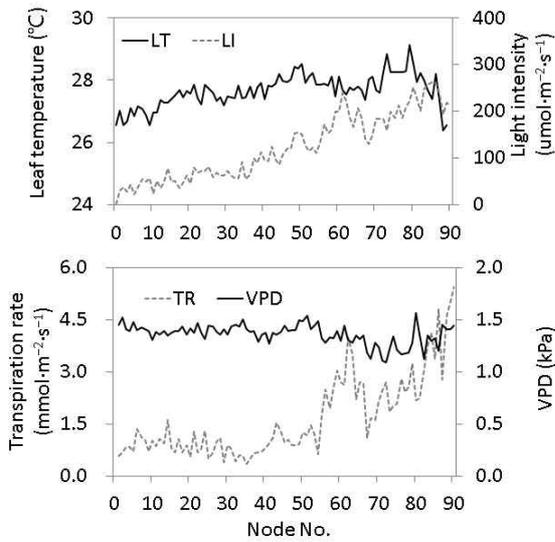


그림 3. 파프리카 식물체의 엽온(LT), 광도(LI), 증산속도(TR), 수증기압포차(VPD) 변화.

Figure 3. Changes in leaf temperature (LT), light intensity (LI), transpiration rate (TR), and vapor pressure deficit (VPD) each leaf of paprika plant.

IV. 결론

2022년 11월부터 2023년 3월까지 유리온실에서 파프리카 식물체가 생육함에 따라 식물체 높이별광량, 엽온, 증산속도, 수증기압포차를 측정하였다. 2분 간격으로 측정된 데이터를 이용하여 주간동안 적산된 엽온은 정부에서 하부보다 높았는데 각각 pA1 372.65, pA2 244.29, pA3 176.37 및 pA4 512.2°C 차이가 났다. 이는 계절적 특성(외부환경)이 반영된 것으로 판단된다. 오전 11-13시경 측정된 각 기간별 엽온은 pL에서 시기에 따라 26.55→23.21→22.80→26.67°C였고, pAs가 높아짐에 따라 26.52→24.48→24.55→27.78°C로 시기가 지나면서 11월, 3월이 1월, 2월보다 비교적 높게 측정되었다. 또한 VPD는 pL에서 시기에 따라 1.45→0.94→0.74→1.46kPa였고, pAs가 높아짐에 따라 1.11→0.86→0.71→1.28kPa였다. 이에 따른 증산속도는 pL에서는 시기에 따라 4.25→0.17→4.08→0.52mmol·m⁻²·s⁻¹였고, pAs가 높아짐에 따라 7.61→2.45→1.94→4.392mmol·m⁻²·s⁻¹로 pAs에서 pL보다 상당히 높았다. 이에 따른 pL, pAs별 차이에서 엽온, 광량, 증산속도는 pL보다 pAs에서 더 높은 값을 나타내었고, 수증기압포차는 pAs보다 pL에서 더 높은 값을 나타내었다. 수체내 마디별로 엽온과 광량을 측정할 결과, 분지점으로부터 상부로 올라갈수록 증가할수록 광량은 증가하였으며, 광량이 증가할수록 엽온 또한

증가하는 추세를 보였다. 이에 따른 증산 속도는 엽온, 수증기압포차는 광량과 유사한 경향을 나타내었다.

References

- [1] Korea agriculture trade information (KaTi) (2022) Korea agriculture trade information. <https://www.kati.net/statistics/monthlyPerformanc> eByProduct.do Accessed 1 July 2022
- [2] Adams SR, Cockshull KE, Cave CRJ (2001) Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Ann Bot* 88:869-877. doi:10.1006/anbo.2001.1524
- [3] Lee JW, Kim HC, Jeong PH, Ku YG, Bae JH (2014) Effects of supplemental lighting of high pressure sodium and lighting emitting plasma on growth and productivity of Paprika during low radiation period of winter season. *Korean J Hortic Sci Technol* 32:346-352. doi:10.7235/hort.2014.14029
- [4] Kim EJ, Park KS, Goo HW, Park GE, Myung DJ, Jeon YH, Na HY (2021) Effect of cooling in a semi-closed greenhouse at high temperature on the growth and photosynthesis characteristics in Paprika. *J Bio-Environ Control* 30:335-341. doi:10.12791/KSBEC.2021.30.4
- [5] Shimadzu, S., Seo, M., Terashima, I., Yamori, W. (2019) Whole irradiated plant leaves showed faster photosynthetic induction than individually irradiated leaves via improved stomatal opening. *Front Plant Sci* 28: 1-10. doi: 10.3389/fpls.2019.01512
- [6] Lurie. S. (1978) The effect of wavelength of light on stomatal opening. *Planta* 140:245-249. doi:10.1007/BF00390255
- [7] Mittler, R., Blumwald, E. (2010), Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives. *Annu Rev Plant Biol* 61:443-462. doi:10.1146/annurev-arplant-042809-112116
- [8] Rajametov, S.N., Yang, E.Y., Cho, M.C., Chae, S.Y., Jeong, H.B., Chae W.B. (2021) Heat-tolerant hot pepper exhibits constant photosynthesis via increased transpiration rate, high proline content and fast recovery in heat stress condition. *Sci Rep* 11:14328. doi:10.1038/s41598-021-93697-5
- [9] Tai, N.H., Park, J.S., Ahn, T.I., Lee, J.H.,

Myoung, D.J., Cho, Y.Y., Son, J.E. (2010)
Analysis of relationship among growth,
environmental factors and transpiration in
soilless culture of paprika plants. Kor J Hort Sci
Technol 28:59-64

[10]Woo, S.M., Kim, G.Y., Lim, H.H., Jeong, J.H.,
Cho, S.H., Ahn, B.K., Lee, E.Y., Bae, J.H., Kim,
H.C. (2022) Growth environmental factors and
fruit enlargement of seedless watermelon
according to directions of single-span
greenhouse. Hor Sci Tech 40: :525-538.

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기
획평가원 연구사업의 지원에 의해 이루어진 것임
(과제번호: 2022-0-00597)