The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)
Vol. 7, No. 4, pp.785-789, November 30, 2021. pISSN 2384-0358, eISSN 2384-0366

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2021.7.4.785
JCCT 2021-11-96

파프리카 생산성 차이 농가 간 지상부 환경요인 비교

Comparison of Atmospheric Environmental Factors between Farms with Difference in Paprika Productivity

김가영*, 우승미**, 김호철***

Ga Yeong Kim*, Seung Mi Woo, Ho Cheol Kim*****

요 약 파프리카 생산성은 동일한 품질 온실, 지역 간에 차이를 나타내고 있다. 이러한 차이는 다양한 환경요인의 차이에서 오는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 동일 지역에서 동일 품질 온실 중에서 생산성이 높거나(HPF) 낮은(LPF) 온실 간 내부 환경요인의 수준 차이를 알아보고자 수행되었다. 주요 환경요인들의 일 또는 주의 평균값에서 두 온실 간에 가장 큰 차이를 보인 것은 CO_2 농도였지만, LPF에서 HPF보다 매우 높아 생산성 차이 요인으로 판정하기 않았다. 14개 환경 요인들 간 상관분석에서 광량과 수분 관련 요인들 간에 상관성을 나타내었다. 증산량에 관련된 수증기압포차와 상대습도 간 선형회귀모형의 회귀계수는 HPF에서 -0.0202kpa, LPF에서는 -0.0262kpa로 나타났다. 특히 2월과 3월에는 LPF에서 VPD가 1.5kpa 이상이었고, 재배 초기에 누적 광량 대비 누적 수증기압포차의 급격한 증가가 나타났다. 따라서 LPF에서 생산성이 낮은 원인은 재배 초기와 겨울철에 적은 광량 조건에서 높은 VPD에 의한 높은 증산량이 식물체에게 수분 스트레스를 주었기 때문으로 판단된다.

주요어 : 광량, 생산성, 수증기압포차, 파프리카, 환경요인

Abstract Paprika productivity is different even in the same quality greenhouse and in the same region. These differences are known to due to differences in various environmental factors. This study was conducted to investigate the difference in the level of various environmental factors between high-productivity (HPF) and low-productivity (LPF) greenhouses. The largest difference between the two greenhouses in the daily or weekly average values of major environmental factors was the CO_2 concentration, but the LPF was higher than the HPF, so it was not determined as a factor for the difference in productivity. Correlation analysis among 14 environmental factors showed a high correlation among irradiation or related factors in moisture. The regression coefficients of the linear regression model between vapor pressure deficit and relative humidity were -0.0202kpa in HPF and -0.0262kpa in LPF. In particular, in February and March, the vapor pressure deficit in LPF was 1.5kpa or more, and the cumulative vapor pressure deficit compared to the cumulative irradiation at the early period of cultivation increased rapidly. The reason for the low productivity in LPF is thought to be that the plant was affected by moisture stress due to high vapor pressure deficit and transpiration under low irradiation conditions in the early period of cultivation and in winter.

Key words : Irradiation, Productivity, Vapor pressure deficit, Paprika, Environmental factors

*준회원, 원광대학교 원예학과 석사과정 (제1저자)
**준회원, 원광대학교 원예산업학부 학부생 (참여저자)
***정회원, 원광대학교 원예산업학부 조교수 (교신저자)
접수일: 2021년 10월 18일, 수정완료일: 2021년 10월 27일
게재확정일: 2021년 11월 2일

Received: October 18, 2021 / Revised: October 27, 2021
Accepted: November 2, 2021
*Corresponding Author: go-hc@hanmail.net
Divi. of Horticulture Industry, Wonkwang Univ, Korea

Ⅰ. 서 론

파프리카는 국내 신선 수출 농산물 중 대표 작물로 일본을 중심으로 2020년 30,272톤, 86,428천달러를 수출하였다. 하지만 최근 5년간 생산기간의 불균형과 함께 인건비, 원자재 상승, 그리고 수출 단가의 하락 등으로 수출액이 낮아져 생산농가의 어려움이 발생하고 있다[1]. 특히, 아직까지 유럽 선진국의 생산성에 비해 낮은 실정으로 생산성을 높이기 위한 연구들이 다수 진행되었다. 최근에는 모든 산업에서 빅데이터, AI 기술을 통한 분석 기법이 발전하고 있듯이 농업에서도 활용 연구되고 있다[2][3]. 온실 재배에서는 광, 온도, 습도 등 지상부 환경뿐만 아니라 배지 내부의 환경도 복합적으로 작용하고 있어 고도의 재배 기술이 필요하다[4]. 광합성 효율을 높이고 과실로의 전류를 증가시키는 데 있다[5]. 국내 파프리카 재배 농가 간에는 대기 환경, 시설 수준, 재배자 관리 능력 등에 따라 생산성 차이를 나타낸다. 특히, 동일지역 및 동일 수준 온실에서도 생산성 차이를 나타내고 있다. 이는 외부 환경은 유사한 수준이나 식물체에 직접적 영향을 주는 내부 환경의 차이가 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 전북 남원 지역에서 파프리카를 재배하고 있는 농가 중 생산성이 높은 농가와 낮은 농가 간에 내부 환경 차이를 알아보고자 수행되었다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 파프리카 생산성 농가 선발

전북 남원 지역에서 파프리카를 재배하고 10개 농가를 대상으로 각 농가의 생산성을 선행 조사하였다. 이 중 동일 품종 및 재식밀도를 갖고 있는 농가 선발 후 생산성이 가장 높은 농가와 낮은 농가를 선발하였다.

선발된 농가의 재배품종은 '나가노'이며 5 plants/slab, 2 stems/plant로 재식밀도는 3.5plant/m2였다. 그리고 선발된 2 재배온실의 생산성은 그림 1과 같다.

2. 환경데이터 수집

환경데이터는 2019년 7월에서 2020년 6월까지 온실 내부에 환경모니터링시스템을 설치하여 수집되었다. 본 모니터링시스템은 광량, 기온, 상대습도, CO_2농도를 센서에 의해 저장된다. 수집된 데이터는 광의 측정 시간을 주간, 측정되지 않은 시간을 야간으로 구분하여 각 평균값을 산출하였다. 그리고 주야간온도차(difference between day and night temperature, DIF), 수분부족분(humidity deficit, HD), 수증기압포차(vapor pressure deficit, VPD)는 아래와 같이 계산되었다.

- 주야간온도차(DIF, ℃) = 주간평균온도-야간평균온도
- 수분부족분(HD, $g \cdot m^{-3}$) = 현재 온도, 상대습도 100%에서 절대습도-현재 온도 및 상대습도에서 절대습도
- 수증기압포차(VPD, kpa) = 현재 온도, 상대습도 100%에서 수증기압-현재 온도 및 상대습도에서 수증기압

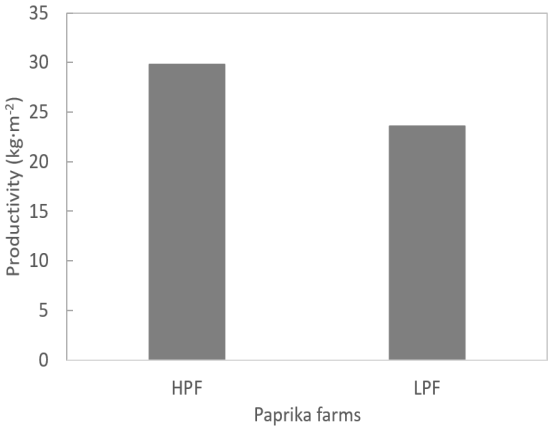

그림 1. 선발된 2개의 파프리카 재배 농가의 생산성 차이.
Figure 1. Difference in productivity of selected farms. A: high farm, B: low farm in productivity.

3. 환경데이터 분석

2개 재배 온실의 수집 및 산출된 일평균 환경데이터를 월별 누적값으로 변환하여 피어슨상관계수(Pearson correlation coefficient)를 이용한 상관분석을 실시하였다. 상관분석으로 연관성을 갖은 환경요인을 추출한 후 식물 생리적 측면에서 인과관계가 있는 것을 다시 추출하였다. 이후 추출된 요인들의 월별 누적값을 시간의 경과에 따른 누적값으로 변환하여 영향력 정도를 살펴보았다. 영향력 정도는 선형회귀분석(linear regression)을 통하여 알아보았다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 두 온실 간의 주요 환경요인 수준 차이

표 1은 작물 생육에 있어 지상부 요인 중 광합성산물 생산량에 영향을 미치는 광, 온도, CO_2, 수증기압포차의

일평균값을 비교하였다. 한 작기동안 내부광량, 주야간 온도차이, 주간 수증기압포차의 일평균값은 생산성이 낮은 농가(LPF)에 비해 생산성이 높은 농가(HPF)에서 높았으나, 내부 CO_2 농도, 야간 수증기압포차는 낮았다. 특히, 생산성 차이와 비례하여 내부 광량의 차이가 뚜렷하였고, 내부 CO_2 농도가 LPF에서 크게 높았음에도 생산성이 낮은 것, 주야간 온도차 수준을 고려할 때 광합성 산물 생산 및 과실 생산성에는 광량과 함께 수증기압포차가 영향을 주었을 것으로 판단된다.

표 1. 파프리카 생산성 고저 재배온실의 주요 환경요인의 일평균값 차이
Table 1. Difference in daily mean value of main environmental factors inside greenhouse of paprika according to the high (HPF) and low (LPF) paprika productivity

Environmental factors		HPF (A)	LPF (B)	A-B
Irradiation (klux)		3.18±2.23	2.46±2.89	0.72
DIF (℃)		5.5±1.4	4.9±1.3	0.6
CO_2 con. (ppm)	daytime	659.3±61.1	824.7±109.2	-165.4
	nighttime	808.3±81.9	1,164.1±138.3	-355.8
Vapor pressure deficit (kpa)	daytime	0.99±0.40	0.92±0.50	0.07
	nighttime	0.38±0.26	0.41±0.24	-0.03

2. 환경요인들 간 상관분석

재배 온실의 14개 내부 환경요인 간 상관성을 분석하였다(그림 2). 내부 평균 광량은 주간의 평균 수분부족분 및 수증기압포차 간에 상관계수 0.808 및 0.827로 높은 정의상관을 나타내었다. 그리고 주간 및 야간의 기온은 슬라브 온도와 매우 높은 정의상관을 나타내었다. 그리고 주간 상대습도는 주간 및 야간의 수분부족분 및 수증기압포차에 높은 관계를 나타내었다. 그리고 주간 및 야간의 수증기압포차는 수분부족분과 높은 관계를 나타내었다. 현재 파프리카 온실의 경우 복합환경제어가 이루어지고는 있으나 각 요인별로 정밀 제어는 어려운 실정이다. 이에 따라서 일부 환경요인 간에는 연계되어 변화한다. 특히, 내부 광량은 주간 기온과는 관계성을 나타내지 않고 주간의 수분부족분 및 수증기압포차에 관계를 나타내었다. 이는 온실의 기온은 별개로 제어되고 있고 밀폐된 공간인 온실 내에 들어온 광에 의해 증발산에 따라 주간 상대습도의 변화가 일어난 것으로 판단된다. 그리고 이에 따라 상대습도와 연계된 주간 수분부족분 값, 그리고 수분부족분 값은 수증기압포차 값에 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 이러한 주간의 변화가 야간에도 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

Factors[z]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.000[y]													
2	0.290	1.000												
3	0.201	**0.953**	1.000											
4	0.340	0.385	0.087	1.000										
5	-0.686	0.026	-0.037	0.197	1.000									
6	-0.411	0.305	0.200	0.394	**0.881**	1.000								
7	0.114	-0.176	-0.119	-0.218	-0.090	-0.232	1.000							
8	0.017	0.267	0.259	0.088	0.148	0.118	0.783	1.000						
9	-0.028	**0.915**	**0.853**	0.411	0.422	0.623	-0.196	0.303	1.000					
10	0.010	**0.925**	**0.935**	0.191	0.275	0.505	-0.200	0.248	**0.953**	1.000				
11	**0.808**	0.311	0.316	0.061	**-0.893**	-0.677	0.000	-0.080	-0.088	0.038	1.000			
12	0.525	0.037	0.129	-0.272	**-0.874**	**-0.890**	0.194	-0.011	-0.324	-0.220	**0.820**	1.000		
13	**0.827**	0.435	0.441	0.088	**-0.855**	-0.586	0.020	-0.010	0.042	0.155	**0.968**	0.789	1.000	
14	0.538	-0.019	0.087	-0.326	**-0.903**	**-0.931**	0.194	-0.042	-0.379	-0.255	**0.805**	**0.973**	0.762	1.000

그림 2. 파프리카 재배온실 내부 환경요인 간 상관성. z1-14: 광량, 주간 및 야간의 기온, 주야간온도차, 상대습도, CO2 농도,배지온도,수분부족분 및 수증기압포차. y상관계수
Figure 2. Correlation among environmental factors in paprika greenhouse. z1-14: irradiation, mean air temperature in daytime (A) and nighttime (B), DIF (A-B), mean relative humidity, mean CO2 concentration, mean temperature of medium, mean humidity deficit, mean vapor pressure deficit in daytime and nighttime in greenhouse in the order. yCorrelation coefficient level

광합성 대사에는 광량, 수분, CO_2가 관여하며, 식물체 생육 및 생산성에는 광합성 대사산물과 함께 무기양분의 동화가 영향을 크게 미친다. 내부 일평균광량은 HPF에서 LPF보다 29%(0.7klux) 높았지만, 주간 일평균 CO_2 농도는 25%(165.5ppm) 낮았다(표 1). 두 온실 간 광합성산물 생산량 및 전류량(수확량)은 양수분공급을 동일하게 주었다고 가정할 시 CO_2 농도보다 광량의 영향이 더 크게 작용한 것으로 판단된다. 특히, 수증기압포차가 증산량 및 광합성량에 영향을 미치는 관계를 고려하면 그림 2에서도 광량과 수증기압포차의 유의한 관계성은 생산성에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 온실 내 유입된 광량은 엽온, 기공개폐, 수증기압포차, 그리고 수분스트레스에 관여한다[6][7][8].

3. 수증기압포차와 주요 환경요인들 간 관계

두 재배 온실의 상대습도와 수증기압포차 간 관계를 회귀분석하였다(Fig. 3). 두 온실에서 모두 수증기압포차에

대한 온실 내 상대습도의 영향력은 유효하게 작용하였다. HPF에서는 상대습도 1%가 증가할 시 수증기압포하는 0.0202kpa정도씩 감소하였다. LPF에서는 0.0262kpa 정도씩 감소하였다. 일반적으로 상대습도는 건구온도, 습구온도 등 온도 요인과 부의 관계를 나타내는데, 동일한 온도 조건에서 상대습도가 높을수록 절대습도($g \cdot m^{-3}$), 수증기압(kpa)은 증가하는 경향이다. 동일 작물 간 재배농가에서 설정하는 내부 온도 수준의 거의 유사하며 이를 주야간 온도 차이로 생장을 조절하고 있다. 그리고 광량은 절대적으로 외부 광량과 온실 피복재의 투광율에 의존하고 있다. 이와 같이 재배 온실 내 상대습도는 유사한 온도 수준을 고려할 때 수광량이 온실 내부 습도, 식물체(엽) 온도 등에 영향을 주어 수증기압포차의 차이를 나타내는 것으로 생각된다. 식물체의 온도는 엽내 수증기몰분율의 변화를 가져와 수증기압포차와 증산 효율에 영향을 준다. 수증기압포차는 잎의 수분포텐셜과 이에 따른 증산 효율에 영향을 준다[9].

두 온실 내부 누적 온도 및 광량이 누적 수증기압포차에 대한 영향력을 회귀분석하였다(그림 5). 시간이 경과함에 따라 누적 온도에 따른 누적 수증기압포차는 두 온실에서 회귀계수가 0.0372와 0.0354로 유의한 차이가 없었다. 내부 누적 광량은 그 수준에 차이는 있었으나 회귀계수의 차이는 크지 않았다. 하지만 재배 초기에는 LPF에서 증가속도가 매우 빨랐고, 후기에는 HPF에서

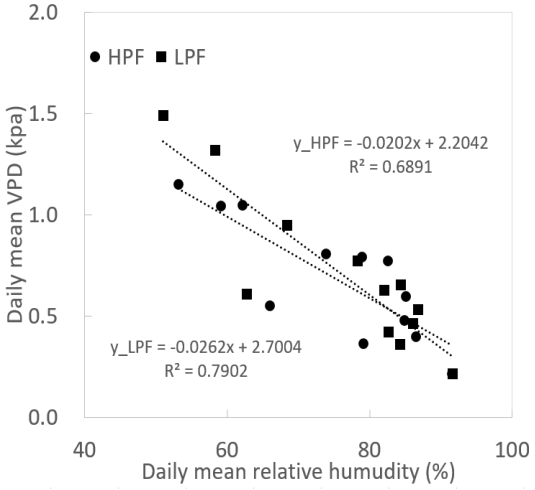

그림 3. 파프리카 생산성 고저 재배온실의 일평균 상대습도와 수증기압포차 간 관계성

Figure 3. Relation between daily mean relative humudity and vapor pressure deficit (VPD) inside greenhouse of paprika according to the high (HPF) and low (LPF) paprika productivity

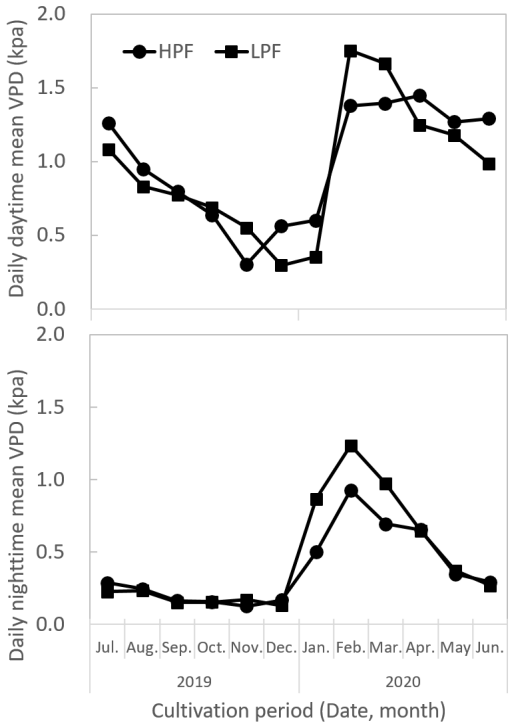

그림 4. 파프리카 생산성 고저 재배온실의 내부 수증기압포차 변화

Figure 4. Changes in daily mean vapor pressure deficit (VPD) inside greenhouse of paprika according to the high (HPF) and low (LPF) paprika productivity

증가속도가 더 높은 추세를 보였는데, 초기의 LPF에서 적은 광량 대비 수분 손실이 많고 스트레스 발생으로 생육 및 수량이 적어 최종 생산량에도 차이를 준 것으로 판단된다. 하지만 온도와 CO_2농도의 상호작용도 잎과 대기의 수증기압차에 영향을 주므로 향후 세밀한 연구가 필요하다[10].

Ⅳ. 결 론

전북 남원의 파프리카 온실 중 생산성이 높고 낮은 농가 간 온실 내 환경요인 수준을 비교하였다. 두 온실의 생산성 차이에는 내부의 광량과 수증기압포차가 영향을 크게 준 것으로 나타났다. 온실 내 적정 온도 범위에서 생리적 관련 효소들의 작용이 원활한 가운데 내부 광량에 따라 식물체 온도와 엽 내 수증기 몰분율에 영향을 주고 이에 엽 내 수분의 광합성 이용 효율에 차이를 나타내었기 때문으로 판단된다. 그리고 재배기간 동안 CO_2 농도가 높았음에도 생산성이 낮았던 것도 광합성에 CO_2 이용 효율이 매우 낮은 것을 반영한다. 결국 광합성 기반에 의한 생산성 관계를 고려할 때 생산성

저하 요인은 CO_2 농도가 아닌 수증기압포차에 따른 광합성에 수분의 이용 효율 저하와 대기로의 수분 손실에 따른 일부 수분 스트레스로 생각된다.

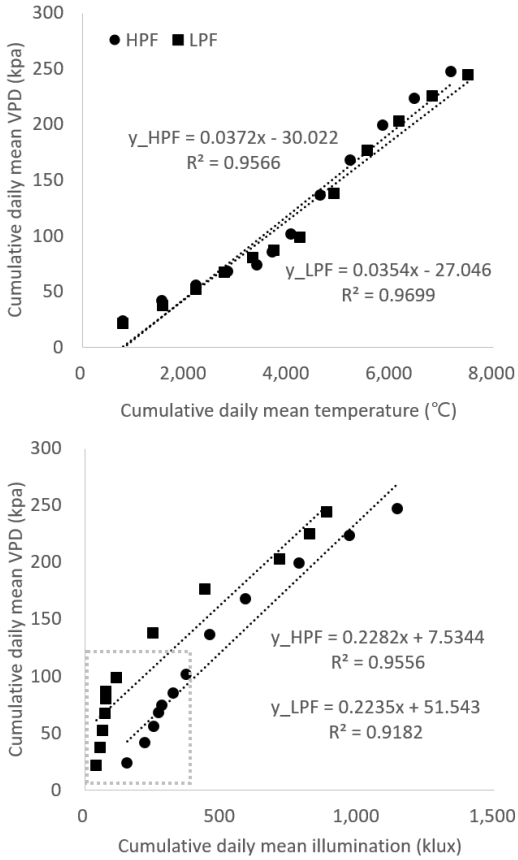

그림 5. 파프리카 생산성 고저 재배온실의 내부 누적 수증기압포차와 누적 온도 및 광량 간 선형 회귀분석
Figure 5. Linear regression between cumulative vapor pressure deficit (VPD) and air temperature and illumination inside greenhouse of paprika according to the high (HPF) and low (LPF) paprika productivity

References

[1] Korea Agro-Fisheries and Food Trade Corporation (KAFFTC) "Kati 'export and import information of paprika'. (in Korean) https://www.kati.net/product/basisInfo.do?lcdCode=MD147, 2020
[2] J.Y. Lee, K.D. Jung, K.H. Ryu, and S.Y. Park, "A Study on the Analysis of Regional Tourism in Uijeongbu Using Big Data," J. Convergence on Culture Technology, Vol. 6, No. 1, pp. 413-418, doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.1.413
[3] S.W. Lee and M.Y. Han, "Utilization and Analysis of Big-data," International Journal of Advanced Culture Technology, Vol.7, No.4, pp. 255-259, 2019, doi.org/10.17703/IJACT.2019.7.4.255
[4] W.J. Jeong, D.J. Myoung, and J.H. Lee, "Comparison of climatic conditions of sweet pepper's greenhouse between Korea and Netherlands," J. Bio-Environ. Control, Vol. 18, No. 3, pp. 244-252, 2009
[5] L.F.M. Marcelis, E. Heuvelink, L.R. Baan Hofman-Eijer, J. den Bakker, and L.B. Xue, "Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength," J. Exp. Bot. Vol. 55, pp. 2261-2268, 2004, doi.org/10.1093/jxb/erh245
[6] Y.M. Park, "Leaf temperature characteristics being affected by light regimes", J. Environmental Sci. Vol. 20, pp. 1599-1605, 2011, doi.org/10.5322/JES.2011.20.12.1599
[7] R.D. Jackson, S.B. Idso, R.J. Reginato, and P.J. Pinter, "Canopy temperature as a crop water stress indicator," Water Resour. Res. Vol. 17, pp. 1133-1138, 1981, doi.org/10.1029/WR017i004p01133
[8] J.H. An, S.H. Jeon, E.Y. Choi, H.M. Kang, J.K. Na, and K.Y. Choi, "Effect of irrigation starting point of soil on chlorophyll fluorescence, stem sap flux relative rate and leaf temperature of cucumber in greenhouse", J. Bio-Environment Control, Vol.30, No.1, pp. 46-55, 2021, doi.org/10.12791/KSBEC.2021.30.1.046
[9] N.C. Turner, E.D. Schulze, and T. Gollan, "The responses of stomata and leaf gas exchange to vapor pressure deficits and soil water content: I. Species comparisons at high soil water contents," Oecol, Vol. 63, pp. 338-342, 1984, doi.org/10.1007/BF00390662
[10] K.B. Wilson and J.A. Bunce, "Effects of carbon dioxide concentration on the interactive effects of temperature and water vapour on stomatal conductance in soybean," Plant Cell Environ., Vol. 20, pp. 230-238, 1997, doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-58.x

※ 본 연구는 2021년 농림축산식품부 연구사업 (과제번호: 320101-03-2-SB020) 지원에 의해 수행되었음.