

Original article

국내 주요 콩과식물인 돌콩(*Glycine soja*)과 백태(*Glycine max*) 간의 생리적 차이에 관한 연구

박재훈 · 김의주 · 유영한*

국립공주대학교 생명과학과

The Study on the Physiological Differences for Major Fabaceae, *Glycine soja* and *Glycine max* in Korea.
Jae-Hoon Park (0000-0002-7905-8998), Eui-Joo Kim (0000-0002-9249-7055) and Young-Han You* (0000-0002-9039-7595)
(Department of Life Science, Kongju National University, Gongju 32588, Republic of Korea)

Abstract In order to understand the vegetative role of *Glycine soja*, we studied the basic physiological characteristics between *Glycine soja* and *Glycine max*. For this study, the light intensity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) on leaf surface, leaf temperature ($^{\circ}\text{C}$), transpiration rate ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), photosynthetic rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), substomatal CO_2 partial pressure (vpm) of *Glycine soja* and *Glycine max* were measured, and the quantum yield, photosynthesis rate per substomatal CO_2 partial pressure were calculated. In the results of simple regression analysis, the increasing quantum yield decreases leaf temperature both of *Glycine soja* and *Glycine max* and the increasing leaf temperature decreases transpiration rate in case of *Glycine soja*. However, in case of *Glycine max*, the increasing leaf temperature decreases substomatal CO_2 partial pressure, photosynthetic rate, and photosynthetic rate per substomatal CO_2 partial pressure as well as transpiration rate. Also, increasing transpiration rate increases substomatal CO_2 partial pressure while decreases photosynthetic rate per substomatal CO_2 partial pressure. Thus, *Glycine soja* is relatively more easily adaptable to severe environments with low soil nutrients and high light levels. Compared to *Glycine max* susceptible to water loss due to a water-poor terrestrial habitat, the physiological traits of *Glycine soja* has a high average transpiration rate and are less susceptible to water loss will act as a factor that limits the habitat according to soil moisture.

Key words: cultivation, photosynthesis, soybean, wetland plant, terrestrial plant

서 론

콩과식물은 하천이나 초지식생에서 흔히 나타나는 식물로(Lee *et al.*, 2011a; Bartha *et al.*, 2014), 다른 식물들과 달리 자연계에서 쉽게 얻을 수 없는 대기 중의 질소를 질소고

정을 통하여 생물이 이용가능한 형태로 전환할 수 있는 뿌리혹박테리아와 상리공생하는 특성이 있다(Ricklefs, 2010). 그렇기 때문에 토양 양분이 적은 척박한 환경에서 콩과식물은 토양에 질소를 공급하여 다른 식생의 정착을 유도할 수 있어서 생태계 내 생물주도적인 천이를 야기할 수 있는 특성을 가지며(Barbour *et al.*, 2013), 생태계 내의 질소 순환 경로에 영향을 미친다(Ricklefs, 2010). 이러한 생물주도적 천이는 질소고정 이외에도 수관 형성에 따른 음지 형성이나 낙엽의 생산 등이 주요 요인이 될 수 있다(Barbour *et al.*,

Manuscript received 26 May 2021, revised 12 June 2021,
revision accepted 13 June 2021
* Corresponding author: Tel: +82-41-850-8508, Fax: +82-41-850-0957
E-mail: youeco21@kongju.ac.kr

2013).

돌콩(*Glycine soja* Siebold & Zucc.)은 국내 대부분의 지역에서 출현하는 C3형의 콩과식물이다(Pandey and Purohit, 1980; Chung *et al.*, 1995). 일반적으로 돌콩은 1년생 덩굴성 초본이며 줄기는 200 cm 정도로 자란다(Lee, 2006). 돌콩의 잎은 잎자루가 긴 3출엽으로 줄기에 호생하고 소엽의 형태는 타원상 피침형으로 길이는 3~8 cm 정도이다(Lee, 2006). 돌콩은 전 세계적으로는 한국을 포함하여 동아시아지역에 분포한다(Chung *et al.*, 1995; Lee, 1996).

또한 돌콩은 국내에서 목초지, 도시 지역, 산림지, 하천, 묵논, 낙엽활엽수림이 우점하는 산림 내 계곡부 등 다양한 서식지에서 나타난다(Park *et al.*, 1997; Kang *et al.*, 2003; Oh *et al.*, 2005; Han *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2011a; You *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2016). 돌콩은 경기도에 위치한 매봉산 및 북배산과 같은 산지에서도 관찰되지만(Han *et al.*, 2009), 습지에서 서식하는 식물들이 출현하는 논에서도 관찰되며(Kim and Nam, 1998), 습지화되어 습지식물들의 주요 서식지로서 알려져 있는 묵논에서도 관찰된다(Shim *et al.*, 2013). 또한 유수지역이면서 홍수 범람 등 불안정한 환경 영향으로 교란이 빈번하게 발생하는 하천 환경에서도 관찰되며(Song, 2001), 인공적으로 조성된 비탈면이나, 섬 지역에서도 서식하므로(Kil *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2016), 돌콩이 관찰되는 지역의 환경은 매우 다양한 것으로 알려졌다. 그렇기 때문에 돌콩은 다양한 물리적 환경 하에서 정착하여 질소고정을 통한 토양 내 질소 함량을 높임으로써 생물주도적 천이를 유도하는 효과가 있을 것으로 예상된다.

본 연구에서 돌콩과 함께 연구된 백태(*Glycine max* (L.) Merr.)는 국내에서 전국적으로 심는 주요 작물류이다(Lee *et al.*, 2011b; Li *et al.*, 2011). 백태는 돌콩과 마찬가지로 C3형의 1년생 초본이며, 줄기는 60 cm까지 자라고 잎은 호생으로 3출엽을 가지며 잎자루가 길고 소엽은 난형 또는 타원형이다(Pandey and Purohit, 1980; Lee, 2006). 백태는 돌콩과 달리, 인위적으로 재배되는 농경지를 제외하면 상대적으로 흔히 관찰되지 않는 콩과식물이다.

현재까지 돌콩은 야생 콩류로서 작물 콩류 품종개발을 위한 유전자와 관련된 연구가 주로 이루어져 왔으며, 이 과정에서 돌콩이 다양한 생물 및 비생물적 환경 내성에 대한 유전자를 보유하고 있음이 밝혀진 바 있으나(Kofsky *et al.*, 2018) 돌콩이 다양한 환경을 가진 서식지에서 어떻게 서식이 가능한지에 대한 기초생리학적 연구는 미미한 실정에 있기 때문에 돌콩에 비해 상대적으로 서식환경이 적은 백태와 비교하여 두 콩과식물을 대상으로 기초생리생태적 특성의 차이를 연구하였다.

재료 및 방법

1. 재배환경

실험식물인 돌콩은 대한민국 공주시에서 채집된 종자를 이용하였으며 백태는 시중에서 종자를 구입하였다. 돌콩과 백태 종자는 2013년 3월 공주대학교 교내에 위치한 온실에서 파종하여 발아시켰으며, 유식물은 하얀색 라운드형 화분에 모래와 상토(한아름 원예용 상토, 신성미네랄)를 1:1로 채운 후 한 화분당 3개씩씩 이식하였다. 그리고 각 종별로 6개의 화분을 온실 내에 배치하고 4월부터 8월까지 재배하였다. 수분 공급은 토양이 마르지 않도록 1~2일 간격으로 공급하였다. 재배기간동안 온실 내부의 온도, 습도, 이산화탄소 농도는 데이터로거(LCSEMS, Parus Co., Korea)로 10분 간격으로 측정되었으며 각각의 평균치(±표준편차)는 23.17 ± 7.99°C, 74.25 ± 15.39%, 414.02 ± 67.10 ppm이었다.

2. 생리측정

생리측정은 광합성측정기(LCI Ultra compact Photosynthesis, ADC, UK)를 이용하여 7월에 측정하였으며, 맑은 날 오전 10~12시 사이에 측정하였다. 본 연구에서 사용한 광합성측정기의 광도와 이산화탄소에 대한 측정범위는 광도 0~3000 μmol m⁻² s⁻¹, 이산화탄소 0~2000 vpm이었다. 광합성측정기를 통한 생리측정항목은 잎 표면광량(μmol m⁻² s⁻¹), 엽온(°C), 증산률(mmol m⁻² s⁻¹), 광합성률(μmol m⁻² s⁻¹), 잎 내부 이산화탄소 분압(substomatal CO₂ partial pressure; vpm)이었고 이를 이용하여 광수율 및 잎 내부 이산화탄소 분압에 대한 광합성률을 계산하였다.

3. 통계분석

각 생리항목은 돌콩과 백태 각 종별로 18회씩 측정되었으며, 수집된 측정자료는 5% 유의수준에서 단순회귀분석을 통해 분석되었다. 또한 증산률과 엽온은 비모수통계에서 두 집단 간 평균비교에 사용되는 Mann-Whitney U test를 이용하여 두 종 간 평균비교를 시행하였다. 이러한 분석은 Statistica 통계패키지(Statsoft Inc., Tulsa, USA)를 이용하였다.

결과 및 고찰

엽온을 중심으로 단순회귀분석을 시행한 결과, 돌콩의 광수율이 증가할수록 엽온은 감소하였다(Fig. 1). 그리고 엽온이 증가할수록 증산률은 감소하였다(Fig. 1). 백태의 경우,

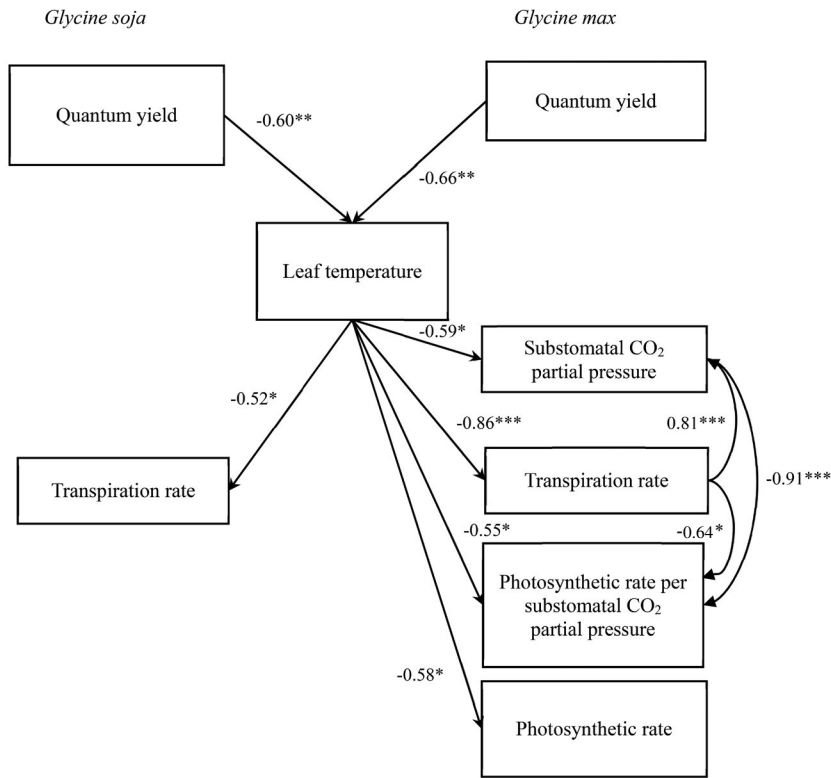


Fig. 1. The diagram of the results of simple regression analysis for quantum yield, leaf temperature (°C), substomatal CO₂ partial pressure (vpm), transpiration rate (mmol m⁻² s⁻¹), photosynthetic rate per substomatal CO₂ partial pressure (μmol m⁻² s⁻¹/vpm) and photosynthetic rate (μmol m⁻² s⁻¹) on *Glycine soja* and *Glycine max*. The numbers on each arrow mean the standardized regression coefficients. *, **, and *** mean 0.05, 0.01, 0.001 of p-values, respectively.

광수율이 증가할수록 엽온은 감소하였다(Fig. 1). 그리고 엽온이 증가하면 잎 내부 이산화탄소 분압, 증산률, 잎 내부 이산화탄소 분압에 대한 광합성률, 그리고 광합성률은 감소하였다(Fig. 1). 또한, 증산률이 증가하면 잎 내부 이산화탄소 분압은 증가되었으나 잎 내부 이산화탄소 분압에 대한 광합성률은 감소하였다(Fig. 1). 평균비교 분석 결과, 돌콩의 증산률은 백태에 비해 높았고 엽온은 낮았다(Fig. 2).

돌콩과 백태의 엽온은 광수율과 증산률이 감소할수록 증가하였다(Fig. 1). 일반적으로 광수율이 낮은 환경에서는 과도하게 흡수된 광 에너지로 인해 광저해가 나타나, 결과적으로 광합성 용량이 감소할 수 있기 때문에(Bauerle *et al.*, 2020), 이러한 과잉에너지로 인한 생리적 피해를 줄이기 위해 NPQ 과정을 통해 과잉에너지를 열에너지로 전환하고, 이러한 과정에서 엽온이 상승하며(Müller *et al.*, 2001), 외부 환경의 온도가 상승하는 경우에도 엽온은 상승하는 것으로 알려져 있다(Perera *et al.*, 2020). 엽온의 상승에 대한 식물의 반응은 일반적으로 기공을 통한 증산률을 높이는 방법으로 체내 열을 제거하는 것으로 알려져 있으나(Shahenshah

and Isoda, 2010), 본 연구 결과, 돌콩과 백태는 오히려 엽온이 상승할수록 증산률이 감소하였다(Fig. 1). 이와 유사하게, *Zygophyllum dumosum*, *Artemisia herba-alba*, *Hammada scoparia*, *Reaumuria negevensis* 그리고 *Prunus armeniaca*의 경우에는 높은 수분스트레스 하에서 기공이 닫히는 것이 관찰되었다(Schulze *et al.*, 1973). 또한, 돌콩과 같은 콩과식물인 누에콩(*Vicia faba* L.)은 수분스트레스 하에서 뿌리에서 생산된 앱시스산을 통해 기공폐쇄를 유도하여 증산을 억제하는 것으로 알려져 있어(Zhang and Outlaw Jr, 2001), 본 연구 결과는 수분스트레스에 대한 반응으로 판단된다. 따라서 돌콩과 백태는 엽온이 상승하면 광합성 활성의 유지보다는 체내 수분 보유량을 유지하려고 하는 것으로 보인다. 그러나 증산을 통한 수분 손실 억제효과는 회귀계수를 고려하면 백태보다 돌콩이 더 낮았다(Fig. 1). 게다가 돌콩의 평균 증산률은 백태보다 더 높았음을 고려하면(Fig. 2), 돌콩은 백태에 비해 상대적으로 토양수분함량이 높은 환경에 생리적으로 적응되어 있어서, 백태보다 수분손실에 덜 민감한 것으로 판단된다.

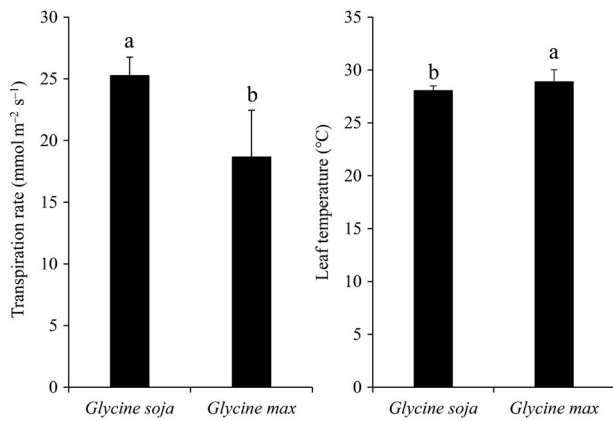


Fig. 2. The average transpiration rate ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and leaf temperature ($^{\circ}\text{C}$) of *Glycine soja* and *Glycine max*. The error bar means standard deviation and the lower cases on error bars mean significant differences using Mann-Whitney U test ($p < .05$).

돌콩과 달리, 백태의 잎 내부 이산화탄소 분압은 증산율이 증가하거나 엽온이 감소할수록 증가하였다(Fig. 1). 이는 내부 수증기압이 낮아지기 때문이다(Konrad *et al.*, 2021). 그러나 돌콩은 백태와 달리 엽온이 감소하더라도 잎 내부 이산화탄소 분압은 차이가 없었다(Fig. 1). 이는 엽온과 증산율 간 회귀관계가 백태보다 낮은 것으로 보아 기공이 열리는 정도의 차이로 인한 물리적 저항이 있기 때문으로 보인다(Fig. 1). 또한 백태의 잎 내부 이산화탄소 분압에 대한 광합성률은 엽온이 증가할수록 감소하였다(Fig. 1). 이는 엽온이 상승하면 이산화탄소의 용해도가 감소하기 때문이다(Lambers *et al.*, 2008). 그러나 잎 내부 이산화탄소 분압에 대한 광합성률은 엽온뿐만 아니라 증산율이 증가할 때도 잎 내부 이산화탄소 분압의 감소로 인해 낮아졌다(Fig. 1).

그렇기 때문에 결과적으로 엽온의 증가는 백태의 광합성률을 감소시키는 것으로 판단된다(Fig. 1). 또한, 돌콩의 평균 증산율은 백태보다 높았으나 평균 엽온은 더 낮았음을 고려하면(Fig. 2), 돌콩은 백태보다 더 효과적으로 엽온 상승으로 인한 생리적 열 피해를 막고 있었으며 광합성률은 엽온의 영향을 받지 않았다(Fig. 1). 이는 본 연구 결과만으로는 확인할 수 없었으나 돌콩과 백태의 외부 형태 때문일 것으로 추측되는데, 일반적으로 돌콩과 백태의 잎의 형태는 3출엽으로 갈라져 있으나 돌콩의 잎은 백태에 비해 작고 덩굴성 줄기의 마디마다 달려 있기 때문에 동일한 잎 면적으로 볼 때, 주변 대기환경과 접촉되는 표면적이 더 넓어, 엽온이 상승하더라도 백태에 비해 더 쉽게 식을 수 있어서 수분 손실 속도가 더 느리게 나타나는 것으로 보인다. 그러나 이를 확인하기 위해서는 추가적으로 돌콩과 백태의 생육에 관한 연구가 필요하다.

이러한 결과를 종합하면, 돌콩과 백태는 높은 광량 하에서 발생하는 엽온 상승에 대해 체내 수분을 보유하고자 하는 방향으로 생리적 방향성을 가지나, 돌콩은 백태에 비해 수분 손실에 덜 민감할 뿐만 아니라 수분 손실을 막기 위해 증산의 억제에 집중하는 백태와 달리 더 효과적으로 엽온을 낮출 수 있기 때문에 잎의 수분 손실을 감소시킬 수 있으며 이러한 엽온 감소로 인해 백태와 달리 광합성의 활성화에는 영향을 받지 않았다. 따라서 이러한 돌콩의 생리적 특성은 토양 양분이 적고 광량이 높은 척박한 환경에서도 상대적으로 더 쉽게 적응할 수 있으나 수분이 부족한 육상 환경에서 자랄 때는 수분 손실에 민감한 백태보다 평균 증산률도 높고 수분 손실에 덜 민감한 돌콩의 특성은 돌콩의 서식지를 수분에 따라 제한하는 요인으로 작용될 수 있다. 그러나 본 연구 결과에서 수분에 대한 돌콩의 내성범위는 확인할 수 없었고, 침수가 발생하는 환경에 대해서는 연구하지 않았기 때문에, 본 결과에 의한 돌콩의 특성이 실제 서식지와는 차이가 있을 수 있으며, 이를 명확하게 하기 위해서는 내성범위에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

저자정보 박재훈(국립공주대학교 생명과학과 박사), 김의주(국립공주대학교 생명과학과 박사과정), 유영한(국립공주대학교 생명과학과 교수)

저자기여도 개념설정: 유영한, 자료수집: 박재훈, 자료분석: 박재훈, 김의주, 원고작성 및 편집: 박재훈, 원고교정: 유영한, 박재훈, 김의주

이해관계 이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없습니다.

연구비 이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2018R1D1A1B07050269).

REFERENCES

Barbour, M.G., J.H. Burk, W.D. Pitts, F.S. Gilliam and M.W. Schwartz. 2013. Terrestrial plant ecology 3rd edn. Benjamin Cummings, San Francisco.

Bartha, S., S. Szentes, A. Horváth, J. Ház, Z. Zimmermann, C. Molnár, I. Dancza, K. Margóczy, R.W. Pál, D. Purger and D. Schmidt. 2014. Impact of mid-successional dominant species on the diversity and progress of succession in regenerating temperate grasslands. *Applied Vegetation Science* **17**(2): 201-213.

Bauerle, W.L., C. McCullough, M. Iversen and M. Hazlett. 2020. Leaf age and position effects on quantum yield and photosynthetic capacity in hemp crowns. *Plants* **9**(2): 271.

Chung, S.D., H.W. Huh and M.G. Chung. 1995. Genetic diversity

- in Korean populations of *Glycine soja* (Fabaceae). *Journal of Plant Biology* **38**(1): 39-45.
- Han, J.W., S.G. Yang, S.H. Kang and B.U. Oh. 2009. Plants resources of northern region in Gapyeong-gun. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* **12**(4): 47-71.
- Kang, B.H., S.I. Shim and K.H. Ma. 2003. Floristic composition of plant community in set-aside fields with regard to seral stages. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **22**: 53-59.
- Kil, S.H., D.K. Lee, T.M. Ahn, M. Koo and T.Y. Kim. 2012. A study on the vegetation properties of slope areas according to the soil hardness. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* **15**(5): 115-127.
- Kim, J.H., E.H. Jung, K.U. Lee, C.H. Nam, S. Park, C.H. Park, G.H. Nam, B.Y. Lee and M.H. Suh. 2016. Vascular plant diversity and vegetation of Yokjido Island in Tongyeong-si, Korea. *Korean Journal of Plant Taxonomy* **46**(1): 83-116.
- Kim, J.S., T.J. Jung and S.H. Hong. 2015. Biotope type classification based on the vegetation community in built-up area. *Korean Journal of Environment and Ecology* **29**(3): 454-461.
- Kim, J.W. and H.K. Nam. 1998. Syntaxonomical and synecological characteristics of rice field vegetation. *The Korean Journal of Ecology* **21**(3): 203-215.
- Kofsky, J., H. Zhang and B.H. Song. 2018. The untapped genetic reservoir: the past, current, and future applications of the wild soybean (*Glycine soja*). *Frontiers in Plant Science* **9**: 949.
- Konrad, W., G. Katul and A. Roth-Nebelsick. 2021. Leaf temperature and its dependence on atmospheric CO₂ and leaf size. *Geological Journal* **56**(2): 866-885.
- Lambers, H., F.S. III. Chapin and T.L. Pons. 2008. Plant physiological ecology 2nd edn. Springer, New York.
- Lee, I.Y., C.S. Kim, J. Lee, K.J. Hwang, I.J. Kim, D.M. Kim, H.A. Seo and H.M. Jang. 2016. Occurrence of weed flora in pasture of Jeju, Pyeongchang and Seosan region, Korea and changes in weed vegetation. *Weed & Turfgrass Science* **5**(3): 126-135.
- Lee, J.D., T.D. Vuong, H. Moon, J.K. Yu, R.L. Nelson, H.T. Nguyen and J.G. Shannon. 2011b. Genetic diversity and population structure of Korean and Chinese soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] accessions. *Crop Science* **51**(3): 1080-1088.
- Lee, T.B. 2006. Coloured flora of Korea. Hyangmunsa. Seoul.
- Lee, W.T. 1996. Lineamenta florum Koreae. Academybook. Seoul.
- Lee, Y.H., B.H. Kang, C.S. Na, G.Y. Yang, T.G. Min and S.H. Hong. 2011a. Herbal flora and succession of stream under management conditions after its restoration - case study of Yangjaecheon in Seoul. *Korean Journal of Weed Science* **31**(1): 49-70.
- Li, H., Y. Dong, H. Yin, N. Wang, J. Yang, X. Liu, Y. Wang, J. Wu and X. Li. 2011. Characterization of the stress associated microRNAs in *Glycine max* by deep sequencing. *BMC Plant Biology* **11**(1): 1-2.
- Müller, P., X.P. Li and K.K. Niyogi. 2001. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. *Plant Physiology* **125**(4): 1558-1566.
- Oh, H.K., Y. Kim and M.S. Beon. 2005. Vegetation and distribution situation of naturalized plants in the waterworks protection area, Jeongup stream. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* **9**(2): 47-55.
- Pandey, O.P. and A.N. Purohit. 1980. Activity of PEP-carboxylase and two glycolate pathway enzymes in C3 and C4 plants grown at two altitudes. *Current Science* **5**: 263-265.
- Park, W.G., W.K. Paik, W.T. Lee and S.D. Ahn. 1997. Flora and vegetation of resources plants in the Mt. Mandukbong (Kangwon-do). *Korean Journal of Plant Resources* **10**(1): 64-85.
- Perera, R.S., B.R. Cullen and R.J. Eckard. 2019. Using leaf temperature to improve simulation of heat and drought stresses in a biophysical model. *Plants* **9**(1): 8.
- Ricklefs, E.R. 2010. The economy of nature sixth edition. W.H. Freeman. USA.
- Schulze, E.D., O.L. Lange, L. Kappen, U. Buschbom and M. Evenari. 1973. Stomatal responses to changes in temperature at increasing water stress. *Planta* **110**(1): 29-42.
- Shahenshah and A. Isoda. 2010. Effects of water stress on leaf temperature and chlorophyll fluorescence parameters in cotton and peanut. *Plant Production Science* **13**(3): 269-278.
- Shim, I.S., H.B. Kim and K.J. Cho. 2013. Syntaxonomical characteristics of abandoned paddy fields by seral stages in South Korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **32**(3): 185-192.
- Song, J.S. 2001. A phytosociological study of the shrubby and herbaceous vegetation of the riverside in the upper stream of Nak-dong river, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **15**: 104-117.
- You, J.H., S.J. Mun, C.U. Chung and J.W. Seol. 2011. Flora and vegetation of special protected area in Juwangsang National Park. *Journal of National Park Research* **2**(3): 142-153.
- Zhang, S.Q. and W.H. Outlaw Jr. 2001. The guard-cell apoplast as a site of abscisic acid accumulation in *Vicia faba* L. *Plant, Cell & Environment* **24**(3): 347-355.