

## 차광처리가 벌개미취와 구절초의 생장 및 생리적 특성에 미치는 영향

김동학<sup>1)</sup> · 김영은<sup>1)</sup> · 김상준<sup>2)</sup>

1) 국립수목원 DMZ산림생물자원보전과 전문연구원 · 2) 국립수목원 DMZ산림생물자원보전과 연구사

### Changes in Growth and Physiological Characteristics of *Dendranthema zawadskii* var. *latiloba* (Maxim.) Kitam. and *Aster koraiensis* Nakai by Shading Treatment

Kim, Dong-Hak<sup>1)</sup>, Kim, Young-Eun<sup>1)</sup> and Kim, Sang-Jun<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> DMZ Botanic Garden, Korea National Arboretum, Researcher fellow,

<sup>2)</sup> DMZ Botanic Garden, Korea National Arboretum, Researcher.

#### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the chlorophyll content, photosynthetic characteristics, and growth characteristics of *Aster koraiensis* and *Dendranthema zawadskii* var. *latiloba* according to shading treatment. *A. koraiensis* and *D. zawadskii* grew in four different shading treatment plots (0%, 50%, 75% and 95% of full sunlight) for experiments. It was found that as the shading level increased, the total chlorophyll content increased and dark respiration decreased in both *A. koraiensis* and *D. zawadskii*, indicating that *A. koraiensis* and *D. zawadskii* increase the utilization efficiency for photosynthesis under low light conditions. In addition, as the shading level increased, the net apparent quantum yield increased, resulting in the highest in the 95% shading plot, but the highest photosynthetic rate, water use efficiency, and leaf mass per area (LMA) were shown in the control group than in the shading treatments. The results showed that *A. koraiensis* and *D. zawadskii* are heliophytes showing plasticity to light, and if the light is restricted to continue to shade, it may be detrimental to growth. For healthy growth, it is considered suitable to grow *A. koraiensis* under full light conditions, and *D. zawadskii* under the light condition that blocks 0-50% of full sunlight.

**Key Words :** *Chlorophyll content, Leaf mass per area, Photosynthesis, Restoration, Water use efficiency*

**First author :** Kim, Dong-Hak, DMZ Botanic Garden, Korea National Arboretum, Researcher fellow, 916-70, Punchbowl-ro, Haeam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do, 24564, Republic of Korea, Tel: +82-33-480-3022, Email: ddd9417@korea.kr

**Corresponding author :** Kim, Sang-Jun, DMZ Botanic Garden, Korea National Arboretum, Researcher, 916-70, Punchbowl-ro, Haeam-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do, 24564, Republic of Korea, Tel: +82-33-480-3020, Email: genius3807@korea.kr

**Received :** 11 April, 2022. **Revised :** 26 July, 2022. **Accepted :** 8 July, 2022.

## I. 서 론

생태복원은 양적·질적으로 저하되거나 훼손·파괴된 생태계의 회복을 도와주는 과정이다 (SER, 2004). 또한, 생태복원은 자연적·인위적으로 훼손된 생태계를 원래의 상태나 원래의 상태에 가깝도록 생태계의 구조와 기능을 조성하여 생물 서식처 및 생물종을 증진시키기 위한 것으로 정의된다(Kim and Cho, 2004). 생태복원은 지속가능한 개발과 보전의 기본적 요소이며, 생태계 피해에 대한 회복뿐만 아니라 삶의 질 또한 향상시킨다(Han et al., 2019). 생태복원에 있어서 가장 기본적인 식물 종 선정 방법은 자생종, 인접 지역종 또는 참조생태계의 식물 종을 이용하는 것이다(Clewell and Aronson, 2012; Cho, 2021). 자생종을 이용한 생태복원은 복원 대상지의 종 다양성을 회복시키는데 기여하고 (Knapp and Rice, 1994), 자생종은 우리나라의 기후 및 생태에 적합하고 경관 회복력이 우수해 지역 적응성 측면에서 바람직하다(Knapp and Rice, 1994; Koh et al., 2006; Kim et al., 2021). 또한 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 시행령」의 제48조의 8항을 살펴보면 산림복원 사업의 복원 재료로 자생식물 및 자연재료를 사용하여야 한다고 규정되어 있다.

생태복원 식물종 사용에 대한 실태를 살펴보면, 지피식물로 이용되는 초본류는 잔디 30개소, 구절초 27개소, 별개미취 25개소, 물억새 22개소, 수크령 22개소, 털부처꽃 22개소, 억새 21개소, 줄 21개소, 꽃창포 20개소, 맥문동 20개소 순으로 많이 이용되었다(Cho, 2021). 구절초 (*Dendranthema zawadskii* var. *latiloba* (Maxim.) Kitam.)와 별개미취(*Aster koraiensis* Nakai)는 잔디 다음으로 가장 많이 사용되는 자생 초본류이다(Cho, 2021). 구절초는 다년생 자생 들국화류로 관상 가치가 높아 경관 조성용으로 연구 및 이용되고 있는 주요 식물이다(Ju et al.,

2009). 구절초는 경관 농업에 활용 가능하다고 평가받고 있고(Ju et al., 2009), 약용으로 쓰임은 물론 화훼용으로도 이용가치가 높다(Yang et al., 2016). 구절초를 경사지에 식재 시 토양유실 저감에 효과가 있다고 연구된 바 있다(Kim et al., 2020). 별개미취는 우리나라의 특산식물이며 인공 증식이 용이해 지피식물로 보급되고 있다(Cho, 2021). 별개미취는 식용 및 약용으로도 활용가치가 높은 원예작물로 주목받고 있으며 (Shin et al., 2016), 구절초와 마찬가지로 경관 조성을 위해 사용되고 있다(Chang et al., 2009). 이와 더불어 구절초와 별개미취를 DMZ 불모지 복원의 소재 식물로 이용하려는 연구가 수행되고 있다(Choi et al., 2019).

비무장지대 DMZ(Demilitarized zone)는 정전 이후 60여 년간 민간인 출입이 제한되어 인위적 간섭이 없는 독특한 생태계를 이루고 있다. DMZ 남방한계선 철책 주변에는 경계작전을 위해 군에서 반복적으로 식생을 제거한 지역이 형성되어 있고, 이 지역을 불모지라 일컫는다(Choi et al., 2019; Hahn, 2019). 불모지는 반복된 식생 제거작업을 통해 토양이 노출되어 토사유실 및 산사태 위험이 큰 지역이다. DMZ의 생태적 가치 보존 및 재난방지를 위해 불모지의 훼손된 식생을 복원할 필요가 있다. 복원을 위해서는 다층 구조의 식생을 형성하는 것이 이상적이나(Kim, 2005; Cho, 2017), 경계 임무를 우선시하는 군 당국의 요청에 따라 초장 30cm 이하의 중만 사용할 수 있다는 제한이 있다. Choi et al. (2019)은 군사적 측면과 생태적 측면을 고려하여 불모지 복원에 필요한 자생식물을 선정한 바 있다.

복원에 필요한 자생식물을 선정하기 위해서는 복원 대상지의 기후대를 고려할 뿐만 아니라, 각 대상지의 현황을 파악해야 한다. 불모지는 식생이 훼손된 나지 상태로 드러나 있어 태양의 직사광선을 온전히 수광하고, 그로 인해 불모지 복원에 이용되는 자생식물은 강광저해와 건조 스트레스를 받을 우려가 있다. 효과적인 복원을 위해

위와 같은 환경 스트레스에 내성이 강한 식물을 선정하는 것이 중요하고, 자생식물의 생장과 환경 요인 간의 상호관계를 구명할 필요가 있다. 광환경에 따른 광합성 관련 기작을 구명하는 것은 종의 특성을 파악할 수 있고(Lee *et al.*, 2012), 최적의 생육 환경을 제시하는 등 식물 생장에 있어 중요한 의미를 지닌다.

따라서 본 연구에서는 불모지 복원을 위해 소재식물로 선정된 별개미취와 구절초를 대상으로 차광처리에 따른 광합성 관련 생리반응을 조사하여 생육 적정 광환경을 제시하고, 불모지 관리 및 복원을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 공시재료

실험에 사용된 재료는 별개미취(*A. koraiensis*)와 구절초(*D. zawadskii*)이고, 2021년 5월 강원도 양구군 국립DMZ자생식물원내 온실에서 마사토와 원예상토(1:2)를 이용한 사각형 포트(W80 × D80 × H90 mm)로 받아시켰다. 조립식 앵글(W1,000 × D1,000 × H1,000 mm)을 제작하여 햇빛을 모두 수광하는 0% 차광처리구(이하 대조구)를 설치하고, 시판하는 검점색 차광막을 이용하여 상단과 측면을 모두 덮은 50%, 75% 및 95% 차광처리구를 설치하였다. 2021년 7월부터 9월까지 3개월 동안 각각의 공시재료에 차광처리를 실시하여 광환경 변화에 따른 생리적 반응을 조사하였다.

차광처리에 따른 생육환경 차이를 관찰하기 위하여 온습도 센서(STL\_T/RH, STA Corp., Korea)와 광량자센서(Quantum Sensor, Apogee, USA)를 데이터로거(MSTL Mini Logger, STA Corp., Korea)에 연결하여 대조구 및 차광처리구 내부에 설치하였다.

### 2. 엽록소 함량 조사

차광처리에 따른 엽록소 함량의 차이를 조사

하기 위하여 대조구와 각 처리구에서 3장의 잎을 채취하였다. 채취한 잎의 엽면 0.1 g을 10 ml의 DMSO (Dimethyl sulfoxide) 용액이 들어있는 20 ml Vial에 넣어 65°C로 설정된 항온기에서 6시간 동안 색소를 추출하였다(Hiscox and Israelstam, 1979). 추출한 용액은 분광광도계(UV/VIS Spectro photometer-2550, Shimadzu Inc., Japan)를 이용하여 665.1 nm, 649.1 nm, 480.0 nm의 파장에서 흡광도를 측정하고, Wellburn (1994)의 식에 따라 엽록소 a, b 함량을 산출하였다.

### 3. 생장 특성 조사

차광처리에 따른 구절초와 별개미취의 생장 특성을 알아보기 위해 엽면적당 건중량(Leaf mass per area; LMA)을 조사하였다. 대조구와 각 처리구에서 3장의 잎을 채취해 엽면적측정기(LI-3100C, Li-Cor Inc., USA)를 이용하여 엽면적을 측정하고, 측정된 잎을 송풍식 건조기에 48시간 동안 80°C로 건조시킨 후 건물중을 측정하였다.

### 4. 광합성 특성 조사

차광처리가 공시재료의 광합성 특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 대조구와 각 처리구에서 평균적 생장을 보이는 개체를 3본씩 선정하였다. 수분스트레스에 의한 광합성 편차를 방지하기 위하여 측정 전일 오후 6시에 충분히 관수하였고, 광에 의한 오차를 방지하기 위하여 검은색 비닐을 덮어씌워 암적응 시켰다. 익일 10:00부터 14:00까지 측정을 수행하였으며, 엽령(Leaf age)이 유사한 잎을 대상으로 측정하였다.

광합성 특성은 Kim and Lee (2001a)과 동일한 방법으로 휴대용 광합성 측정기(LI-6400XT, Li-Cor Inc., USA)를 사용하여 측정 대상 잎에 조사되는 빛의 강도를 조절하면서 측정된 다음, 측정 결과를 이용하여 광-광합성곡선(Light-response curve)를 작성하였다. 광-광합성곡선의 해

**Table 1.** Daily average temperature and relative humidity in control (full sunlight) and in each shade treatment plot

| Shading treatment | Air temperature (°C) |      |       | Relative humidity (%) |
|-------------------|----------------------|------|-------|-----------------------|
|                   | Mean weekly          | Day  | Night |                       |
| Full sunlight     | 18.8                 | 21.6 | 16.0  | 68.8                  |
| Shaded 50%        | 18.9                 | 21.8 | 16.1  | 68.7                  |
| Shaded 75%        | 19.0                 | 22.2 | 15.8  | 68.2                  |
| Shaded 95%        | 19.8                 | 23.9 | 15.6  | 67.1                  |

식은 Kim and Lee (2001a)의 방법을 토대로 하여 암호흡속도(Dark respiration;  $R_d$ ), 광보상점(Light compensation point; LCP), 광포화점(Light saturation point; LSP), 광합성속도(Maximum photosynthetic rate;  $P_{Nmax}$ ), 순양자수율(Apparent quantum yield; AQY)을 산출하였다.

기공전도도(Stomatal conductance)와 증산속도(Transpiration rate)는 Caemmerer and Farquhar (1981)의 식으로 산출하였다. 수분이용효율(Water use efficiency; WUE) 조사는 Kim *et al.* (2002)의 방법을 따랐고, 광합성특성을 조사할 때 광합성속도( $P_n$ )와 동시에 측정된 증산속도( $Tr$ )의 값을 이용하여 산출하였다( $WUE = P_n/Tr$ ).

## 5. 통계처리

본 실험의 통계처리는 SPSS version 21.0 (IBM Inc., USA)를 이용하여 일원분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였다. 분산의 균질성에 대한 가정은 Levene's test를 통해 평가하였고, 각 처리간의 유의성은 Scheffe's significant difference test와 Dunnett's T3 test ( $p = 0.05$ )로 사후검정하였다.

## III. 결과 및 고찰

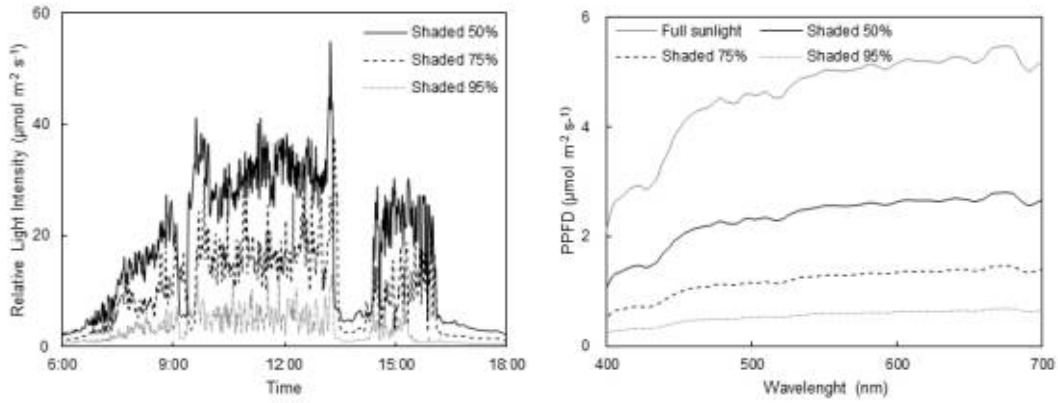
### 1. 생육 환경

대기 중 온도와 상대습도를 조사한 결과 평균 기온은 차광처리가 높을수록 증가하는 경향이 나타났다(Table 1). 낮 기온 또한 높은 차광처리일수록 증가했던 반면, 밤 기온은 낮아지는 경향이 나타났다. 평균습도는 68% 수준을 보이다 차

광수준이 증가할수록 저하하였는데, 이는 측창이 없는 상태에서 차광막이 조밀해져 단열효과를 가져와 온도가 상승한 탓으로 보인다. 처리구간 광도를 측정된 결과 50%와 75% 차광처리구의 상대광도(Relative light intensity)는 50.9%와 26.2%로 나타났으나, 95% 차광처리구에서는 12.0%로 나타나 시판 규격에 비해 차광이 7% 미달한 것으로 나타났다(Figure 1 and Table 2). 한편 휴대용 광과장 측정기(LI-180, Li-Cor Inc., USA)를 이용하여 광질(Light quality)을 측정된 결과, 적색과 원적색광의 비율 R/FR은 유의미한 차이가 없었다. 임분 내로 수광하는 빛은 임관의 엽층을 거치면서 광도가 저하될 뿐만 아니라, 광합성에 유효한 적색광 파장이 선택적으로 흡수·이용되므로 임상에 도달하는 빛은 전천광과 상이하게 된다(Sasaki, 1979; Kim *et al.*, 2001). R/FR 비율은 식물의 형태학적 반응에 영향을 끼치는 환경 인자인데(Skálová *et al.*, 1999), 본 실험에서는 광질이 공시재료에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 판단된다.

### 2. 차광처리에 따른 엽록소 함량의 차이

차광처리에 따른 벌개미취와 구절초의 엽록소 함량을 분석하여 대조구와 각 처리구에서 생장한 개체의 결과를 Table 3에 나타낸다. 차광처리에 따른 벌개미취의 엽록소 a, b 함량과 총 엽록소 함량 a+b는 각 차광처리구간에 유의미한 차이가 나타나지 않았으며, 엽록소 a/b만이 차광수준이 가장 높은 95% 차광처리구에서 유의미한 차이를 보였다. 구절초는 엽록소 a, b,



**Figure 1.** Graph of relative light intensity (RLI, left) and light quality (right) of the shading treatment. The light intensity decreased as the shading treatment was stronger, but there was no significant difference in the R/FR ratio of the light wavelength.

**Table 2.** Relative light intensity (RLI) and light quality in full sunlight and each shaded treatment plot. RLI decreased as the level of shading treatment increased. Although the light quality decreased, there was no significant difference.

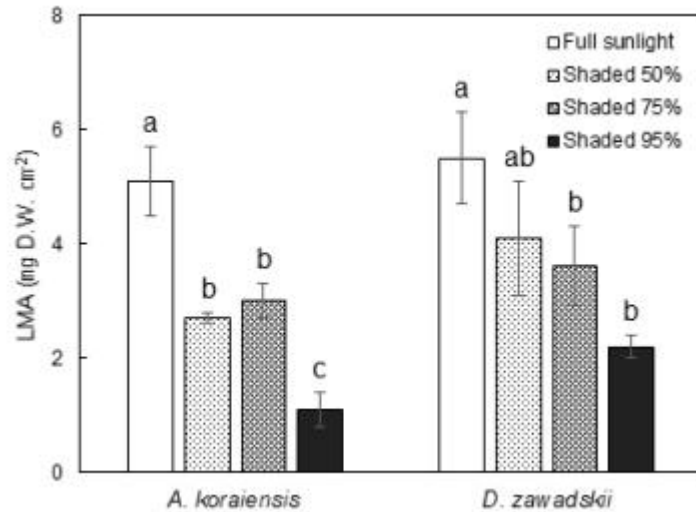
| Shading treatment | RLI (%) | Photon flux density ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) |       |         | R/FR        |
|-------------------|---------|--|-------|---------|-------------|
|                   |         | Total*   | Red   | Far Red |             |
| Full sunlight     | 100.0   | 1390.1   | 114.0 | 107.6   | 1.1         |
| Shaded 50%        | 50.9    | 707.6  | 58.6  | 55.1    | 1.1         |
| Shaded 75%        | 26.2    | 359.6  | 30.5  | 29.2    | 1.0         |
| Shaded 95%        | 12.0    | 163.9  | 14.2  | 13.6    | 1.0         |
| <i>p</i>          |         |  |       |         | <i>n.s.</i> |

\* Total means the sum of PFDs between 400 and 700 nm.

**Table 3.** Chlorophyll content of *Aster koraiensis* and *Dendranthema zawadskii* var. *latiloba* according to shading treatment. As the shading level increased, the chlorophyll content increased significantly.

| Chlorophyll | <i>A. koraiensis</i> (Shade Level %) |                             |                             |                             | <i>D. zawadskii</i> (Shade Level %) |                             |                             |                             |
|-------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|             | 0                                    | 50                          | 75                          | 95                          | 0                                   | 50                          | 75                          | 95                          |
| a           | 9.7 <sup>a</sup><br>(±1.0)           | 10.1 <sup>a</sup><br>(±1.1) | 14.2 <sup>a</sup><br>(±2.1) | 16.1 <sup>a</sup><br>(±1.7) | 6.1 <sup>c</sup><br>(±0.2)          | 7.4 <sup>b</sup><br>(±0.5)  | 10.8 <sup>b</sup><br>(±1.2) | 13.2 <sup>a</sup><br>(±1.1) |
| b           | 3.8 <sup>a</sup><br>(±0.4)           | 4.1 <sup>a</sup><br>(±0.4)  | 5.6 <sup>a</sup><br>(±0.7)  | 6.0 <sup>a</sup><br>(±4.4)  | 2.7 <sup>c</sup><br>(±0.1)          | 3.0 <sup>b</sup><br>(±2.0)  | 4.3 <sup>b</sup><br>(±0.4)  | 5.2 <sup>a</sup><br>(±0.5)  |
| a+b         | 13.5 <sup>a</sup><br>(±1.4)          | 14.1 <sup>a</sup><br>(±1.5) | 19.8 <sup>a</sup><br>(±2.8) | 22.2 <sup>a</sup><br>(±6.1) | 8.8 <sup>c</sup><br>(±0.2)          | 10.4 <sup>b</sup><br>(±0.7) | 15.1 <sup>b</sup><br>(±1.7) | 18.4 <sup>a</sup><br>(±1.5) |
| a/b         | 2.5 <sup>b</sup><br>(±0.0)           | 2.5 <sup>b</sup><br>(±0.0)  | 2.5 <sup>ab</sup><br>(±0.1) | 2.7 <sup>a</sup><br>(±0.0)  | 2.2 <sup>b</sup><br>(±0.1)          | 2.4 <sup>ab</sup><br>(±0.1) | 2.5 <sup>ab</sup><br>(±0.0) | 2.5 <sup>a</sup><br>(±0.1)  |

\* Chlorophyll content [ $\text{mg F.W. g}^{-1}$ ]. The assumption of homogeneity of variance was assessed with Levene's test. Differences between groups were tested with Scheffe's significant difference test or, when variances were unequal, with Dunnett's T3 test. Statistical significance was set at  $p < 0.05$  and analyses were performed using SPSS (version 21). Values are means  $\pm$  standard deviations (n=3).



**Figure 2.** Leaf mass per area (LMA) of *Aster koraiensis* and *Dendranthema zawadskii* var. *latiloba*. It decreased significantly as the shading

a+b 함량과 엽록소 a/b 모두 차광수준이 높아질수록 유의미하게 증가하였다.

일반적으로 차광처리 수준이 높은 곳에서 생육한 식물일수록 총 엽록소 함량이 높아진다 (Kim and Lee, 2001b). 이러한 경향은 광량이 부족한 환경에서 광수용능력을 극대화하고자 나타나는 현상으로 구절초의 결과가 이와 같았고 (Lee *et al.*, 2013), 별개미취는 비록 유의미하지 않았으나 수치상 증가하는 경향이 나타났다. 낮은 광조건에서는 많은 광을 수집하기 위한 적응으로 반응중심에 주로 결합한 엽록소 a보다 광수확단백질복합체를 구성하는 엽록소 b의 증가가 더 크며, 이 때문에 엽록소 a/b가 감소해 음엽화의 지표가 된다 (Kim *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2019). 낮은 광도 조건에 순화된 식물일수록 엽록소 a/b가 감소하는데, 별개미취와 구절초의 엽록소 a/b는 차광수준이 높아질수록 증가하였다. 일부 식물의 경우 엽록소 a/b의 뚜렷한 경향 차이가 없거나 오히려 다소 증가한다는 결과가 보고되었는데 (Song and Kim, 2017), 별개미취와 구절초는 차광처리에 따라 엽록소 b가 엽록소 a에 비해 상대적으로 크게 증가하지 않은 것으로 해석된다.

### 3. 차광처리에 따른 생장 특성 차이

차광처리가 별개미취와 구절초의 생장에 미치는 영향을 검토하기 위해 대조구와 각 처리구에서 생장한 개체의 엽면적당 건중량을 Figure 2에 나타낸다.

별개미취의 엽면적당 건중량은 햇빛을 모두 수광하는 대조구에서 가장 높았고, 차광수준이 높아질수록 값이 유의미한 수준으로 저하하였다. 구절초 또한 대조구에서 엽면적당 건중량이 가장 높았고, 차광수준이 높아짐에 따라 감소하였다. 엽면적당 건중량은 단위 잎 면적당 잎의 건조 질량으로 계산되며, 잎의 두께와 엽육조직의 치밀도를 반영하고 식물 생장 및 탄소 획득에 빛 흡수를 연결하기 위해 사용되는 중요 생장 특성이다 (Cheng *et al.*, 2014). 엽면적당 건중량과 차광수준의 관계는 수종에 따라 많은 차이가 난다고 보고된 바 있고 (Loach, 1970), 일반적으로 차광수준이 높아질수록 증가한다고 알려져 있다 (Song *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2019). 반면 본 실험에 공시한 별개미취와 구절초는 차광처리시 전반적으로 엽면적당 건중량이 감소하였고, 차광수준에 따라서는 유의한 차이가 나타나지 않

**Table 4.** Photosynthetic characteristics of *Aster koraiensis* and *Dendranthema zawadskii* var. *latiloba* according to shading treatment. As the level of shading increased, dark respiration decreased, and the light compensation point and light saturation point showed the level of heliophytes. The photosynthetic rate was the highest in the full sunlight, and the net apparent quantum yield increased as the shading level increased.

|            | <i>A. koraiensis</i> (Shade Level %) |                              |                              |                              | <i>D. zawadskii</i> (Shade Level %) |                              |                              |                              |
|------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|            | 0                                    | 50                           | 75                           | 95                           | 0                                   | 50                           | 75                           | 95                           |
| $R_d$      | 1.7 <sup>a</sup><br>(±0.2)           | 1.4 <sup>a</sup><br>(±0.0)   | 1.6 <sup>a</sup><br>(±0.2)   | 1.6 <sup>a</sup><br>(±0.1)   | 1.8 <sup>a</sup><br>(±0.0)          | 1.8 <sup>a</sup><br>(±0.0)   | 1.6 <sup>a</sup><br>(±0.2)   | 1.6 <sup>a</sup><br>(±0.2)   |
| LCP        | 30.0 <sup>a</sup><br>(±6.0)          | 27.0 <sup>a</sup><br>(±0.0)  | 31.5 <sup>a</sup><br>(±1.5)  | 40.5 <sup>a</sup><br>(±4.5)  | 46.5 <sup>a</sup><br>(±1.5)         | 39.0 <sup>a</sup><br>(±0.0)  | 39.5 <sup>a</sup><br>(±0.5)  | 40.5 <sup>a</sup><br>(±4.5)  |
| LSP        | 310.5 <sup>a</sup><br>(±4.5)         | 235.5 <sup>b</sup><br>(±8.5) | 217.5 <sup>b</sup><br>(±8.5) | 181.5 <sup>b</sup><br>(±7.5) | 345.0 <sup>a</sup><br>(±9.6)        | 282.0 <sup>a</sup><br>(±6.0) | 246.0 <sup>a</sup><br>(±4.2) | 217.5 <sup>a</sup><br>(±4.5) |
| $P_{Nmax}$ | 3.0 <sup>a</sup><br>(±0.4)           | 2.5 <sup>ab</sup><br>(±0.4)  | 2.2 <sup>ab</sup><br>(±0.2)  | 1.3 <sup>b</sup><br>(±0.1)   | 2.3 <sup>a</sup><br>(±0.1)          | 2.2 <sup>a</sup><br>(±0.1)   | 1.5 <sup>b</sup><br>(±0.1)   | 1.2 <sup>c</sup><br>(±0.2)   |
| AQY        | 29.6 <sup>b</sup><br>(±4.7)          | 31.5 <sup>b</sup><br>(±9.3)  | 45.7 <sup>b</sup><br>(±19.7) | 48.6 <sup>a</sup><br>(±19.9) | 30.7 <sup>a</sup><br>(±2.1)         | 30.6 <sup>a</sup><br>(±0.2)  | 38.9 <sup>a</sup><br>(±5.9)  | 39.0 <sup>a</sup><br>(±2.4)  |

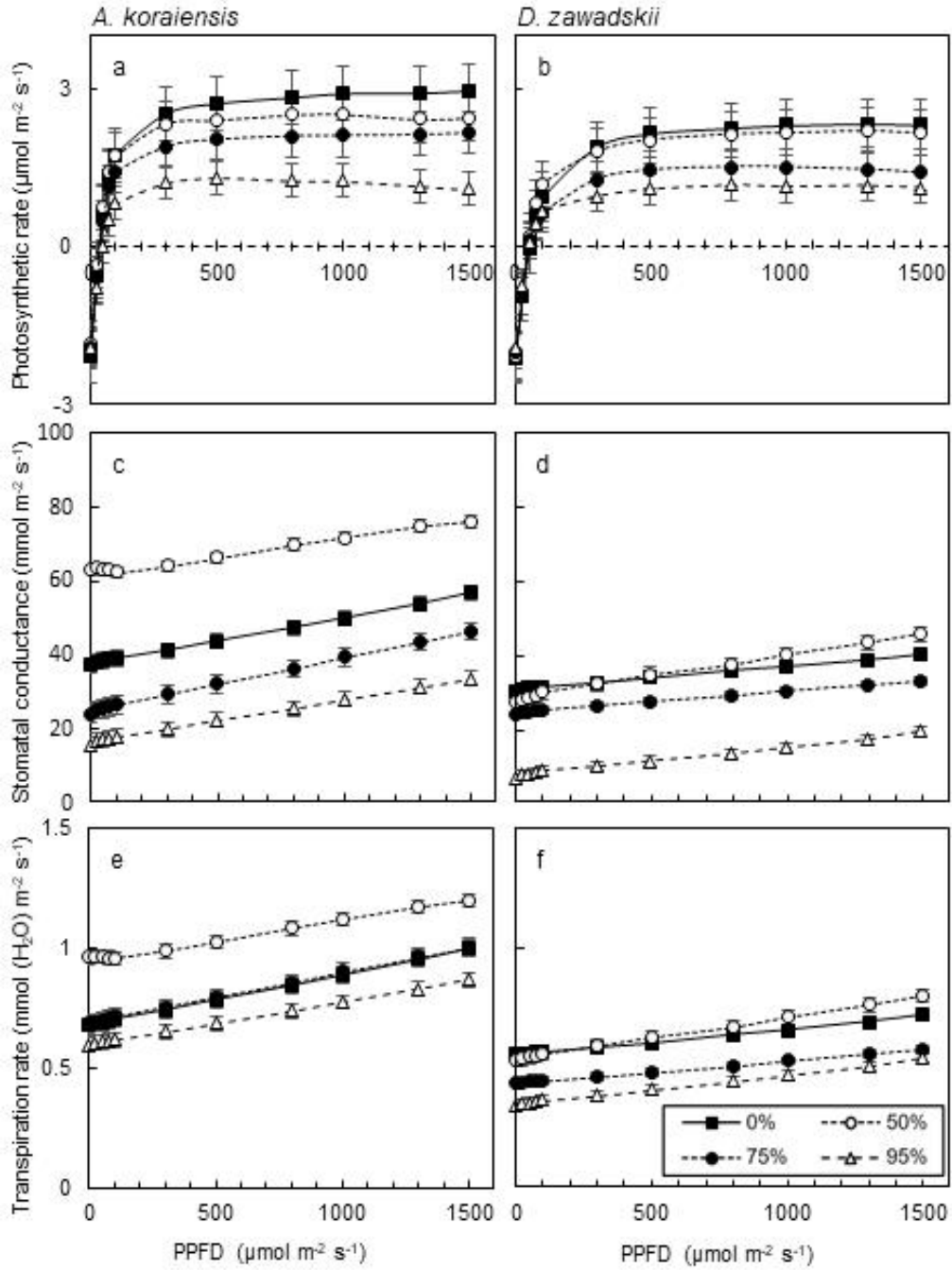
\* Dark respiration;  $R_d$  [ $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], light compensation point; LCP [ $\mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], light saturation point; LSP [ $\mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], maximum photosynthesis rate;  $P_{Nmax}$  [ $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], net apparent quantum yield; AQY [ $\text{mmol}(\text{CO}_2) \text{mol}^{-1}$ ]. The assumption of homogeneity of variance was assessed with Levene's test. Differences between groups were tested with Scheffe's significant difference test or, when variances were unequal, with Dunnett's T3 test. Statistical significance was set at  $p < 0.05$  and analyses were performed using SPSS (version 21). Values are means  $\pm$  standard deviations (n=3).

았다. 이러한 현상은 낮은 광도 조건에 적응하기 위해 광합성에 대한 빛의 흡수 효율이 높은 잎이 형성되었기 때문에 보이며(Boardman, 1977), 신장(extension) 방향으로 전류되는 광합성산물의 양이 증가하여 신장생장이 촉진된 것으로 판단된다(Kim *et al.*, 2001). 한편 구절초류는 차광수준이 높아질수록 건물중이 감소한다고 알려졌으며(Lee and Kim, 2001), 본 실험의 결과 또한 이와 유사한 경향으로 나타났다.

#### 4. 차광처리에 따른 광합성 특성의 차이

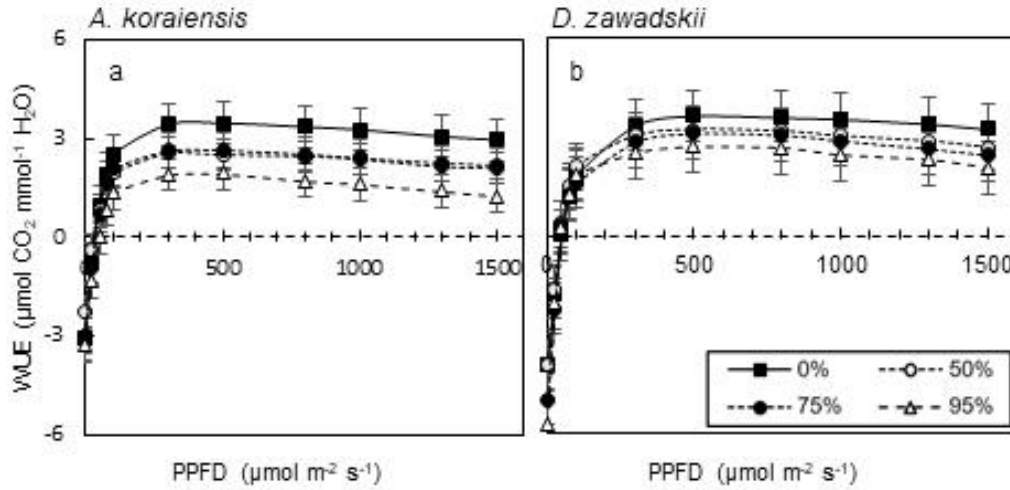
광-광합성곡선(Figure 3a and 3b)을 통해 벌개미취와 구절초의 암호흡속도( $R_d$ ), 광보상점(LCP), 광포화점(LSP), 광합성속도( $P_{Nmax}$ ) 및 순양자수율(AQY)을 산출하였다(Table 4). 차광처리에 따른 벌개미취의 암호흡속도는 차광수준이 높아질수록 감소하는 것처럼 보이나 통계적 유의성이 인정되지 않았다. 구절초의 암호흡속도 또한 차광수준이 높을수록 감소하였으나 통계적 유의

성이 인정되지 않았다. 암호흡속도는 물질합성에 필요한 에너지를 획득하는 과정이며(Werf *et al.*, 1988), 차광에 따라 감소되는 경향이 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 2008). 차광수준이 높아진 환경에서 광합성을 수행하기 위해 암호흡속도가 저하하면서 광보상점의 감소가 나타났다(Lee *et al.*, 2013). 반면 본 실험에 공시한 벌개미취의 광보상점은 차광수준에 따라 대조구보다 감소 또는 증가하였지만 통계적 유의성이 인정되지 않았고, 이는 전술한 암호흡속도의 영향 탓으로 보인다. 구절초 또한 이와 유사한 경향을 나타냈다. 내음성이 강한 음지식물은 광보상점이 5~10  $\mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 광포화점은 100~200  $\mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에 분포한다고 보고된 바 있다(Larcher, 1995). 벌개미취와 구절초의 광보상점은 모든 차광처리구에서 음지식물 이상의 값을 나타냈다. 광포화점 또한 두 종 모두 음지식물 이상의 값을 나타냈으며, 광포화점이 차광수준에 따라 점차 감소하는 경향이 나타나 벌개미취의 경우 95% 차광처리구에서 음지식물 수준



**Figure 3.** Photosynthesis curves (a and b), stomatal conductance (c and d), and transpiration rate (e and f) of *Aster koraiensis* and *Dendranthema zawadskii* var. *latiloba*. The photosynthetic rate was highest in the control (full sunlight), but gradually decreased as the sunlight was shaded. On the other hand, the stomatal conductance and transpiration rate were the highest in the 50% shading treatment plot, followed by the control, which is considered to be the influence of strong light.





**Figure 4.** Water use efficiency (WUE) of *Aster koraiensis* and *Dendranthema zawadskii* var. *latiloba*. WUE was the highest in the control (full sunlight), and the efficiency decreased as the light was shading.

의 광포화점( $181.5 \pm 7.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )을 보였다. 광합성속도는 차광수준이 높아짐에 따라 두 종 모두 점차 감소하는 것으로 나타났는데, 벌개미취는 50% 차광처리부터 광합성속도가 감소하였고 구절초는 75% 차광처리부터 유의미한 수준으로 감소하였다. 이는 적정 생육 광도보다 적은 광을 수광함으로써 광합성 능력의 저하가 나타난 것으로 생각된다. 순양자수율은 약광 조건( $0 \sim 100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )에서 광합성 능력을 나타내는 지표로, 빛 에너지를 화학에너지로 변환시키는 광화학계의 활성을 반영한다(Evans, 1987; Kim and Lee, 2001a). 약광 조건에서 성장한 식물일수록 효율적으로 광합성을 하기 위해 엽내 질소를 엽록소 생성에 적극 투자함으로써 순양자수율이 높아진다(Kim and Lee, 2001a). 본 실험에 공시한 벌개미취와 구절초 또한 차광수준에 따라 순양자수율이 증가하는 경향이 나타났다.

벌개미취와 구절초의 기공전도도와 증산속도 측정 결과를 Figure 3c ~ 3f에 나타낸다. 기공전도도는 대기로의 수분 확산 속도를 의미하며, 기공전도도의 측정을 통해 기공 개폐의 정도를 알 수 있다(Lee *et al.*, 2012). 차광수준에 따른

기공전도도와 증산속도가 두 종 모두 같은 경향을 나타냈다. 벌개미취와 구절초의 기공전도도는 50% 차광처리구에서 가장 높았고, 대조구-75%-95% 순으로 저하하였다. 대조구에서는 강광에 노출됨에 따라 수분손실을 최소화하기 위해 기공전도도를 저하시켰고, 이에 따라 증산속도까지 저하된 것으로 보인다. 50% 차광처리구에서는 강광저해를 피할 수 있는 광환경이 제공됨으로서 기공전도도와 증산속도가 대조구에 비해 증가된 것으로 생각된다. 기공전도도는 광합성과 서로 밀접한 연관이 있어, 기공전도도에 감소에 따라 증산속도가 감소하고 광합성 능력에 영향을 미치게 된다(Andrew and William, 1998; Lee *et al.*, 2013). 75%와 95% 차광처리구의 경우 광이 부족해짐에 따라 기공전도도와 증산속도가 점진적으로 저하하였고, 광합성 속도의 저하가 야기된 것으로 보인다.

수분이용효율은 광합성 동화산물에 대한 수분손실률로서 기공전도도의 감소에 따라 증산량이 감소하고 일시적으로 수분이용효율이 증가할 수 있다(Lim *et al.*, 2006). 습도가 낮은 조건에서 식물은 기공의 일부를 닫아 증산율을 낮

추고, 광합성에서 탄소를 얻는 것보다 수분손실을 감소시켜 수분이용효율을 증대시킨다(Lee *et al.*, 2012). 그러나 본 실험에서 벌개미취와 구절초의 수분이용효율은 차광수준에 따라 증산속도가 저하되었음에도 수분이용효율이 감소하는 것으로 나타났는데(Figure 4), 이는 차광수준에 따른 차광막의 조밀도에 의해 습도가 증가한 탓으로 보인다. 대조구의 경우 50% 차광처리구에 비해 증산속도가 낮았음에도 수분이용효율은 더 높게 나타났으며, 이는 광합성의 감소에 비해 증산속도의 감소폭이 더 크게 나타나 수분이용효율이 증대된 것으로 생각된다.

본 연구 결과, 벌개미취와 구절초는 광에 대한 가소성(plasticity)이 나타나는 양지식물로, 광을 제한하여 차광 상태를 지속하게 되면 생육에 불리할 것으로 판단된다. 건전한 생육을 위해 벌개미취는 전천광 조건에서 생육시키고, 구절초는 전천광의 0~50%를 차단시킨 광 조건에서 생육시키는 것이 적합하다고 생각된다. 비록 본 연구에서는 다년생 식물인 벌개미취와 구절초에 대하여 1년 이내의 단기 측정 결과만으로 분석했다는 한계점이 존재하지만, 이러한 결과는 구절초의 영양생장이 차광처리와 비례하게 나타나고(Lee and Kim, 2001), 벌개미취의 광합성률은 차광수준이 높아질수록 감소한다는 보고와 일치하였다(Nam *et al.*, 2016).

#### IV. 적 요

본 연구에서는 차광처리가 벌개미취와 구절초의 생리적 반응에 미치는 영향을 조사하기 위해, 대조구(0%)와 3개의 서로 다른 차광처리구(50%, 75%, 95%)를 설치하고 엽록소 함량, 생장 및 광합성 특성을 조사하였다.

벌개미취와 구절초 모두 차광수준이 높아질수록 낮은 광도에 적응하기 위해 광합성에 대한 빛의 흡수 효율이 높은 잎이 형성되었다. 또한 차광수준이 높아질수록 낮은 광도에서 광합성을

수행하기 위해 암호흡속도의 저하와 광보상점의 감소가 나타났고, 광합성 효율을 높이기 위해 엽록소 함량과 순양자수율이 증가하였다. 광합성 속도는 대조구에서 가장 높았고 차광수준이 높아질수록 저하하였다. 대조구에서는 강광에 의한 수분손실을 막기 위해 기공전도도와 증산속도가 감소하였다. 50% 차광처리구의 기공전도도와 증산속도는 대조구에 비해 높았으나, 75%와 95% 차광처리구에서는 더 낮게 나타나 광합성 효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 수분이용효율 또한 광합성속도와 유사한 경향으로 나타났다. 차광수준에 따라서 저하하는 것으로 나타났다. 벌개미취는 전천광보다 낮은 광 조건에서 생육할 시 광합성 능력이 저하하는 것으로 보이며, 구절초의 경우 50% 차광처리까지는 광합성에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다. 벌개미취와 구절초는 광을 제한하여 차광 상태를 지속하게 되면 생육에 불리할 것으로 판단된다. 이러한 벌개미취와 구절초의 생육특성은 상층 임관이 존재하지 않은 DMZ 불모지와 같은 환경에 도입시키기 적합할 것으로 판단된다.

#### References

- Andrew, J.J., and Davies, W.J. 1998. The coupled response of stomatal conductance to photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany*, 399-406.
- Boardman, N.T. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 28(1): 355-377.
- Caemmerer, S.V., and Farquhar, G.D. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta*, 153(4): 376-387.
- Chang, Y.D., Jeong, J.H., and Lee, C.H. 2009. Effect of Amount of Seed and Sowing Date on Sod Formation of *Aster koraiensis* Nakai for

- Scenic agriculture. *In Proceedings of the Korean Journal of Plant Resources Conference*, 124-124. (in Korean)
- Cheng, T., Rivard, B., Sánchez-Azofeifa, AG., Féret, JB., Jacquemoud, S., and Ustin, SL. 2014. Deriving leaf mass per area (LMA) from foliar reflectance across a variety of plant species using continuous wavelet analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87: 28-38.
- Cho, DG. 2017. Ecological Restoration Planning Design Volume 2, Ecological Restoration Process Techniques and Practices. *Nexus Environmental Design Research Institute Press*, 578pp. (in Korean)
- Cho, DG. 2021. A Study on the Current Status of Ecological Restoration Plant Species Use -Focusing on the Ecosystem Conservation Cooperation Fund Return Projects-. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 35(5): 525-547. (in Korean, with English abstract)
- Choi, J., Shin, HT., Jung, SY., Kim, SJ., An, JB., Lee, A., and Bak, G. 2020. Selecting Native Plants for the sustainable management of the Barren Land of the Korean DMZ (Demilitarized Zone). *Korean Journal of Military Art and Science*, 76(2): 367-389. (in Korean, with English abstract)
- Clewell, A., and Aronson, J. 2012. Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession. *Island Press*.
- Evans, JR. 1987. The dependence of quantum yield on wavelength and growth irradiance. *Functional Plant Biology*, 14(1): 69-79.
- Hahn, M. 2019. The Process and Background of Militarizing in the Korean DMZ in the 1960s. *Sahak Yonku: The Review of Korean History*, 135: 163-206. (in Korean)
- Han, SH., Kim, JH., Kang, WS., Hwang, JH., Park, KH., and Kim, CB. 2019. Monitoring Soil Characteristics and Growth of *Pinus densiflora* Five Years after Restoration in the Baekdudaegan Ridge. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 33(4): 453-461. (in Korean, with English abstract)
- Hiscox, JD., and Israelstam, GF. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, 57(12): 1332-1334.
- Ju, YK., Cho, JS., Chang, YD., and Lee, CH. 2009. Evaluation of Growth and Flowering Characteristics of Thirty Five Lines in *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* (Maxim.) Kitam. for Scenic Agriculture. *In Proceedings of the Korean Journal of Plant Resources Conference*, 118-118. (in Korean)
- Kim, DH., Kim, SJ., Yu, SB., and Bak, G. 2021. A Study of Germination Characteristics of Native Plants to be Utilized in DMZ Barren Land. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 24(4): 1-14. (in Korean, with English abstract)
- Kim, MS. 2005. The Existing Conditions and Problems of Ecological Corridor in Korea -Focusing on Planting Species-. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 8(1): 17-26. (in Korean with English abstract)
- Kim, KG., and Cho, DG., 2004. Principles of Natural Environment and Ecological Restoration. *Academy Press*. (in Korean)
- Kim, PG., and Lee, EJ. 2001a. Ecophysiology of photosynthesis 1: Effects of light intensity and intercellular CO<sub>2</sub> pressure on photosynthesis.

- Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 3(2): 126-133. (in Korean)
- Kim, PG., and Lee, EJ. 2001b. Ecophysiology of photosynthesis 2: Adaptation of the photosynthetic apparatus to changing environment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 3(3): 171-176. (in Korean)
- Kim, PG., Kim, SH., Lee, SM., Lee, CH., and Lee, EJ. 2002. Adaptability to the Water Relations of *Populus alba* x *P. glandulosa* in 'Kimpo' Waste Landfills. *Journal of Korean Forestry Society*, 91(3): 279-286. (in Korean, with English abstract)
- Kim, PG., Lee, YS., Chung, DJ., Woo, SY., Sung, JH., and Lee, EJ. 2001. Effects of Light Intensity on Photosynthetic Activity of Shade Tolerant and Intolerant Tree Species. *Journal of Korean Society of Forest Science*, 90(4): 476-487. (in Korean, with English abstract)
- Kim, SH., Saung, JH., Kim, YK., and Kim, PG. 2008. Photosynthetic responses of four oak species to changes in light environment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 10(4): 141-148. (in Korean, with English abstract)
- Kim, SJ., Sohn, HB., Hong, SY., Kim, TY., Lee, JT., Nam, JH., Chang, DC., Suh, JT., and Kim, YH. 2020. Effect of the Landscape Crop, *Chrysanthemum zawadskii* on Reducing Soil Loss in Highland Sloping Area. *Korean Journal of Plant Resources*, 33(1): 15-23. (in Korean, with English abstract)
- Knapp, EE., and Rice, KJ. 1994. Starting from Seed Genetic Issues in Using Native Grasses for Restoration. *Ecological Restoration*, 12(1): 40-45.
- Koh, JH., Yoshida, H., and Kim, NC. 2006. A Study on the Historical Changes and Prospect of Slope Revegetation Technology in Japan. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 9(1): 112-120. (in Korean, with English abstract)
- Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology. *Springer Verlag*.
- Lee, CH., and Kim, KS. 2001. Effects of Light on Growth and Development of Local Varieties in *Dendranthema zawadskii* spp. *Horticulture Abstracts*, 108-108. (in Korean)
- Lee, KC., Han, SK., Kwon, YH., Jeon, SR., Lee, CW., Seo, DJ., and Park, WG. 2019. Effects of Shading Treatments on Growth and Physiological Characteristics of *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* (Maxim.) H. Hara Seedling. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 27(1): 30-37. (in Korean, with English abstract)
- Lee, KC., Lee, HB., Park, WG., and Han, SS. 2012. Physiological Response and Growth Performance of *Parasenecio firmus* under Different Shading Treatments. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 14(2): 79-88. (in Korean, with English abstract)
- Lee, KC., Wnag, MH., and Song, JM. 2013. Physiological Responses of *Bupleurum latissimum* Nakai, Endangered Plants to Changes in Light Environment. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 22(2): 154-161. (in Korean, with English abstract)
- Lim, JH., Woo, SY., Kwon, MJ., Chun, JH., and Shin, JH. 2006. Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining Korean fir in Mt. Halla. *Journal of Korean Society of Forest Science*, 95(6): 705-710. (in Korean, with English abstract)

- Loach, K. 1970. Shade tolerance in tree seedlings II. Growth analysis of plants raised under artificial shade. *New Phytologist*, 69(2): 273-286.
- Nam, HH., Son, CK., Lee, JH., and Kwon, JB. 2016. Photosynthetic characteristics of Korean endemic plant, *Aster koraiensis* Nakai according to growth and development conditions. *Korean Journal of Plant Resources*, 29(4): 393-399. (in Korean, with English abstract)
- Sasaki, S. 1983. Physiological studies on seedlings of dipterocarps with particular reference to *Shorea Ovalis* (red meranti) and *Shorea Talura* (white meranti). *Forest Research Institute Malaysia*, 92: 1-66.
- SER. 2004. Science and Policy Working Group. *Society for Ecological Restoration (SER)*.
- Shin, SL., Kwon, HJ., Kim, YR., Lim, YK., and Kim, SY. 2016. Seed Characteristics and Germination Conditions of *Aster koraiensis* Nakai. *Horticulture Abstracts*, 186-187. (in Korean)
- Skálová, H., Krahulec, F., Doring, HJ., Hadincová, V., Pecháčková, S., and Herben, T. 1999. Grassland canopy composition and spatial heterogeneity in the light quality. *Plant Ecology*, 143(2): 129-139.
- Song, KS., and Kim, JJ. 2017. Growth and physiological response in container of *Daphniphyllum macropodum* by shading level. *Journal of Korean Forestry Society*, 106(1): 33-39. (in Korean, with English abstract)
- Song, KS., Jeon, KS., Yoon, JH., Kim, CH., Park, YB., and Kim, JJ. 2014. Characteristics of growth and root development of *Peucedanum japonicum* seedling by shading rate and container size. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 22(5): 384-390. (in Korean, with English abstract)
- Wellburn, AR. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144(3): 307-313.
- Werf, A., Kooijman, A., Welschen, R., and Lambers, H. 1988. Respiratory energy costs for the maintenance of biomass, for growth and for ion uptake in roots of *Carex diandra* and *Carex acutiformis*. *Physiologia Plantarum*, 72(3): 483-491.
- Yang, WH., Im, HJ., Park, DJ., Kim, HG., Yong, SH., Kang, SM., Ma, HS., and Choi, MS. 2016. Selection of Drought Tolerant Plants by Drought the Physiological Characteristics and Biochemicals Material about the Compositae Plants. *Journal of Agriculture and Life Science*, 50(5): 51-60. (in Korean, with English abstract)