

# 관수량에 따른 왕벚나무의 생장과 생리적 특성

## Growth and Physiological Characteristics of *Prunus × yedoensis* Matsum. by Irrigation Level

구남인<sup>1</sup>

Nam In Koo  
국립산림과학원  
산림생태연구과<sup>1</sup>

송영근<sup>2</sup>

Yeong Geun Song  
국립한국농수산대학교  
작물산림학부<sup>2</sup>

윤경규<sup>2</sup>

Kyeong Kyu Yoon  
국립한국농수산대학교  
작물산림학부<sup>2</sup>

이경철<sup>2\*</sup>

Kyeong Cheol Lee  
국립한국농수산대학교  
작물산림학부<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Institute of Forest Science, 57, Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02455, Korea

<sup>2</sup> Department of Crops and Forestry, Korea National University of Agriculture & Fisheries, Jeonju 54874, Korea

### ABSTRACT

*Prunus × yedoensis* is a representative tree species in residential areas often used as a street tree or park tree, with its popularity due to splendid flowers in the spring. We investigated plant growth, photosynthesis, chlorophyll, and carotenoid concentrations of *Prunus yedoensis* at 400ml/pot, 1,000ml/pot, and 2,000ml/pot Irrigation treatments. Overall growth indices such as tree height, diameter at root collar (DRC), and total dry weight could be ranked in the decreasing order “2,000ml/pot > 1,000ml/pot > 400ml/pot.”. However, 2,000ml/pot featured decreased photosynthesis and total chlorophyll carotenoid contents than 1,000ml/pot treatment after July. And also, The 1,000ml/pot treatment showed relatively high photosynthetic activity and chlorophyll contents. These results suggested that the cultivation of *Prunus yedoensis* under 1,000ml/pot Irrigation treatment(soil water contents 25~35%) showed the best condition in growth.

**Key words :** *Prunus yedoensis*, Irrigation, Growth, Chlorophyll, Photosynthesis

Received May 18, 2022  
Revised June 09, 2022  
Accept June 18, 2022

\*Correspondence  
Kyeong Cheol Lee  
dlrud112@korea.kr

## 서론

도시 생활권에서 수목의 역할은 녹지를 구성하는 기본 단위이면서 다양한 생태계 서비스를 제공하고 지역의 생물 다양성에 기여하는 중요한 경관요소이다(Song, 2014). 이러한 수목을 둘러싸고 있는 각종 환경요인은 매우 다양할 뿐만 아니라 요인 상호 간에도 복잡한 관계를 맺고 있으며, 수목은 환경 스트레스에 대처하기 위해 외형적인 형질 변화와

더불어 적절한 생리적 반응을 유도하는 등 다양한 생존전략을 가지고 있다. 특히 왕벚나무와 같은 주요한 생활권 수목의 건전한 생육을 위해서는 기후 조건에 적응을 도와주도록 전정, 관수, 시비 등 체계적인 관리계획이 매우 중요하다.

최근 기후변화 및 이상기후 현상이 빈번히 발생하고 있으며, 특히 2020년에는 8월 초까지 장마가 계속된 이례적인 현상이 보고된 바 있다. 이러한 조건에서 적절한 관수양과 관수 주기 등을 고려하는 것은 수목의 장기적인 생육을 위해



필수적인 사항이라 할 수 있다.

왕벚나무(*Prunus × yedoensis*)는 장미과 벚나무속에 속하는 식물로서 봄철의 화려한 꽃으로 인기가 높아 가로수 및 공원수로 활용되는 대표적인 생활권 수목이며, 한국의 가로수 중에서 2015년을 기준 약 21%를 차지하고 있다고 보고된 바 있고(Lee et al. 2018), 비생물적 피해로 인한 진료 건수 역시 3번째로 많은 주요한 관리대상 수종이다(National Institute of Forest Science, 2020). 따라서 본 연구는 대표적인 생활권 수목인 왕벚나무를 대상으로 생활사를 거치면서 빈번히 겪게 되는 기후조건에 적응하기에 가장 적절한 관수양을 조사하여 체계적인 관리기술 구축을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 처리구 조성

실험에 사용된 수목은 왕벚나무(*Prunus × yedoensis*) 접목묘 2년생으로 2020년 3월 29일 한국농수산대학 구내 온실에서 피트모스, 펠라이트, 버미큘라이트를 각각 1:1:1(V/V/V)로 배합한 토양을 활용하여 15L 화분에 식재 후 약 1개월간 생육시킨 개체를 실험에 사용하였다. 이 시기 이식 스트레스를 줄이고 뿌리 활착을 돕기 위해 Multifeed 20(N:P:K=20:20:20)을 2g/L으로 희석하여 400ml 씩 1회에 걸쳐 시비처리 하였다.

관수양에 따른 처리구 조성 시 토양수분함량(SWC; soil water contents)이 각각 35~40%, 25~30% 및 10~20%가 되도록 산출한 후 동일한 양을 지속적으로 관수하였으며, 이를 위해 실험이 이루어지기 전에 pot당 토양을 약 90% 충전한 후 건조기 105℃에서 48시간 이상 완전히 건조시킨 토양무게를 측정하고, 건조중량당 수분함량을 계산하였다. 산출된 결과에 따라 관수양은 1,000ml/pot, 2,000ml/pot 및 400ml/pot로 처리구를 구분하였으며, 휴대용 토양 수분측정기(Soil moisture meter, HH2, Delta-T Devices)를 활용하여 매일 오전 9시에 토양 수분상태를 측정 후 각각 SWC 15%, 30% 및 40% 미만으로 감소할 경우 정량 컵을 활용하여 관수하였다. 또한 처리구의 주요 환경인자를 알아보기 위하여 2020년 5월 1일부터 9월 10일 까지 온습도 측정기(HOBO H08-004-02, ONSET, USA)를 지상으로부터 2m 높이에 설치하였으며, 측정된 온, 습도 결과를 통해 대기수증기압차(VPD; Vapor Pressure Deficit)를 산출하였다.

### 광합성 반응

광합성 반응은 휴대용 광합성 측정기(Portable Photosynthesis system, Li-6800, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)를 이용하여 측정하였으며, 광합성 측정장치에 부착된 LED light source를 이용하여 PPF(Photosynthetic Photon Flux Density)를 1,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 고정하고 최대광합성 속도(maximum photosynthesis rate;  $P_N \text{ max}$ ), 기공 증산속도(stomatal transpiration rate; E), 기공전도도(stomatal conductance; Gs), 엽육세포 간극 내 CO<sub>2</sub> 농도(intercellular CO<sub>2</sub> concentration, Ci) 등을 조사하였다. 이때 공통된 측정 조건은 챔버로의 유입 공기유량을 600  $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ , 온도를 25 $\pm$ 2℃로 유지하였으며, 측정된 결과를 통해 수분이용효율(water use efficiency, WUE), 내재적 수분이용효율(intrinsic water use efficiency, WUEi), 엽육세포간극의 CO<sub>2</sub> 이용효율(intercellular CO<sub>2</sub> concentration / ambient CO<sub>2</sub> concentration, Ci·Ca<sup>-1</sup>) 등을 구하였다(Kume and Ino, 1993; Kim and Lee, 2001; Lee, 2017).

### 엽록소 함량

엽록소 함량의 변화를 조사하기 위하여 각 처리구에서 3장의 엽을 채취한 후 엽편 0.1 g을 10 ml의 DMSO(dimethyl sulfoxide) 용액이 들어있는 20 ml 유리병에 넣어 60℃로 설정된 항온기에서 6시간 색소를 추출하였다(Hiscox and Israelstam, 1979). 추출한 용액은 자외선/가시광선 분광광도계(UV/ VIS Spectro- photometer, HP 8453, Hewlett-Packard, U.S.A)를 이용하여 663 nm, 645 nm, 470 nm의 파장에서 흡광도를 측정하고, 엽록소 a, b, a+b, carotenoid 함량을 산출하였다(Arnon, 1949; Lichtenthaler, 1987).

$$\text{Chlorophyll a} = 12.7 A_{663} - 2.69 A_{645},$$

$$\text{Chlorophyll b} = 22.9 A_{645} - 4.68 A_{663},$$

$$\text{Total Chlorophyll(a + b)} = 20.29 A_{645} + 8.02 A_{663},$$

$$\text{Total Carotenoid} = (1000 A_{470} - 1.82 \text{ chl a} - 85.02 \text{ chl b})/198$$

## 생장특성

생장특성을 알아보기 위해 4월 말 실험개시 전 수고와 근원경(DRC: diameters at root-collar)을 조사하였으며, 실험이 진행되는 동안 수고와 근원경을 월별로 조사하여 생장의 증가량을 계산하였다. 근원경은 버니어캘리퍼스를 사용하여 지면에서 1cm 위 지점을 측정하였으며, 수고는 줄자를 활용하여 조사하였다. 생리반응 실험이 종료된 시점에 시료의 잎, 줄기, 뿌리를 구분하고 부위별 건조 중량 등을 측정하였다. 부위별 건조 중량은 건조기(DS-80-5, Dasol Scientific Co. Ltd., Gyeonggi-do, Korea)에 48시간 동안 80℃로 건조하여 조사하였고, 측정 결과에 따라 T/R률(지상부 건조중량/지하부 건조중량)과 엽중비(leaf weight ratio: LWR = 엽 건조중량/총건조중량)를 계산 하였다. 또한 양묘 된 묘목의 건전도를 판단할 수 있는 H/D율[height(cm)/root collar diameter(mm)]을 계산하였다(Cho et al. 2012). 본 실험의 통계분석은 SPSS Statistics program 19.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였으며, 분석할 처리 구 수에 따라 일원분산분석(One-Way ANOVA) 및 t-검정(t-test)으로 구분하여 실시하였다( $p < 0.05$ ).

## 결과 및 고찰

### 실험기간 내 환경변화

실험 기간의 기상 환경변화는, 5월 평균 기온이 20.6℃에서 6월과 7월은 각각 25.3℃, 25.2℃로 상승하다가 8월에 무더위로 인해 29.3℃까지 나타내었다(Fig. 1). 상대습도는 5월 평균 68.4%에서 6월 72.9%, 7월 83.5%로 꾸준히 증가하다 8월에 78.3%로 다소 감소하였으며, 이는 실험이 진행된 2020년이 8월 초까지 장기간 장마가 지속되어 상대적으로 상대습도가 높게 유지되고 예년에 비해 기온은 다소 낮은 경향을 나타낸 것으로 보인다. 대기의 건조력을 나타내는 수증기압차(VPD)는 5월 1.98kPa에서 6월과 7월은 약 2.5kPa였으며, 8월에 매우 높은 3.06kPa를 보여 기온의 변화와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 6월 5~10일, 8월 2~5일에 일시적으로 VPD 3.0kPa 이상의 높은 값을 나타내었으며, 특히 가장 높았던 기간은 8월 중순 이후로 VPD가 약 3.2kPa 이상을 나타내었다(Fig. 1). 그러나 이 시기 이외에는 대부분 2.5kPa 이하를 유지하였는데 이 역시 오랜 장마 기간에 따른 영향으로 생각된다.

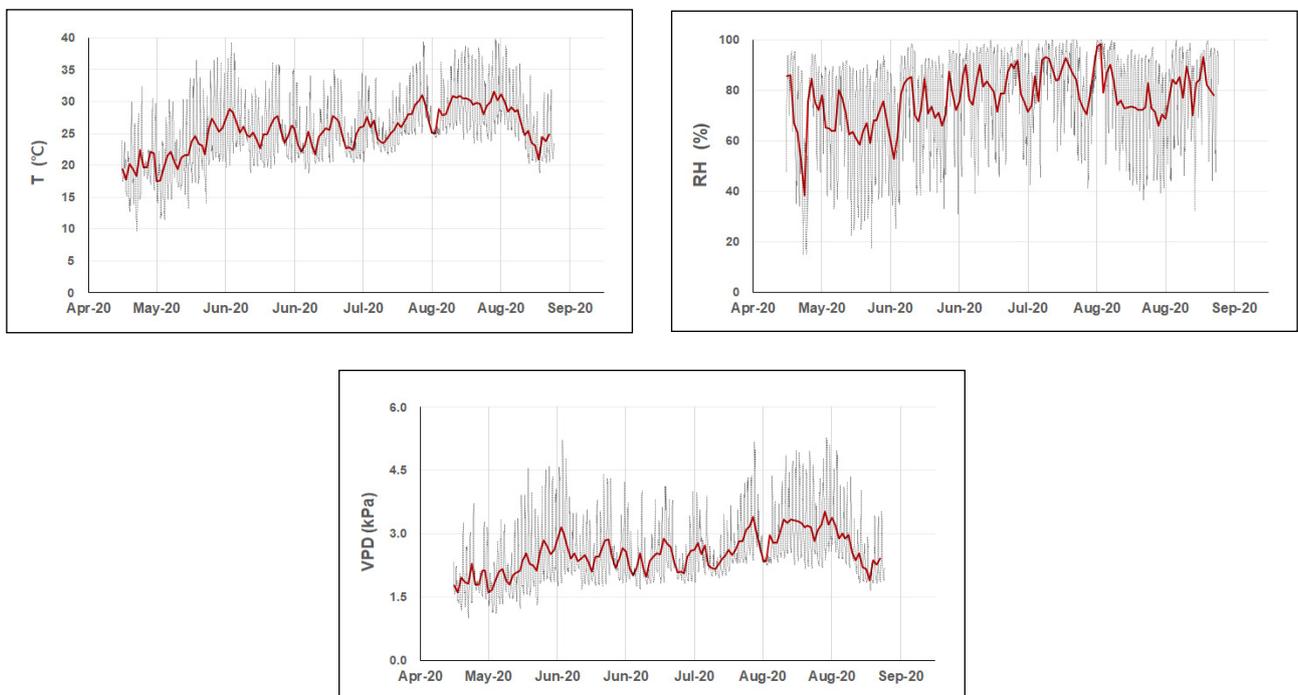


Fig. 1. Changes of temperature (T), relative humidity (RH) and vapor pressure deficit (VPD) during the experimental period

## 생장특성

왕벚나무는 400ml/pot에서 수고, 근원경(DRC) 및 부위별 건중량 등 전반적인 생장이 가장 저조한 것으로 나타났으며 ( $p < 0.05$ ), 수고 생장은 2,000ml/pot에서 많이 이루어진 ( $p < 0.05$ ) 반면 근원경 생장은 2,000ml/pot와 1,000ml/pot 간에 유의적인 차이가 없었다. 또한 월별 경향을 비교해 보면 대체로 5~6월까지 비교적 높은 생장을 보이다가 7월 이후 큰 변화가 없는 것으로 나타나 생장이 정체되는 것을

알 수 있었으며, 400ml/pot의 경우 타 처리구에 비해 전체적인 성장량이 가장 저조할 뿐만 아니라 근원경은 8월 이후 오히려 다소 감소되는 경향을 보였다(Fig. 2). 근원경 생장의 감소는 체내 수분 요구량에 비해 부족한 수분조건이 지속되면서 대사활동으로 소비된 수분이 제때에 복구되지 못하여 나타난 결과로서 *Jatropha curcas*의 경우에도 가뭄에 의해 줄기 건중량의 감소가 나타난다는 보고가 있다(de Santana et al. 2017).

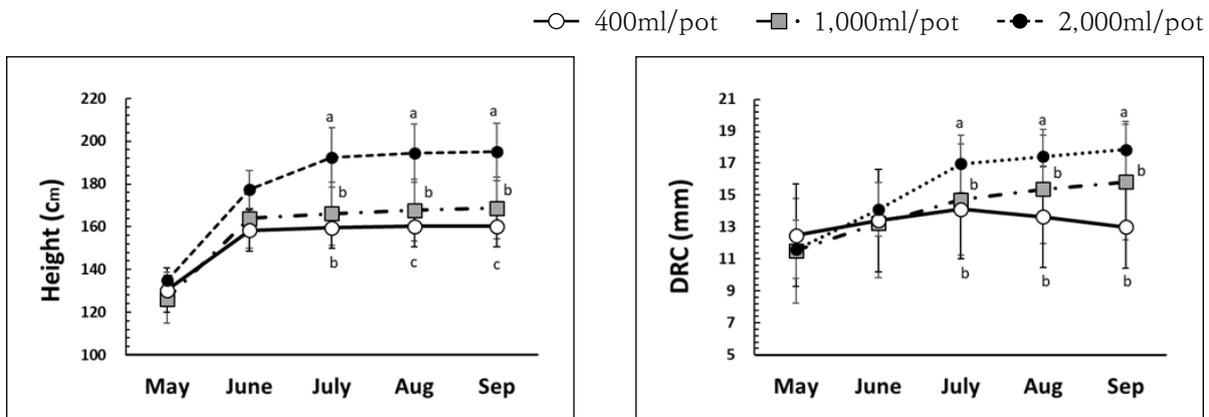


Fig. 2. Changes in height growth and root collar growth (DRC) of *P. yedoensis* under different water conditions. Means with difference letters are significantly different ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test ( $n=5$ ).

부위별 건중량의 경우 잎, 줄기, 뿌리 및 총건중량 모두 2,000ml/pot가 가장 많은 바이오매스를 보인 반면 ( $p < 0.05$ ), 수체 내 물질 분배율을 의미하는 T/R율과 엽중비(LWR)는 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 1). 이러한 결과는 관수 양 조절을 통한 지속적인 건조 스트레스가 수고 및 근원경 등 전반적인 생장에 불리하게 작용됨을 알 수 있다. 또한 수고와 근원경 월별 성장 경향에 비추어보면, 부위별 성장량의 상대적인 차이는 주로 6월 이전에 이루어진 것으로 추측할 수 있다. Table 1에 나타난 H/D율은 묘목 건전도를

나타내며, 총건중량과 같은 경향으로 2,000ml/pot가 가장 높은 값을 보였다. 왕벚나무와 같이 가로수로 흔히 사용되는 백합나무와 느티나무의 경우 관수 주기가 길어질수록 H/D율은 낮아지는 경향이 나타나고, 이는 수분 부족에 따라 수분 이용효율을 증가시키기 위해 간장생장을 감소시키고 직경생장을 증가시켜 나타난 결과로 보고된 바 있다(Cho et al. 2012). 이러한 결과는 전반적으로 왕벚나무와 유사한 경향을 보인다고 할 수 있다.

Table 1. Growth characteristics of *P. yedoensis* under different water conditions

Treatment	Dry mass production(g)				T/R ratio ( $g \cdot g^{-1}$ )	LWR ( $g \cdot g^{-1}$ )	H/D ( $cm \cdot mm^{-1}$ )
	Leaves	Shoot	Root	Total			
400ml/pot	20.2±2.4 <sup>a</sup>	50.3±7.2 <sup>a</sup>	52.6±11.5 <sup>a</sup>	123.1±18.8 <sup>a</sup>	1.37±0.15 <sup>ns</sup>	0.17±0.03 <sup>ns</sup>	10.9±0.9 <sup>a</sup>
1,000ml/pot	42.5±7.0 <sup>b</sup>	73.8±4.1 <sup>b</sup>	85.8±6.1 <sup>b</sup>	202.1±15.5 <sup>b</sup>	1.33±0.06	0.21±0.02	11.0±1.8 <sup>a</sup>
2,000ml/pot	64.2±11 <sup>c</sup>	125.4±11.1 <sup>c</sup>	153.7±12.5 <sup>c</sup>	343.3±14.9 <sup>c</sup>	1.23±0.23	0.19±0.03	12.6±1.9 <sup>b</sup>

Mean with the same letter in each column indicates not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test ( $n=5$ ). ns: non-significance.

## 광합성 반응

왕벚나무의 경우 최대 광합성속도( $P_N \max$ )가 5월에 가장 높은 경향을 보였으며, 6월 이후 다소 감소된 값을 보였는데, 6월에는 2,000ml/pot > 1,000ml/pot > 400ml/pot 순으로 나타났으며, 7월이 경과 되면서 1,000ml/pot > 2,000ml/pot > 400ml/pot로 2,000ml/pot 처리구의 광합성이 급격하게 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3). 이러한 결과는 수고와 근원경의 생장이 주로 6월 이전에 이루어졌으며, 7월 이후에는 긴 장마로 인해 비교적 습한 대기(7월 평균 RH 80% 이상)와 높은 온도로 2,000ml/pot 처리구에서 과습에 의한 피해가 야기될 수 있음을 의심해 볼 수 있으며, 6월경까지 상대적으로 높은 생장을 보이면서 과습 스트레스가 높아진 것으로 여겨진다.

기공증산속도( $E$ )와 기공전도도( $g_s$ )를 살펴보면 400ml/pot가 가장 낮은 값을 보여 토양수분 부족에 의해 기공폐쇄 및 증산량 감소를 보이는 것을 알 수 있으며, 2,000ml/pot는 6월에 가장 높았으나 이후 급격한 감소를 보이면서, 400ml/pot와 유사한 기공폐쇄가 일어나는 것을 알 수 있는데 이는 이 시기 높은

대기중 상대습도로 증산이 원활히 일어나지 못하는 것으로 여겨진다. 이러한 기공폐쇄는 원활한  $CO_2$  공급이 이루어지지 못하게 되어 광합성 역시 감소하는 것으로 생각할 수 있으며, 엽육세포내  $CO_2$ 의 효율적 이용을 알 수 있는  $C_i/C_a$  비율은 기공반응과 유사한 경향을 보였다(Fig. 3).

수분이용효율을 나타내는 ITE, WUEi 모두 400ml/pot에서 가장 높은 경향을 보여(Fig. 3). 부족한 수분조건으로 인해 광합성을 위한 물의 이용을 효율적으로 수행하기 위한 기작을 보였으며, 2,000ml/pot 역시 7월 이후 비교적 높은 값을 보이는 것으로 보아 높은 대기 중 상대습도로 인해 기공의 개폐 및 증산작용이 원활하게 일어나지 못하여 뿌리를 통한 수분공급이 잘 이루어지지 않는 것으로 생각된다. 관수 주기에 따른 목본식물의 엽록소 형광 반응을 비교한 연구에서 2회/1주 관수 시 산호수는 엽수분포텐셜이 높게 나타났고,  $F_v/F_m$ 이 0.731로 나타나 과습에 대한 스트레스를 보이며, 산호수(*Ardisia pusilla*), 클루시아(*Clusia rosea*), 팔손이(*Fatsia japonica*), 인도고무나무(*Ficus elastica*) 모두 토양 수분함량이 25% 수준에서 생육이 원활하다고 보고된 바 있다.

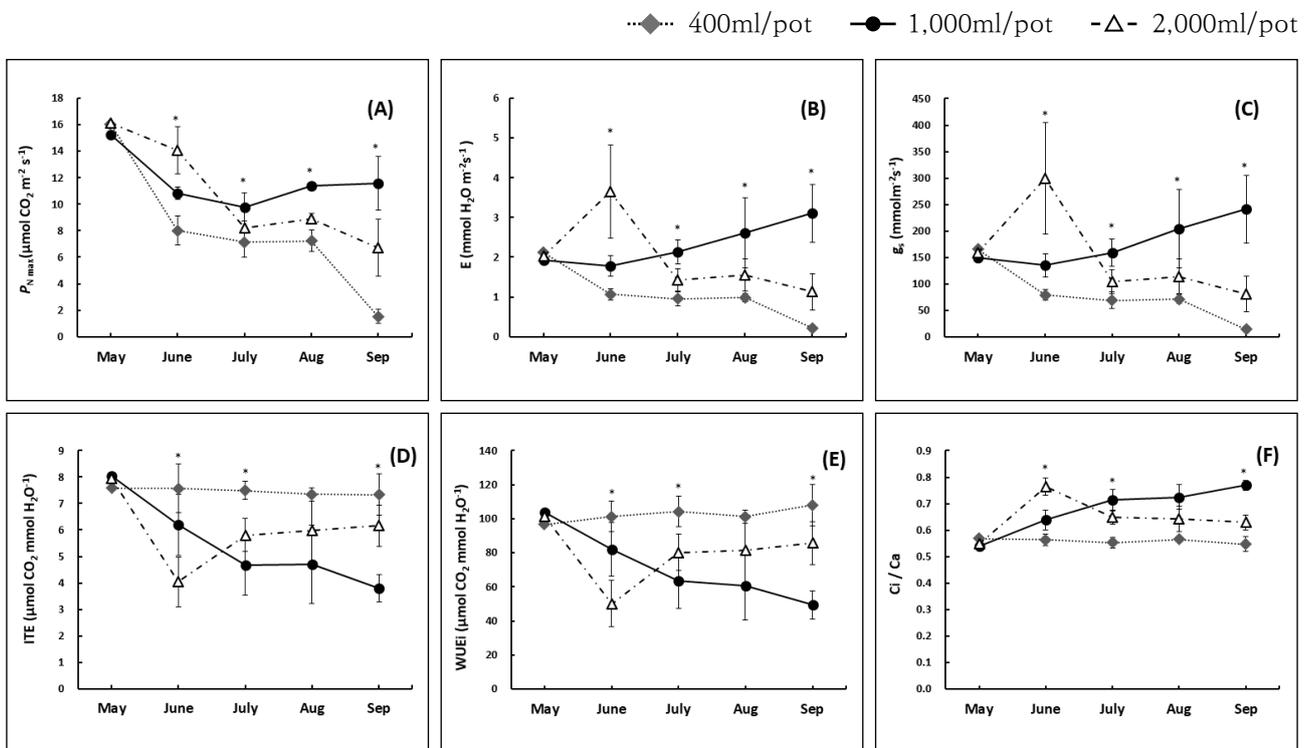


Fig. 3. Changes in maximum photosynthesis rate (A), stomatal transpiration rate (B), stomatal conductance (C), instantaneous transpiration efficiency (D), intrinsic water use efficiency (E) and ratio of intercellular to atmospheric  $CO_2$  concentration (F) of *P. yedoensis* under different water conditions. Different letters indicate values significantly different by Duncan's multiple range test ( $p \leq 0.05$ ). Each value is expressed as the mean  $\pm$  SD ( $n = 5$ ).

## 엽록소 및 카로티노이드 함량

왕벚나무의 엽록소 함량의 변화를 보면, 8월까지 엽록소 함량이 다소 증가하는 추세를 보이다가 9월에 큰 감소를 보여 계절변화에 따른 경향을 알 수 있었으며, 7월과 8월은 유의적으로 2,000ml/pot에서 가장 낮은 엽록소 a, b, 총 엽록소 함량(a+b)를 보인데( $p < 0.05$ ) 비해 400ml/pot는 8월까지 대조구와 유사한 수준의 엽록소 함량을 유지하다가 9월에 급격한 감소를 보였다. 이러한 경향을 통해 2,000ml/pot의

경우 높은 대기 중 상대습도 및 온도 조건에서 토양수분 역시 높게 유지되어 뿌리 활력의 저하 등 과습 피해를 의심해 볼 수 있으며(Kozlowski, 1997), 400ml/pot의 경우 8월 이후 대기 중 상대습도가 저하되면서 토양수분 부족으로 인한 건조 스트레스가 영향을 미쳤을 것으로 여겨진다. 카로티노이드 함량 역시 엽록소 함량과 유사한 경향을 나타내었으며, 엽록소 a/ b의 비율 및 총 엽록소 함량과 카로티노이드 함량의 비율(Total Chl / Car)은 비교적 두드러진 경향을 보이지 않았다(Table 2).

**Table 2.** Changes in chlorophyll (Chl) and carotenoid (Car) contents of *P. yedoensis* under different water conditions

Treatment	Chlorophyll content(mg·g <sup>-1</sup> )			carotinoid	Chl a / b	total chl / car	
	a	b	a + b				
May	400ml/pot	22.8±0.2 <sup>ns</sup>	4.6±0.2 <sup>ns</sup>	27.4±0.4 <sup>ns</sup>	5.5±0.1 <sup>ns</sup>	5.0±0.2 <sup>ns</sup>	5.0±0.1 <sup>ns</sup>
	1,000ml/pot	22.9±0.4	4.7±0.4	27.5±0.6	5.5±0.1	4.9±0.4	5.0±0.1
	2,000ml/pot	22.8±0.7	4.6±0.5	27.4±1.0	5.5±0.2	5.0±0.5	5.0±0.2
June	400ml/pot	21.9±4.7 <sup>ns</sup>	6.2±1.4 <sup>ns</sup>	28.1±6.1 <sup>ns</sup>	5.7±1.0 <sup>ns</sup>	3.5±0.1 <sup>a</sup>	4.9±0.2 <sup>ns</sup>
	1,000ml/pot	21.4±5.1	5.5±1.7	26.9±6.8	5.5±1.0	3.9±0.3 <sup>b</sup>	4.8±0.4
	2,000ml/pot	17.9±2.4	4.6±0.6	22.5±3.0	4.7±0.4	3.9±0.2 <sup>b</sup>	4.8±0.2
July	400ml/pot	24.1±2.8 <sup>b</sup>	6.1±0.8 <sup>b</sup>	30.1±3.6 <sup>b</sup>	6.3±0.7 <sup>b</sup>	4.0±0.1 <sup>ns</sup>	4.7±0.1 <sup>b</sup>
	1,000ml/pot	20.9±3.3 <sup>b</sup>	5.2±0.8 <sup>b</sup>	26.0±4.1 <sup>b</sup>	5.5±0.7 <sup>b</sup>	4.0±0.1	4.7±0.1 <sup>ab</sup>
	2,000ml/pot	17.0±0.8 <sup>a</sup>	4.1±0.2 <sup>a</sup>	21.1±1.0 <sup>a</sup>	4.6±0.2 <sup>a</sup>	4.1±0.1	4.6±0.1 <sup>a</sup>
Aug	400ml/pot	22.3±2.2 <sup>b</sup>	5.9±0.6 <sup>ab</sup>	28.1±2.7 <sup>ab</sup>	6.0±0.5 <sup>b</sup>	3.8±0.3 <sup>ns</sup>	4.7±0.2 <sup>ab</sup>
	1,000ml/pot	23.8±3.9 <sup>b</sup>	6.7±1.3 <sup>b</sup>	30.5±5.2 <sup>b</sup>	6.2±0.8 <sup>b</sup>	3.6±0.1	4.9±0.2 <sup>b</sup>
	2,000ml/pot	18.1±2.2 <sup>a</sup>	5.2±0.4 <sup>a</sup>	23.3±2.6 <sup>a</sup>	5.1±0.4 <sup>a</sup>	3.5±0.2	4.5±0.2 <sup>a</sup>
Sep	400ml/pot	12.2±1.6 <sup>a</sup>	3.0±0.5 <sup>ns</sup>	15.2±2.0 <sup>a</sup>	3.6±0.4 <sup>a</sup>	4.1±0.3 <sup>a</sup>	4.2±0.1 <sup>a</sup>
	1,000ml/pot	16.4±2.5 <sup>b</sup>	3.8±0.5	20.2±3.0 <sup>b</sup>	4.4±0.5 <sup>b</sup>	4.3±0.1 <sup>ab</sup>	4.6±0.1 <sup>b</sup>
	2,000ml/pot	16.0±2.3 <sup>b</sup>	3.7±0.7	19.7±2.9 <sup>b</sup>	4.2±0.6 <sup>ab</sup>	4.4±0.2 <sup>b</sup>	4.6±0.1 <sup>b</sup>

Mean with the same letter in each column indicates not statistically different ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test (n=5). ns: non-significance.

결과적으로 관수량의 조절을 통한 왕벚나무의 생육 반응은 2,000ml/pot 처리시 5-6월의 초기생장을 유도하기에는 좋지만 대기 중 상대습도가 높고 기온 역시 상승하는 7~8월 기간에는 오히려 과다한 토양수분함량으로 인해 과습스트레스가 유발될 수 있음을 시사하고, 토양수분함량을 약 25~30% 수준으로 조절하는 것이 생육에 가장 양호한 조건임을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15.
2. Cho MS, Lee SW, Hwang JH, Kim JW. (2012). Growth performance and photosynthesis of two

- deciduous hardwood species under different irrigation period treatments in a container nursery system. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 14:28-38.
3. de Santana, TA, da Silva LD, de Oliveira PS, Benjamin CS, Ramos EP, de Souza JO, Gomes FP. 2017. Leaf gas exchange and biomass partitioning in *Jatropha curcas* L. young plants subjected to flooding and drought stresses. Australian Journal of Crop Science, 11:792-798.
  4. Hiscox JD, Israelstam GF. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can J Bot. 57:1332-1334.
  5. Kim PG, Lee EJ. 2001. Ecophysiology of photosynthesis 2: adaptation of the photosynthetic apparatus to changing environment. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 3:171-176.
  6. Kwon KJ, Park BJ. 2017. Initial growth responses of four woody plants for indoor landscaping according to irrigation frequency. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture. 45:28-34.
  7. Kozłowski TT. 1997. Responses of Woody Plants to Flooding and Salinity. Tree Physiol., 1:1-29.
  8. Kume A, Ino Y. 1993. Comparison of ecophysiological response to heavy snow in two varieties of *Acuba japonica* with different areas of distribution. Ecological Reserch. 8:111-121.
  9. Lee KC. 2017. Change of Photosynthesis Performance and Water Relation Parameters in Seedling of Korean *Dendropanax* under Drought Stress. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 26:181-187.
  10. Lee ME, Hwang KT, Kim SY, Chung JW. 2018. Adsorption of Pb (II) by Cherry (*Prunus × yedoensis*) Leaf-Derived Biochar. Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association, 26:33-41.
  11. Lichtenthaler HK. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in enzymology, 148:350-382.
  12. National Institute of Forest Science. 2020. Survey on the Current Status of Living Space Tree Management in 2019. Research Report of NIFS. Vol. 854. National Institute of Forest Sciences, Seoul, Korea. 96 pp.
  13. Song Y. 2014. Indicators for the quantitative assessment of tree vigor condition and its theoretical implications: A case study of Japanese flowering-cherry trees in urban park. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology, 17:57-67.