J. Korean Soc. For. Sci. Vol. 111, No. 3, pp. 394~404 (2022)
https://doi.org/10.14578/jkfs.2022.111.3.394

한국산림과학회지
JOURNAL OF KOREAN SOCIETY OF FOREST SCIENCE
ISSN 2586-6613(Print), ISSN 2586-6621(Online)
http://e-journal.kfs21.or.kr

컨테이너 재배에서 점적 관수처리가 왕벚나무 4, 8년생 묘목의 품질에 미치는 영향

윤준혁* · 진언주 · 배은지
국립산림과학원 산림바이오소재연구소

Effects of Drip Irrigation Treatment on the Quality of 4- and 8-year-old *Prunus* × *yedoensis* Matsum. Seedlings in a Container Nursery

Jun-Hyuck Yoon*, Eon-Ju Jin and Eun-Ji Bae
Forest Biomaterials Research Center, National Institute of Forest Science, Jinju 52817, Korea

요 약: 본 연구는 우리나라의 가로경관 및 관상 목적으로 활용되는 주요 중형 조경수인 왕벚나무를 대상으로 컨테이너 재배 점적 관수 시 관수량에 따른 4년생, 8년생 묘목의 생장 및 생리 특성을 평가하여, 왕벚나무 컨테이너 재배를 위한 적정 관수 기준을 제시하고자 수행되었다. 연구 결과 관수량 처리에 따른 묘고와 근원직경의 상대생장률의 경우 왕벚나무 4년생은 288 L/year/tree 처리에서 8년생은 416 L/year/tree 처리에서 가장 높은 값을 나타내었다. 물질생산량과 묘목품질지수 또한 두 연생 모두 관수처리에 따른 유의적인 차이를 보이면서 4년생은 288 L/year/tree 처리에서 8년생은 416 L/year/tree 처리에서 양호한 생장을 보였다. 뿌리발달 특성 중 총뿌리길이, 평균뿌리직경, 뿌리부피는 두 연생 모두 관수량 처리에 대해 차이를 보였다. 엽록소함량의 경우 왕벚나무 4년생은 288 L/year/tree 처리에서 8년생은 416 L/year/tree처리에서 가장 높은 활성을 보였다. 본 연구결과를 종합적으로 고려해 볼 때 컨테이너 재배 시 관수량의 차이는 묘목의 형태적 상대생장률, 물질생장량, 묘목품질, 생리적 반응에 영향을 미치며, 왕벚나무를 컨테이너로 재배 할 시 적절한 관수량은 4년생 묘목(근원직경 3 cm급)은 288 L/year/tree, 8년생 묘목 (근원직경 7 cm급)은 416 L/year/tree가 적절한 것으로 판단된다.

Abstract: This study was conducted to optimize the amount of drip irrigation for *Prunus*×*yedoensis* Matsum., one of the major medium-sized landscaping trees used mainly for streetscapes and as ornamentals. The experiment was conducted in a container nursery, where we assessed the growth and physiological characteristics of 4- and 8-year-old seedlings watered at different rates (x) by a drip irrigation system. The relative growth rates (based on height and root collar diameter (RCD) measurements) were highest at 288 and 416 L/year/tree for the 4- and 8-year-old containerized seedlings, respectively. These age and treatment combinations also produced significantly different dry weight and seedling quality index values, indicating good growth. The two age groups had significantly different total root lengths, root diameters, and root volumes under these respective irrigation treatments. In addition, the 4-year-old containerized seedlings irrigated at 288 L/year/tree and the 8-year-old containerized seedlings irrigated at 416 L/year/tree had the highest activations in their chlorophyll contents. Overall, the results (differences in irrigation amounts affect the seedlings morphological relative growth, biomass growth, seedling quality, and physiological reaction) indicate that the optimal irrigation amounts for container-grown *Prunus*×*yedoensis* are 288 L/year/tree for 4-year-old (RCD class, 3cm) and 416 L/year/tree for 8-year-old (RCD class, 7 cm) containerized seedlings.

Key words: *container nursery, drip irrigation,* Prunus×yedoensis *Matsum., seedling quality*

서 론

최근 조경수는 도로경관 조성 기능 외에도 도심 공원, 실내정원, 옥상녹화 등 다양한 녹지공간 조성에 활용되고 있다. 아파트나 공공건축물의 조경이 차별화, 고급화에 따

* Corresponding author
E-mail: jhyoon7988@korea.kr
ORCID
Jun-Hyuck Yoon https://orcid.org/0000-0003-4467-777X

른 조경 품질에 대한 인식이 높아지며, 이에 조경수 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상되고 있다. 고품질 조경수에 대한 수요는 꾸준히 증가하는데 비해, 우리나라의 조경수 생산은 대부분 노동집약적인 노지 재배방식에 의존하고 있어 고령화로 인한 노동력 부족과 인건비 상승 때문에 생산, 굴취, 운반에 어려움을 겪고 있는 상황이다. 또한 고온, 가뭄, 한파 등 이상기후로 식재 후 관리가 어려워 하자율이 높고, 유지보수 비용 역시 증가하고 있다. 이러한 이유로 최근 컨테이너 재배 조경수에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 조경수 컨테이너 재배는 일정기간 동안 용기 내에서 수목을 재배하는 방식으로, 세근이 발달된 상태로 이식이 되기 때문에 부적기의 이식지 활착률이 높고, 균일 규격의 수목에 대한 생산의 집약화가 가능하며(Kim and Kim, 2000), 뿌리의 손상이 적어 극소량의 전정으로 이식이 가능하게 되어 고유의 수형 보존 및 미관이 증대된다. 또한 하절기와 동절기 시공이 가능하게 되어 공사원가가 절감 및 조경수의 생산 노동력 중 가장 높은 비율을 차지하는 굴취 노력을 감소시킴으로써 노동력이 절감될 수 있다(Seok et al., 2014).

우리나라에서 조경수 컨테이너 재배농가는 대부분 소규모이며, 초기 단계로서 기술적 시행착오를 겪고 있는 실정이다. 국외에서는 지난 40년 동안 관상용 교목 및 관목수목에 대한 생산 체계는 전통적인 노지 생산방식에서 컨테이너 생산방식으로 전환되어왔다(Beeson, 2003). 미국, 캐나다, 유럽 등 조경 선진국에서는 현대적 시설과 지속가능한 생산체계를 구축하고, 조경수목에 대한 컨테이너 재배 방식을 적극 활용하고 있다(Seok et al., 2014).

국외에서 컨테이너 관련 연구는 초기에는 컨테이너와 노지재배 수목의 이식 후 생장 및 스트레스 비교연구(Whitcomb, 1984; Dana and Blessing, 1994)가 수행되었고, 다양한 구조의 컨테이너를 대상으로 한 세근발달 비교 연구(Appleton, 1995), 컨테이너 내부의 뿌리돌림의 방지를 위한 다양한 소재의 컨테이너 이용 및 물리·화학적 기술적용 연구(Struve, 1994; Martin and Battacharya, 1995) 등이 수행되었다.

국내에서도 조경수를 컨테이너로 재배하기 위한 연구가 진행되어 왔는데, Kim and Kim(2001)은 컨테이너 종류 및 생산방식이 조경수의 이식스트레스와 고사율에 미치는 영향과 하자율 저감에 대한 기여도를 판단하였다. Kim and Kim(2000)은 컨테이너 재배는 일정기간 동안 용기 내에서 조경수를 재배하는 방식이고, 세근이 발달된 상태로 이식이 되기 때문에 부적기의 이식지 활착률이 높고, 균일 규격의 수목에 대한 생산의 집약화가 가능하며, 뿌리의 손상이 적어 극소량의 전정으로 이식이 가능하게 되어 고유의 수형 보존 및 미관이 증대된다고 보고하였다. 또한 Seok et al.(2014)은 하절기 동절기 시공이 가능하게 되어 공사원가가 절감 및 조경수의 생산 노동력 중 가장 높은 비율을 차지하는 굴취 노력을 감소시킴으로써 노동력이 절감될 수 있다고 보고하였다.

한편, 컨테이너 재배는 제한된 용기 용적 내에서 수목이 생장하기 때문에 용기 양묘시업과정과 유사하게 광선, 수분, 온도 등의 생육환경조절과 용기의 종류, 배양토, 시비기술 등이 중요한 영향을 미친다(Kwon et al., 2009; Lee et al., 2006). 일반적으로 조경수 컨테이너 재배 농가에서의 관개(빈도, 시기, 시간)는 개인 경험에 의존하여 실시하고 있으며(Beeson et al., 2004), 수목이 요구하는 물량을 정량적으로 측정할 수 있는 방법이 부족하기 때문에 관개량 조절에 시행착오를 겪고 있다(Stoochnoff et al., 2018).

수분은 식물 생체중량의 80% 정도를 차지하는 주요 성분이고, 광합성을 포함한 많은 식물대사 과정의 생화학 반응과 생장을 촉진하며, 세포의 확장에 영향을 미친다(Kramer, 1983). 식물이 수분 스트레스를 받으면 잎과 줄기생장에 영향을 받고 엽면적이 감소해서 증산량이 줄고 광합성 능력이 줄어들게 된다. 관련하여 용기묘 생산 대상 수종과 규격에 적합한 수분 조절에 관한 많은 연구가 수행되어 왔으나 수목의 생리를 고려하여 생육단계별 적정 관수 수준을 구명하는 것은 쉽지 않은 과정이다(Cha et al., 2017).

수목 생산에 있어 관개 효율성과 수익성을 고려한 물 재활용에 대한 연구는 다양하게 진행되어 왔으나(Harris et al., 1997; Briercliffe et al., 2000; Beeson and Brooks, 2007), 관상용 수목에 대한 재배 시 요구되는 관개량 정량화 연구는 미흡한 실정이다(Henson et al., 2006).

일반적으로 조경수 컨테이너 재배 시 모든 관수량이 수목에 적용되도록 컨테이너 내 토양에서 유지되는 것이 이상적이다. 대부분의 소형목에 대한 컨테이너 재배는 오버헤드 스프링쿨러 방식으로 관수되며, 이때 전체 관수량의 20~40%만 컨테이너에 유지되는 것으로 보고되었다(Beeson and Knox 1991). 중대형목에 대한 컨테이너 재배의 경우, 일반적으로 물 낭비를 최소화하기 위해 점적기 등을 활용한 미세관수 시스템이 사용된다(Briercliffe et al., 2000). 수목 컨테이너 재배 시 최적의 관개 수준 및 방법은 관수 균일성을 최적화하고 컨테이너에서 재배 되는 수목의 수분 요구를 충분히 고려하여 결정되어야 한다(Olga et al., 2009).

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 가로경관 및 관상목적의 중형 조경수로 가장 많이 활용되고 있는 왕벚나무를 대상으로 컨테이너 재배 점적 관수 시 관수량에 따른

4년생, 8년생 묘목의 생장 및 생리 특성을 평가하여, 관수처리가 묘목 품질에 미치는 영향을 구명하고, 왕벚나무 컨테이너 재배를 위한 적정 관수 기준을 제시하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 공시재료

공시재료는 경북 경주시에서 접목 후 노지 재배된 왕벚나무(*Prunus*×*yedoensis*) 4년생, 8년생을 사용하였으며, 관수시험은 경상남도 진주시에 위치한 국립산림과학원 산림바이오소재연구소 노지 포지에서 수행되었다. 일반적으로 왕벚나무의 경우 4년생 묘목을 컨테이너로 이식하여 목표 규격인 근원직경 8~10 cm까지 재배하고 출하하기 때문에 재배 기간 동안 1차례 더 큰 용적의 컨테이너로 이식하는 것을 가정하여 이식 단계별 적정 관수량을 구명하기 위해 4년생(근원직경 3 cm 급), 8년생(근원직경 7 cm 급)으로 구분하여 수행하였다. 공시목 분양 후 뿌리 분을 고압 세척하여 노지 토양을 제거한 후 4년생은 40L(D400× H350), 8년생은 90L(D550×H400)의 다공형 플라스틱 컨테이너(Rootplus, Korea)로 이식하였다(Figure 1). 컨테이너 내부에 사용된 생육상토는 코코피트, 펄라이트, 질석, 제올라이트로 구성되었으며, 혼합비는 71:15:10:5(v/v) 였다. 관수처리 전 공시목의 수고, 근원직경, 수관폭 등의 생장특성을 조사하였고, 공시목 규격은 Table 1과 같다.

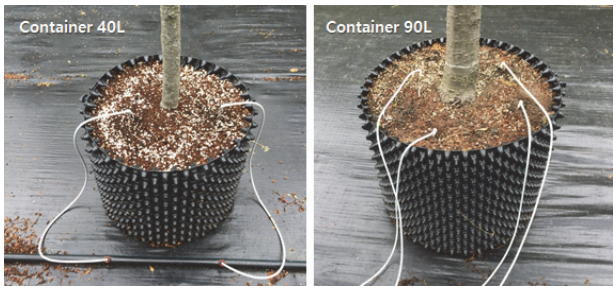

Figure 1. Container volume 40L(D400×H350) and 90L(D550×H400).

2. 관수처리 및 관리

관수는 인버터펌프(PBI-(L)803MA/P, Wilo, Korea)와 전기제어 밸브(IR 200, Bermad, Israel)를 활용한 반자동 점적관수 방법으로 진행하였다. 시간 당 2L의 물이 분출되는 점적기를 컨테이너 내 상토 표면에 5cm 깊이로 설치하고 점적기 설치 개수 및 관수시간으로 관수량을 조절하였으며, 조경수 컨테이너 재배 농가의 관행 관수량을 참고하여 관수량은 4년생 232, 288, 344L/year/tree, 8년생 360, 416, 472L/year/tree로 구분하였다. 일반적으로 수목 컨테이너 재배의 경우 더운 여름에는 관계빈도가 많고, 시원한 계절에는 수목의 일일증발수요가 감소하여 관계빈도가 줄어들기 때문에(Stoochnoff et al., 2018), 2020년 4월부터 10월까지 월별 수목 수분요구량을 고려하여 주 단위로 관수를 실시하였고(Table 2), 관수 주기는 4~5월 주 3회, 6월~8월 주 7회, 9~10월 주 3회로 구분하였다. 관수시간은 오전 8시에서 10시 사이였으며, 비가 오는 날은 빗물차단 천막을

Table 1. The initial growth characteristics of *Prunus*×*yedoensis* seedlings before irrigation treatment.

Seedlings age	Container volume (L)	H[Z] (m)	RCD (cm)	CL (cm)	WC(m)	
					N-S	E-W
4-year-old	40	2.6±1.2	2.6±0.2	171.8±9.7	1.1±0.2	1.2±0.2
8-year-old	90	4.1±2.8	6.4±0.3	152.7±12.8	1.9±0.2	1.9±0.3

[Z] H: Height, RCD: Root collar diameter, CL: Clear length, WC: Width of crown. Values are means of 20 trees±SD.

Table 2. The total irrigation amount and monthly irrigation amount.

Seedlings age	Container volume (L)	Total irrigation amount (L/year/tree)	Monthly irrigation amount (L/month/tree)						
			April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.
4-year-old	40	232	16	40	40	48	56	16	16
		288	24	48	48	56	64	24	24
		344	32	56	56	64	72	32	32
8-year-old	90	360	32	56	56	64	72	40	40
		416	40	64	64	72	80	48	48
		472	48	72	72	80	88	56	56

Figure 2. The view of experiment site with rainfall block cotton.

설치하여 강우에 의한 영향을 최소화하였다(Figure 2). 시험기간 동안의 시비는 조림용 시설양묘에서 주로 사용되는 수용성 비료 Multifeed (N:P:K= 20:20:20, Haifa Chemicals, Israel)를 이용하였으며, 종묘사업실시요령을 참고하여 4년생은 총 98 g, 8년생은 총 196 g을 4월부터 8월까지 월 2회 동일하게 분시하였다. 실험기간 동안의 측정된 평균기온은 13.7±9.6℃, 평균 습도는 71.1±22.5% 범위였다.

3. 형태적 특성 및 묘목 품질

관수처리에 따른 왕벚나무 4년생, 8년생 컨테이너묘의 생장 차이를 분석하기 위하여 4년생, 8년생 처리별 각 15본을 대상으로 묘고와 근원직경을 측정하였다. 상대생장률 분석을 위해 관수 처리 전 묘고과 근원직경의 측정값과 생장이 종료된 10월에 측정된 값에 대한 상대생장률을 계산하였다. 묘고는 측정봉(SL04017, Senshin industry co., Ltd, Japan)으로, 근원직경은 디지털버니어 캘리퍼스(Cas, DC-200-1, Korea)로 측정하였다. 또한 수목 건전도를 판단할 수 있는 H/D율을 계산하였다(Bayala et al., 2009). 2020년 10월 관수 종료 후 묘고와 근원직경의 평균값을 보이는 5본을 선정하여 잎, 줄기, 가지, 뿌리로 구분하고 건조기에 48시간 동안 65℃로 건조한 후, 부위별 건중량을 측정하였으며, 이를 활용하여 T/R율을 산출하였다. 관수 처리별 품질지수는(Seedling quality index) H/D율, T/R률, 총건중량으로 산출하였다(Bayala et al., 2009).

- H/D ratio ($m \cdot cm^{-1}$) = Height (cm) / Root collar diameter (RCD) (mm)
- T/R ratio ($g \cdot g^{-1}$) = Top (leaf+stem+branch) dry weight (g) / Root dry weight (g)
- Seedling quality index (SQI) ($g \cdot g^{-1}$) = Total dry weight (g) / (H/D ratio+T/R ratio (g))

4. 뿌리발달 특성

관수량 처리가 4년생, 8년생 왕벚나무의 컨테이너 내부 뿌리 발달에 미치는 영향을 분석하기 위하여 관수량 처리별로 건중량 측정을 위해 굴취 된 5본의 뿌리를 대상으로 WinRhizo 프로그램(2008a Version, Regent Instrument Inc., Canada)을 이용하여 뿌리발달 특성을 분석하였다. 정확한 뿌리 분석을 위해 뿌리 외 상토 등의 불순물을 제거한 후 분석을 위해 일정량으로 분리하였다. 뿌리를 40×50 cm의 투명 트레이에 겹치지 않게 배치한 후 스캐너(Epson Perfection V700, Seiko Epson Corp. Japan)로 이미지화하고 WinRhizo 프로그램으로 분석하였다. 본 실험에서 4년생, 8년생의 뿌리부피가 큰 관계로 뿌리 양에 따라 10~15회로 나눈 후 반복 측정하였다. 뿌리발달 특성 평가를 위해 분석된 항목은 전체뿌리길이(total root length). 투영단면적(root projected area), 표면적(root surface area), 평균뿌리직경(average root diameter), 뿌리부피(root volume)이다.

5. 엽록소 함량

관수량 처리가 4년생, 8년생 왕벚나무의 엽록소함량에 미치는 영향을 분석하기 위해 관수량 처리별로 5본을 선정하여 성엽으로 발달된 시기에 건전한 잎을 채취한 후 Hiscox and Israelstam (1979)에 의해 개발된 Dimethyl sulfoxide (DMSO) 추출법을 이용하였다. 수집된 잎 0.1 g을 DMSO 10 mL에 첨가한 뒤 70℃의 항온수조에서 2시간 동안 중탕시켜 엽록소를 추출하였다. 추출액은 Elisa reader(Thermo Fisher Scientific, Thermo Scientific MIB, USA)를 이용하여 470, 645, 663 nm에서 흡광도를 측정하였다. 엽록소 및 카로티노이드 함량은 Lichtenthaler(1987)의 방법에 따라 계산하였으며, 함량은 잎의 생중량으로 나누어 mg/g(fresh weight)로 나타내었다.

Chlorophyll a ($mg \cdot g^{-1}$ F.W.)
$$= (12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})$$

Chlorophyll b ($mg \cdot g^{-1}$ F.W.)
$$= (22.9 \times A_{645}) - (4.68 \times A_{663})$$

Total Chlorophyll ($mg \cdot g^{-1}$ F.W.)
$$= (8.02 \times A_{663}) + (20.20 \times A_{645})$$

Carotenoids ($mg \cdot g^{-1}$ F.W.)
$$= (1{,}000 \times A_{470}) - (1.82 \times \text{Chl a} - 85.02 \times \text{Chl b}) \div 198$$

6. 통계분석

관수량 처리에 따른 4년생, 8년생 왕벚나무 컨테이너묘의 생장 및 품질을 분석하기 위하여 SPSS Statistics program 19.0 (SPSS Inc., Chicago,. IL, USA)을 이용하여 일

원분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였으며. 관수량 처리에 따른 유의성을 분석하기 위해 Duncan's multiple range test를 실시하여 각 항목의 평균값을 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 상대생장

관수량 처리에 따른 왕벚나무 연생별 묘고, 근원직경 생장 및 상대생장률, H/D율에 대한 일원분산분석 결과, 두 연생 모두 관수량 처리에 따른 묘고와 근원직경의 상대생장률의 유의적인 차이가 확인되었으며(p<0.01), 4년생은 288 L/year/tree 처리에서 8년생은 416 L/year/tree처리에서 가장 높은 값을 나타내었다(Table 3). 근원직경 생장의 경우 4년생 묘목에서는 232 L/year/tree 처리가 288, 344 L/year/tree 처리와 차이를 나타내었으나(p<0.01), 8년생 묘목에서는 처리 간의 유의한 차이는 보이지 않았다. H/D율은 두 연생 모두 관수량 처리에 따른 통계적인 차이는 없었다. 일반적으로 수목의 상대생장률의 패턴은 환경에 따라 변하며, 수분, 광선, 양분, 온도 등의 환경 조절에 의해 식물은 다양한 생장 및 물질생산의 변화를 나타낼 수 있다(Lambers and Poorter, 1992). 특히 수목의 생장은 생육상토 내 수분함량에 많은 영향을 받으며, 수목의 생장률과 토양수분 함량은 비례관계에 있고 수분 조건이 불량하면 묘목의 생장률은 낮아지고 수분이 적정할 경우 생장률은 높아진다고 알려져 있다(Downes et al., 1999; Wright et al., 2001). 이러한 연구 결과들은 본 연구의 연생별로 일정 관수량에서 상대생장률이 유의적인 차이를 보이며 높게 나타난 결과와 동일한 경향으로 볼 수 있으므로 이를 통해 관수량의 차이가 수목의 생장에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

2. 물질생산량 및 묘목 품질

관수량 처리에 따른 왕벚나무 4년생, 8년생의 잎, 줄기, 뿌리건중량 및 총 건중량은 잎건중량을 제외하고 전반적으로 두 연생의 모든 처리에서 유의적인 차이를 보여, 관수량이 묘목의 생장에 영향을 미치는 것으로 나타났다(Table 4). 또한 4년생 묘목은 288 L/year/tree 처리에서, 8년생 묘목은 416 L/year/tree 처리에서 잎, 줄기, 가지, 뿌리 물질생산량이 가장 높은 값을 나타내었는데, 이는 관수량 처리에 따른 묘고, 근원직경 상대생장률의 경향과 동일한 결과였다. 한편, 관수량 처리에 따른 T/R율의 유의적인 차이는 나타나지 않았는데, 묘목은 대부분 토양 수분 함량이 낮아지면 지하부가 지상부보다 높은 생장을 보이면서 T/R율이 감소한다(Seiler and Johnson, 1988)라는 결과와 차이를 보였다. 이는 본 연구의 공시목이 4년생, 8년생이라는 것을 고려했을 때, 관수량 처리에 따른 묘목의 연생별 반응 차이가 원인인 것으로 판단된다. 일반적으로 묘목의 품질은 H/D율과 T/R률이 낮고, 물질생산량이 높을 때 건전한 생육을 한 묘목으로 판단될 수 있고, 이를 종합적으로 고려하여 묘목품질지수(SQI)를 산출할 수 있다

Table 3. The effect of drip irrigation treatment level on growth of height and RCD of 4 and 8-year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedlings.

Irrigation treatment (L/year/tree)	Height		Root collar diameter		H/D ratio ($m \cdot cm^{-1}$)
	Growth (m)	Relative growth rate ($m \cdot day^{-1}$)	Growth (cm)	Relative growth rate ($cm \cdot day^{-1}$)	
4-year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedling					
232	2.94±0.08b	0.06±0.01b	2.95±0.13b	0.09±0.02b	99.77±5.74a
288	3.18±0.08a	0.11±0.02a	3.33±0.11a	0.14±0.01a	95.40±3.87ab
344	2.98±0.18b	0.07±0.02b	3.26±0.15a	0.13±0.01a	91.36±6.58b
F-value	6.1*	11.6**	12.0**	12.2**	2.7^{NS}
8-year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedling					
360	4.68±0.11a	0.10±0.01b	6.95±0.37a	0.12±0.01b	67.43±3.18a
416	4.83±0.34a	0.13±0.01a	7.25±0.20a	0.17±0.01a	66.63±4.42a
472	4.55±0.26a	0.13±0.01a	6.95±0.38a	0.13±0.02b	65.63±4.79a
F-value	1.56^{NS}	10.9**	1.4^{NS}	9.2**	0.2^{NS}

Values with different letters in a column indicate statistical differences among irrigation treatments at the 5% levels by Duncan's multiple range test. *F*-values with asterisks are statistical significances in one-way ANOVA. *P≤0.05, **P≤0.01, ***P≤0.001 and NS (non-significance) = P>0.05.

Table 4. The effect of drip irrigation treatment level on dry weight and T/R ratio of 4 and 8-year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedlings.

Irrigation treatment (L/year/tree)	Dry weight (g)					T/R ($g \cdot g^{-1}$)
	Leaf	Stem	Branch	Root	Total	
4-year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedling						
232	100.0±30.0a	779.0±104.1c	277.7±47.0b	470.0±99.9b	1626.7±215.2c	2.5±0.3a
288	118.3±28.4a	1388.0±84.2a	493.7±42.6a	766.0±69.2a	2766.0±124.6a	2.6±0.2a
344	88.3±5.8a	1171.3±64.7b	470.3±97.2a	601.7±45.4b	2331.7±51.3b	2.9±0.4a
F-value	1.2^{NS}	38.8***	9.4*	11.8**	46.2***	1.3^{NS}
8-year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedling						
360	351.7±72.9b	5347.7±554.9a	2923.3±586.2ab	4491.7±270.8ab	13114.3±190.9b	1.9±0.1a
416	455.0±27.8a	5866.7±481.5a	3613.3±690.0a	5115.0±370.0a	15050.0±1026.3a	2.0±0.3a
472	380.0±22.9ab	3761.7±834.2b	2264.3±667.6b	4016.7±447.7b	10422.7±1233.6c	1.6±0.4a
F-value	3.9^{NS}	8.8*	3.2^{NS}	6.7*	18.6**	0.9^{NS}

Values with different letters in a column indicate statistical differences among irrigation treatments at the 5% levels by Duncan's multiple range test. *F*-values with asterisks are statistical significances in one-way ANOVA. *$P \leq 0.05$, **$P \leq 0.01$, ***$P \leq 0.001$ and NS (non-significance) = $P > 0.05$.

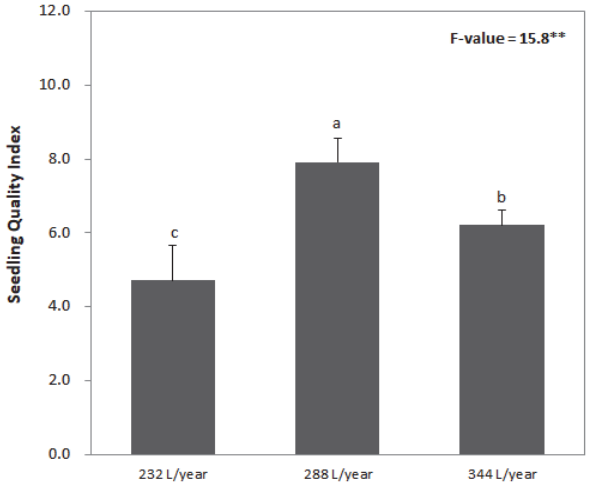

Figure 3. The effect of drip irrigation treatment level on the seedling quality index (SQI) of 4-year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedlings. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test. *F*-value with asterisks are statistical significances in one-way ANOVA. *$P \leq 0.05$, **$P \leq 0.01$, ***$P \leq 0.001$ and NS (non-significance) = $P > 0.05$.

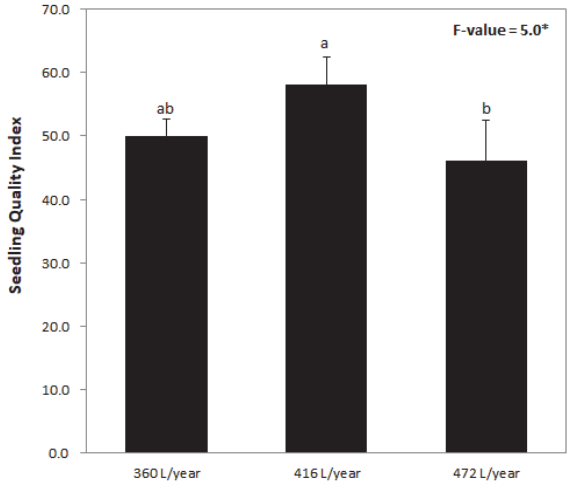

Figure 4. The effect of drip irrigation treatment level on the seedling quality index (SQI) of 8-year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedlings. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test. *F*-value with asterisks are statistical significances in one-way ANOVA. *$P \leq 0.05$, **$P \leq 0.01$, ***$P \leq 0.001$ and NS (non-significance) = $P > 0.05$.

(Mattsson, 1996; Bayala et al., 2009). 본 연구에도 H/D율, T/R률, 물질생산량을 종합적으로 고려하여 품질지수를 산출한 결과, 4년생 묘목은 288 L/year/tree 처리(7.9±0.6)에서, 8년생 묘목은 416 L/year/tree 처리(58.1±4.5)에서 가장 우수한 품질을 나타내었다(Figure 3, Figure 4). 이와 같은 결과는 관수량의 차이가 식물 또는 수목의 품질에 영향을 준다는 많은 연구결과와 동일한 경향이라 판단된다(Rhee et al., 2008; Cho et al., 2012; Cha et al., 2017).

3. 뿌리발달 특성

건강하고 활발한 뿌리생장은 물과 양분의 흡수 능력을 발달시키고 지상부 생장 증가에도 영향을 주는데 이러한 건강한 뿌리는 결국 묘목품질 평가의 좋은 지표가 된다(Fox et al., 1990). 특히 수목의 컨테이너 재배는 일정 용적의 컨테이너 내에서 제한된 수분과 양분을 통해 수목이 생장하기 때문에 뿌리의 발달상황은 수목의 생장에 중요한 영향인자라 할 수 있다. 본 연구에서도 관수량 처리에

Table 5. The effect of drip irrigation treatment level on root morphological traits of 4 and 8-year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedlings.

Irrigation treatment (L/year/tree)	Total root length (cm)	Root project area (cm^2)	Root surface area (cm^2)	Root diameter (mm)	Root volume (cm^3)
4-year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedling					
232	11810.8±1216.7c	2571.5±407.0a	8078.5±766.5b	16.2±0.9a	537.6±31.3a
288	18981.1±1105.9a	3415.6±616.1a	10730.4±1305.5a	18.7±1.9a	636.6±81.9a
344	15058.1±607.2b	2722.9±552.8a	8554.4±1080.5b	18.0±1.7a	639.3±67.4a
F-value	37.8***	2.1^{NS}	5.2*	2.2^{NS}	2.5^{NS}
8-year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedling					
360	30333.8±2238.8b	5737.8±145.0b	18025.9±3431.5b	32.0±3.3b	1056.4±57.6b
416	44389.7±2845.4a	7633.5±553.8a	23981.3±1317.9a	43.2±2.5a	1570.9±42.0a
472	44706.0±4121.3a	7328.6±568.1a	23023.4±1784.8a	33.2±4.2b	1154.1±89.0b
F-value	20.1**	14.3**	5.5*	9.9*	51.7***

Values with different letters in a column indicate statistical differences among irrigation treatments at the 5% levels by Duncan's multiple range test. *F*-values with asterisks are statistical significances in one-way ANOVA. *$P \leq 0.05$, **$P \leq 0.01$, ***$P \leq 0.001$ and NS (non-significance) = $P > 0.05$.

따른 왕벚나무 4년생, 8년생의 컨테이너 내 뿌리 발달을 평가하기 위해 총 뿌리길이, 뿌리 표면적, 평균뿌리직경, 뿌리부피를 분석한 결과, 4년생 왕벚나무는 총뿌리길이와 뿌리표면적은 유의적인 차이를 보이며, 288 L/year/tree 처리에서 가장 높은 값을 나타내었고, 평균뿌리직경과 뿌리부피는 관수량 처리에 따른 영향이 없었다(Table 5). 반면, 8년생 왕벚나무의 경우, 총뿌리길이 뿌리표면적, 뿌리평균직경, 뿌리부피 모두 관수량 처리에 따른 유의한 차이를 보였으며, 416 L/year/tree 관수처리에서 가장 높은 값을 나타내었다. 적정 수분 환경은 활발한 광합성 활동에 의해 묘목의 뿌리량 증가를 가져오며, 이는 양분 흡수의 증가와 함께 우수한 생장을 나타낸다(Semchenko et al., 2007). 또한 앞서 언급된 묘고, 근원직경 상대생장률, 물질생산량, 품질지수와 동일한 경향을 보여 연생별로 적정한 관수량 처리가 묘목 생장에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

4. 엽록소 함량

수목에 대한 정확한 품질 평가를 위해 생장 특성과 함께 광합성, 엽록소 형광 반응 등의 생리적 특성을 연계 적용할 필요가 있다(Gazal et al., 2004; Davis and Jacobs, 2005). 엽록소는 광합성에 있어 빛 에너지를 일차적으로 수확하는 색소로 식물의 광합성 능력을 나타내는 지표가 된다. 따라서 관수량 처리에 따른 엽록소a, 엽록소b, 총엽록소 함량, 카르테노이드 함량을 분석한 결과 왕벚나무 4년생은 모든 엽록소 요인에서 유의한 차이를 보였으며, 288 L/year/tree 처리에서 높은 활성을 나타내었다(Figure 5). 반면, 왕벚나무 8년생 경우, 엽록소a와 총엽록소 함량은 416 L/year/tree 처리에서 유의적으로 높은 값을 보였으나, 엽록소b, 카르테노이드 함량은 관수량 처리에 따른 영향을 보이지 않았다(Figure 6). 엽록소 a의 감소는 노화와 스트레스의 지표가 되는 엽록소 a/b의 비율을 감소시키는 것으로 알려져 있으며(Kitajima and Hogan, 2003; Hikosaka and Terashima, 2009), 잎의 엽록소 함량은 온도, 수분, 이산화탄소 등 외부 요인에 의해 영향을 받는다(Hernandez et al., 1995; Gadallah, 1999; Agastian et al., 2000; Brooks et al., 2000). 또한 수분 부족에 따른 스트레스를 받은 수목일수록 엽록소 함량이 감소하는 것으로 알려져 있다(Lauenroth and Dodd, 1981; Kropff, 1987; Dhir et al., 2001; Joshi et al., 2009, Ahn et al., 2013). 따라서 본 연구 결과 관수량 처리에 따라 엽록소 함량의 차이가 유의적으로 관찰되고 생장특성과 동일하게 적정 관수량에서 높은 생리적 활성이 나타나므로 컨테이너 재배 시 적정 관수 실행이 고품질의 수목 생산에 중요한 영향 인자인 것을 알 수 있다.

결 론

조경수 생산에 있어 과도한 관수는 수목의 생장에 부정적 영향을 줄 수 있다(Chappell et al., 2013). 또한 수목의 수분 요구량은 환경조건, 생장특성, 수종별 특성에 따라 다양하기 때문에 정량화하기 어렵고, 수관구조, 잎 형태, 뿌리밀도 등의 특성은 수목의 물의 이동과 수분 요구량에

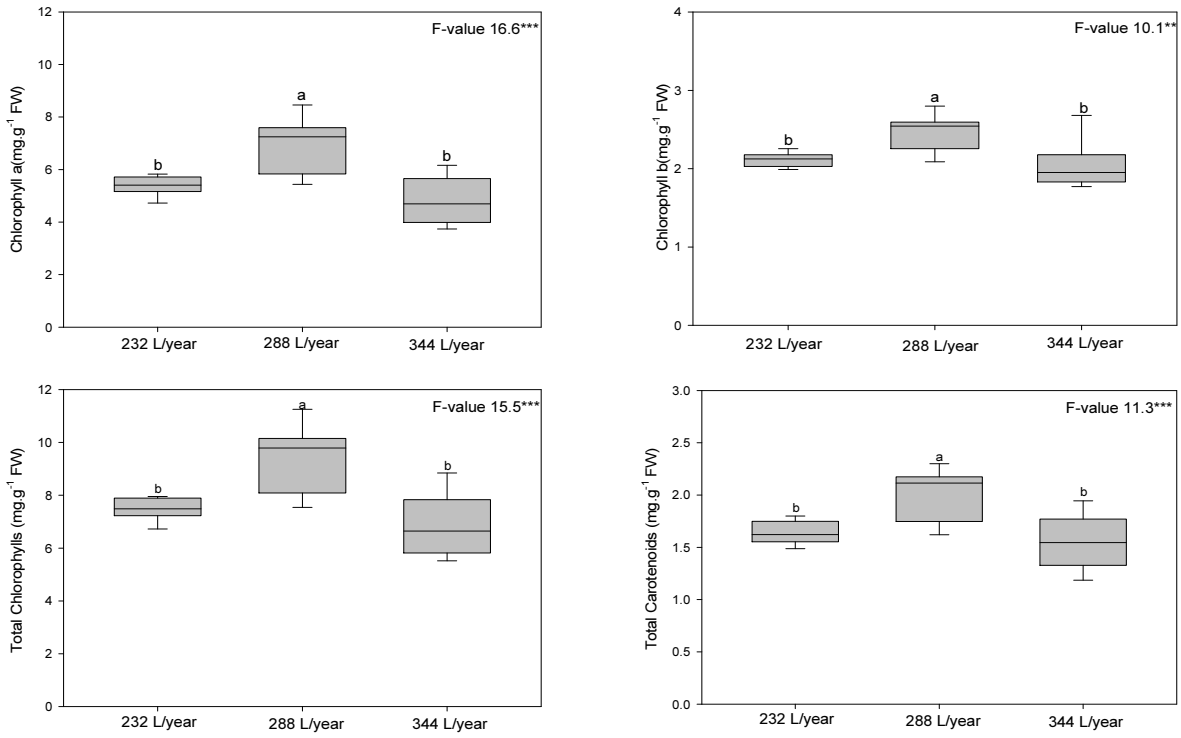

Figure 5. The effect of drip irrigation treatment level on chlorophyll contents of 4 -year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedlings. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test. *F*-value with asterisks are statistical significances in one-way ANOVA. **P*≤0.05, ***P*≤0.01, ****P*≤0.001 and NS (non-significance) = *P*>0.05.

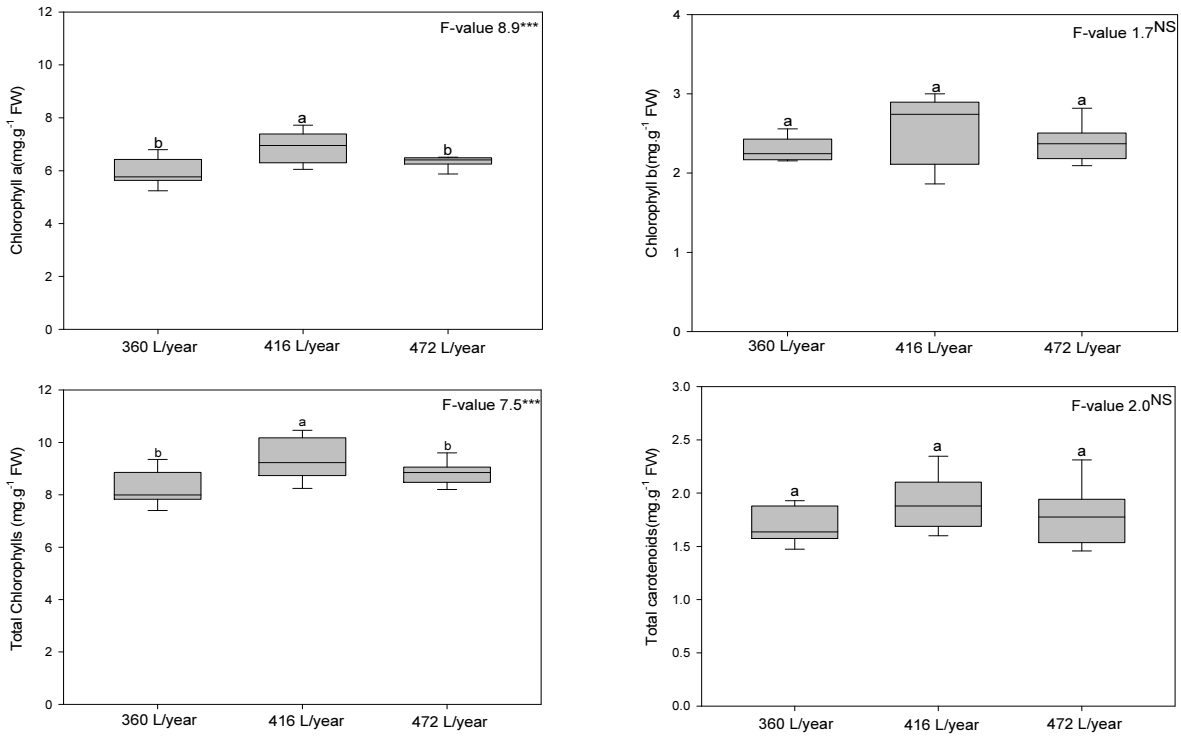

Figure 6. The effect of drip irrigation treatment level on chlorophyll contents of 8 -year-old *Prunus*×*yedoensis* containerized seedlings. Different letters on the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan,s multiple range test .F-value with asterisks are statistical significances in one-way ANOVA. *P≤0.05, **P≤0.01, ***P≤0.001 and NS (non-significance) = P>0.05.

영향을 준다(Ali, 2010). 본 연구결과를 종합적으로 고려해 보면 왕벚나무 4년생, 8년생 묘목을 컨테이너 재배 시 관수량의 차이는 묘목의 형태적 상대생장률, 물질생장량, 묘목품질, 생리적 반응에 영향을 줄 수 있다는 결과가 도출되었으며, 왕벚나무를 컨테이너로 재배 할 시 적절한 관수량은 근원직경 3 cm급의 4년생 묘목은 288 L/year/tree, 근원직경 7 cm급의 8년생 묘목은 416 L/year/tree가 적절한 것으로 판단된다. 향후 관수주기 및 관수조합 등의 추가 연구와 토양수분과의 상관관계 연구가 진행된다면 보다 정밀한 관수량 산정이 가능할 것으로 보인다. 조경수 컨테이너 재배는 제한된 용기 용적 내에서 수목이 생장하기 때문에 토양 내 수분 등의 생육환경이 수목의 품질에 중요한 영향을 미친다. 따라서 수목의 컨테이너 재배 환경에서 수종별 수분 요구에 맞는 적절한 관수 실시로 고품질의 조경수 생산에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

References

Adam, N.R. et al. 2000. Acclimation response of spring wheat in a free-air CO_2 enrichment (FACE) atmosphere with variable soil nitrogen regimes. Photosynthesis Research 66(1): 65-77.

Agastian, P., Kingsley, S.J. and Vivekanandan, M. 2000. Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in Mulberry Genotypes. Photosynthetica 38(2): 287-290.

Ahn, G.Y., Han, S.W. and Lee, E.H. 2013. Soil moisture reduction pattern and that influences for plants in the condition of no Rainfall and no irrigation. Korean Journal of Environment Ecology 27(6): 745-756.

Ali, M.H. 2010. Crop water requirement and irrigation scheduling. Fundamentals of irrigation an on farm water management: vol. 1. Springer, New York, pp. 399-452.

Appleton, B.L. 1995. Nursery production methods for improving tree roots–and update. Journal of Arboriculture 21(6): 265-270.

Bayala, J., Dianda, M., Wilson, J., Ouedraogo, S.J. and Sanon, K. 2009. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. New Forests 38(3): 309-322.

Beeson, R.C.J. and Brooks, J. 2007. Evaluation of a model based on reference crop evapotranspiration (ETo) for precision irrigation using overhead sprinklers during nursery production of *Ligustrum japonica*. Acta Horticulturrae 792.

Beeson, R.C.J. and Knox, G.W. 1991. Analysis of efficiency of overhead irrigation in container production. HortScience 26(7): 848-850.

Beeson, R.C.J. and Yeager, T.H. 2003. Plant canopy affects sprinkler irrigation application efficiency of container-grown ornamentals. HortScience 38(7): 1373-1377.

Beeson, R.C. et al. 2004. Strategic vision of container nursery irrigation in the next 10 years. Journal of Environmental Horticulture 22(2): 113-115.

Briercliffe, T., Hewson, A. and Brough, W. 2000. Independent water audits for container grown nursery stock producers. Summary report for MAFF Water audits.

Cha, Y.G., Choi, K.S., Song, K.S., Sung, H.I. and Kim, J.J.. 2017. Growth characteristics of one-year-old container seedlings of *Pinus densiflora* by irrigation level. Protected Horticulture and Plant Factory 26(3): 167-174.

Chappell, M., Dove, S.K., Van Iersel, M.W., Thomas, P.A. and Ruter, J. 2013. Implementation of wireless sensor networks for irrigation control in three container nurseries. HortTechnology 23(6): 747-753.

Cho, M.S., Lee, S.W., Hwang, J.H. and Kim, J.W. 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(1): 28-38.

Dana, M.N. and Blessing, S.C. 1994. Post-transplant root growth and water relations of *Thuja occidentalis* form field and containers, the landscape below ground. Proceedings of and International Workshop on Tree Root Development in Urban Soils. Society of Arboriculture pp. 98-112.

Davis, A.S. and Jacobs, D.F. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. New Forests 30(2): 295-311.

Dhir, B., Siddiqi, T.O. and Iqbal, M. 2001. Stomatal and photosynthetic responses of *Cichorium intybus* leaves to sulfur dioxide treatment at different stages of plant development. Journal of Plant Biology 44(2): 97-102.

Downes, G., Beadle, C. and Worledge, D. 1999. Daily stem growth patterns in irrigated *Eucalyptus globulus* and E-nitens in relation to climate. Trees 14(2): 102-111.

Fox, J.E.D., Surata, I.K. and Suriamidhardja, S. 1990. Nursery potting mixture for *Santalum album* L. in Timor. Mulga Research Centre Journal 10: 38-44.

Gadallah, M.A.A. 1999. Effects of proline and glycinebetaine on *Vicia faba* responses to salt stress. Biologia plantarum 42(2): 249-257.

Gazal, R.M., Blanche, C.A. and Carandang, W.M. 2004. Root growth potential and seedling morphological attributes of narra (*Pteracarpus indicus* Willd.) transplants. Forest

Ecology and Management 195(1-2): 259-266.

Harris, G.L., Hodgkinson, R.A., Scott, M., Mason, D.J. and Pepper, T.J. 1997. Impact of hardy ornamental nursery stock (HONS) systems on the environment: losses of nutrients and agrochemicals. Agricultural Water Management 34(1): 95-110.

Henson, D.Y., Newman, S.E. and Hartley, D.E. 2006. Performance of selected herbaceous annual ornamentals grown at decreasing levels of irrigation. HortScience 41(6): 1481-1486.

Hernández-Pérez, A,, Valdez-Aguilar, L.A., Villegas-Torres, O.G., Alía-Tejacal, I., Trejo-Téllez, L.I. and Sainz-Aispuro, M.d.J., 2016. Effects of ammonium and calcium on lisianthus growth. Horticulture Environment and Biotechnology 57(2): 123-131.

Hikosaka, K. and Terashima, I. 2009. A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C_3 plants to sun and shade with respect to nitrogen use. Plant Cell & Environment 18(6): 605-618.

Hiscox, J.D. and Israelstam, G.F. 1978. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany 57(12): 1332-1334.

Joshi, N., Chauhan, A. and Joshi, P.C. 2009. Impact of industrial air pollutants on some biochemical parameters and yield in wheat and mustard plants. Environmentalist 29(4): 398-404.

Kim, D.U. and Kim, M.S. 2000. Effects of root restriction by clay pot and root control bag on growth of *Acer palmatum*. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 28(4): 1-8.

Kim, T.J. and Kim, H.B. 2001. The effects of containerized landscape tree prodution methods on post-transplant stress. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 29(1): 152-160.

Kitajima, K. and Hogan, K.P. 2003. Increases of chlorophyll a/b ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation and high light. Plant Cell & Environment 26(6): 857-865.

Kramer, P.J. 1983. Water relations of plants. Academic Press, New York. pp. 489.

Kropff, M.J. 1987. Physiological effects of sulphur dioxide. 1. The effect of SO_2 on photosynthesis and stomatal regulation of *Vicia faba* L. Plant Cell & Environment 10(9): 753-760.

Kwon, K.W., Cho, M.S., Kim, G.N., Lee, S.W. and Jang, K.H. 2009. Photosynthetic characteristics and growth performances of containerized seedling and bare root seedling of *Quercus acutissima* growing at different fertilizing schemes. Journal of Korean Forest Society 98(3): 331-338.

Lambers, H. and Poorter, H. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. Advances in Ecological Research 23: 187-261.

Lauenroth, W.K. and Dodd, J.L. 1981. Chlorophyll reduction in western wheatgrass (*Agropyron smithii* Rydb.) exposed to sulfur dioxide. Water, Air, and Soil Pollution 15(3): 309-315.

Lee, S.W., Choi, J.H., Yoo, S.K., Kim, S.K., Bae, J.H. and Han, S.K. 2006. Effect of raw material properties on growth characteristics of broad-leaved container seedlings. Journal of Bio-Environment Control 15(3): 244-249.

Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pogments of Photosynthetic Biomembranes. pp. 350-382.

Martin, C.A. and Battacharya, S. 1995. Effects of cupric hydroxide-treated containers on growth of four southwestern desert landscape trees. Journal of Arboricuture 21(5): 235-238.

Mattsson, A. 1997. Predicting field performance using seedling quality assessment. New Forests 13(1): 227-252.

Olga, M.G., Michael, J.D., Helen, L. and Christopher, J.A. 2009. Irrigation scheduling and irrigation systems: optimising irrigation efficiency for container ornamental shrubs. Irrigation Science 27(2): 139-153.

Rhee, H.C., Cho, M.W., Um, Y.C., Park, J.M. and Lee., J.H. 2008. Control of irrigation amount for production of high quality fruit in melon fertigation cultivation. Journal of Bio-Environment Control 17(4): 288-292.

Seiler, J.R. and Johson, J.D. 1988. Physiological and morphological responses of three half-sib families of loblolly pine to water-stress conditioning. Forest Science 34(2): 487-495.

Semchenko, M., Hutchings, M.J. and John, E.A. 2007. Challenging the tragedy of the commons in root competition: confounding effects of neighbour presence and substrate volume. Journal of Ecology 95(2): 252-260.

Seok, H.D., Yoon, T.S., Han, D.H., Jang, C.S., An, S.J. and Park, J.E. 2014. A study on ways to develop the production and distribution system for landscaping tress. Korea Rural Economic Institute.

Stoochnoff, J.A., Graham, T. and Dixon, M.A. 2018. Drip irrigation scheduling for container grown trees based on plant water status. Irrigation Science 36(3): 179-186.

Struve, D.K. 1994. The copper connection. American Nurseryman 179(4): 52-54.

Whitcomb, C.E. 1984. Reducing stress and accelerating growth of landscape plants. Journal of Arboriculture 10(1): 5-7.

Wright, I.J., Reich, P.B. and Westoby, M. 2001. Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high- and low-nutrient habitats. Functional Ecology 15(4): 423-434.

Manuscript Received : May 10, 2022
First Revision : July 8, 2022
Second Revision : August 15, 2022
Accepted : September 5, 2022