

수용성 비료의 시비수준에 따른 헛개나무 용기묘(1-0)의 생장 및 묘목품질

이혁¹ · 윤준혁¹ · 이도형^{2*}

¹국립산림과학원 산림바이오소재연구소, ²영남대학교 산림자원학과

Growth and Seedling Quality of *Hovenia dulcis* Thunb. Container Seedlings (1-0) According to Fertilization Levels of Water-soluble Fertilizers

Hyeok Lee¹, Jun-Hyuck Yoon¹ and Do-Hyung Lee^{2*}

¹Forest Biomaterial Research Center, National Institute of Forest Science, Jinju 52817, Korea

²Department of Forest Resources, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Korea

요약: 본 연구는 헛개나무(*Hovenia dulcis* Thunb.) 묘목 생산을 위한 적정 시비수준을 밝히고자 수행되었다. 헛개나무 1년생 용기묘를 대상으로 6가지 시비수준(대조구, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 g·L⁻¹)에 따른 용기묘의 간장, 근원경, 물질생산량, 묘목품질지수, 엽록소 함량 등을 조사하였다. 연구 결과, 헛개나무 용기묘는 시비수준이 높아짐에 따라 간장 및 근원경 생장과 건중량이 증가하였으나, 1.5 g·L⁻¹ 이상의 처리구에서는 큰 차이가 없었으며, 간장 생장의 경우 2.5 g·L⁻¹ 시비처리구에서 유의적으로 낮은 값을 나타냈다. 묘목품질지수는 1.5 g·L⁻¹ 이상 처리시, 처리구간 유의적 차이가 없는 높은 값을 보였으며, 엽록소 함량은 1.5 g·L⁻¹ 처리구에서 가장 높은 값을 나타냈다. 시비처리에 따른 환경적, 비용적 측면을 고려하였을 때, 우량 헛개나무 용기묘 생산을 위하여 요구되는 적절한 시비수준은 1.5 g·L⁻¹이며, 최소한의 묘목규격을 충족시키기 위해서는 적어도 0.5 g·L⁻¹의 시비처리가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 약용 및 밀원자원으로 이용되는 헛개나무의 효율적인 묘목 생산체계 구축 및 안정적인 묘목 공급을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract: This study aimed to determine the optimal fertilization level for the production of *Hovenia dulcis* Thunb. seedlings. The height, root collar diameter, biomass, seedling quality index, and chlorophyll content of *Hovenia dulcis* container seedlings (1-0) according to six fertilization treatments (control, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 g·L⁻¹) were investigated. The height, root collar diameter, and biomass of *Hovenia dulcis* container seedlings increased with increasing fertilization, but there were no significant differences among the ≥ 1.5 g·L⁻¹ treatments, and the 2.5 g·L⁻¹ fertilization treatment was associated with significantly lower height growth. The seedling-quality index showed a high but non-significant difference in the ≥ 1.5 g·L⁻¹ treatment range, and the chlorophyll content was highest in the 1.5 g·L⁻¹ treatment group. Considering the environmental and cost aspects of fertilization, the appropriate level of fertilization required for superior container seedling production of *Hovenia dulcis* was 1.5 g·L⁻¹, and a minimum fertilization treatment of ≥ 0.5 g·L⁻¹ should be applied to meet the minimum seedling specifications. These results are expected to be used as basic data for establishing an efficient seedling-production system and stable supply of *Hovenia dulcis*, which is used as a medicinal and honey plant.

Key words: *Hovenia dulcis*, container seedling, fertilization, seedling quality

서 론

헛개나무(*Hovenia dulcis* Thunb.)는 한국, 중국, 일본이 원산지인 갈매나무과의 낙엽 활엽교목으로, 우리나라 중

부 이남 표고 800 m 이하 산복 이하에 자생한다(Lee et al., 2010). 헛개나무는 추출물의 숙취해소 및 간 기능 보호 작용 등에 우수한 효과가 나타났으며(Na, 2000), 약용자원, 식품, 화장품 등의 원료로써 활용되고 있다(Kim et al., 2010; Na et al., 2013; Kwon et al., 2020). 또한, 헛개나무의 꿀은 항산화 활성 및 요산과 멜라닌 생성 억제효과가 있으며(Korea Forest Research Institute, 2008; Han et al., 2010; Paik et al., 2015), 헛개나무의 화밀 분비량은 주요

* Corresponding author
E-mail: dhlee@yu.ac.kr

ORCID

Do-Hyung Lee  <https://orcid.org/0000-0002-9411-7140>

밀원수종인 아까시나무보다 많아 밀원수종으로의 활용 가치도 높다(Han and Kim, 2008).

활용 가치가 높은 헛개나무의 생산성 증진을 위한 연구는 과병의 다수확 우량개체 선발 및 품종 육성 연구 등이 있으며(Chung et al., 2004), 헛개나무 대량 생산을 위한 연구로는 종자 정선 및 발아, 삽목 및 접목 증식, 기내 번식 등이 이루어졌다(Lee, 2001; Eom et al., 2002; Lee, 2003; Song et al., 2014). 한편, 헛개나무 양묘 기술 연구로, 플라스틱 망포트를 활용하여 용기묘 생산을 위한 용기 종류와 용적에 관한 연구가 있었으나(Yoon and Hong, 2004), 추가적인 양묘기술에 대한 연구는 부족한 실정이다.

시설양묘는 노지양묘에 비해 비교적 짧은 양묘기간과 연중 식재 가능, 노동력 절감 등의 장점이 있다(Cho et al., 2015). 시설양묘를 통해 생산되는 용기묘는 노지묘보다 높은 뿌리 성장 잠재력을 가져 식재 시 수분 스트레스에 대한 내성이 높으며, 높은 생존율을 보인다(Grossnickle and El-Kassaby, 2016). 용기묘를 생산하기 위해서는 온도, 습도, 광, 이산화탄소 등의 생육환경 조절과 양묘 용기와 생육 상토의 선택, 관수와 시비 기술 등이 중요한 요소로 적용된다(Landis et al., 1989; 1990; 1992). 그중 시비는 용기묘의 성장과 묘목 규격을 조절할 수 있는 가장 중요한 요소 중 하나이다(Landis et al., 1989).

용기묘 대상으로 시비 기술에 대한 연구가 다양한 측면에서 이루어지고 있다. 비료의 제형에 따라 영양소의 가용성과 방출 패턴을 조절할 수 있으며(Fu et al., 2017), 유박, 퇴비, 무기물 비료 등 비료의 급원은 묘목의 성장에 영향을 미친다(Jin et al., 2022). 묘목의 성장 속도와 패턴에 맞춰 시기별로 다르게 시비를 하고, 최적의 묘목 성장을 위해 비료의 양분 비율을 조절할 수 있다(Hwang et al., 2005). 한편, 시비량의 조절도 시비 기술의 중요한 요소 중 하나로, 적절한 양의 시비는 수중에 따라 요구하는 양분을 제공함으로써 높은 품질의 묘목을 생산할 수 있다(Landis et al., 1989). 또한, 과도한 시비로 인한 영양 스트레스와 성장 불량을 방지할 수 있으며, 침출 및 유출을 통한 영양소 손실을 최소화하고 주변 환경에 대한 오염을 줄일 수 있다(Park et al., 2013).

본 연구에서는 우량한 헛개나무 용기묘 생산에 필요한 적절한 시비수준 규명을 위해 6가지 수준으로 시비처리를 실시하였으며, 시비수준에 따른 헛개나무 용기묘의 성장 특성, 및 엽록소 함량을 조사·분석하였다. 본 연구 결과는 헛개나무 묘목 생육에 요구되는 적정 시비수준의 범위를 밝혀 건전한 묘목 생산을 위한 기초자료로 사용될 것으로 기대된다.

재료 및 방법

1. 시험지 및 공시수종

시험지는 경상북도 경산에 위치한 영남대학교 유리온실 (N 35° 49', E 128° 45')이며, 공시 수종은 헛개나무 (*Hovenia dulcis*)로, 2020년 10월에 교내의 15년생 헛개나무에서 열매를 채취하였다. 채집한 열매를 실온에서 건조한 후 과병을 제거하였으며, 건조된 열매를 손으로 마찰시켜 탈종하였다. 이후 채로 불순물을 제거하고 물에 가라앉은 종자만 선별하였으며, 선별한 종자는 5개월간 5°C 저온 저장고에 보관하였다. 파종 2주 전 95% 농황산을 45분 동안 처리한 후에 흐르는 물에 24시간 동안 침지하였다. 침지가 완료된 종자와 젖은 모래를 혼합하여 비닐에 담아 5°C 저온저장고에서 2021년 3월 9일부터 3월 23일까지 2주간 저온습사 처리를 하였다(Lee, 2003).

2. 양묘 방법 및 시비처리

파종은 종자의 저온습사 처리를 마친 3월 23일에 실시하였으며, 파종 2주 후 유묘를 생육상토(Hardwood; Taeheung F&G, Korea)를 채운 용기 용적 500 ml의 15구 용기(KK-SI 500, Shinill Science, Korea)에 이식하였다. 해당 용기는 헛개나무(1-0) 생산용 용기로 제시되었으며(Kim et al., 2006), 활엽수 대묘 생산에 활용되고 있다(Korea Forest Service, 2020). 이식 후 회전식 스프링클러와 타이머를 이용해 매일 20 L/m² 기준으로 관수하였다.

시비처리는 5월 31일부터 13주 동안 수용성 복합비료인 Multifeed 20(N : P₂O₅ : K₂O = 20 : 20 : 20, Haifa Chemicals., Israel)을 주 1회 관수와 병행하여 실시하였다. 산림청 종묘사업실시요령에 활엽수 용기묘의 시비기준은 10-20 g·20 L⁻¹·m²이며(Korea Forest Service, 2020), 본 연구에서의 시비는 산림청 기준의 250%까지의 수준인 6가지 농도(대조구, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 및 2.5 g·L⁻¹·m²)로 처리하였다. 15구의 양묘 용기는 각 처리구당 4반복으로 배치하였으며, 총 360본의 용기묘를 대상으로 시비를 실시하였다.

3. 측정 및 결과 분석

1) 성장특성

시비처리에 따른 성장특성을 조사하기 위하여 5월 말 시비처리 실시 전과 그 후로 14일 간격으로 8월 말까지 처리별 묘목을 용기 당 각 4본씩 총 16본을 선정하여 근원경과 간장을 측정하였다. 간장은 절척(Stabila Serie 600, Stabila Co., Germany)를 이용하여 근원부부터 정아까지의 길이를 측정하였으며, 근원경은 디지매틱 캘리퍼스(CD-15CPX, Mitutoyo Corp. Japan)를 이용해 줄기가 상토에

닿는 부위의 직경을 측정하였다. 측정된 근원경과 간장을 각각의 단위 기간의 일수 및 총 양묘 일수로 나누어 상대 생장률을 계산하였다(Hughes and Freeman, 1967). 또한 양묘된 묘목의 건전도를 판단할 수 있는 H/D율을 계산하였다(Haase, 2007).

2021년 8월 말 실험 종료 후 묘목을 각 처리별 16본씩 굴취하여, 건조기(LFO-1150, LabTech, Korea)에서 65°C로 48시간 건조한 뒤 잎, 줄기 및 뿌리로 구분하여 전자저울(E02140, OHAUS Co., Switzerland)로 측정하였다. 건조량 측정결과에 의해 묘목 각각의 부위별 물질생산량, 총 물질생산량과 T/R율을 계산하였다(Haase, 2008). 또한 양묘된 묘목의 품질을 판단하기 위해 품질지수를 나타내는 Seedling Quality Index (SQI)를 계산하였으며(Dickson et al., 1960), 계산식은 다음과 같다.

$$SQI = \frac{\text{Total dry weight (g)}}{\frac{\text{Height (cm)}}{\text{Root collar diameter (mm)}} + \frac{\text{Top dry weight (g)}}{\text{Root dry weight (g)}}}$$

2) 엽록소 함량

시비수준에 따른 묘목의 엽록소 함량 차이를 조사하기 위하여 실험이 종료되는 2021년 8월 30일에 엽록소 함량을 측정하였다. 각 처리구 마다 평균적인 생육상태의 묘목 4본을 선정하여 각 개체의 선단에서 2~3번째 잎을 채취하였다. 채취한 잎은 50 mg씩 잘라내어 시약병에 넣고 DMSO(Dimethyl sulfoxide) 용액을 5 ml를 넣어 65°C 항온기(WBC-1520A, Jeio Tech Co., Ltd. Korea)에서 6시간 동안 엽록소를 추출하였다(Hiscox and Israelstam, 1979). 추출한 용액을 UV-Visible spectrophotometer(U-2900, Hitachi Co., Japan)를 이용하여 663 nm와 645 nm의 파장에서 흡

광도를 측정하고, 다음 계산식(Mackinney, 1941; Arnon, 1949)을 이용하여 엽록소 a, b 그리고 총 엽록소 함량을 구하였다.

$$\text{Chlorophyll a (mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh weight)} = 12.7 \times A_{663} - 2.69 \times A_{645}$$

$$\text{Chlorophyll b (mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh weight)} = 22.9 \times A_{645} - 4.68 \times A_{663}$$

$$\text{Total chlorophyll (mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh weight)} = 8.02 \times A_{663} + 20.20 \times A_{645}$$

4. 통계분석

시비처리에 따른 간장, 근원경, 물질생산량, 묘목품질지수, 엽록소 함량을 비교, 분석하기 위해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였으며, 처리 간 평균 차이에 대한 유의성을 검정하고자 5% 유의수준에서 Duncan의 다중검정법(Duncan's multiple range test)을 실시하였다. 통계분석은 SPSS Version 25 (IBM, USA)를 이용하였다

결과 및 고찰

1. 간장 및 근원경 생장

시비의 목적은 묘목의 품질을 향상시키는 것이며, 간장과 근원경은 묘목의 품질을 측정하는 중요한 지표로서 시비의 효과를 간접적인 관점에서 반영할 수 있다(Castro-Garibay et al., 2018; Ni et al., 2022). 8월 말, 마지막 시비 처리 이후 측정된 헛개나무 용기묘의 간장과 근원경의 생장은 처리구간 유의한 차이를 나타냈으며(Table 1, $P < 0.001$), 시비수준이 높아짐에 따라 생장량도 높아지는 경향을 보였다. 하지만 1.5 g·L⁻¹ 이상의 시비처리구 간에는 유의적

Table 1. The growth of root collar diameter and height and H/D ratio of container seedlings of *Hovenia dulcis* grown at six different fertilization treatments.

Fertilization treatment (g·L ⁻¹)	Height		Root collar diameter		H/D ratio (cm·mm ⁻¹)
	Growth (cm)	Relative growth rate (cm·day ⁻¹)	Growth (mm)	Relative growth rate (mm·day ⁻¹)	
Control	9.66±1.76 ^d	0.051±0.013 ^d	2.69±0.34 ^d	0.017±0.004 ^d	3.63±0.70 ^c
0.5	81.50±5.76 ^c	0.783±0.056 ^c	5.11±0.38 ^c	0.042±0.004 ^c	16.05±1.95 ^{ab}
1.0	102.25±4.44 ^b	0.989±0.049 ^b	5.94±0.57 ^b	0.051±0.006 ^b	17.37±1.90 ^a
1.5	109.94±7.43 ^a	1.066±0.082 ^a	6.48±0.62 ^a	0.056±0.007 ^a	17.16±2.47 ^{ab}
2.0	108.38±7.68 ^a	1.050±0.083 ^a	6.69±0.43 ^a	0.057±0.005 ^a	16.27±1.58 ^{ab}
2.5	99.25±10.23 ^b	0.962±0.094 ^b	6.29±0.80 ^{ab}	0.054±0.008 ^{ab}	15.88±1.41 ^b
F-value	514.01 ^{***}	514.29 ^{***}	121.20 ^{***}	118.11 ^{***}	146.52 ^{***}

Note. ^aMean±SD(n=16). ^{***} $P < 0.001$. F-values are statistical significance in one-way ANOVA. Different letters on the each columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

인 차이가 없었으며, 고농도의 2.5 g·L⁻¹ 시비처리구의 간장 성장량은 오히려 낮게 나타났다. 이는 시비처리가 묘목의 성장에 긍정적인 영향을 미치지 않지만(Park and Lee, 2020; Sung et al., 2020; Eo et al., 2021), 과도한 시비는 수중에 따라 성장저해를 보일수 있다는 것을 나타낸다(Choi et al., 2019). 헛개나무는 2.5 g·L⁻¹ 시비처리구에서 묘목의 양분 요구도 보다 높은 수준의 시비로 인해 독성 피해가 발생된 것으로 판단된다. 헛개나무 용기묘의 간장은 1.5 g·L⁻¹ 시비처리구에서 대조구의 약 11배인 109.94±7.43 cm로 가장 높게 조사되었으며, 근원경은 2.0 g·L⁻¹ 처리구에서 대조구의 약 2.5배인 6.69±0.43 mm로 가장 높게 조사되었다. 식물의 탄소동화작용에 필요한 양분이 충분히 공급됨에 따라 묘목의 성장이 활발히 이루어지는데(Wallenda et al., 1996; Malik and Timmer, 1998), 시비처리를 하지 않은 대조구에서는 간장이 9.66±1.76 cm, 근원경이 2.69±0.34 mm로 시비처리구에 비하여 매우 낮은 성장량을 보였다.

헛개나무의 H/D율은 처리구간에 유의한 차이가 났으며 ($P<0.001$), 시비처리구가 대조구보다 약 4.3~4.7배의 H/D율(15.88~17.37 cm·mm⁻¹)을 나타냈다(Table 1). H/D율은 묘목의 초살도를 나타내며, 초살도가 높은 묘목은 바람, 가뭄 등에 의한 손상에 더 취약하여 식재 시 주의가 필요하다(Haase, 2008). 하지만 수중에 따라 근원경과 간장의 성장비율이 다르기 때문에 수종마다 적용하는 H/D율이 다른데, 헛개나무의 경우 노지묘 기준 약 17 cm·mm⁻¹ 정도

이며, 활엽수 용기묘(1-0)의 H/D율 평균인 13.5±4.3(5~22) cm·mm⁻¹에 비해 높은 편에 속한다(Korea Forest Service, 2020). 따라서 시비처리에 의해 나타난 헛개나무의 H/D율은 적절한 수준으로 판단된다.

헛개나무 용기묘의 상대성장률은 대조구에서 생육기간이 지날수록 지속적으로 감소하는 경향을 보였으나, 시비처리구에서는 생육기간이 지날수록 상대성장률이 증가하다가 감소하는 경향을 보였다(Figure 1). 시비처리구는 6/22~7/6과 7/20~8/3에 상대성장률이 높은 것을 볼 수 있으며, 헛개나무는 2차 성장 패턴을 보이는 것으로 판단된다(Cho et al., 2011). 한편, 시비처리를 한 모든 처리구에서 6/22~7/6에 간장의 상대성장률이 가장 높게 나왔으나, 같은 기간에서 근원경의 상대성장률은 시비처리를 한 모든 처리구에서 가장 낮은 상대성장률을 보였다. 이후 7/6~7/20에 간장의 상대성장률은 급격히 떨어지고 근원경의 상대성장률이 급격히 증가하였는데, 광합성 산물이 집중되는 부위가 생육 시기에 따라 다른 것으로 판단된다. *Eucalyptus globulus*를 대상으로 시비처리를 한 Acevedo et al.(2021)의 연구에서도 초기 높은 간장 상대성장량을 보이고 이후 지속되는 근원경 성장 패턴을 보였으며, 높은 질소 시비처리구에서 비교적 낮은 상대성장률을 보였다. 이는 본 연구에서 적절한 시비수준에서 가장 우수한 성장을 보인 결과와 유사하다(Table 1).

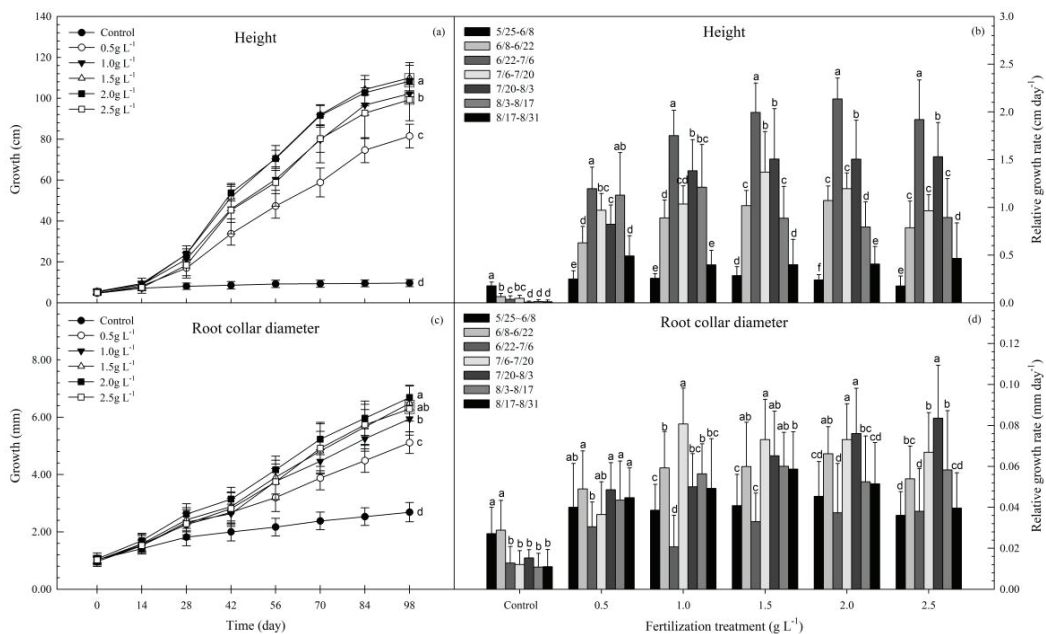


Figure 1. The growth patterns of height and root collar diameter of container seedling of *Hovenia dulcis* under six different fertilization treatment. Note. a: Height growth, b: Height relative growth rate, c: Root collar diameter growth, d: Root collar diameter relative growth rate. Vertical bars represent SD of the mean (n=16). Different letters on the each columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

2. 물질생산량 및 묘목품질지수

헛개나무 용기묘의 총 물질생산량과 부위별 물질생산량은 시비처리에 따라 유의한 차이를 나타냈다(Table 2, $P < 0.001$). 물질생산량도 간장과 근원경의 성장과 같이 시비수준이 높아짐에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 뿌리 물질생산량을 제외한 잎, 가지, 총 물질생산량은 고농도의 $2.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 시비처리구에서 낮게 나타났다. 이는 우수한 근원경과 간장 성장을 보인 시비처리구에서 높은 물질생산량과 양분이용효율이 나타난다고 보고한 Cho et al.(2015)의 연구결과와 유사한 경향을 보였다. 시비처리를 하지 않은 대조구에서는 총 물질생산량이 1.51 g 으로 가장 낮은 생산량을 보였으며, $2.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 시비처리구에서 총 물질생산량이 21.06 g 으로 대조구에 비해 매우 높은 물질생산량을 보였다(Table 2). 이는 열대림 속성수인 *Acacia mangium* 용기묘(1-0)와 우리나라 주요 활엽수 조림수종인 느티나무, 참느릅나무, 거제수나무, 피나무의 용기묘(1-0)보다 높은 물질생산량을 나타내(Cho et al., 2011; Cho et al., 2015), 헛개나무는 물질생산 속도와 시비에 대한 양분이용 효율이 높은 것으로 판단된다.

한편, 헛개나무 용기묘의 뿌리 물질생산량은 과시비로 인한 성장 감소 없이 시비수준이 높아짐에 따라 증가하였고, 대조구와 시비처리구 간에 큰 차이가 나타났지만 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 시비처리구 간에는 큰 차이가 나타나지 않았다. 이는 Cho et al.(2011)의 *Acacia mangium* 용기묘(1-0)와 유사한 결과를 나타내었으며, 시비로 인해 뿌리 생장이 이루어졌지만 용기 용적으로 인해 헛개나무 뿌리 성장에 제한이 있었던 것으로 판단된다.

T/R율은 지하부 건중량에 대한 지상부 건중량의 비율로 지상부와 지하부의 균형을 측정하는 수단으로 고안된 묘목품질 평가요소이다(Haase, 2008). 일반적으로 낮은 T/R율을 가진 묘목이 건전한 묘목으로 평가되나, 지상부의 건

중량이 과도하게 저조할 경우에는 T/R율이 낮아도 건전하지 않은 묘목일 수 있으므로 묘목의 적절한 성장을 고려하여 평가하여야 한다(Sung, 2011). 시비처리에 따른 헛개나무 용기묘의 T/R율은 대조구에서 $0.44 \pm 0.10 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 로 가장 낮았고 $2.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리구에서 $3.41 \pm 0.37 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 로 가장 높았다. $1.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 처리구 간에는 유의미한 차이를 보이지 않았는데, 이는 시비수준이 높아지면서 지상부의 성장량이 높게 나타는데 반해, 지하부의 성장량은 제한된 용기 용적으로 인해 처리 간에는 큰 차이가 나타나지 않았기 때문으로 판단된다. T/R율과 지상부의 물질생산량이 높은 묘목은 조림 시에 수분 스트레스 저항 능력을 떨어뜨려 불량한 이식 성과를 보일 수 있다(Aranda et al., 2002; Cho et al., 2011). 그러나 본 실험에서는 용기 내에 뿌리 분(plug)이 형성되어 근계가 잘 발달한 형태를 보였으며, 식재 시 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

양묘된 묘목의 품질지수를 나타내는 묘목품질지수(Seedling Quality Index; SQI)는 처리구 간 유의한 차이를 나타냈다(Figure 2, $P < 0.001$). 묘목품질지수는 대조구에서 0.38 ± 0.16 으로 가장 낮았고 시비수준이 높아짐에 따라 증가하였으며, 높은 건중량과 비교적 낮은 H/D율 및 T/R율을 보인 $2.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리구에서 1.08 ± 0.23 로 가장 높게 나타났다. 그러나 $1.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 처리구 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다(Figure 2). 우리나라 수종은 보통 1~3의 묘목품질지수를 보이지만 헛개나무 용기묘는 지상부의 생장이 매우 높게 나타나 높은 H/D율과 T/R율에 의해 묘목품질지수가 전체적으로 낮게 나타났다. 이는 Cho et al.(2011)의 연구와 유사한 경향을 나타내었는데, *Eucalyptus pellita*의 경우에도 시비수준에 따라 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 처리구에서 가장 높은 성장을 보였으나, H/D율과 T/R율이 높게 나타나 묘목품질지수가 약 0.62 수준으로 낮게 나타났다. 수종에 따라 성장 특성이 달라 묘목품질지수의 수준도 다르게

Table 2. The effect of fertilization on the biomass and T/R ratio of *Hovenia dulcis* container seedlings.

Fertilization treatment ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	Biomass (g, Dry weight)				T/R ratio ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
	Leaves	Shoot	Root	Total	
Control	0.23 ± 0.07^c	0.21 ± 0.07^c	1.06 ± 0.38^c	1.51 ± 0.47^d	0.44 ± 0.10^d
0.5	2.91 ± 0.48^d	3.28 ± 0.51^d	3.86 ± 0.82^b	10.04 ± 1.41^c	1.66 ± 0.35^e
1.0	4.49 ± 0.93^c	6.15 ± 1.06^c	4.37 ± 1.30^{ab}	15.00 ± 3.07^b	2.55 ± 0.47^b
1.5	5.98 ± 1.59^b	8.44 ± 1.85^{ab}	4.60 ± 1.67^{ab}	19.02 ± 4.94^a	3.32 ± 0.59^a
2.0	7.07 ± 1.38^a	9.16 ± 1.50^a	4.82 ± 0.99^a	21.06 ± 3.50^a	3.41 ± 0.37^a
2.5	6.66 ± 1.63^{ab}	7.71 ± 1.97^b	4.84 ± 1.74^a	19.21 ± 5.13^a	3.14 ± 0.65^a
F-value	80.22***	104.82***	21.60***	70.60***	103.97***

Note. ^aMean \pm SD(n=16). *** $P < 0.001$. F-values are statistical significance in one-way ANOVA. Different letters on the each columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

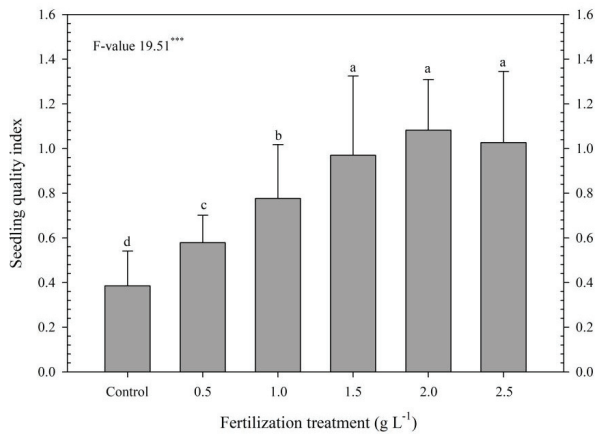


Figure 2. Effect of fertilization treatment on the seedling quality index (SQI) of container seedling of *Hovenia dulcis*. Note. Vertical bars represent SD of the mean (n=16). ***P < 0.001. F-values are statistical significance in one-way ANOVA. Different letters indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

나타나지만, 적절한 수준으로 시비처리를 하였을 때 높은 품질지수를 보인다(Pinho et al., 2019; Choi et al., 2019; Madrid-Aispuro et al., 2020). 묘목품질지수는 묘목의 품질, 견고성, 식재 성능 등을 나타내는 지표로, 높은 묘목품질지수를 보인 1.5 g·L⁻¹ 이상의 시비처리가 가장 건전한 묘목을 생산할 것으로 기대할 수 있다(Bayala et al., 2009; Schwartz et al., 2020).

3. 엽록소 함량

시비처리가 헛개나무 용기묘의 엽록소 함량에 미치는 영향을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 엽록소 함량은 엽록소 a, b, 총 엽록소 함량 모두 시비수준에 영향을 받았으며(P<0.001), 엽록소 a/b율도 처리 간 차이가 있는 것으로 나타났다(P<0.001). 엽록소 함량의 경우, 시비수준이 증가

함에 따라 엽록소 함량도 증가하였으나, 1.5 g·L⁻¹ 이상의 처리구 간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 식물체 내의 엽록소 함량은 비료 내 질소의 함량과 밀접한 관계가 있으며(Bojović and Marković, 2009), Skudra and Ruza (2017)는 엽록소 함량 변화를 통해 성장기의 수확량을 평가할 수 있다고 보고하였다. Eo et al.(2021)은 갈매나무과의 상동나무를 대상으로 시비처리를 한 연구에서 2.0 g·L⁻¹의 높은 시비처리구에서 엽록소 함량을 간접적으로 나타내는 SPAD의 수치가 높게 나타났다. 본 연구에서 헛개나무의 엽록소 함량도 시비수준이 높아짐에 따라 엽록소 함량이 증가하는 경향을 보였으며, 높은 엽록소함량을 보인 1.5 g·L⁻¹ 이상의 처리구에서의 묘목 생장이 높게 나타나, Skudra and Ruza(2017)의 결과와 같은 경향을 나타내었다. 이는 시비처리에 의해 양분조건이 적절하게 유지되어 헛개나무의 엽록소 함량이 증가하고, 생육활동이 활발히 이루어 지는 것으로 판단된다. 엽록소 a/b율은 대조구에서 2.09±0.82로, 시비처리구의 3.79-4.27에 비하여 낮은 비율을 보여, 시비의 유무에 따라 엽록소 a/b율에 유의미한 차이가 났다. 하지만 시비처리구에서 농도 처리에 따른 차이는 나타나지 않았다. Kwon et al.(2009)과 Cho et al.(2011)의 연구에서 시비처리에 따른 용기묘의 엽록소 a/b율이 시비처리구가 무시비처리구보다 높게 나타난 것과 유사한 결과를 보였다. 일반적으로 식물의 엽록소 a/b율이 3-4 정도 인것을 고려하면(Hirashima et al. 2006), 시비 대조구에서의 낮은 엽록소 a/b율은 양분 부족으로 인한 엽록소 생합성 저하로 인해 나타난 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 밀원 및 약용자원으로 활용되고 있는 헛개나무의 우량 묘목 생산을 위한 적정 시비기준 구명을 목적으

Table 3. Effects of fertilization concentrations on chlorophyll contents and Chlorophyll a/b ratio of *Hovenia dulcis* container seedlings.

Fertilization treatment (g·L ⁻¹)	Chlorophyll contents (mg·g ⁻¹ fresh weight)			Chlorophyll a/b ratio
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	
Control	3.73±0.44 ^d	2.01±0.79 ^d	5.73±1.13 ^d	2.09±0.82 ^b
0.5	18.17±1.30 ^c	4.28±0.54 ^c	22.44±1.82 ^c	4.27±0.28 ^a
1.0	21.13±1.50 ^b	5.36±0.46 ^{bc}	26.48±1.92 ^b	3.95±0.15 ^a
1.5	25.84±3.20 ^a	6.90±1.37 ^a	32.73±4.53 ^a	3.79±0.36 ^a
2.0	24.45±1.76 ^a	6.09±0.59 ^{ab}	30.53±2.26 ^a	4.03±0.24 ^a
2.5	24.89±2.22 ^a	5.86±0.72 ^{ab}	30.75±2.91 ^a	4.26±0.24 ^a
F-value	74.30 ^{***}	18.61 ^{***}	57.04 ^{***}	16.12 ^{***}

Note. ²Mean±SD(n=4). ***P < 0.001. F-values are statistical significance in one-way ANOVA. Different letters on the each columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

로 실시되었으며, 헛개나무 1년생 용기묘를 대상으로 6가지 시비처리(대조구, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 g·L⁻¹)에 따른 용기묘의 간장, 근원경, 건중량, 묘목품질지수 등 성장 특성과 엽록소 함량을 조사하였다.

시비처리에 따른 간장 및 근원경 성장과 총 건중량은 시비수준이 높아짐에 따라 증가하였지만 1.5 g·L⁻¹ 이상의 처리구에서는 큰 차이가 없었으며, 간장 생장의 경우 2.5 g·L⁻¹의 높은 시비수준의 처리구에서 유의적으로 낮은 값을 나타냈다. H/D율과 T/R율은 다른 수종에 비하여 높은 값을 나타냈지만 지상부 생장이 왕성한 헛개나무 묘목의 특성으로 인한 것으로 적절한 수준으로 판단된다. 묘목품질지수는 2.0 g·L⁻¹ 처리구에서 가장 높은 값을 보였지만, 1.5 g·L⁻¹ 이상의 처리구 간에 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 엽록소 함량은 1.5 g·L⁻¹ 처리구에서 가장 높은 값을 나타냈으며, 시비처리를 하지 않은 대조구가 시비처리구에 비해 매우 낮은 값을 보였다.

본 연구 결과를 종합하면, 헛개나무 1년생 용기묘 생산 시 2.5 g·L⁻¹의 높은 시비수준은 성장을 저해시킬 수 있으며, 2.0 g·L⁻¹ 시비수준으로 처리 시 가장 높은 품질의 묘목을 생산할 수 있다. 하지만 1.5 g·L⁻¹과 2.0 g·L⁻¹ 처리구 간 통계적으로 성장 및 생리적인 차이가 없으므로 시비처리에 따른 환경적, 비용적 측면을 고려 하였을 때, 헛개나무 용기묘 생산을 위하여 요구되는 적절한 시비수준은 1.5 g·L⁻¹으로 판단된다. 추가적으로 시비처리를 하지 않았을 때의 생육특성이 저조하기 때문에, 최소한의 묘목 규격을 충족시키기 위해서는 적어도 0.5 g·L⁻¹의 시비처리가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 헛개나무 우량 종묘의 생산기술 개발에 기여하여 약용 및 밀원자원으로 이용되는 헛개나무의 묘목의 효율적인 생산체계 구축 및 안정적인 공급을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

실험을 도와주신 박대환, 이진협, 김보미, 하영광에게 감사드립니다. 본 연구는 영남대학교 산림자원학과 교수 연구비 및 국립산림과학원 “가로수용 자생 뱀나무의 스마트 생산시스템 연구”과제(SC0300-2019-2021)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Acevedo, M., Rubilar, R., Dumroese, R.K., Ovalle, J.F., Sandoval, S. and Chassin-Trubert, R. 2021. Nitrogen loading of *Eucalyptus globulus* seedlings: nutritional dynamics and influence on morphology and root growth potential. *New Forests* 52: 31-46.
- Aranda, I., Gil, L. and Pardos, J. A. 2002. Physiological responses of *Fagus sylvatica* L. seedlings under *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pyrenaica* Willd. overstories. *Forest Ecology and Management* 162(2-3): 153-164.
- Aron, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology* 24(1): 1-15.
- Bayala, J., Dianda, M., Wilson, J., Quedraogo, 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.
- Bojović, B. and Marković, A. 2009. Correlation between nitrogen and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Kragujevac Journal of Science* 31(5827): 69-74.
- Castro-Garibay, S.L., Aldrete, A., López-Upton, J. and Ordáz-Chaparro, V.M. 2018. Effect of container, substrate and fertilization on *Pinus greggii* var. *australis* growth in the nursery. *Agrociencia* 52(1): 115-127.
- Cho, M.S., Lee, S.W., Bae, J.H. and Park, G.S. 2011. Effect of different fertilization on physiological characteristics and growth performances of *Eucalyptus pellita* and *Acacia mangium* in a container nursery system. *Journal of Bio-Environment Control* 20(2): 123-133.
- Cho, M.S., Yang, A.R. and Hwang, J. 2015. Growth performances of container seedlings of deciduous hardwood species grown at three different fertilization treatments. *Journal of Korean Society of Forest Science* 104(1): 90-97.
- Choi, K.S., Koo, D.E., Sung, H.I., Kim, J.J., Won, C.O. and Song, K.S. 2019. Investigation of the optimal fertilization level for the mass production of container seedling of *Tetradium daniellii* (Benn.) T. G. Hartley. *Journal of Agriculture & Life Science* 53(5): 115-125.
- Chung, H.G., Kim, S.H., Jang, Y.S. and Park, H.S. 2004. Superior tree selection of *Hovenia dulcis* var. *koreana* Nakai. for high fruit petiole productivity. *Journal of Korean Forestry Society* 93(3): 265-270.
- Dickson, A., Leaf, A.L. and Hosner, J.F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36(1): 10-13.
- Eo, H.J., Son, Y.H., Park, S.H., Park, G.H., Lee, K.C. and Son, H.J. 2021. Growth and physiological characteristics of containerized seedlings of *Sageretia thea* at different fertilization treatments. *Journal of Korean Society of Forest Science* 110(2): 189-197.

Acevedo, M., Rubilar, R., Dumroese, R.K., Ovalle, J.F., Sandoval, S. and Chassin-Trubert, R. 2021. Nitrogen loading of *Eucalyptus globulus* seedlings: nutritional

- Eom, S.H., Shin, D.Y., Lee, H.Y., Kim, M.J., Kim, J.D., Choi, W.C. and Yu, C.Y. 2002. Somatic embryogenesis and plant regeneration of *Hovenia dulcis* Thunb. Korean Journal of Medicinal Crop Science 10(1): 41-45.
- Fu, Y., Olet, J.A., Li, G. and Wang, J. 2017. Effect of controlled release fertilizer type and rate on mineral nutrients, non-structural carbohydrates, and field performance of Chinese pine container-grown seedlings. Silva Fennica 51(2): 1607.
- Grossnickle, S.C. and El-Kassaby, Y.A. 2016. Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison. New Forests 47(1): 1-51.
- Haase, D.L. 2007. Morphological and physiological evaluations of seedling quality. pp. 3-8. In National Proceedings, Forest and Conservation Nursery Associations. Washington: USDA Forest Service Proceedings.
- Haase, D.L. 2008. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. Tree Planters' Notes 52(2): 24-30.
- Han, J.G. and Kim, S.H. 2008. Flowering and nectar secretion characteristics of honey palnt, *Hovenia dulcis* var. *koreana* Nakai. Korean Journal of Apiculture 23(3): 199-205.
- Han, S.M., Lee, K.G., Yeo, J.H., Woo, S.O., Nam, S.H., Ho, Y.Y. and Kim, W.T. 2010. Whitening effect of the honey from Korea. Korean Journal of Apiculture 25(1): 39-43.
- Hirashima, M., Satoh, S., Tanaka, R. and Tanaka, A. 2006. Pigment shuffling in antenna systems achieved by expressing prokaryotic chlorophyllide a oxygenase in *Arabidopsis*. Journal of Biological Chemistry 281(22): 15385-15393.
- Hiscox, J.D. and Israelstam, G.F. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany 57(12): 1332-1334.
- Hughes, A.P. and Freeman, P.R. 1967. Growth analysis using frequent small harvests. Journal of Applied Ecology 4(2): 553-560.
- Hwang, J.O., Son, Y., Yi, M.J., Byoun, J.K., Jung, J.H. and Lee, C.Y. 2005. Relationship between composition and type of fertilizer and seedling growth II. Nutrient concentration of seedling components. Journal of Korea Forestry Energy 25(1): 13-27.
- Jin, E.J., Yoon, J.H. and Lee, H. 2022. The effects of pruning and fertilization on the growth and nutrition distribution of the seedling of *Prunus×Yedoensis* Matsum. for container nursery. Journal of Agriculture & Life Science 56(5): 91-102.
- Korea Forest Service. 2020. Seedling business manual. Korea Forest Service. Daejeon, Korea. pp. 73.
- Kim, J.J., Yoon, T.S., Cho, H.K. and Song, K.H. 2006. A study of comparative analysis of growth and efficient afforestation of pine tree and oak tree container seedling and bare root seedling. Korea Forest Service. Daejeon, Korea. pp. 221.
- Kim, S.H., Jun, D.H., Jang, M.J., Lee, J.T., Lee, C.E., Han, J.G. and Lee, D.H. 2010. Study of cosmeceutical activities of *Hovenia dulcis* var. *koreana* Nakai extracts. Journal of Korean Society of Forest Science 99(6): 836-842.
- Korea Forest Research Institute. 2008. Characteristics and cultivation of superior varieties of *Hovenia dulcis* var. *koreana*. Suwon, Korea. pp. 15.
- 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 Society of Forest Science 98(3): 331-338.
- Kwon, T.H., Han, J.H., Lee, S.Y. and Yu, K.H. 2020. Improvement in exercise endurance by *Hovenia dulcis* fruit hot water extract in mice. The Korean Journal of Food and Nutrition 33(4): 363-371.
- Landis, T.D. Tinus, R.W. McDonald, S.E. and Barnett, J.P. 1989. Seedling nutrition and irrigation, Vol. 4, The container tree nursery manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. pp. 119.
- Landis, T.D. Tinus, R.W. McDonald, S.E. and Barnett, J.P. 1990. Containers and growing media, Vol. 2, The container tree nursery manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. pp. 88.
- Landis, T.D. Tinus, R.W. McDonald, S.E. and Barnett, J.P. 1992. Atmospheric environment, Vol. 3, The container tree nursery manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. pp. 145.
- Lee, J.J. 2003. Development of techniques for seed selection and containerized seedling production of *Hovenia dulcis* Thunb. Cheongju. Chungbuk National University.
- Lee, J.S., Lee, K.H., Oh, C.J. 2010. New woody plant flora of Korea. Haksulinfo. pp. 1168.
- Lee, K.S. 2001. Effect of temperature and sulfuric acid treatment on the germination of *Hovenia dulcis* Thunb. Korean Journal of Medicinal Crop Science 9(2): 166-172.
- Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. Journal of biological chemistry 140(2): 315-322.
- Madrid-Aispuro, R.E., Prieto-Ruiz, J.Á., Aldrete, A., Hernández-Díaz, J.C., Wehenkel, C., Chávez-Simental, J.A., & Mexal, J.G. 2020. Alternative substrates and

- fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery. *Forests* 11(1): 71.
- Malik, V. and Timmer, V.R. 1998. Biomass partitioning and nitrogen retranslocation in black spruce seedlings on competitive mixedwood sites: a bioassay study. *Canadian Journal of Forest Research* 28(2): 206-215.
- Na, C.S. 2000. Bioactive effects of *Hovenia dulcis* var. *koreana* extracts on both the protection of liver and the reduction of blood alcohol concentration. Daejeon. Chungnam National University.
- Na, C.S., Hong, C.Y., Na, D.S., Kim, J.B., Yoon, S.Y., Lee, S.B. and Dong, M.S. 2013. Hotwater extract of *Hovenia dulcis* peduncle improves exercise performance and anti-fatigue effect in mice. *Korean Journal of Pharmacogn* 44(1): 83-90.
- Ni, M., Gao, Z., Chen, H., Chen, C. and Yu, F. 2022. Exponential fertilization regimes improved growth and nutrient status of *Quercus nuttallii* container seedlings. *Agronomy* 12(3): 669.
- Paik, W.K., Kwak, A.K., Lee, M.L. and Sim, H.S. 2015. Studies on the chemical characteristics of *Hovenia (Hovenia dulcis)* honey produced in Korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 30(2): 75-85.
- Park, B.B., Byun, J.K., Sung, J.H. and Cho, M.S. 2013. Study of optimal fertilization with vector analysis in hardwood and softwood seedlings. *Journal of Agriculture & Life Science* 47(5): 95-107.
- Park, J.H. and Lee, D.H. 2020. Drought resistance characteristics of *Pinus densiflora* seedlings according to fertilization treatment. *Journal of Agriculture & Life Science* 54(2): 51-61.
- Pinho, E.K.C., Costa, A.C., Vilar, C.C., Souza, M.E.D., Silva, A.B.V. and Oliveira, C.H.G.D. 2019. Phosphate and nitrogen fertilization in the production of Barueiro (*Dipteryx alata* Vog.) seedlings. *Revista Brasileira de Fruticultura* 41(6): e-008
- Schwartz, G., da Silva Rocha, T., de Almeida, M.J.S., Dionisio, L.F.S. and Corvera, R. 2022. Seedlings quality of *Bertholletia excelsa* BONPL.(*Lecythidaceae*) produced in forest nursery. *Poljoprivreda i Sumarstvo* 68(1): 219-232.
- Skudra, I. and Ruza, A. 2017. Effect of nitrogen and sulphur fertilization on chlorophyll content in winter wheat. *Rural sustainability research* 37(332): 29-37.
- Song, J.H., Kim, S.H., Kim, H. and Kim, M.S. 2014. New cultivars multiplication of oriental raisin tree (*Hovenia dulcis* var. *koreana* Nakai) by veneer grafting. *Korean Journal of Plant Resources* 27(2): 183-187.
- Sung, H.I. 2011. Effects of shading and fertilizing treatment on qualities of 1-year-old container seedlings of *Quercus myrsinaefolia*. Seoul. Konkuk University.
- Sung, H.I., Choi, K.S., Kim, J.J. and Song, K.S. 2020. Investigation of the optimal fertilization level for production of container seedling of *Quercus myrsinaefolia*. *Journal of Agriculture & Life Science* 54(3): 17-26.
- Wallenda, T., Schaeffer, C., Einig, W., Wingler, A., Hampp, R., Seith, B. and Marschner, H. 1996. Effects of varied soil nitrogen supply on Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). *Plant and Soil* 186(2): 361-369.
- Yoon, T.S. and Hong, S.G. 2002. Studies on production of plastic net container seedlings of *Hovenia dulcis* Thunb.. *Journal of Agricultural Resource Development* 24: 43-48.

Manuscript Received : March 1, 2023

First Revision : May 22, 2023

Accepted : May 23, 2023