

## 수경재배 시 배지 종류에 따른 병풀(*Centella asiatica* L.)의 생육 특성 비교

유경현<sup>1†</sup> · 강인제<sup>2†</sup> · 심한솔<sup>3</sup> · 장성남<sup>3</sup> · 이가운<sup>3</sup> · 권혁준<sup>4</sup> · 연수호<sup>5</sup> · 조영대<sup>6</sup> · 손기호<sup>7,8\*</sup>

<sup>1</sup>경상국립대학교 원예과학부 학부생, <sup>2</sup>경상국립대학교 원예과학부 대학원생,

<sup>3</sup>경상국립대학교 생명자원과학과 대학원생, <sup>4</sup>콜마비앤에이치 책임연구원, <sup>5</sup>콜마비앤에이치 연구원,

<sup>6</sup>콜마비앤에이치 연구소장, <sup>7</sup>경상국립대학교 원예과학부 교수, <sup>8</sup>경상국립대학교 생명자원과학과 교수

## Effects of Different Media on the Growth of *Centella asiatica* L. in a Hydroponic System

Kyoung-Hyun Yu<sup>1†</sup>, In-Je Kang<sup>2†</sup>, Han-Sol Sim<sup>3</sup>, Seong-Nam Jang<sup>3</sup>, Ga Oun Lee<sup>3</sup>,  
Hyuk Joon Kwon<sup>4</sup>, Su Ho Yeon<sup>5</sup>, Young Dae Cho<sup>6</sup>, and Ki-Ho Son<sup>7,8\*</sup>

<sup>1</sup>Undergraduate Student, Division of Horticultural Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>2</sup>Graduate Student, Division of Horticultural Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>3</sup>Graduate Student, Department of GreenBio Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

<sup>4</sup>Senior Researcher of the Center, Food Science R&D Center, Kolmar BNH Co., Jecheon-si 27116, Korea

<sup>5</sup>Researcher of the Center, Food Science R&D Center, Kolmar BNH Co., Jecheon-si 27116, Korea

<sup>6</sup>Director of research of the Center, Food Science R&D Center, Kolmar BNH Co., Seoul 30003, Korea

<sup>7</sup>Professor, Division of Horticultural Science, College of Agriculture & Life Sciences,

Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

<sup>8</sup>Professor, Department of GreenBio Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

**Abstract.** The potent pharmacological properties of *Centella asiatica* underscore the need for its large-scale propagation for industrial applications, in response to increasing market demand. This study aimed to evaluate the growth characteristics of *Centella asiatica* cultivated in organic and inorganic media during vegetative propagation using runners under a hydroponic system. Plants grown in polyurethane foam (PU) exhibited significantly higher shoot fresh weight, runner fresh and dry weights, leaf area, and SPAD value. Hydroball (HB) also showed superior growth compared to other media. In contrast, plants in jiffy pellets (JP) showed the poorest growth. These enhanced growth characteristics in PU are attributed to its high total porosity and air space, key physical properties that promote root development and activity. Based on these findings, PU is identified as the most suitable media for the vegetative propagation and subsequent large-scale production of *Centella asiatica*.

**Additional key words:** growing media, medicinal plant, polyurethane foam, runner, vegetative propagation

## 서 론

병풀(*Centella asiatica* L.)은 열대 및 아열대 지역의 습윤한 기후를 선호하는 초본식물로, 미나리과(Apiaceae)에 속하며, 동남아시아, 인도, 호주, 남미 등의 해안지역, 동남아프리카, 중앙아메리카 등지에서 약용 및 식용으로 널리 활용되어 왔다 (Arribas-López 등, 2022; Lin 등, 2024). 호랑이풀, Gotu Kola, Bua-bok, Indian Pennywort 등의 이름으로도 알려진

병풀은 항산화, 위염, 항당뇨, 항균 등 다양한 약리 활성의 근간으로 작용하는 트리테르펜 사포닌과 폐놀계 화합물을 중심으로 풍부한 2차 대사산물을 함유하고 있다(Ogunka-Nnoka 등, 2020; Ren 등, 2021).

병풀의 다면적인 약리효과는 고기능성 생리활성소재로서의 산업적 활용 가치를 부각시키며, 이를 기반으로 한 대량증식 및 균일생산체계의 확립이 요구되고 있다. 그러나 병풀은 생태적 조건 및 계절적 변화에 민감하게 반응하며, 특히 재배 환경의 화학적·물리적 변화에 따라 유효성분의 축적수준 및 생장 반응이 크게 달라지는 특성을 가진다(Harakotri 등, 2024; Rahajanirina 등, 2012). 또한, 최근 지속적으로 심화되는 이상기후는 다양한 극한의 기상현상으로 인하여 예측 불가

†These authors contributed equally to this work

\*Corresponding author: sonkh@gnu.ac.kr

Received July 7, 2025; Revised July 23, 2025;

Accepted July 23, 2025

능한 재배 환경을 유발하며, 병풀의 수량 및 품질의 불안정성을 더욱 가중시키고 있다(Habib-ur-Rahman 등, 2022). 실제로 주요 약리성분인 트리테르페노이드계 대사산물은 생태적 조건 및 계절적 변화에 높은 변동성을 보이는 것으로 보고되었다(Rahajanirina 등, 2012).

이러한 생산성 및 품질의 불안정성을 극복하고자, 정밀한 환경제어가 가능한 식물공장 기반의 수경재배 시스템이 대안으로 주목받고 있다. 이와 같은 환경제어식농업(controlled environment agriculture, CEA) 기술은 외부 환경 요인의 영향을 최소화하며, 자원 사용의 최적화를 통해 병풀의 생장 조건을 표준화하고, 균일한 유효성분의 대량생산을 할 수 있다(Benke과 Tomkins, 2017). 현재까지 병풀의 증식을 위한 기술적 시도는 조직배양 기술 및 생물 반응기를 활용한 증식(Wongsa 등, 2023; Khan 등, 2022), 배수성 유도를 통한 우량 품종 육성(Kaensaksiri 등, 2011; Surson 등, 2024) 등 다양한 접근법이 수행되었으나, 수경재배 시스템에서 대량증식을 위한 병풀의 기본적인 생장특성에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다(Oh 등, 2021).

수경재배 시스템에서 고형배지는 단순한 지지체의 역할을 넘어 수분과 산소의 공급, 양분의 보유 및 전달, 노동력 절감 등 다양한 기능을 수행하며 작물의 생육에 결정적인 영향을 미친다(Maucieri 등, 2019). 배지의 주요 특성은 크게 물리적, 화학적, 생물학적 특성으로 나누어지며, 이 중 물리적, 화학적 특성이 중요한 역할을 한다(Schafer 등, 2015). 작물의 근권 미세환경 형성에 직접적인 영향을 미치는 물리적 특성으로는 습윤, 건조 기준의 밀도, 총 공극률, 배수성, 저수분 장력 조건에서의 보수성 등이 있으며, 화학적 특성으로는 pH, EC, 유효 양분 함량 등이 있다(Schafer과 Lener, 2022). 수경재배의 성공적 운영을 위해서는 작물 생육의 물리적 기반이 되는 고형 배지의 역할이 핵심적이며, 고형배지에 따른 작물의 생육 반응 및 수량 변화를 정량적으로 분석하는 후속 연구가 요구된다(Okunola 등, 2024).

전 세계적으로 기후변화와 도시화가 가속화되면서 한정된 토지자원에 대한 압박이 심화되고 있으며, 이에 따라 고부가 가치 작물의 전략적 생산 체계로의 전환이 필수적이라는 인식이 확산되고 있다(Rezvi 등, 2023). 이러한 시대적 흐름 속에서 수직농장과 같은 도시형 CEA 시스템이 미래 농업의 핵심 전략으로 부상하고 있으며, CEA의 핵심 기술중 하나인 수경재배는 물·양분 이용효율, 병해충 관리, 노동력 절감 등의 측면에서 지속가능한 농업 구현의 중심기술로 주목받고 있다(Rajaseger 등, 2023). 실제로 수경재배 시장은 2028년까지 연평균 성장률은 20.7%로 고성장이 예측되고 있으며, 이에 따라 경제성 증대를 위한 연구들이 지속적으로 보고되고 있다.

(Velazquez-Gonzalez 등, 2022).

이에 본 연구에서는 물리·화학적 특성과 구조가 다양한 6종의 고형 배지[원예용 상토(mixed substrate, MS), 지피 펠렛(jiffy pellet, JP), 테라플러그(terra plug, TP), 하이드로볼(hydroball, HB), 오아시스(phenol formaldehyde resin, PF), 우레탄 스펀지(polyurethane foam, PU)]를 적용하여, 각 배지 조건이 수경재배 병풀의 생육에 미치는 영향을 비교·분석하고, CEA 기반의 균일한 병풀 생산을 위한 최적 배지 선정의 과학적 근거를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료 및 재배환경

실험재료는 경상국립대학교 내동캠퍼스에 위치한 반 밀폐형 수직농장에서 Hoagland 배양액( $\text{pH } 6.0, \text{EC } 2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ )를 이용한 담액식 수경재배로 영양변식된 모체의 런너에서 총 염면적  $7.76 - 11.64 \text{ cm}^2$  범위 이내의 자묘를 균일하게 선발하여 마디를 절단한 후, PU에 고정하여 식물 생장 챔버(Plant growth chamber, Gaoozebiotech Co. Ltd., Suwon, Korea)에서 2주간 순화시켰다. 챔버 내 환경은 온도  $24\pm1^\circ\text{C}$ , 상대습도 60%, 이산화탄소 농도는 대기수준으로 유지하였으며, 광도  $150\pm10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  PPFD (Photosynthetic photon flux density, 광합성유효광자속밀도), 광주기는 12시간(09:00–21:00)이었다. 중류수를 PU배지( $\text{W}\times\text{L}\times\text{H}: 25\text{mm}\times25\text{mm}\times30\text{mm}$ )두께의 50%로 유지시키도록 저면관수로 관주하였으며, 2일 간격으로 09:00시에 1회 관주하였다. 2주 후 개체의 뿌리 길이가 1cm 이상인 개체를 선별하여 각 배지에 정식하였다.

본 실험에 사용된 6종의 배지(MS, JP, TP, HB, PF, PU)는 수경재배에 적합한 대표적인 유형으로, 식물공장 시스템 내 적용 가능성을 고려하여 선정하였다(Table 1). 각 배지는 수경재배 포트( $\text{L}\times\text{W}\times\text{H}: 5\times5\times4.5\text{cm}$ )에 동일한 부피로 충진한 뒤, 저면관수 트레이( $\text{L}\times\text{W}\times\text{H}: 32\times22\times6.5\text{cm}$ )에 배치하였다. 실험은 경상국립대학교 내 반 밀폐형 식물생장실에서 수행되었으며, 재배구역의 환경은 식물 생장 챔버와 동일하게 유지하였다. 관수는 Hoagland 배양액을 이용하여 2일 간격으로 09:00시에 1회 저면관수로 관주하였다(Table 2). 각 배지 처리구당 식물체를 9개체씩 처리별로 구획을 구분하여 배치하였으며, 정식 후 28일 째에 5개체를 생육조사에 사용하였다.

### 2. 측정항목

배지의 이화학성 분석을 위해 250mL 비커에 각 배지를 150mL 채운 후 중류수 200mL과 혼합한 뒤, 15분 후 용출된 배액을 수집하여 pH 미터(STAR A211, Thermo Scientific™,

**Table 1.** Six different types of media, each provided by a distinct manufacturer, were selected for use in this study.

Medium	Manufacturer
Mixed Substrate (MS)	Tosilee, Shinan Grow Co., Jinju, Korea
Jiffy Pellet (JP)	Jiffy-7, Jiffy products S.L. Ltd, Mirigama, Sri Lanka
Terra Plug (TP)	Terra plug, Smithers Oasis Co., OH, USA
Hydroball (HB)	ODIGA Hydroball, ODIGA, Sacheon-si, Korea
Phenol formaldehyde resin (PF)	Horticubes, Smithers-Oasis Company, OH, USA
Polyurethane foam (PU)	Hydroponic sponge, Easyhydro, Chuncheon, Korea

**Table 2.** Hoagland nutrient solution components for *Centella asiatica* L. used in this study.

Type	Chemical	Concentration (g/L)
A	KNO <sub>3</sub>	236.15
	Ca(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	75.83
	Fe-EDTA	10.53
B	KNO <sub>3</sub>	75.83
	NK <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	28.77
	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	123.24
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.36
	MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.23
	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.03
	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.01
	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.03

Incheon, Korea)와 EC 미터(STARTER-3100C, OHAUS, NJ, USA)를 사용하여 배액의 pH와 EC를 측정하였다(Shin 등, 2022).

배지의 물리성인 총 공극률, 용적밀도, 용적수분함량 및 기상을 분석을 위해 Choi 등(1997)이 제시한 방법에 의해 목표 가비중이 되도록 상토를 채워 넣은 다음 중류수로 시료의 모든 공극을 물로 포화시키고 15분 후에 배수량을 측정하였다. 배수 후 습윤상태의 무게를 측정하였으며, 이후 60°C의 건조 기에서 72시간 건조시킨 후 건물중을 측정하였다. 배지의 용기용수량(container capacity), 기상률(air space), 총 공극률(total porosity), 가비중(bulk density)를 다음의 공식으로 산출하였다(Shin 등, 2022).

$$\text{Container capacity} = [(wet soil weight - dry soil weight) / \text{volume of sample}] \times 100$$

$$\text{Air space} = [(\text{volume of water drainage}) / \text{volume of sample}] \times 100$$

$$\text{Total porosity} = \text{container capacity} + \text{air space}$$

$$\text{Bulk Density} = \text{dry weight} / \text{volume of sample}$$

배지 종류에 따른 병풀의 생육특성은 정식 후 28일째에 수확하여 지상부, 지하부 및 런너의 생체중과 건물중, SPAD 값, 엽수, 엽면적을 측정하였다. SPAD 값은 엽록소 측정기 (SPAD-502, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를, 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3000, LI-COR Inc., USA)를, 절간 두께는 버니어캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo Co. Ltd., Kanagawa, Japan)를, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중은 전자저울 (EW220-3NM, Ken & Sohn GmbH., Hamburg, Germany)을 이용하여 측정하였다. 건물중은 시료를 70°C 항온 건조기 (Venticell-222, MMM Medcenter Einrichtung GmbH, Bavaria, Germany)에서 24시간 건조한 후 측정하였으며, S:R ratio (Shoot:root ratio)를 계산했다. 각 트레이의 9개체 중 5개체를 무작위로 선별하여 측정에 사용하였다.

### 3. 통계분석

모든 실험 데이터의 통계 분석은 SAS 소프트웨어(Ver. 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하여 수행하였으며, 처리간 평균 값의 유의성 검정을 위해 분산분석(ANOVA)을 실시하고, 유의한 차이가 나타난 경우 Duncan 다중검정 (Duncan's multiple range test)을 통해  $p < 0.05$  수준에서 평균 간 유의성을 검증하였다. 배지 종류에 따른 병풀의 생육특성은 R 프로그램(Version 4.5.0, R Project for Statistical Computing)을 이용하여 히트맵으로 시각화하였으며, 그래프 작성은 SigmaPlot 프로그램(Ver. 12.0, Systat Software Inc., USA)을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 배지의 이화학적 특성

6종 배지의 물리적 특성은 Table 3에 제시하였다. 포화상태에서 중력수 배출 후 배지가 보유할 수 있는 수분의 최대량인 배지의 용기용수량은 원예용 상토(mixed substrate, MS)와 오아시스(phenol formaldehyde resin, PF), 지피 펠렛(jiffy

**Table 3.** Physical properties according to the type of medium.

Medium <sup>z</sup>	Container capacity (%)	Air space (%)	Total porosity (%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )
MS	62 ± 4.4 b <sup>y</sup>	1.2 ± 0.11 b	63 ± 4.5 b	0.16 ± 0.014 d
JP	67 ± 6.8 b	0.1 ± 0.02 d	67 ± 6.8 b	0.28 ± 0.006 b
TP	39 ± 4.9 c	0.2 ± 0.05 cd	39 ± 4.9 c	0.24 ± 0.014 c
HB	20 ± 1.1 d	0.4 ± 0.09 c	21 ± 1.1 d	0.49 ± 0.015 a
PF	65 ± 0.9 b	0.2 ± 0.01 cd	66 ± 0.9 b	0.01 ± 0.001 e
PU	81 ± 2.5 a	6.1 ± 0.34 a	87 ± 2.9 a	0.02 ± 0.001 e

<sup>z</sup>Type of media used in the experiment: MS: Mixed Substrate; JP: Jiffy Pellet; TP: Terra Plug; HB: Hydroball; PF: Phenol formaldehyde resin; PU: Polyurethane foam.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.001$ .

pellet, JP)에서 각각 62%, 65%, 그리고 67%로 유의적인 차이가 없었으며, 우레탄 스펀지(polyurethane foam, PU)는 81%의 용기용수량으로 유의적으로 높게 나타났다. 테라플러그(terra plug, TP)와 하이드로볼(hydroball, HB)에서 각각 39% 및 20%로 MS에 비해 유의적으로 낮게 나타났다. 기상률은 포화 배지에서 중력수 제거 후 뿌리에 산소 공급이 가능한 공극의 비율로써 PU, MS, HB, PF, TP, 그리고 JP 순서대로 각각 6.1%, 1.2%, 0.4%, 0.2%, 0.2%, 0.1%로 나타났고, PU에서 유의적으로 높은 값이 측정되었다. 총 공극률도 PU에서 87%로 가장 높았으며, MS, PF, JP는 각각 63%, 66%, 67%로 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 반면 TP와 HB에서 각각 39%, 21%로 MS와 비교하여 유의하게 낮았다. 가비중은 HB에서  $0.49\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 으로 가장 높았으며, PU 와 PF는 각각  $0.02\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $0.01\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 로 유의적으로 가장 낮은 가비중값을 나타내었다. 표면관수를 통한 배지 내 물의 이동은 중력의 영향을 받아 하향 이동하는 반면, 저면 관수는 모세관 현상을 통해 배지의 하부에서 상단으로 수분을 공급하는 방식으로, 이 때 산소의 공급과 양액의 조절이 생육에 직접적인 영향을 미치는 관수 방식이다(Reed, 1996). 공극률이 높은 배지는 양액과 공기가 점유할 수 있는 공간이 확보되어, 확산 능력이 뛰어나, 수분 공급과 산소 공급이 원활하게 이루어진다(Blok 등, 2017). 저면관수 하에서 배지의 수분 흡수능력, 보수성 및 산소 공급을 위한 공극 구조가 병풀의 생육을 결정짓는 핵심 요인으로 작용할 것으로 해석되며 6종 배지중 PU는 상대적으로 높은 용기용수량(81%), 기상률(6.1%), 총 공극률(87%)를 동시에 갖추고 있어 수분 및 산소 공급의 효율성과 구조적 안정성을 함께 충족할 수 있는 배지로 판단된다.

6종류의 배지의 화학적 특성은 Table 4에 제시하였다. 배지의 pH 및 EC 측정을 위한 종류수의 pH 와 EC는 각각 7.5와  $0\text{ }\mu\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ 이며, 용출된 배액의 pH는 모든 배지에서 용출된 배

**Table 4.** Chemical properties according to the type of medium.

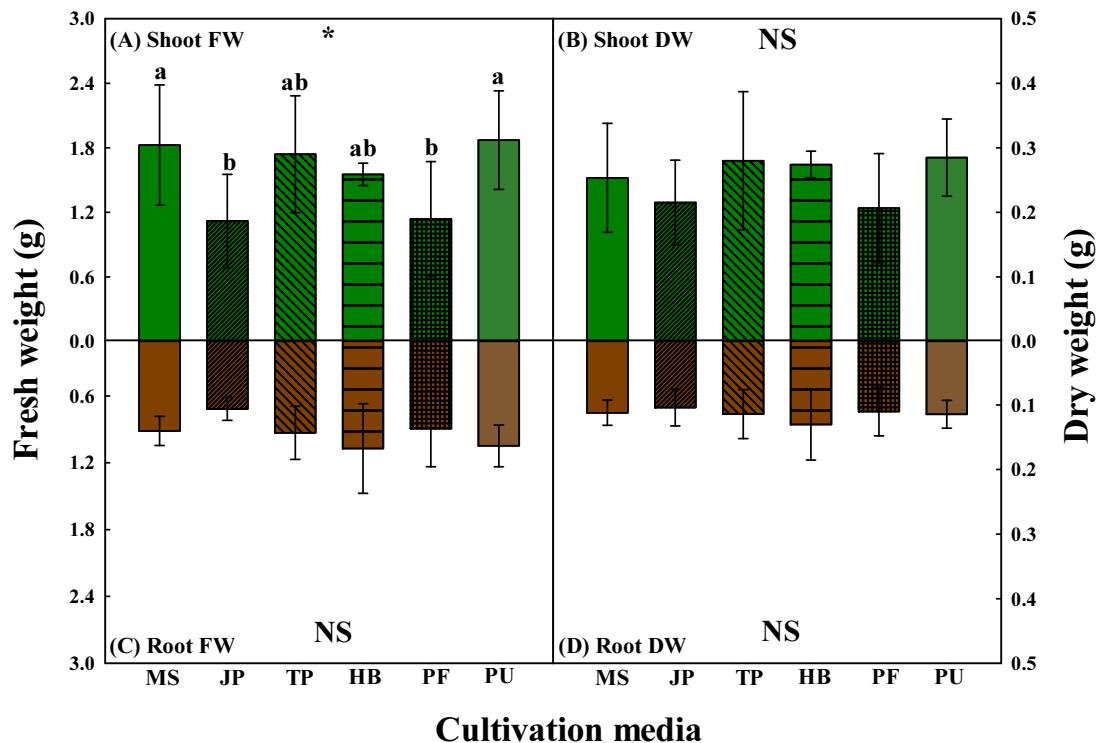
Medium	pH	EC ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ )
Mixed Substrate (MS)	5.96	1.06
Jiffy Pellet (JP)	6.14	0.48
Terra Plug (TP)	6.20	0.09
Hydroball (HB)	6.50	0.04
Phenol formaldehyde resin (PF)	5.75	0.18
Polyurethane foam (PU)	6.90	0.01

액의 pH는 종류수보다 높게 나타났다.

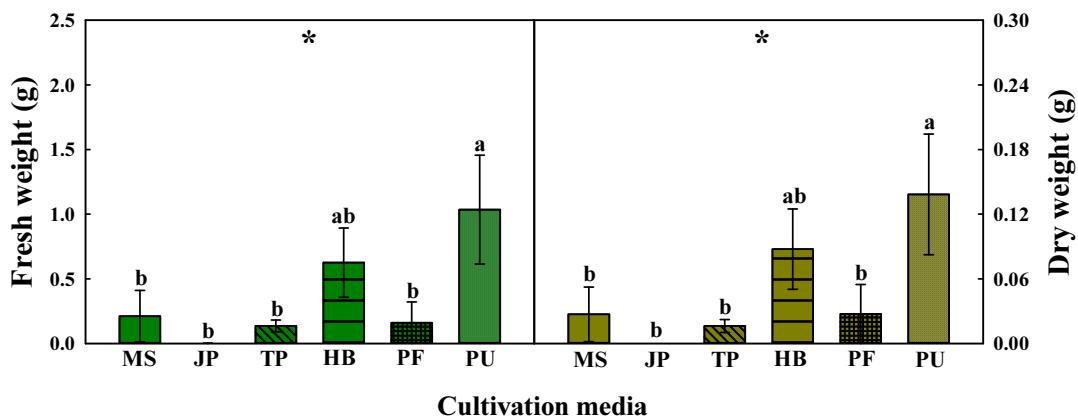
유기물 기반 배지인 MS와 JP에서 EC가 상대적으로 높게 나타났으며, 특히 MS는  $1.06\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 유의적으로 가장 높은 값을 보였다. 이는 배지 자체에 포함된 염류나 양이온의 영향으로 추정된다. 반면 TP, PU, HB에서 EC가  $0.1\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  이하로 측정되어, 작물 생육에 대한 영향은 유의하지 않은 수준일 것으로 판단된다. 수경재배에서 pH와 EC는 식물의 무기양분 흡수에 직접적인 영향을 미치는 핵심 인자이며, 대부분의 식물은 pH 5.5 – 6.5 범위에서 최적 생육을 보인다. 이는 철(Fe), 인(P), 아연(Zn) 등의 주요 성분의 가용성이 해당 pH 범위에서 가장 높기 때문이다(Fathidarehnijeh 등, 2023). 본 연구에서 저면관수를 관수전략으로 수행하여, 물리적 특성이 생육에 더 큰 영향을 미쳤을 가능성성이 크다. 그러나 모든 배지의 화학적 특성은 작물 생육에 해를 미치지 않는 안정적인 범위 내에 있었음을 시사한다.

## 2. 생육특성

병풀의 배지 종류에 따른 정식 후 28일째의 생장 변화를 조사한 결과는 Fig. 1에 제시하였다. 병풀의 지상부 생체중은 MS, JP, TP, HB, PF, PU 순으로 1.35g, 0.63g, 1.19g, 1.15g, 0.85g, 1.43g으로 나타났으며 MS와 비교하였을 때 JP, TP,



**Fig. 1.** Fresh and dry weight of *Centella asiatica* L. grown on different media types for 4 weeks. Values are presented as means ( $n=5$ )  $\pm$  SD. \* $p \leq 0.05$ , and NS is non-significant.

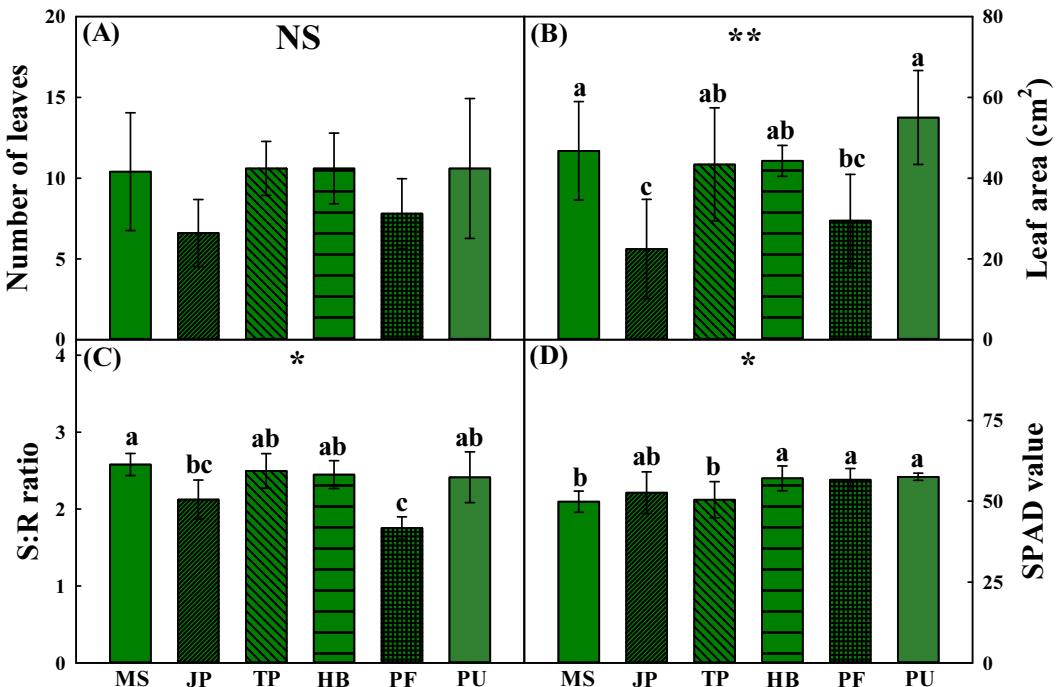


**Fig. 2.** Fresh and dry weight of *Centella asiatica* L. runners grown on different media types for 4 weeks. Values are presented as means ( $n=5$ )  $\pm$  SD. \* $p \leq 0.05$ , and NS is non-significant.

HB 및 PF에서 각각 53, 12, 15, 37% 유의적으로 낮은 값을 보였으며, PU에서는 6% 증가하였다. 병풀의 지상부 건물중, 지하부 생체중, 건물중 항목에서는 처리간 유의적인 차이가 관찰되지 않았다. 본 연구에서는 MS 및 PU 처리구에서 병풀의 지상부 생체중이 유의하게 높게 나타났으며, 이는 두 배지가 병풀의 영양번식을 위한 생육 기반으로서 생장 저해 요인이 상대적으로 적어, 개체 증식에 보다 적합한 배지일 가능성을

시사한다.

병풀의 런너 생체중은 MS, JP, TP, HB, PF, PU 순서대로 각각 0.21g, 0.01g, 0.13g, 0.63g, 0.16g, 1.04g으로 측정되었으며, PU에서 유의적으로 가장 높은 런너 생체중이 측정되었다 (Fig. 2). 런너의 건물중에서도 생체중과 동일한 경향이 나타나, PU 처리구에서 가장 높은 값을 나타내 유의성이 검증되었다. Patil 등(2020)에 따르면 총 공극률이 85% 이상이면 산소



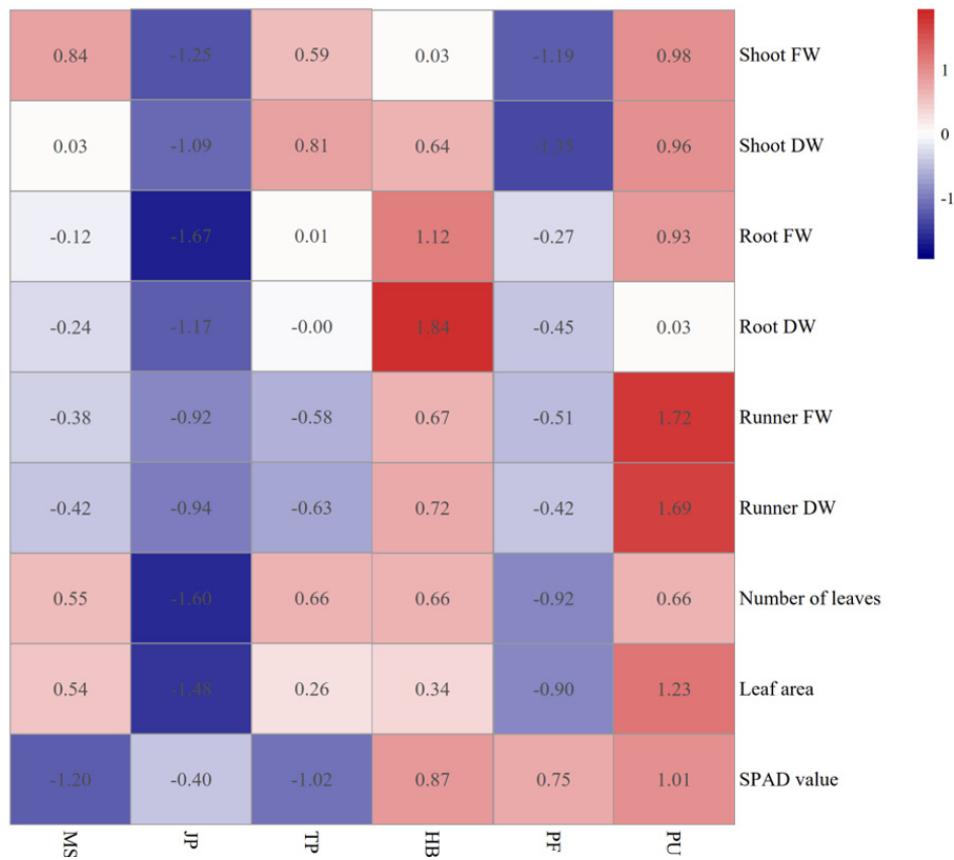
**Fig. 3.** Morphological characteristics of *Centella asiatica* L. grown on different media types for 4 weeks. Values are expressed as means ( $n=5$ )  $\pm$  SD.  
\*\* indicates significance at  $p \leq 0.01$ , \*  $p \leq 0.05$ , and NS is non-significant.

공급 및 수분 보유력 및 통기성이 균형있게 유지되어 이상적인 수경재배용 배지라고 보고하였다. 병풀은 런너를 통한 영양변식이 가능한 작물로 알려져 있으며, 토양 조건과 환경이 적절할 경우 빠르게 증식할 수 있다(Patel, 2015). 영양변식은 종자 번식에 비해 빠르고 간편하며, 유전적으로 동일한 개체를 대량증식할 수 있다는 장점을 가진다(Awotedu 등, 2021). 본 연구에서 PU 처리구에서 관찰된 병풀 런너의 생장 양상은 해당 배지가 병풀의 영양변식체를 통한 증식에 핵심적인 역할을 할 수 있음을 나타내며, PU가 가지는 높은 용기용수량, 기상률, 총 공극률은 뿌리 활동과 수분 공급, 산소 확산을 동시에 최적화하여, 병풀의 런너 생장에 유리한 균형 환경을 제공했을 것으로 예측된다.

6종류의 배지에서 4주동안 성장한 병풀의 엽수에서 배지간 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Fig. 3A). 반면, 엽면적에서는 MS와 PU가 각각  $55.0\text{cm}^2$ ,  $46.8\text{cm}^2$ 로 가장 큰 값을 나타냈고, 이는 PF, JP 처리보다 유의적으로 높았다(Fig. 3B). S:R률은 MS처리구에서 2.6으로 가장 높은 값을 보였으며, PF (1.7) 및 JP (2.1) 처리구와 비교하여 유의적으로 높은 값을 나타냈다(Fig. 3C). SPAD 값은 PF, PU 및 HB에서 각각 56.7, 57.6, 57.1로 높은 경향을 나타냈으며, MS 및 TP는 각각 49.9, 50.5로 앞선 PF, PU 및 HB와 비교하여 유의적으로 낮았다 (Fig. 4D). 특히 S:R률은 식물체 내 동화산물 및 영양분의 분

배 전략을 반영하는 핵심 생리지표로서, 작물의 생장률, 자원 이용 효율성, 환경 스트레스 내성 등 다양한 생육 특성과 밀접하게 연관되어 있다(Ågren과 Franklin, 2003). 이는 지상부와 지하부 간 동화산물 배분 전략에도 변화를 유도한다(Raviv 등, 2008). 본 연구에서 동일한 지상부 환경 조건임에도 유의적인 생육 차이가 발생한 것은, PF와 JP의 통기성과 수분 보유력 간 균형이 적절히 유지되지 않아 배지에서 뿌리의 활착과 생장이 제한되었기 때문으로 해석되며, 이러한 결과는 병풀의 영양변식 과정에서 PF와 JP 배지는 생육을 저해할 수 있음을 시사한다. 엽면적은 S:R률과 유사한 경향이 나타났으며, PU 및 MS 배지의 우수한 수분 보유력과 공기-물 균형이 생육에 긍정적 영향을 미친 결과로 사료된다. SPAD 값은 식물의 성장 상태를 간접적으로 반영할 수 있으며, 식물의 광합성 능력과 건강한 성장 상태를 나타낼 수 있다(Guo 등, 2022). 본 연구에서 PU 및 HB 처리구에서 높은 SPAD 값이 나타난 것은 해당 배지에서의 유의적으로 높았던 생육 특성이 전반적인 생리 대사 및 엽록소 축적을 유도한 것으로 볼 수 있으며, 병풀 재배 시 PU 및 HB 배지는 병풀의 생장 및 기능성 확보에 있어 중요한 역할을 할 수 있음을 보여준다.

히트맵 분석 결과, 각 배지별 병풀의 생육 특성을 비교한 결과 PU 및 HB 처리구에서 전반적으로 우수한 바이오매스 축적 및 형태적 특성이 관찰되었다. 특히 PU는 지상부 생체중,



**Fig. 4.** Heat map representing the relative levels of physiological parameters in *Centella asiatica* L. grown on different media types for 4 weeks.

지하부 건물중, Leaf area, SPAD 값 등 대부분의 생육 지표에서 높은 상대값을 나타내었으며, 이는 광합성 효율과 직결되는 엽면적 및 엽록소 함량의 증가를 유도하여 생장과 생산성 향상에 기여했을 가능성을 시사한다. HB 또한 대부분의 생육 지표에서 양의 값을 보여, 내재적 기능성 및 근권 발달 측면에서 유리한 환경을 제공한 것으로 해석된다. 반면 PF와 JP 처리구는 대부분의 주요 지표에서 음의 값을 보이며 상대적으로 생육이 저조하였다. 특히 JP 처리구의 경우, 거의 모든 지표에서 음의 편차가 뚜렷하여 병풀 생육에 불리한 물리적·화학적 환경을 조성했을 가능성이 높다. 이는 JP의 구조적 밀도나 수분 흡수·배수 능력이 생육에 제한을 줄 수 있음을 시사한다.

결론적으로, 본 연구는 수경재배 병풀의 생육에 배지의 물리적 특성이 결정적인 영향을 미침을 확인하였다. 특히, 높은 공극률과 기상률, 우수한 보수성을 동시에 갖춘 PU 배지는 병풀의 영양생장, 특히 대량증식의 핵심인 병풀의 런너의 영양 증식체의 바이오매스 축적을 극대화하는 가장 효과적인 배지였다. HB 또한 우수한 바이오매스 축적 및 형태적 특성을 유도하여 병풀의 증식에 적합한 것으로 확인되었다. 따라서 CEA 기반의 병풀 대량생산 시스템에서는 PU 배지를 최적 배

지로 활용하고, 향후 관수 주기 등 재배 조건을 최적화하는 후속 연구를 통해 생산성을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

## 적 요

병풀(*Centella asiatica*)의 뛰어난 약리적 효능은 산업적 활용을 위한 대량증식 개발의 필요성을 강력하게 뒷받침하며 이에 대한 요구가 증가하고 있다. 본 연구는 수경재배 시스템에서 런너를 이용한 병풀의 영양번식 시 배지 종류에 따른 생육 특성을 구명하기 위해 수행되었다. 연구 결과, 폴리우레탄폼(PU)에서 재배된 병풀의 지상부 생체중, 런너 생체중, 건물중, 엽면적, SPAD에서 유의적으로 높은 값을 보였다. 하이드로 볼(HB) 역시 다른 배지와 비교하여 유의적으로 높은 생육 특성을 나타냈으나, 지피 펠렛(JP)에서는 대부분 생육특성에서 가장 낮은 특성을 나타내었다. PU 배지에서 생육 증가는 뿌리 발달에 핵심적인 물리적 특성인 총 공극률과 기상률에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구 결과는 병풀의 영양번식 및 대량생산을 위해 PU 배지가 적합할 것으로 판단된다.

**추가주제어:** 런너, 약용식물, 영양번식, 우레탄 스펀지, 재배 배지

## 사 사

본 연구는 산업통상자원부 월드클래스 플러스 사업(지원번호 P0024386)과 한국콜마BNH(주)의 지원으로 수행되었다.

## Literature Cited

- Agren G.I., and O. Franklin 2003, Root: shoot ratios, optimization and nitrogen productivity. Ann Bot 92:795-800. doi:10.1093/aob/mcg203
- Arribas-López E., N. Zand, O. Ojo, M.J. Snowden, and T. Kochhar 2022, A systematic review of the effect of *Centella asiatica* on wound healing. Int J Environ Res Public Health 19:3266. doi:10.3390/ijerph19063266
- Awotedu B.F., T.O. Omolola, A.O. Akala, O.L. Awotedu, and S.O. Olaoti-Laaro 2021, Vegetative propagation: A unique technique of improving plants growth. World News Nat Sci 35:83-101.
- Benke K., and B. Tomkins 2017, Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. Sustain Sci Pract Policy 13:13-26. doi:10.1080/15487733.2017.1394054
- Blok C., B.E. Jackson, X. Guo, P.H. De Visser, and L.F. Marcelis 2017, Maximum plant uptakes for water, nutrients, and oxygen are not always met by irrigation rate and distribution in water-based cultivation systems. Front Plant Sci 8:562. doi:10.3389/fpls.2017.00562
- Choi, J.M., J.W. Ahn, J.H. Ku, and Y.B. Lee 1997, Effect of medium composition on physical properties of soil and seedling growth of red pepper in plug system. J Kor Soc Hort Sci 36:618-624.
- Fathidarehnijeh E., M. Nadeem, M. Cheema, R. Thomas, M. Krishnapillai, and L. Galagedara 2023, Current perspective on nutrient solution management strategies to improve the nutrient and water use efficiency in hydroponic systems. Can J Plant Sci 104:88-102. doi:10.1139/CJPS-2023-0034
- Guo Y., S. Chen, X. Li, M. Cunha, S. Jayavelu, D. Cammarano, and Y. Fu 2022, Machine learning-based approaches for predicting SPAD values of maize using multi-spectral images. Remote Sens 14:1337. doi:10.3390/rs14061337
- Habib-ur-Rahman M, Ahmad A, Raza A, Hasnain MU, Alharby HF, Alzahrani YM, El Sabagh A. 2022. Impact of climate change on agricultural production; Issues, challenges, and opportunities in Asia. Front Plant Sci. 13:925548. doi:10.3389/fpls.2022.925548
- Harakotr B., L. Charoensup, P. Rithichai, Y. Jirakiattikul 2024. Growth, triterpene glycosides, and antioxidant activities of *Centella asiatica* L. Urban grown in a controlled environment with different nutrient solution formulations and LED light intensities. Hortic 10:71. doi:10.3390/horticulturae10010071
- Kaensaksiri T., P. Soontornchainaksaeng, N. Soonthornchareonnon, and S. Prathantrarug 2011, In vitro induction of polyploidy in *Centella asiatica* (L.) Urban. Plant Cell Tiss Org Cult 107: 187-194. doi:10.1007/s11240-011-9969-8
- Khan M.A., H.M. Khan, I.B. Ganie, S. Kumar, A. Shahzad, I. Celik, and M. Shahid 2022, Anti-quorum sensing, antibiofilm, and antibacterial activities of extracts of *Centella asiatica* L. leaves, and in vitro derived leaves-calli through tissue culture: a potential for biofouling-prevention. Biofouling 38:715-728. doi:10.1080/08927014.2022.2117034
- Lin P.C., T.Y. Chiang, M.L. Chen, T.W. Hsu, P.W. Gean, S.T. Cheng, and Y.H. Hsu 2024, Global prospects for cultivating *Centella asiatica*: an ecological niche modeling approach under current and future climatic scenarios. J Agric Food Res 18:101380. doi:10.1016/j.jafr.2024.101380
- Maucieri C., C. Nicoletto, E.v. Os, D. Anseeuw, R.V. Havermaet, and R. Junge 2019, Hydroponic Technologies. In: Goddek S., Joyce A., Kotzen B., and Burnell G.M., eds, Aquaponics Food Production Systems. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-15943-6\_4
- Ogunka-Nnoka C.U., F.U. Igwe, J. Agwu, O.J. Peter, and P.H. Wolugbom 2020, Nutrient and phytochemical composition of *Centella asiatica* leaves. Med Aromat Plants 9:346. doi:10.35248/2167-0412.20.9.346
- Oh S., S. Park, S. Lee, Y. Park, K.I. Jang, K.W. Yu, D. Kim, and H. Shin 2021, Comparison of growth characteristics and physiological activity of two *Centella asiatica* cultivars in greenhouse soil culture. J Bio-Environ Control 30:351-358. (in Korean) doi:10.12791/KSBC.2021.30.4.351
- Okunola A.A., O.T. Faloye, and S.I. Samuel 2024, Physicochemical characteristics of sawdust as a growth medium in hydroponics. In: 2024 International Conference on Science, Engineering and Business for Driving Sustainable Development Goals (SEB4SDG), IEEE, April 2024, pp 1-5. doi:10.1109/SEB4SDG60871.2024.10630050
- Patel D.K. 2015, Growth pattern study on *Centella asiatica* (L.) Urban in herbal garden. Int J Herbal Med 3:9-12.
- Patil S.T., U.S. Kadam, M.S. Mane, D.M. Mahale, and J.S. Dhekale 2020, Hydroponic growth media (substrate): a review. Int Res J Pure Appl Chem 21:106-113. doi: 10.9734/irjpac/2020/v21i2330307
- Rahajanirina V, S N O Rakotondralambo Raoseta, E Roger, H Razafindrazaka, S Pirotais, M Boucher, and P Danthu 2012, The influence of certain taxonomic and environmental parameters on biomass production and triterpenoid content in the leaves of *Centella asiatica* (L.) Urb. from Madagascar. Chem Biodivers 9:298-308. doi:10.1002/cbdv.201100073
- Rajaseger G., K.L. Chan, K.Y. Tan, S. Ramasamy, M.C. Khin, A. Amaladoss, and P.K. Haribhai 2023, Hydroponics:

- current trends in sustainable crop production. Bioinformation 19:925-938. doi:10.6026/97320630019925
- Raviv M., J.H. Lieth, and A. Bar-Tal 2008, Significance of soilless culture in agriculture. In: Raviv M. and J.H. Lieth (eds), Soilless Culture. Elsevier, Amsterdam, pp 1-11. doi: 10.1016/B978-044452975-6.50003-4
- Reed D.W. 1996, Closed production systems for containerized crops. In: Reed D.W. (ed.), Water, media and nutrition for greenhouse crops. Ball Publishing Inc., Batavia, IL, pp 221-245.
- Ren B., W. Luo, M.J. Xie, and M. Zhang 2021, Two new triterpenoid saponins from *Centella asiatica*. Phytochem Lett 44:102-105. doi:10.1016/j.phytol.2021.06.012
- Rezvi H.U.A., M. Tahjib-Ul-Arif, M.A. Azim, T.A. Tumpa, M.M.H. Tipu, F. Najnine, and M. Brestić 2023, Rice and food security: Climate change implications and the future prospects for nutritional security. Food Energy Secur 12:e430. doi:10.1002/fes3.430
- Schafer G., and B.L. Lerner 2022, Physical and chemical characteristics and analysis of plant substrate. Ornamental Hortic 28:181-192. doi:10.1590/2447-536x.v28i2.2496
- Schafer G., P.V.D. de Souza, and C.S. Fior 2015, Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. Ornam Hortic 21:299-306. doi:10.14295/oh.v21i3.735
- Shin M., H. Jeong, M. Roh, J. Kim, and K. Song 2022, Growth and yield response of perilla plants grown under different substrates in hydroponic system. J Bio-Environ Control 31:292-299. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2022.31.4.292
- Surson S., S. Sitthaphanit, and K. Wongkerson 2024, Effective colchicine-induced polyploid induction in *Centella asiatica* (L.) Urban. Plant Cell Tiss Org Cult 159:1-11. doi:10.1007/s11240-024-02893-4
- Velazquez-Gonzalez R.S., A.L. Garcia-Garcia, E. Ventura-Zapata, J.D.O. Barceinas-Sanchez, and J.C. Sosa-Savedra 2022, A review on hydroponics and the technologies associated for medium- and small-scale operations. Agriculture 12:e646. doi:10.3390/agriculture12050646
- Wongsa T., A. Kongbangkerd, and B. Kunakhonnuruk 2023, Optimal growth and biomass of *Centella asiatica* using a twin-bottle temporary immersion bioreactor. Horticulturae 9:e638. doi:10.3390/horticulturae9060638