Effect of Irrigation Frequency on Growth and Functional Ingredient Contents of *Gynura procumbens* Cultivated in Hydroponics System

Kyu-Hoi Lee^{1,2}, Sung-Hee Lee², Eun-Sol Yeon², Who-Bong Chang², Ju-Hyoung Kim², Jae-Ho Park³, Gwang-Hyun Han¹, Jin Hee Park¹, Sook-Jin Kim⁴, and Tong-Min Sa^{1*}

¹Professor, Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

²Local Agriculture Researcher, Bureau of Research & Development, Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea

³Professor, Department of Pharmaceutical Science, Jungwon University, Goesan 28024, Korea

⁴Agriculture Researcher, Planning & Coordination Division, National Institute of Crop Science, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: tomsa@chungbuk.ac.kr

ABSTRACT

Received: May 1, 2020

Revised: May 28, 2020

Accepted: May 28, 2020

Gynura procumbens (Family Asteraceae) is a medicinal plant commonly found in tropical Asian countries such as Malaysia, Indonesia, Thailand, China, and Vietnam. It is widely used as a traditional medicine in many different countries for the treatment of a variety of health ailments such as kidney discomfort, hypertension, constipation, diabetes mellitus, and rheumatism. The objective of this study was to investigate the effect of irrigation on growth and functional ingredients of *Gynura procumbens*. *Gynura procumbens* were planted in a greenhouse on April 24 (2019), and irrigation was carried out throughout the entire growth period at 12, 24, 48, 72hour cycles using drip hydroponics system. The total height of *Gynura procumbens* became higher with shorter irrigation cycle, whereas a smaller height was recorded with the longer periods. The maximum yield was recorded for 12 - 24 h irrigation cycle, but it tended to decrease as the irrigation cycle became longer. The leaf marketability based on the irrigation cycle, leaf length, leaf width, leaf weight, and leaf thickness were best for the 24 h irrigation cycle treatment. The total polyphenols was higher for the 72 h irrigation cycle treatments compared to the others. Vitamin C concentrations were high at 48 and 72 h irrigation cycle treatment. Hence, the growth of *Gynura procumbens* based on irrigation cycle was maximum at 24-hour, and total polyphenol and vitamin C content was highest at 72-hour irrigation cycle treatment.

Keywords: *Gynura procumbens*, Irrigation, Functional ingredient contents, Hydroponics

Effect of irrigation frequency on antioxidant contents of *Gynura procumbens*. Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, $p < 0.05$).

Introduction

명월초 (*Gynura procumbens*)는 남부아시아, 인도네시아와 태국, 말레이시아가 원산지인 국화과의 식물로 동남아시아에서 주로 주식인 밥과 함께 쌈으로 즐겨 먹었으며 (Rosidah et al., 2008), 건강기능 식품 및 약용으로 이용되는 식물이다 (perry, 1980). 명월초의 기능성이 알려지면서 수요가 증가하고 있으나, 아직 재배방법이 표준화되어 있지 않은 실정이다.

수분은 온실과 같은 인위적인 환경에서 성장하는 작물에 있어서는 중요한 제한요인으로 작용한다. 작물의 생체 중량의 80 - 90% 정도를 차지하는 주요 성분으로, 광합성을 포함한 많은 식물대사 과정의 생화학 반응물이고 식물 성장을 촉진하며, 식물 세포의 확장에 영향을 미친다 (Kramer, 1983; Kim et al., 2011). 따라서 작물이 수분 스트레스를 받으면 줄기생장이 줄어들고 엽면적이 감소함으로써 증산량이 줄고 물질대사의 최종 산물인 광합성을 할 수 있는 능력도 줄어들게 된다. 또한, 토양내 낮은 수분 함량으로 발생하는 건조스트레스는 수체 내 수분포텐셜 및 광합성을 감소시켜 세포분열 및 비대 등 조직 발달을 억제하고 수체 생육과 과실 성장에 영향을 미치며, 지속되면 과실 품질을 크게 저하시킨다 (Cho et al., 1998; Glass et al., 2005; Rahmati et al., 2015).

수경재배는 토양 없이 양액을 공급하여 작물을 생산하는 시스템으로, 식물의 생육환경을 세밀하게 통제할 수 있기 때문에 생산량 증대 뿐 아니라 수확시기의 조절도 가능한 장점이 있으며, 수경재배 시 품질 향상을 위한 연구는 대내외적으로 활발히 진행되고 있다 (Mizrahi and Pasternak, 1985; Adams and Grimmer, 1986; Ehrt and Ho, 1986; Kim, 1992; Mizrahi et al., 1994).

본 연구는 노지재배의 단점을 보완할 수 있는 수경재배 기술의 일환으로 유기농자재로 등록된 액비를 이용하여 명월초의 수경재배 시 관수주기에 따른 생육 및 기능성성분 함량을 측정하여 명월초 상품성 향상을 위한 최적의 재배조건을 구명하고자 수행하였다.

Materials and Methods

시험처리 본 실험은 충청북도농업기술원 유기농업연구소 시험연구포장에서 수행하였으며, 시험에 사용된 명월초 (*Gynura procumbens*)는 청주시 미래 영농조합법인에서 구입하여 사용하였다. 명월초는 삼목 30일 후 생육이 우수한 묘를 선발하여 30 × 30 cm로 2019년 4월 24일 정식하였다. 수경재배 방식은 비순환식 고정배지경 방식을 사용하였고, 배지조성은 수경재배 시 명월초 생육이 우수한 버미큘라이트를 사용하였다 (Lee et al., 2019). 실험에 사용한 양액은 생육증진용 유기농자재로 등록된 시판자재 34종을 성분 분석한 후 2종 (Animal byproduct 75% + Seaweed extract 25%, Seaweed extract 100%)을 혼합하여 사용하였으며, 사용된 액비의 화학성은 Table 1과 같다. 액비의 처리 농도는 액비 중 질소농도를 70 mg L⁻¹로 조절하였으며, Kim et al. (2007)의 방법을 참고하여 pH 6.0 - 7.0, EC 1.0 - 2.0 dS m⁻¹로 주 1회 당 100 L 관수와 병행하여 실시하였다. 관수는 명월초 정식 부터 재배가 끝날 때까지 회 당 100 L 씩 점적관수 (Ø13 mm, Nam Kyung Co.)를 이용하여 12시간, 24시간, 48시간, 72시간 간격으로 전 생육기간에 걸쳐 관주하였다. 액비로 부터 공급된 처리구의 질소 양은 20 kg N 10a⁻¹ 이었다. 시험구 배치는 난괴법 3반복이며 처리당 면적은 7.2 m² 이다.

Table 1. Chemical properties of mixed organic agricultural materials used in this experiment.

	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
	- % -					
Range [†]	4.12 - 7.29	1.43 - 3.15	4.41 - 7.08	0.14 - 0.41	0.25 - 0.45	1.35 - 3.12
Average [‡]	5.84 ± 1.1	1.97 ± 0.6	5.02 ± 1.3	0.33 ± 0.1	0.41 ± 0.1	2.57 ± 0.5

[†] Range : represents the maximum and minimum values obtained by measuring 10 samples.

[‡] Average : represents the average values obtained by measuring 10 samples.

광량 및 근권 환경 측정 차광정도별 조도 및 광합성광량자속밀도 (PPFD, Photosynthetic Photon Flux Density) 는 휴대용 Spectrometer PG200N (UPRtek, Taiwan)를 이용하여 차광망 아래에서 5월 23일 1시경에 지면과 수평으로 위치하여 10반복씩 측정하였으며, 근권 온도 및 토양수분 함량은 5TE (Decagon, USA) 센서를 이용하여 지상부에서 15 cm 아래의 근권 부분을 명월초 정식 후 5월 - 6월까지 측정하였다.

엽색 및 엽록소 함량 측정 명월초의 엽색은 색차계 (CM-5, Minolta, Japan)을 사용하여 잎 윗면 엽맥을 피해서 Hunter (L, a, b) 값을 측정하였다. 엽록소 함량은 각 처리구 별로 2매씩 엽을 채취하였으며, 엽의 중앙, 좌, 우에서 0.1 g 엽편을 채취한 후 10 mL의 DMSO (dimethyl sulfoxide) 용액이 들어 있는 20 mL 병에 넣어 60°C로 설정된 항온 항습기에서 6시간 동안 색소를 추출하였다 (Hiscox and Israelstam, 1979). 추출한 용액은 UV-Visible Spectrophotometer (Cary 300, Agilent, USA)를 이용하여 663 nm와 645 nm의 파장에서 흡광도를 측정하고, Arnon (1949)의 방법에 따라서 엽중량 당 엽록소 함량을 산출하였다.

생육조사 생육조사중 초장 및 경경, 근장, 근중 등은 시험 종료시점에 각 처리별로 10주씩 측정한 다음 평균하였고, 명월초의 수량은 7일 마다 수확하여 누적생산량을 계산하였다. 명월초 상품성을 나타내는 엽장, 엽폭, 엽중, 엽두께는 주 당 가장 큰 엽을 취해 조사하였다. 기타 명월초의 생육 조사는 농업과학기술 연구조사 분석기준 (RDA, 2012)에 준하였다.

DPPH 라디칼 소거활성 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH)를 이용한 전자 공여능은 Bondet et al. (1997)의 방법을 참고로 하여 측정하였다. DPPH solution은 DPPH를 515 nm에서 흡광도 값이 1.00이 되도록 에탄올로 희석하였다. 각 농도 별 추출물에 DPPH solution을 첨가한 다음 37°C에서 20분 동안 반응시켜 UV-Visible Spectrophotometer (Cary 300, Agilent, USA)를 사용하여 515 nm에서 흡광도를 측정하였으며, DPPH 라디칼 소거 활성은 Eq. 1에 따라 계산하였다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = [1 - (A_{\text{Sample}} - A_{\text{Blank}})/A_{\text{Control}}] \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

‘A_{Sample}’ = Absorbance values of DPPH radicals after treatment with sample.

‘A_{Blank}’ = Absorbance values of ethanol.

‘A_{Control}’ = Absorbance values of DPPH radicals.

ABTS 라디칼 소거활성 ABTS 라디칼 소거 활성 능력은 Van den Berg et al. (1999)의 방법을 참고로 하여 측정하였다. ABTS solution은 2,2'-Azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt와 potassium persulfate를 혼합한 다음 24시간 동안 ABTS radical을 형성시켰다. 그 후 증류수를 이용하여 734 nm에서 흡광도 값이 1.00이 되도록 희석을 하였다. 각 농도 별 추출물에 ABTS solution을 첨가한 다음 37°C에서 20분 동안 반응시켜 UV-Visible Spectrophotometer (Cary 300, Agilent, USA)를 사용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였으며, ABTS 라디칼 소거활성은 Eq. 2에 따라 계산하였다.

$$\text{ABTS radical scavenging activity (\%)} = [1 - (A_{\text{Sample}} - A_{\text{Blank}})/A_{\text{Control}}] \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

‘ A_{Sample} ’ = Absorbance values of ABTS radicals after treatment with sample.

‘ A_{Blank} ’ = Absorbance values of H_2O .

‘ A_{Control} ’ = Absorbance values of ABTS radicals.

총 페놀 함량 분석 총 페놀 함량은 Folin-Denis (AOAC, 1995)의 방법을 참고로 하여 측정하였다. 건조시료 1 g에 1% Acetic acid/diethyl ether 100 mL를 혼합하여 5분간 추출 다음 상등액을 제거하였다. 그 후 잔여물과 70% Acetone을 혼합하여 50 mL를 만든 다음 2시간 동안 교반 추출하였다. 상등액을 filter paper로 걸러낸 다음, 70% Acetone으로 50 mL 정용 하였다. 추출물 50 μL 와 증류수 950 μL , Folin 500 μL 를 혼합한 다음, 20% Sodium carbonate 2.5 mL 넣고 40분 동안 실온에서 반응시켰다. 반응물을 흔들지 않은 상태에서 맑은 액체를 UV-Visible Spectrophotometer (Cary 300, Agilent, USA)를 이용하여 725 nm에서 흡광도를 측정하였다. Standard는 Tannic acid으로 정량 직선방정식을 사용하였다.

총플라보노이드 함량 분석 추출물 500 μL , 증류수 500 μL 와 10% aluminum nitrate 1 mL를 차례로 가하여 혼합하고 상온에서 30분간 반응 시킨 후 UV-Visible Spectrophotometer (Cary 300, Agilent, USA)를 이용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. Standard는 Rutin hydrate로 정량 직선 방정식을 사용하였다.

Vitamin C 함량 분석 비타민 C 함량은 Jagot and Dani (1982)의 방법을 참고로 하여 측정하였다. 건조시료 0.5 g에 증류수 10 mL 넣은 다음, 4,500 rpm에서 20분 동안 원심 분리하여 추출하였다. 추출물을 filter paper (No.2)로 걸러낸 다음, 200 μL 와 trichloroacetic acid (TCA) 800 μL 를 넣고 3,000 rpm으로 5분 동안 원심 분리하였다. 상등액 500 μL 와 증류수 1.5mL, Folin 200 μL 를 넣고 혼합한 다음 10분 동안 상온에서 반응시킨 후, UV-Visible Spectrophotometer (Cary 300, Agilent, USA)를 이용하여 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. Standard는 Ascorbic acid로 정량 직선 방정식을 사용하였다.

HPLC분석에 의한 Rutin hydrate 함량 측정 Rutin의 함량 측정은 High performance liquid chromatography (HPLC) 분석은 Waters 2695 system (Waters, Milford, MA, USA)과 Waters 2996 Photodiode array detector (PDA)를 통해 분석하였다. 실험에 사용된 표준물질은 1mg을 취하여 1mL의 메탄올에 용해하여 사용하였다. 표준물질과 시료는 0.45 μm membrane filter (Waters, Milford, MA, USA)를 이용해 여과 하였고, 표준물질 10 μL 시료 20 μL 를

A: acetonitrile, B: 1% acetic acid/H₂O을 이동상으로 Waters XBridge™ C-18 column (4.6 mm × 250 mm) packed with 5.0 μm diameter particles (Waters, Milford, MA, USA)를 이용하여 흡광도 255 nm에서 분석하였다.

통계분석 처리 간 통계분석은 SPSS 23.0 프로그램을 이용하였으며, Duncan's multiple range test를 통해 각 처리간의 통계적 유의성을 비교 검토하였다.

Results and Discussion

근권 온도 및 토양수분 함량 명월초 정식 후 관수주기에 따른 5월초 - 6월말까지의 근권 온도 및 토양수분 함량은 Fig. 1과 같다. 근권 토양수분 함량은 12 h 관수주기 처리에서 가장 높게 나타났으며, 72 h 관수주기 처리가 가장 낮게 나타나, 관수주기가 짧을수록 근권 토양수분 함량이 높고, 관수주기가 길어질수록 근권의 토양수분 함량이 낮게 나타났다. 근권의 온도는 72 h 관수주기 처리에서 가장 높게 나타났으며, 나머지 처리에서는 근권 온도가 거의 유사한 경향을 나타내었다.

엽색 및 엽록소 함량 관수주기에 따른 명월초의 엽색도는 Table 2와 같다. 엽색도 중 밝기를 나타내는 L값은 48 h 관수주기 처리에서 6.4로 가장 높게 나타났으며, 12 h 관수주기 처리에서 5.2로 가장 낮게 나타났다. 붉은색을 나타내는 a값은 12 h 관수주기 처리에서 0.56으로 가장 높게 나타났으며, 48 h 관수주기 처리에서 -0.08로 가장 낮게 나타났다. 노란색을 나타내는 b값은 관수주기에 따라 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 관수주기에 따른 명월초의 엽록소 함량은 Table 3과 같다. 엽록소 a 함량은 12 h 관수주기 처리에서 2.9 mg g⁻¹으로 가장 높게 나타났으며, 나머지 처리 간에는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 엽록소 b 함량은 관수주기 처리 간에 차이가 나타나지 않았다.

Fig. 1. Effect of irrigation frequency on soil water contents and temperature of rhizosphere.

Table 2. Effect of irrigation frequency on leaf color of *Gynura procumbens*.

Irrigation frequency	Leaf color (Hunter value)		
	L	a	b
1/12 h	5.2c [†]	0.56a	5.0a
1/24 h	6.0b	0.09b	5.0a
1/48 h	6.4a	-0.08c	4.8a
1/72 h	6.0b	0.01bc	4.8a

L: The value of lightness or darkness of color, 0 (black) - 100 (white).

a: The value of redness to greenness of color, -80 (green) - 80 (red).

b: The value of yellowness to blueness of color, -80 (blue) - 80 (yellow).

[†]Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, $p < 0.05$).

Table 3. Effect of irrigation frequency on chlorophyll contents of *Gynura procumbens*.

Irrigation frequency	Chlorophyll contents (mg g ⁻¹)		
	a	b	Total
1/12 h	2.9a [†]	0.8a	3.7a
1/24 h	2.3b	0.5a	2.8b
1/48 h	2.2b	0.6a	2.8b
1/72 h	2.3b	0.6a	2.9b

[†]Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, $p < 0.05$).

전체 엽록소 함량은 엽록소 a 함량과 유사하게 12 h 관수주기 처리에서 3.7 mg g⁻¹로 가장 높게 나타났으며, 24 - 72 h 관수주기 처리 간에는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 관수 주기 처리에 따른 열대림 수종의 광합성 능력은 관수 주기가 길어질수록 낮아지는 경향을 나타냈다는 보고 (Lee et al., 2010)와 수분부족이 앞에서 광합성감소를 직접 유도한다 (Medrano et al., 1997)는 연구결과와 같이 열대식물인 명월초도 관수주기 짧은 12 h 관수주기 처리에서 엽록소 함량이 높은 결과를 나타내었다.

생육특성 관수주기에 따른 명월초의 생육은 Table 4와 같다. 초장은 12 h 관수주기 처리에서 153.7 cm로 가장 높게 나타났으며, 72 h 관수주기 처리 109.4 cm로 가장 낮게 나타나 관수주기가 짧아 수분공급이 충분할수록 초장이 큰 경향을 나타내었다. 경경은 72 h 관수주기 처리에서 8.5 mm로 가장 작게 나타났으며, 나머지 처리 간에는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 근장은 72 h 관수주기 처리가 48.5 cm로 가장 낮게 나타났으며, 나머지 처리 간에는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 근중은 24 h 관수주기 처리 22.9 g으로 가장 높게 나타났으며, 72 h 관수주기 처리 12.8 g으로 가장 낮게 나타났다. 관수주기에 따른 명월초의 수량은 12 h 관수주기와 24 h 관수주기 처리에서 각각 148.7 g, 150.2 g으로 가장 높게 나타났으며, 72 h 관수주기 처리 93.5 g으로 가장 작게 나타났다. 이러한 경향은 명월초의 생장이 관수주기에 따른 수분함량에 영향을 받기 때문으로 사료 된다. 일반적으로 수목의 생장은 생육기간 내 수분 함량에 따라 많은 영향을 받으며, 수목의 생장률과 토양수분 함량은 비례관계에 있으며, 수분이 충분할 경우 생장률은 높아지고, 수분이 부족하면 묘목의 생장률이 낮아진다고 알려져 있다 (Downes et al., 1999; Wright et al., 2001). 초본류도 관수량에 따라 줄기의 생장에 큰 차이가 나타나는 것으로 보고되었다 (Hwang et al., 2010; Min et al., 2004; Rhee et al., 2008). 한편, 열대수종인 *Eucalyptus pellita*와 *Acacia mangium*을 대상으로 1 - 3일의 관수주기로 관수

Table 4. Effect of irrigation frequency on growth of *Gynura procumbens*.

Irrigation frequency	Height (cm)	Stem diameter (mm)	Root length (cm)	Root weight (g)	Yield (g plant ⁻¹)
1/12 h	153.7a [†]	10.0a	68.7a	16.7b	148.7a
1/24 h	141.0b	10.0a	85.3a	22.9a	150.2a
1/48 h	135.4b	9.9a	69.7a	15.7b	119.0b
1/72 h	109.4c	8.5b	48.5b	12.8c	93.5c

[†]Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, $p < 0.05$).

Table 5. Effect of irrigation frequency on leaf marketability of *Gynura procumbens*.

Irrigation frequency	Leaf numbers (ea)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf weight (g)	Leaf thickness (mm)
1/12 h	17.7b [†]	15.9a	7.1ab	4.90b	1.76ab
1/24 h	19.5ab	16.0a	7.4a	5.68a	1.84a
1/48 h	21.1ab	15.2ab	6.8bc	4.66b	1.63b
1/72 h	23.0a	14.3b	6.3c	4.52b	1.40c

[†]Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, $p < 0.05$).

실험을 한 결과를 보면 1일마다 관수를 실시한 처리구의 간장과 근원경이 가장 높은 생장률을 보였으며, 관수주기가 길어질수록 생육이 저조한 경향을 보였다고 하였다 (Lee et al., 2010). 이와 유사하게, 명월초의 생육도 관수주기가 짧아 수분이 충분할수록 생육이 우수하였으며, 관수주기가 길어져 수분이 적어질수록 생육이 저조한 경향을 나타내었다.

관수주기에 따른 명월초의 엽 상품성은 Table 5와 같다. 엽수는 72 h 관수주기 처리에서 23.0개로 가장 많이 나타났으며, 12 h 관수주기 처리에서 17.7개로 가장 적게 나타났다. 엽장은 12 h 관수주기 처리와 24 h 관수주기 처리에서 각각 15.9 cm, 16.0 cm로 가장 높게 나타났으며, 72 h 관수주기 처리에서 14.3 cm로 가장 낮게 나타났다. 엽폭은 24 h 관수주기 처리에서 7.4 cm로 가장 높게 나타났으며, 72 h 관수주기 처리에서 6.3 cm로 가장 작게 나타났다. 엽중은 24 h 관수주기 처리에서 5.68 g으로 가장 높게 나타났으며, 나머지 관수주기 처리 간에서는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 엽두께도 24 h 관수주기 처리에서 1.84 mm로 가장 높게 나타났으며, 72 h 관수주기 처리에서 1.40 mm로 가장 작게 조사되었다. 관수주기에 따른 명월초 엽의 상품성도 생육과 유사하게 관수주기가 짧아 수분이 충분할수록 엽장, 엽폭, 엽두께가 우수하였으며, 관수주기가 길어져 수분이 적어질수록 생육이 저조한 경향을 나타내었다.

항산화 활성 및 기능성성분 함량 관수주기에 따른 명월초의 항산화활성은 Fig. 2와 같다. 항산화활성 중 DPPH 활성은 시료농도 0.5%에서는 48 h 관수주기 처리와 72 h 관수주기 처리에서 다른 처리에 비해 높게 나타났으며, 12 h 관수주기 처리에서 가장 낮게 나타났다. 시료농도 2.5%에서는 관수주기 처리 간에 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. ABTS 활성도 시료농도 0.5%에서 12 h 관수주기 처리에서 가장 낮게 나타났으며, 나머지 처리 간에는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 시료농도 2.5%에서는 관수주기 처리 간에 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. Shin (2019)에 의하면 수확 전 수분스트레스 처리에 따른 케일의 DPPH 라디칼 소거활성은 정상적인 조건에서 재배된 대조구 식물과 비교하여 유의적으로 증가하였다고 보고하였다. 본 시험에서도 시료농도 0.5%에서 24 h 주기로 관수를

하였을 때 12 h 주기에 비해 DPPH활성과 ABTS활성이 증가함을 볼 수 있었다. 총 폴리페놀은 식물에 널리 분포하는 다양한 화합물그룹으로 간단한 저분자로는 phenolic acid, ployphenol, phenylpropanoid, flavonoid 등이 있으며, 고분자로는 lignin, melanin, tannin 등이 있다. 이들은 항산화효과 뿐만아니라 항박테리아, 항염, 항알러지, 항균등 다양한 생리활성을 나타낸다. 식물계에 널리 분포되어 있는 페놀계 화합물은 식물의 2차 대사산물의 하나로서 다양한 구조와 분자량을 가지며, phenolic hydroxyl기를 가지고 있기 때문에 단백질 등의 거대분자들과 결합하는 성질이 있어 항산화, 항균활성 등과 같은 여러 생리기능을 가진다고 보고되어 있다(Choi et al., 2003). 관수주기에 따른 명월초의 항산화물질 함량은 Fig. 3과 같다. 항산화물질 중 총폴리페놀함량은 72 h 관수주기 처리에서 다른 처리에 비해 높게 나타났으며, 12 - 48 h 처리 간에는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 플라보노이드 함량은 관수주기 처리 간에 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 비타민 C 함량은 48 h 관수주기 처리와 72 h 관수주기 처리에서 높게 나타났으며, 12 h 관수주기 처리와 24 h 관수주기에서는 낮게 나타났다. 관수주기에 따른 루틴 함량은 처리 간에 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다 (Fig. 4). Shin (2019) 에 의하면 수확 전 수분스트레스 처리에 따른 케일의 총페놀함량과 총플라보노이드 함량이 정상적인 조건에서 재배된 대조구 식물과 비교하여 유의적으로 증가하였다고 보고하였다. 본 시험에서도 관수주기가 길어짐에 따른 수분 감소로 인해 총폴리페놀은 72 h 관수주기에서 증가하였으며, 비타민 C 함량은 48 h 관수주기에서 증가함을 나타내었다.

Fig. 2. Effect of irrigation frequency on DPPH and ABTS radical scavenging activity of *Gynura procumbens*. Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, $p < 0.05$).

Fig. 3. Effect of irrigation frequency on antioxidant contents of *Gynura procumbens*. Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, $p < 0.05$).

Fig. 4. Effect of irrigation frequency on rutin contents of *Gynura procumbens*. Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, $p < 0.05$).

Conclusions

본 연구는 2019년 충북 괴산군 유기농업연구소에서 노지재배의 단점을 보완할 수 있는 수경재배 기술의 일환으로 명월초의 관수주기에 따른 생육 및 기능성성분 함량을 측정하여 최적의 재배조건을 구명하고자 수행하였다.

관수주기에 따른 근권의 토양수분 함량은 관수주기가 짧을수록 근권 토양수분 함량이 높게 나타났으며, 관수주기가 길수록 낮게 나타났다. 근권의 온도는 72 h 관수주기 처리에서 가장 높게 나타났으며, 나머지 처리에서는 근권 온도가 거의 유사하게 나타났다. 관수주기에 따른 명월초의 생육 중 초장은 관수주기가 짧을수록 크게 나타났으며, 관수주기가 길어질수록 작게 나타났다. 경경과 근장은 72 h 관수주기 처리에서 다른 처리에 비해 작게 나타났다. 관수주기에 따른 명월초의 수량은 12 - 24 h 관수주기까지는 수량이 높게 나타났으나, 관수주기가 길어질수록 낮아지는 경향을 나타내었다. 관수주기에 따른 명월초의 엽 상품성 중 엽장, 엽폭, 엽중, 엽두께는 24 h 관수주기 처리에서 16.0 cm, 7.4 cm, 5.68 g, 1.84 mm로 가장 우수하게 나타났다.

관수주기에 따른 명월초 항산화활성 중 DPPH 활성은 시료농도 0.5%에서는 48 h 관수주기 처리와 72 h 관수주기 처리에서 다른 처리에 비해 높게 나타났으며, ABTS 활성은 시료농도 0.5%에서 12 h 관수주기 처리에서 가장 낮게 나타났으며, 나머지 처리 간에는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 관수주기에 따른 명월초의 총폴리페놀함량은 72 h 관수주기 처리에서 다른 처리에 비해 높게 나타났으며, 비타민 C 함량은 48 h 관수주기 처리와 72 h 관수주기 처리에서 높게 나타났다. 플라보노이드와 루틴 함량은 처리간에 유의성있는 차이가 나타나지 않았다.

관수주기에 따른 명월초 생육, 수량 및 엽의 상품성은 24 h 관수주기 처리가 가장 우수하게 나타났으며, 항산화활성, 총폴리페놀, 비타민 C 함량은 72 h 관수주기에서 가장 우수하게 나타났다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Regional specialized crop cultivation technology development (Project No. PJ01361402)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Adams, P. and M.M. Grimmett. 1986. Some response of tomatoes to concentration of recirculating nutrient solution. *Acta. Hort.* 78:29-35.
- AOAC. 1995. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24:1-15.
- Bondet, V., W. Brand Williams, and C. Berset. 1997. Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH free radical method. *Lebensm. Wiss. U-Technol.* 30:609-615.
- Cho, D.H., S.E. Shin, K. Heo, and C.Y. Yu. 1998. Study on matter production and photosynthetic characteristics in wild vegetable. *Korean J. Plant Res.* 11:307-314.
- Choi, Y.M., M.H. Kim, J.J. Shin, J.M. Park, and J.S. Lee. 2003. The antioxidant activities of the some commercial teas. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* 32:723-727.
- Downes, G., C. Beadle, and D. Worledge. 1999. Daily stem growth patterns in irrigated *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in relation to climate. *Trees*. 14:102-111.
- Ehret, D.L. and L.C. Ho. 1986. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *Hort. Science*. 61:361-367.
- Glass, V.M., D.C. Percival, and J.T.A. Proctor. 2005. Tolerance of lowbush blueberries (*Vaccinium angustifolium* Ait.) to drought stress. I. Soil water and yield component analysis. *Can. J. Plant Sci.* 85:911-917.
- Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*. 57:1332-1334.
- Hwang, S.M., T.R. Kwon, E.S. Doh, and M.H. Park. 2010. Growth and physiological adaptations of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill) in response to water scarcity in soil. *J. Bio-Env. Con.* 19:266-274.
- Jagot, S.K. and H.M. Dani. 1982. A new colorimetric technique for the estimation of vitamin C using folin phenol reagent. *Anal Biochem.* 127(1):178-82.
- Kim, H.G., J.Y. Cho, S.O. Yu, S.Y. Yang, J.G. Kang, and B.G. Heo. 2007. Effect of the mixing ratio of the different substrates and the concentration of fertigation in nutrient solution on the growth of tomato plug seedlings. *Journal of Bio-Environment Control*. 16(2):108-114.
- Kim, H.L., Y.B. Kwack, H.D. Kim, J.G. Kim, and Y.H. Choi. 2011. Effect of different soil water potentials on growth properties of northern-highbush blueberry. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:161-167.
- Kim, T.S. 1992. The effect silicon on physiological nutrition and man-ganese toxicity of tomato plant. Ph. D program in agricultural chemistry graduate school of Kon-KuK University, Seoul, Korea.
- Kramer, P.J. 1983. Water relations of plants. Academic Press. New York, USA.
- Lee, K.H., S.H. Lee, J.H. Kim, and J.H. Park. 2019. Growth and antioxidant activity of *gynura procumbens* by natural media composition in hydroponic cultivation using organic nutrient solution. *Korean J. Org. Agric.* 27(3):341-351.
- Lee, S.W., M.S. Cho, and G.N. Kim. 2010. Effect of different irrigation period on photosynthesis and growth performances of containerized seedling of *Eucalyptus pellita* and *Acacia mangium*. *J. Korean Forest Soc.* 99(3):414-422.

- Medrano, H., M.A.J. Parry, X. Socias, and D.W. Lawlor. 1997. Long term water stress inactivates Rubisco in subterranean clover. *Ann. Appl. Biol.* 131(3):491-501.
- Min, B.R., W. Kim, B.S. Lee, and D.W. Lee. 2004. Effects of method, number of times for spraying and ventilation condition on the growth in greenhouse. *J. Bio-Env. Con.* 13:149-155.
- Mizrahi, Y. and D. Pasternak. 1985. Effects of salinity on quality of various agricultural crops. *Plant and Soil.* 89:301-307.
- Mizrahi, Y., E. Taleisnik, V. Kagan-Zur, Y. Zohar, R. Offenbach, and E. Mohammad. 1994. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Press, New York, 235-250.
- Perry, L.M. 1980. Medicinal plants of east and southeast asia:attributed properties and uses. The MIT Press.
- Rahmati, M., G. Vercambre, G. Davarynejad, M. Bannayan, M. Azizi, and M. Gènard. 2015. Water scarcity conditions affect peach fruit size and polyphenol contents more severely than other fruit quality traits. *J. Sci. Food Agric.* 95:1055-1065.
- Rhee, H.C., M.W. Cho, Y.C. Um, J.M. Park, and J.H. Lee. 2008. Control of irrigation amount for production of high quality fruit in melon fertigation cultivation. *J. Bio-Env. Con.* 17:288-292.
- Rosidah, M. Yam, A. Sadikun, and Asmawi. 2008. Antioxidant potential of *Gynura Procumbens*. *Pharm. Biol.* 46: 616-625.
- Rural Development Administration. 2012. Standard research and analysis of agricultural science. 1-1136.
- Shin, M.S. 2019. Growth and antioxidant content of kale subjected to short-term water stress before harvest in a plant factory with artificial lighting. The graduate school of the university of seoul, Seoul, Korea.
- Van den Berg, R., G.R. Haenen, H. Van den Berg, and A. Bast. 1999. Applicability of an improved Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay for evaluation of antioxidant capacity measurements of mixtures. *Food Chem.* 66:511-517.
- Wright, I.J., P.B. Reich, and M. Westoby. 2001. Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high- and low-nutrient habitats. *Functional Ecol.* 15:423-434.