

식물공장 재배시스템에 따른 방풍나물의 생육, 비타민 C와 아미노산 함량 및 수량에 미치는 영향

이광재^{1,2} · 허정욱^{2,1} · 정충렬² · 김현환² · 윤정범³ · 김동억^{4*} · 남상영¹

¹충청북도농업기술원 원예연구과, ²국립농업과학원 생산자동화기계과,
³국립원예특작과학원 원예특작환경과, ⁴한국농수산대학 공동교양과

Effects of Plant Factory Cultural Systems on Growth, Vitamin C and Amino Acid Contents, and Yield in Hydroponically Grown *Peucedanum japonicum*

Guang-Jae Lee^{1,2}, Jeong-Wook Heo^{2,1}, Chung-Ryul Jung², Hyun-Hwan Kim², Jung-Beom Yoon³,
Dong-Eok Kim^{4*}, and Sang Young Nam¹

¹Div. of Horticultural Research, Chungbuk Agricultural Research and Extension Service, Choengju, 28130, Korea

²Div. of Farming Automation, National Academy of Agricultural Science, Jeonju, 55365, Korea

³Div. of Horticultural and Herbal Crop Environment, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Jeonju, 55365, Korea

⁴Dept. of General Education, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju, 54874, Korea

Abstract. This study was carried out to investigate the effects of cultural systems on growth, vitamin C, amino acid content, and yield of *Peucedanum japonicum* grown in artificial light plant factory. Treatments were given with Nutrient Film Technique (NFT), Medium (Perlite), and Aeroponics. Plant height was the highest in NFT system as 10.2cm, and was the shortest in Perlite as 8.9cm. Fresh leaf weight was the high in order of Perlite, NFT, and Aeroponics. Total phenolic compounds was different from cultural systems in order of Aeroponics as 117.84mg·100g⁻¹ GE, NFT as 98.57mg·100g⁻¹ GE and Perlite as 74.62mg·100g⁻¹ GE. Total flavonoid content of Aeroponics is 0.12mg·100g⁻¹ but that of NFT and Perlite treatments is not detected. Vitamin C content in Aeroponics as 108.23mg·100g⁻¹ was significant different from Perlite as 88.05mg·100g⁻¹ as and NFT 80.83mg·100g⁻¹. Total dietary fiber content was higher Aeroponics than Perlite and NFT. Cystein content was the highest in Aeroponics as 46.76mg·100g⁻¹ and methione content was the lowest in Perlite as 75.64mg·100g⁻¹. Mineral content of leaves was high in order of K, Ca, P and Mg in all treatments.

Additional key words : dietary fiber, flavonoid, NFT, perlite, phenol

서 언

자연광 식물공장은 유럽이나 일본에서 도입된 개념으로 광을 제외한 모든 환경요인을 인위적으로 제어가 가능한 유리온실을 말한다. 우리나라에서는 완전폐쇄형 인공광 식물공장을 의미하기도 한다. 우리나라는 유럽과 달리 여름과 겨울철의 극고온과 극저온으로 인한 환경조절 부하가 커 자연광 식물공장으로 운영하는데 어려움이 많다. 식물공장 광원으로 LED는 광질, 광량 등 조절이 가능하여 식물의 생장반응, 생리활성, 색소 발현 등의 연구를 통하여 인공광원으로써 각광을 받고 있다(Caldwell과

Britz, 2006; Heo 등, 2006; Heo 등, 2009; Heo 등, 2010a; Heo 등, 2010b). 최근 들어 인공광 식물공장 실용화를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다(Ikeda 등, 1992; Heo 등, 2010a; Inden 등, 2011). 따라서, 식물공장은 작물의 재배기술과 첨단 ICT 융복합 기술의 결정체로 최근 스마트온실이라고 불리우고 있다. 식물공장에서는 작물의 환경을 인위적으로 조절하는 것이 가능하므로, 년중 소비가 이루어지고 부가가치가 높은 작물을 재배하는 것이 운영에 도움이 될 것이다.

방풍나물(*Peucedanum japonicum* Thunb)은 갯방풍 또는 갯기름나물로 불리며, 그 뿌리를 식방풍이라 한다. 중국 방풍 또는 원방풍(*Saposhnikovia divaricata* Schischkin, *Ledebouriella saseloides* Wolef)이라 불리는 작물과는 다른 작물이다. 방풍나물은 주로 어린 잎을 생식하거나 익혀 나물로 이용하며 식품뿐만 아니라 약리

*Corresponding author: ds3inj@korea.kr

Received September 09, 2015; Revised November 17, 2015;

Accepted November 27, 2015

효과로 이용성이 기대되는 작물이다(Jin 등, 1992). 방풍나물은 주로 전남 여수 지방에서 노지재배를, 충남 보령, 태안, 경북 포항 지역에서는 하우스 재배를 하고 있다. 방풍나물의 소비량은 증가하는 것으로 파악되나 정확한 통계는 집계되지 않고 있다. 방풍나물의 소비량의 증가와 주년 소비 패턴의 정착을 위해 식물공장에서 안정적인 생산을 위한 재배시스템에 관한 연구가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구는 식물공장에서 부가가치가 높고 연중 소비가 이루어지는 방풍나물이 재배시스템에 따른 생산성과 기능성을 검토코자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시험개요

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 식물공장에서 수행하였다. 2014년 3월 24일 105구 육묘 트레이에 28×28 mm의 스펀지를 넣고 스펀지에 파종하여 육묘 후 2014년 5월 10일 정식하였다. 정식 후 30일부터 90일까지 10~14일 간격으로 생육 상태에 따라 수확을 하였다.

2. 처리내용 및 재배 시스템

처리내용은 박막수경(NFT), 펄라이트경(Perlite), 분무경(Aeroponics)이었다. 재배 시스템은 주문 제작(대산정밀(주), 의왕)하여 시험을 수행하였다(Fig. 1). 재배 시스템의 1단은 분무경, 2단 배지경, 3단은 NFT 시스템 방식을 채용하였다. 광원은 LED를 사용하였으며, LED의 소비전력은 0.2w이었다. 적색 LED는 650nm, 청색 LED는 450nm, 백색 LED는 9,000°K 이상이었으며, 광원을 24시간 타이머로 제어하였다. LED 바(bar)는 적색 LED 24개, 청색 LED 12개, 백색 LED 36개 등 72개 LED를 2:1:3으로 배치하였다. NFT의 water way는 2중 구조로 수위 조절이 가능하며, 3열로 배치하였으며 Φ 65mm 독립포트를 사용하였다. 사용된 배지는 펄라이트(Φ 2~5mm)이었으며, 점적호수를 3줄을 깔고 흑색비닐로 멀칭하였다.

방풍나물을 3줄로 정식하였다. 분무경의 정식판은 10T 플라스틱 소재로 Φ 65mm 구멍 36개(12개×3줄) 타공하였다. 각 단 상부에 DC 유동팬을 각각 2개씩 설치하였다. 90 L의 양액 탱크를 3개 설치하여 각 시스템별로 양액을 별도로 공급하였다. LED에서 정식판까지 거리는 240mm이었으며, 재배장치의 크기(가로×세로×높이)는 1,740×680×1,870(mm)이었다.

3. 환경관리

표준 배양액은 Yamazaki 파드득액(N-P-K-Ca-Mg=8-2-4-4-2me·L⁻¹)을 사용하였으며, 재배시스템에 따라 양액 공급을 달리하였다. 즉, NFT는 매 20분마다 5분 공급, 배지경은 매 60분마다 10분 공급, 분무경은 3분 공급/10분 정지하였다. 배양액의 pH와 EC는 각각 6.0과 1.5ds·m⁻¹으로 주기적으로 보정하였다. 식물공장의 일장은 12시간이었으며, 광량지속 밀도는 150 μ mol·m⁻²·s⁻¹이었다. 식물공장 온도는 22±0.5°C이고, 습도 50%이었다. 이산화탄소는 별도로 사용하지 않았으며, 400±100 μ mol·mol⁻¹이었다.

4. 생육 조사

정식 후 30일부터 90일까지 10~14일 간격으로, 처리별 12주씩 3반복으로 생육 및 수량조사를 실시하였다. 생체중, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소 함량, 건물중 등을 측정하였다. 지상부 건물중은 70°C로 설정된 드라이오븐(VS-1202D4, Vision Co. Ltd., Korea)에서 4일간 건조시킨 후 측정하였다.

5. 성분 분석

비타민 C 정량은 비타민 C 추출을 위하여 시료 20g에 5% meta-phosphoric acid 용액을 일정량 가하여 균질화 후 8000×g에서 5분간 원심분리 하여 Whatman No. 2 여과지로 여과한 후 이 여액을 적절히 희석하여 2,4-dinitro-phenol hydrazin(DNP) 비색법으로 정량하였다.

아미노산은 Woo 등(2007)의 방법에 준하여 전처리 하

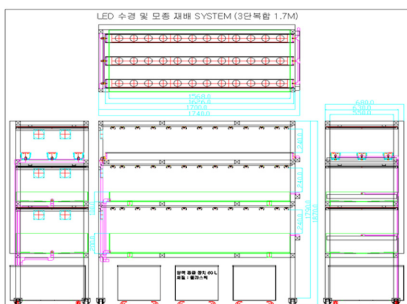


Fig. 1. Design and scene of cultural system

였으며, 아미노산자동분석기(Biochrom 30, Biochrom Ltd., Cambridge, UK)를 이용하여 분석하였다. 이때 buffer solution은 lithium citrate buffer를 사용하였고, buffer flow rate는 0.33mL·min⁻¹, ninhydrin flow rate는 0.33mL·min⁻¹, column 온도는 37°C이며, injection volume은 40μL로 하였다.

총 식이섬유는 AOAC(1996)법에 준하여 분석하였다. 즉, 효소 중량법(enzymatic-gravimetric method)으로 시료액과 분말시료를 a-amylase solution(heat stable, for dietary fiber assay)으로 액화 시킨 다음 protease와 amylogucosidase를 차례로 반응시켜 단백질을 제거하는 효소적 가수분해 과정을 거친 후 가수분해된 용액의 잔사를 ethanol과 acetone으로 세척하여 건조 전·후의 무게 차를 구하고 단백질 및 회분을 정량한 다음 총 식이 섬유소 산출식에 의하여 함량을 산출하였다.

총 페놀 함량을 분석하기 위하여 채취한 시료를 막자사발에 넣은 후 액체질소를 넣고 갈아준다. 그 후 3mL의 80% acetone을 마이크로피펫으로 넣고 다시 한번 섞어 준다. Transfer pipet으로 1mL의 시료를 마이크로튜브에 보관한다. 작업이 완료된 분석시료를 4°C의 챔버에 12시간 이상 보관한다. 새로 준비한 마이크로튜브에 증류수 135μL, 10% Folin-Ciocalteu reagent 750μL, 분석 시료 50μL, 7.5% Na₂CO₃ 600μL를 순서대로 넣어준다. Blank micro tube에 증류수 135μL, 10% Folin-Ciocalteu reagent 750μL, 80% acetone 50μL, 7.5% Na₂CO₃ 600μL를 순서대로 넣어준다. 분석 시료를 각 10초씩 vortexing 한 후 45°C water bath에 15분간 넣어 준다. 그 후 충분히 식혀 준다. 1mL의 시료를 취하여 분광광도계로 765nm에서 흡광도를 측정한다.

총 플라보노이드 함량을 분석하기 위하여 시료 0.2g을 막자사발에 갈고 70% Ethanol (pH 3.2 by formic acid) 3mL을 넣는다. 추출액 1mL을 일회용 피펫을 이용해 마이크로튜브에 넣는다. 3mL의 용기에 추출액 25μL, 5% NaNO₂ 75μL, 10% AlCl₃ (freshness) 150μL, 1M-NaOH 500μL을 넣고 전체가 2.5mL이 되도록 증류수를 채운다. 충분히 섞어 준 뒤 5분을 기다린다. Spectrophotometer 510nm에서 측정한다. Standard curve는 catechin으로 얻었다.

결과 및 고찰

방풍의 초장은 NFT와 Aeroponics 처리에서 10.2~9.2cm의 분포를 나타냈으며, Perlite 처리에서 8.9cm로 가장 짧았다(Table 1). 분무경의 엽장과 엽폭은 각각 7.4cm와 10.9cm로 우수하여 다른 처리구와 유의성을 나타냈다. 엽폭은 NFT와 Perlite가 Aeroponics와 통계적인 유의성을 나타냈으며, 엽록소 함량은 NFT에서 52.4로 가장 높았다. NFT와 Perlite에서 잎이 두꺼웠으며, Aeroponics는 뿌리의 발달이 왕성하였다. 본 연구에서 지하부의 삼상을 측정할 수는 없었지만 재배시스템에 따라 지하부의 삼상의 차이가 뿌리의 발달과 지상부의 생육에도 영향을 미친 것으로 생각된다. Perlite는 수량이 많고 건물중 함량이 높았으나, 배지 수거, 배지 충전, 배지 소독 등에 어려움이 예상되므로 식물공장내에서 적용하는 것이 쉽지는 않을 것이라고 생각되었다. 수확엽수는 NFT와 Perlite는 15.4~16.0매로 처리간에 차이가 없었으나, Aeroponics는 12.1매로 가장 적었다.

주당 엽 생체중은 Perlite에서 62.9로 가장 무거웠고, NFT, Aeroponics순이었다(Table 2). 엽 건물율은 Aeroponics가 18.3%로 가장 높았고, NFT와 Perlite는 각각 16.5%, 15.4%로 낮았다. 생근중은 Aeroponics가 19.55 g으로 가장 무거웠으나, NFT와 Perlite는 처리간에는 유의성을 나타내지 않았다. 뿌리 건물중도 뿌리 생체중과 같은 경향으로 Aeroponics가 2.84g으로 가장 무거웠으나, 건물율은 처리에 따라 13.3~14.5%의 분포를 나타냈다. T/R율은 Perlite가 5.56으로 가장 높았으며, NFT, Aeroponics 순이었다. 생육과 수량이 시스템에 따라 차이가 나는 것은 재배시스템에 따른 지하부 삼상의 차이(dara not shown)가 뿌리의 발달, 지상부의 생육뿐만 아니라 수량에도 영향을 미친 것으로 생각된다.

방풍재배시스템별 총 페놀 함량은 Aeroponics가 117.84mg·100g⁻¹ GE로 가장 높았다. 다른 처리와 유의성을 나타냈으며, NFT와 Perlite는 각각 98.57-, 74.62mg·100g⁻¹ GE 순으로 재배 방법에 따라 차이를 나타냈다(Table 3). 방풍의 폴리페놀 함량은 노지재배가 3.08mg·g⁻¹

Table 1. Characteristics of plant height, leaf length, leaf width, leaf thickness, chlorophyll content, and number of harvested leaves according to different cultural systems in *Peucedanum japonicum* plant factory.

Cultural systems	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf thickness (mm)	Chlorophyll content (SPAD value)	No. of harvested leaves
NFT	10.2 a ²	5.2 b	9.3 b	0.427 a	52.4 a	16.0 a
Perlite	8.9 b	5.0 b	8.7 b	0.442 a	48.2 b	15.4 a
Aeroponics	9.2 ab	7.4 a	10.9 a	0.408 b	47.3 b	12.1 b

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 2. Characteristics of fresh weight, dry weight, percentage of dry matter of leaves and root, and T/R ratio according to different cultural systems in *Peucedanum japonicum* plant factory.

Cultural system	Leaves			Root			T/R ratio
	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Percentage of dry matter (%)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Percentage of dry matter (%)	
NFT	55.0 b ^z	9.1 b	16.5 b	11.85 b	1.71 b	14.4 a	3.71 b
Perlite	62.9 a	9.7 a	15.4 c	11.31 b	1.50 b	13.3 a	5.56 a
Aeroponics	49.0 c	9.0 b	18.3 a	19.55 a	2.84 a	14.5 a	2.51 c

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 3. Characteristics of total phenolic compound content, and total flavonoid content according to different cultural systems in *Peucedanum japonicum* plant factory.

Cultural system	Total phenolic compound content (mg·100g ⁻¹ GE)	Total flavonoid content (mg·100g ⁻¹)
NFT	98.57 b ^z	Not detected
Perlite	74.62 c	Not detected
Aeroponics	117.84 a	0.12

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

extract로 하우스재배 2.39mg·g⁻¹ extract에 비해 높은 함량을 나타내며(Jin 등, 2014), 적치마상추는 LED R/B 90/30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 청치마는 80/40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 가장 높다고 보고되었다(Lee, 2014). Son 등(2012)은 청색 LED가 상추의 총 페놀 축적을 유도한다고 보고하였다. 선행 연구(Jin 등, 2014; Lee, 2014; Son 등, 2012)와 본 연구 결과를 종합해 보면 총 폴리페놀 함량은 재배방법, 품종, LED R/B의 비율에 따라 차이가 남을 알 수 있었다.

총 플라보노이드는 다른 처리구에서는 검출되지 않았으나, Aeroponics에서만 0.12mg·100g⁻¹가 검출되었다. LED 적정 광량에 따른 플라보노이드 함량은 적치마상추가 90/

30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 처리에서, 청치마상추는 80/40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 과 60/60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 가장 높았다(Lee, 2014). 총 플라보노이드 함량은 재배방법이나 품종에 따라 차이가 나는 것으로 생각되었다.

방풍의 비타민 C 함량은 Aeroponics가 108.23mg·100g⁻¹으로 가장 높았으며, Perlite가 88.05mg·100g⁻¹, NFT가 80.83mg·100g⁻¹으로 처리에 따라 통계적인 유의성을 나타냈다(Fig. 1). 방풍의 비타민 C의 함량은 노지재배가 18.4mg·100g⁻¹으로 하우스재배 13.3mg·100g⁻¹보다 높았고 보고되었다(Jin 등, 2014). Lee(2009)는 시금치의 비타민 C 함량은 생육 일수가 증가할수록 증가하지만, 방풍은 수확시기에 따라 뚜렷한 함량 변화는 없다고 보고하였다(Jin 등, 2014). Yoon 등(2010)은 고추의 비타민 C 함량은 노지재배, 비가림 재배 등의 재배법보다 품종에 따라 유의적인 차이가 크다고 보고하였다. 선행 연구 결과(Jin 등, 2014; Lee, 2009; Yoon 등, 2010)와 본 연구 결과를 종합해 보면 작물의 생육단계, 수확시기, 재배방법에 따른 비타민 C 함량의 차이가 있었다. 이는 작물의 비타민 C 함량은 phytochemicals의 일종으로 환경에 영향을 받는 가변 변량이기 때문이라고 생각된다.

방풍의 총 식이섬유소 함량은 Aeroponics가 5.98mg·100g⁻¹로 가장 많았고, Perlite와 NFT는 각각 5.82-

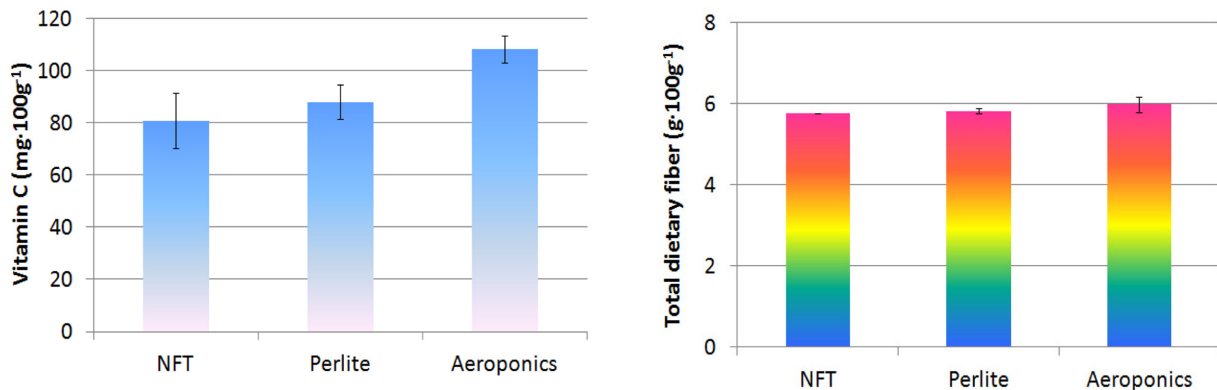


Fig. 2. Characteristics of vitamin C and total dietary fiber content in leaves according to different cultural systems in *Peucedanum japonicum* plant factory.

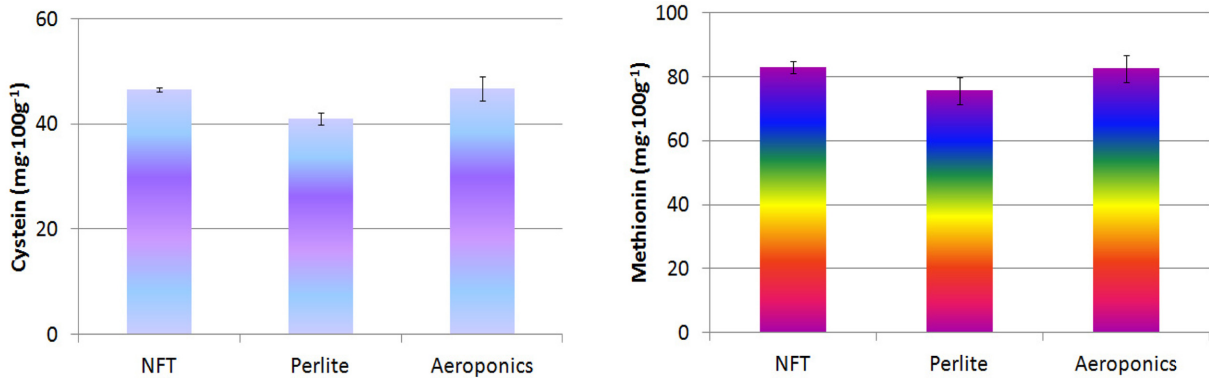


Fig. 3. Characteristics of cystein and methionine content in leaves according to different cultural systems in *Peucedanum japonicum* plant factory.

Table 4. Contents of mineral of leaves according to different cultural systems in *Peucedanum japonicum* plant factory.

	Unit : %					
	T-N	P	K	Ca	Mg	S
NFT	4.20±0.06 ^z	1.28±0.10	4.16±0.06	2.02±0.14	0.24±0.00	0.40±0.09
Perlite	4.59±0.05	1.21±0.28	4.49±0.23	1.88±0.47	0.25±0.01	0.39±0.02
Aeroponics	4.36±0.11	1.17±0.05	4.31±0.24	2.05±0.35	0.25±0.02	0.34±0.00

^zAll values are expressed as mean±SD of triplicate determinations.

5.77mg·100g⁻¹이었다. 들깨의 총 식이섬유소 함량은 신선 물이 17.2%이었고, 건조물이 18.2%로 (Park 등, 2001), 방 풍의 3배 수준이었다. 총 식이섬유소 함량의 차이는 작물 의 특성이라고 생각된다.

본 연구에서는 cystein 함량은 Aeroponics에서 46.76mg ·100g⁻¹로 가장 높았으며, NFT, Perlite순으로 높았다(Fig. 2). Methionine 함량은 처리에 따라 NFT와 Aeroponics 는 각각 82.92mg·100g⁻¹과 82.52mg·100g⁻¹으로 차이가 없었으나, Perlite는 75.64mg·100g⁻¹로 가장 낮았다. Kim 과 Choi(1995)에 따르면 방풍의 아미노산은 glutamic acid와 aspartic acid가 각각 58.5mg·100g⁻¹과 53.8mg ·100g⁻¹로 주요 아미노산의 18.26%를 차지하였으며, methionine 함량은 7.7mg·100g⁻¹이 검출되었으나, cystein 은 흔적만 검출되었다. 작물의 종류에 따라, 동일한 작 물이라도 재배방법에 따라 아미노산의 함량은 달라질 수 있음을 알 수 있었다(Kim과 Choi, 1995).

방풍 잎의 총 질소 함량은 Perlite가 4.59%, Aeroponics 가 4.36%, NFT가 4.20%이었으며, 칼륨 함량은 총 질소와 같은 경향으로 Perlite가 4.49%, Aeroponics가 4.31%, NFT 가 4.16%를 나타냈다(Table 4). 인산의 함량은 NFT, Perlite, Aeroponics순으로 많았다. 칼슘, 마그네슘, 황은 일 정한 경향을 나타내지 않았다. 선행 연구(Lee 등, 2009; Kim 과 Choi, 1995)의 연구와 같이 방풍의 무기질 함량은 K, Ca, P, Mg 순으로 높았다.

적 요

본 연구는 방풍나물의 인공광 식물공장에서 재배시스 템에 따른 생육, 비타민 C, 아미노산함량, 수량에 미치는 영향을 구명코자 실시하였다. 박막수경(NFT), 배지경 (Perlite), 분무경(Aeroponics) 등 3처리를 하였다. 초장은 NFT 처리에서 10.2cm 가장 길었으며, Perlite 처리에서 8.9cm로 가장 짧았다. 주당 엽 생체중은 Perlite, NFT, Aeroponics순으로 무거웠다. 총 페놀 함량은 Aeroponics가 117.84mg·100g⁻¹ GE로 가장 높았고, NFT 98.57mg·100g⁻¹ GE, Perlite 74.62mg·100g⁻¹ GE 순으로 재배 방법에 따라 차 이를 나타냈다. 총 플라보노이드는 Aeroponics에서만 0.12mg·100g⁻¹가 검출되었으나, NFT와 Perlite 처리구에서는 검출되지 않았다. 비타민 C 함량은 Aeroponics가 108.23mg ·100g⁻¹으로 가장 높았으며, Perlite가 88.05mg·100g⁻¹, NFT가 80.83mg·100g⁻¹으로 처리에 따라 통계적인 유의성을 나타냈 다. 총 식이섬유소 함량은 Aeroponics가 Perlite와 NFT보다 높았다. Cystein 함량은 Aeroponics에서 46.76mg ·100g⁻¹로 가장 높았으며, methionine 함량은 Perlite가 75.64mg·100g⁻¹로 가장 낮았다. 무기질 함량은 모든 처리에서 K, Ca, P, Mg 순으로 높았다.

추가 주제어 : 박막수경, 식이섬유, 펄라이트, 페놀, 플라보노이드

사 사

본 연구는 농촌진흥청의 “방풍재배시스템 개발” 연구비 지원(과제번호 PJ010158)에 의해 수행되었음.

Literature Cited

- AOAC. 1996. Official methods of analysis. 15th ed., Association of Official Chemists, Washington, D.C., p. 115.
- Caldwell, C.R., and S.J. Britz. 2006. Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of greenhouse-grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *J. Food Com. and Anal.* 16:617-644.
- Heo, J.W., K.S. Shin, S.K. Kim, and K.Y. Paek. 2006. Light quality affects in vitro growth of grape ‘Teleki 5BB’. *J. Plant Biol.* 49:276-280.
- Heo, J.W., Y.B. Lee, D.B. Lee, and C. Chun. 2009. Light quality affects growth, net photosynthetic rate, and ethylene production of *Ageratum*, African marigold, and *Salvia* seedlings. *J. Kor. Hort. Sci. & Tech.* 27:187-193.
- Heo, J.W., Y.B. Lee, D.E. Kim, Y.S. Chang, and C.H. Chun. 2010b. Effects of supplementary LED lighting on growth and biochemical parameters in *Dieffenbachia amoena* ‘Camella’ and *Ficus elastica* ‘Melany’. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:51-58.
- Heo, J.W., Y.B. Lee, Y.S. Chang, J.T. Lee, and D.B. Lee. 2010a. Effects of light quality and lighting type using an LED Chamber System on *Chrysanthemum* growth and development cultured in vitro. *Kor. J. Environ. Agr.* 29:374-380.
- Ikeda, A., Y. Tanimura, K. Ezaki, Y. Kawai, S. Nakayama, and K. Iwao. 1992. Environmental control and operation monitoring in a plant factory using artificial light. *Acta Hort.* 304:151-158.
- Inden, H., Y. Akamatsu, T. Matsuda, and M. Yamamoto. 2011. Low cost plant factory using hybrid electrode fluorescent lamp (HEFL). *Acta Hort.* 907:157-160.
- Jin, G., J. Li, and H. Piao. 1992. Chemical constituents of *Ledebouriella seseloides* Wolff, China. *J. Chinese materia medica.* 17:38-40.
- Jin, Y.X., Y.S. Cho, and Y.M. Choi. 2014. Nutritional quality of *Peucedanum japonicum* Thunb. leaves in relation to ripening time, growing condition and blanching. *Korean J. Food Preserv.* 21:784-789.
- Kim, Y.D., and S.K. Choi. 1995. Studies on utilization of medicinal herbs as vegetable by hydroponics. 3. Component analysis of medicinal herbs as vegetable. *J. Oriental Bot. Res.* 8:281-286.
- Lee, G.J. 2014. Effects of red and blue light emitting diode (LED) irradiation on growth and yield in hydroponically grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.). 2014 Annual Report of Chungbuk agricultural research and extension service. Cheongju. Chungbuk. pp. 242-251.
- Lee, J.J., A.R. Kim, Y.N. Seo, and M.Y. Lee. 2009. Comparison of physicochemical composition of three species of genus *Angelica*. *Korean J. Food Preserv.* 16: 94-100.
- Lee, M.H. 2009. Changes in nutritive components by growth periods in spinach grown outdoors in autumn. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 19:169-179.
- Park, D.S., K.I. Lee, and K.Y. Park. 2001. Quantitative analysis of dietary fibers from *Perilla frutescens* seeds and antimutagenic effect of its extracts. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 30:900-905.
- Son, K.H., J.H. Park, D.I. Kim, and M.M. Oh. 2012. Leaf shape index, growth, and phytochemicals in two leaf lettuce cultivars grown under monochromatic light-emitting diodes. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 30:664-672 (in Korean).
- Woo, S.M., T.Y. Kim, S.H. Yeo, S.B. Kim, J.S. Kim, M.H. Kim, and T.J. Jeong. 2007. Quality characteristics of alcohol fermentation broth and by-product of brown rice varieties. *Korean J. Food Preserv.*, 14:557-563.
- Yoon, J.M., J.J. Jun, S.C. Lim, K.H. Lee, H.T. Kim, H.S. Jeong, and J.S. Lee. 2010. Changes in selected components and antioxidant and antiproliferative activity of peppers depending on cultivation. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39:731-736.