

Research Article



CrossMark

Open Access

수경재배용 용수 종류에 따른 상추 생장 연구

허정민¹, 김가은¹, 김진황¹, 최병욱², 이성종², 이병선³, 조은혜^{1*}

¹전남대학교 농생명화학과, ²한국외국어대학교 환경학과, ³한국농어촌공사 농어촌연구원

Study on the Lettuce Growth Using Different Water Sources in a Hydroponic System

Jeong Min Heo¹, Ga Eun Kim¹, Jin Hwang Kim¹, Byeongwook Choi², Sungjong Lee², Byungsun Lee³ and Eun Hea Jho^{1*} (¹Department of Agricultural and Biological Chemistry, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea, ²Department of Environmental Science, Hankuk University of Foreign Studies, Yongin 17035, Korea, ³Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan 15634, Korea)

Received: 14 August 2022/ Revised: 31 August 2022/ Accepted: 6 September 2022

Copyright © 2022 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Jeong Min Heo
<https://orcid.org/0000-0001-5975-1405>

Ga Eun Kim
<https://orcid.org/0000-0001-9993-0715>

Jin Hwang Kim
<https://orcid.org/0000-0001-8511-3466>

Byeongwook Choi
<https://orcid.org/0000-0001-9899-6448>

Sungjong Lee
<https://orcid.org/0000-0001-8244-1093>

Byungsun Lee
<https://orcid.org/0000-0002-7566-8086>

Eun Hea Jho
<https://orcid.org/0000-0003-0098-7338>

Abstract

BACKGROUND: Plants can be grown using a culture medium without soil using a hydroponic system. Crop production by the hydroponic system is likely to increase as a means of solving various problems in the agricultural sector such as aging of rural population and climate change. Different water sources can be used to prepare the culture medium used in the hydroponic system. Therefore, it is necessary to study the effect of different water sources on crop production by the hydroponic system in order to explore the applicability of various water resources.

METHODS AND RESULTS: Lettuce was cultivated by the hydroponic system and three different water sources [tap water (TW), bottled water (BW), and groundwater (GW)] were used to compare the effect of water sources on lettuce growth. The three kinds of waters with a nu-

trient solution (TW-M, BW-M, GW-M) were also used as the media. After the six-week growth period, the lettuce length and weight, the number of leaves, and the contents of chlorophylls and polyphenols were compared among the different media used. The lettuces did not grow in the waters without the nutrient solution. In the media, the lettuce growth and the contents of chlorophylls were affected by the different water sources used to prepare the media, while the contents of polyphenols were not affected. The absorbed amounts of ions by lettuces, especially Ca and Zn ions, and the dry weight of the harvested lettuces showed a strong positive correlation.

CONCLUSION(S): Overall, this study shows that different water sources used for growing lettuce in a hydroponic system can affect lettuce growth. Further studies on the enhancement of crop qualities using different water sources may be required in future studies.

Key words: Chlorophyll, Hydroponic culture, Lettuce, Polyphenol, Water sources

* Corresponding author: Eun Hea Jho
Phone: +82-62-530-2134; Fax: +82-62-530-2139;
E-mail: ejho001@jnu.ac.kr

서론

수경재배는 토양 없이 배양액을 사용하여 식물을 재배하는 방법으로 무토양재배라고도 한다. 토양재배는 시설비용이 비교적 저렴하지만 많은 양의 비료를 사용하고 연작 장애 등의 단점을 가진다. 반면에 수경재배는 생육환경을 효율적으로 관리할 수 있고, 기지현상으로 인한 연작피해가 감소된다. 또한 수경재배는 배양액으로 작물을 재배하기 때문에 토경재배에 비해 성장이 빠르고 오염되지 않는 작물을 생산할 수 있으며, 품질의 균일성을 높일 수 있다. 2000년 700헥타르였던 국내 수경재배 면적이 2017년 3,355헥타르로 5배 가량 증가하여 수경재배를 통한 작물의 생산이 증가하고 있고, 최근에는 정보통신기술(information and communication technology; ICT)이 접목된 ICT 온실재배에 관심이 증대되고 있다[1]. 그러나 수경재배에서 발생하는 폐양액, 폐배지 및 폐작물 등은 농업폐기물로서 환경문제를 야기할 수 있다[2].

수경재배 시 양분관리와 재배환경관리가 작물의 생육과 생산성 향상에 영향을 미치게 된다[3-6]. 수경재배 작물의 생산성을 높이기 위해서는 작물별 최적의 양분 조성 및 양액 농도를 결정하여야 하고[3], 인공광을 처리하여 작물의 생육을 돕고[4], 작물의 생육 특성에 적합한 양액 공급 방법을 선택하고[5], 식물 공장의 작물 생육에 필요한 최적의 광질 조건과 양액 조건을 결정하여야 한다[6].

수경재배 작물의 생육을 결정하는 다양한 인자 중에서 배양액은 작물의 생육에 필요한 양분과 수분을 공급하는 중요한 인자라고 할 수 있다. 기존 연구들은 수경재배를 통해 생산한 작물의 기능성 향상을 위해 배양액의 조성, 배양액 내 특수 성분 추가, 배양액 공급 방법 등이 작물의 생산 및 기능성에 미치는 영향을 연구하였다[7,8]. Choi et al [9]은 고추냉이(*Eutrema japonicum*)의 수경재배에서 배양액의 전기전도도가 3 dS m⁻¹ 이하로 관리될 때 생육과 품질이 향상된다고 보고하였다. Jeon et al [10]은 플라즈마로 살균 처리한 플라즈마 방전수를 이용하여 인삼(*Panax ginseng*)을 수경재배하였을 때 양액과 플라즈마 방전수로 처리한 새싹삼의 기능성 물질(예: 조사포닌, 총폴리페놀, 플라보노이드 함량)이 증가한다는 결과를 보고한 바 있다[10].

수경재배에서 수원으로 이용하는 물은 하천수, 호수수, 지하수, 수돗물, 빗물 등이 있고, 국내에서는 농업용으로 주로 지하수를 이용하고 있다. 지하수는 다양한 미네랄이 용해되어 있어 작물 생육에 필요한 양분으로 이용할 수 있어 국내에서도 최적의 배양액을 조성하기 위해서는 원수의 수질을 조사한 바 있다[11-13]. 뿐만 아니라 최근 친환경 인테리어, 친환경 채소 소비 등의 목적으로 가정에서도 수경재배에 대한 관심이 증가하고 있다. 가정용 수경재배에서는 수돗물, 국내 시판 먹는샘물 또는 먹는염지하수 및 정수기물을 수경재배용 양액을 위한 용수로 사용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 상추를 대상 작물로 선정하여 수경재배용 배양액으로 사용할 수 있는 용수의 종류에 따른 재배작물의 성장과 유용성분(엽록소 함량, 폴리페놀 함량) 차이를 비교하는 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료

공시 작물은 단기간 성장이 가능하고 생체량 분석이 용이한 상추(*Lactuca sativa* L.; 여름 청치마 상추, 진흥종묘주식회사)를 사용했다. 상추 종자를 2~3일간 발아시킨 후, 성장 상태가 비슷한 개체들을 골라 수경재배 실험에 사용하였다. 공시 배양액은 시중에서 판매하는 양액재배용 제4종 복합 비료(A제, B제; ㈜코셀, 대한민국)를 구입하여 준비하였다. A제는 질소 13%, 칼리 21%, 붕소 0.2%, 망간 0.07%, 아연 0.007%, 칼슘 14%를 함유한 제4종 복합 비료(분말형)이고, B제는 질소 8.5%, 인산 9.5%, 칼리 22%, 고토 5.5%, 철 0.35%를 함유한 제4종 복합 비료(분말형)이다. 양액은 제조사에서 제시한 방법대로 세 가지 다른 수원에 동일 양(1 L당 585 mg)의 A제와 B제를 각각 녹인 후 혼합하여 준비하였다. 배양액 준비를 위해 농가와 가정에서 용수로 사용하기 용이한 수돗물(Tap water, TW), 국내 시판 먹는샘물(Bottled water, BW), 지하수(Groundwater, GW))를 용수로 사용하였다. 수돗물은 전남대학교 수돗물을, 지하수는 5월에 채취한 전라도 지역의 지하수를, 병물은 E제품을 사용하였다. 대조군으로 양액을 첨가하지 않은 각각의 용수를 사용하였다. 비료를 첨가하지 않은 물은 TW, BW, GW로 이름하였고, 비료를 첨가한 배양액은 TW-M, BW-M, GW-M로 이름하였다.

수경재배 실험 방법

수경재배 실험 각 조건별로 9개의 상추 개체를 이용하여 실험을 수행하였고, 물과 배양액은 3일에 한 번씩 새로운 물과 배양액으로 교체하였다. 실험실 수준의 수경재배 실험을 위해 순환팬과 LED 식물재배등(LM301H, 삼성전자, 대한민국)이 장착된 식물재배 텐트(키친가든 식물재배텐트, 중국)를 이용하였다. 성장 실험은 6주 동안 진행하였고, 실험 기간 동안 광주기는 16시간 빛과 8시간 어둠으로 하였고, 실험 기간 중 용수와 배양액의 온도는 22±2°C로 유지하였다.

상추 생육 분석 방법

상추 성장 실험 6주 후 각 상추 개체를 수확하여 생육을 측정하고, 유용성분을 분석하였다. 상추의 생육은 엽장과 엽수, 생체중, 건물중을 측정하여 분석했다. 수경재배를 위해 상추를 정식한 후, 상추의 가장 큰 엽 길이가 5 cm 정도가 되었을 때부터 엽장과 엽수를 측정하였다. 엽장은 상추 개체별로 가장 긴 엽의 길이를 기록했다. 수확 후 상추의 개체별 생체중은 전자저울(Adventurer AX224KR, OHAUS, 미국)을 이용하여 측정하였다. 상추의 무게가 항량을 이룰 때까지 건조기(ThermoStable™ OF-105, 대한과학, 대한민국)에서 건조시킨 후 동일한 전자저울을 이용하여 건물중을 측정하였다.

엽록소 함량 분석 방법

상추 단위 질량당 엽록소(chlorophyll) 함량 분석을 위해

80% 아세톤(10 mL)을 이용하여 상추 시료(건물중 0.2 g)로부터 엽록소를 추출하였다[14]. 추출액을 정성 여과지(No.1)로 여과한 뒤, 여과지를 5 mL의 80% 아세톤으로 2~3번 씻어냄을 통해 여과액의 최종 부피를 25 mL로 맞추었다. 준비된 여과액의 흡광도를 UV-VIS 분광기(Ubi-600, MicroDigital Co., Ltd., 대한민국)를 이용해 663 nm와 645 nm에서 측정하였다. 식 1-3을 이용해 엽록소 a, 엽록소 b 및 총 엽록소 (엽록소 a+b) 농도를 구한 후[15], 여과액의 부피와 상추 시료의 질량을 이용해 엽록소 함량을 계산하였다.

$$\text{Chlorophyll a (mg L}^{-1}\text{)} = 12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645}) \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b (mg L}^{-1}\text{)} = 22.9(A_{645}) - 4.68(A_{663}) \quad (2)$$

$$\text{Total chlorophyll (mg L}^{-1}\text{)} = 20.2(A_{645}) + 8.02(A_{663}) \quad (3)$$

여기에서 A663, A645는 663 nm와 645nm에서의 흡광도

총 폴리페놀 함량 분석 방법

상추의 총 폴리페놀 함량은 식품의약품안전청 고시 제 2021-25호(2021.03.25. 개정)의 건강기능식품의 기준 및 규격 고시전문 내 총 폴리페놀 분석법 및 이연리 외[15]을 참고하여 분석하였다. 간략하게 폴린데니스 시약(Folin-Denis reagent)을 이용하여 건조한 상추 잎의 질량을 기준으로 총 폴리페놀 함량을 도출하는 방법으로 상추 시료에 증류수를 가하고 초음파 추출한 후 폴린데니스 시약과 반응시켜 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 검량선 작성을 위해 표준물질로는 탄닌산(tannic acid)을 사용하였다. 각 배양액에서 수확한 상추에 함유된 총 폴리페놀 양은 총 폴리페놀 함량을 건조 무게와 곱하여 계산하였다.

배양액 수질 분석방법

상추 성장 실험을 진행하는 동안 수질 변화를 측정하기 위해 용수와 배양액을 교환할 때마다 pH 프로브와 전기전도도(electrical conductivity; EC) 프로브를 장착한 pH 미터(Orion Star A220, Thermo Fisher Scientific, USA)를 이용하여 용수와 배양액의 pH와 EC를 측정하였다. 또한 용수와 배양액 내 주요 원소 이온을 분석하기 위한 시료를 채취하였다. 시료 채취 때마다 배양액의 부피를 측정하고, 용수와 배양액 시료의 농도를 분석하여, 시간에 따른 용수와 배양액 내 주요 이온의 질량 변화를 살펴보았다. 배양액 내 주요 이온의 누적 질량 변화와 42일 동안 성장한 상추의 생체량을 고려하여 상추가 배양액에서부터 흡수한 이온의 양을 간접적으로 계산하였다. 용수와 배양액 내 주요 양이온과 미량원소(Ca, Mg, K, Zn, Cu, Mn, Fe, B, Cl)는 유도 결합 플라즈마 분광 분석기(ICP-OES; ICAP 7400 DUO, Thermo Scientific, USA)와 이온 크로마토그래피(IC; Thermo Scientific, USA)를 이용하여 분석하였다. 총유기탄소(Total organic carbon, TOC)는 총유기탄소 분석기(Total Carbon Analyzer TOC-L, Shimadzu, Japan)를 이용하여 분석하였다.

총질소(Total nitrogen, TN)와 총인(Total phosphorus, TP) 함량은 환경부 수질오염공정시험기준에 준하여 UV-Vis 분광광도계(UVmini-1240, Shimadzu, Japan)를 이용하여 분석하였다.

통계 분석

분석 결과의 통계적 비교를 위해 GraphPad 프로그램(Graph-Pad Prism 8, GraphPad Software, USA)을 사용하여 일원분산분석(one-way ANOVA) 및 이원분산분석(two-way ANOVA) (95% 신뢰구간, 유의수준 p 0.05)을 수행하였다. 또한 여러 변수 간의 관계는 Pearson 상관분석을 통해 수행하였다. 상추 데이터의 통계 처리는 각 실험 조건별로 9개체의 상추를 사용하였다.

결과 및 고찰

수경재배용 배양액의 수질 특성

Table 1은 실험을 위해 준비한 6가지 조건의 용수와 배양액의 수질 특성을 보여준다. 상추의 경우 배양액의 pH가 5.0~7.0 정도 범위에서 생리적인 활성이 원만하게 유지되는 것으로 보고되고 있으며, 상추 수경재배에 있어 품질과 생산성을 고려한 적정 배양액 전기전도도는 1,200~1,600 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 라고 보고된 바 있다[16]. 실험에 사용한 6가지 용수와 배양액 중 용수 GW를 사용한 경우를 제외하고 모두 pH 5~7 범위 내로 측정되었으나, 배양액 GW-M의 경우 평균 pH가 7.0 이상을 나타냈다(Table 1). 배양액별 EC는 723~ 1,121 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (0.723~1.121 dS m^{-1})의 범위를 나타냈고, BW-M은 선행연구[16]의 배양액 EC 범위와 유사했으나 TW-M과 GW-M은 선행연구보다 낮았다(Table 1).

배양액의 pH와 EC 외에 상추의 성장을 위해서는 배양액 내 영양분 함량도 중요한 요소이다. 양액을 혼합하지 않은 용수에서 총인과 총유기탄소는 불검출 수준이었고, TW와 BW의 총질소는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1). 양액을 혼합한 배양액에서 총유기탄소는 불검출 수준이었고, 질소와 인 함량은 양액을 혼합하지 않은 용수에 비해 증가하였다(p -value>0.05) (Table 1). 양액을 혼합한 배양액 간의 질소와 인 함량은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다(Table 1).

식물의 성장에는 다양한 원소가 필요하기 때문에 용수와 배양액 내 이온들의 함량도 상추 성장에 영향을 줄 수 있다. Table 2는 각 용수와 배양액이 함유하고 있는 주요 이온들의 농도를 보여준다. BW-M을 제외한 다른 용수와 배양액 내 주요 이온은 Ca 이온, Mg 이온, Cl 이온인 것을 볼 수 있다. 배양액 BW-M의 경우 다른 이온들과 비교해서 Cl 이온 농도가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다(Table 2). 용수 BW와 배양액 BW-M의 Cl 이온은 각각 87.8 26.6 mg L^{-1} 와 101.7 44.5 mg L^{-1} 였다(Table 2). 따라서 배양액 BW-M의 EC의 상당한 부분에 Cl 이온이 기여하고 있다는 것을 알 수 있다. 주요 이온 농도의 경우 양액을 추가하였을 때 Ca, Mg, Zn, B의 경우 증가하는 경향을 보였다(Table 2). 용수별 및 배양

Table 1. Characteristics of the culture media for lettuce used this study

	pH	Temperature (°C)	Electrical conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Total nitrogen (mg L^{-1})	Total phosphorus (mg L^{-1})
Tap water (TW)	6.90 \pm 0.13	22 \pm 1	84 \pm 3	1.4 \pm 0.8	Not detected
Bottled water (BW)	6.70 \pm 0.39	22 \pm 1	555 \pm 23	2.2 \pm 1.4	Not detected
Groundwater (GW)	7.40 \pm 0.25	23 \pm 0	319 \pm 10	Not detected	Not detected
<i>p</i> -value for waters	0.4439	0.1185	<0.0001	0.9439*	Not determined
TW-nutrient solution (TW-M)	6.34 \pm 0.13	21 \pm 1	723 \pm 111	78 \pm 12	10.9 \pm 0.2
BW-nutrient solution (BW-M)	6.64 \pm 0.37	22 \pm 1	1121 \pm 176	45 \pm 19	8.3 \pm 4.7
GW-nutrient solution (GW-M)	7.11 \pm 0.10	21 \pm 3	947 \pm 183	37 \pm 40	9.5 \pm 4.5
<i>p</i> -value for media	0.0296	0.7249	0.0200**	0.4088	0.8110

* Only BW and GW were compared using the t-test (two-tailed),

** Only the pair of TW-M and BW-M showed a statistically significant difference.

Table 2. Concentrations of the major ions of the culture media for lettuce used in this study

Ion concentration (mg L^{-1})	Ca	Mg	Zn	Fe	B	Cl
Tap water (TW)	7.7 \pm 0.6	1.6 \pm 0.2	Not detected	0.06 \pm 0.04	Not detected	6.2 \pm 2.4
Bottled water (BW)	1.1 \pm 0.4	0.2 \pm 0.1	0.04 \pm 0.03	0.03 \pm 0.02	Not detected	87.8 \pm 26.6
Groundwater (GW)	41.7 \pm 3.2	1.5 \pm 0.3	0.23 \pm 0.19	0.09 \pm 0.20	Not detected	7.8 \pm 1.4
<i>p</i> -value for waters	<0.0001	0.4508	0.0180	0.8709	-	<0.0001
TW-nutrient solution (TW-M)	41.4 \pm 6.3	9.3 \pm 0.8	0.10 \pm 0.05	0.89 \pm 0.14	0.27 \pm 0.06	10.4 \pm 2.6
BW-nutrient solution (BW-M)	32.8 \pm 10.7	6.5 \pm 4.0	0.65 \pm 0.53	0.14 \pm 0.22	0.41 \pm 0.43	101.7 \pm 44.5
GW-nutrient solution (GW-M)	53.2 \pm 5.6	7.4 \pm 2.7	0.40 \pm 0.22	0.41 \pm 0.24	0.22 \pm 0.09	16.2 \pm 2.0
<i>p</i> -value for media	0.0406	0.8247	0.1131	0.0175	0.4191	<0.0001

액별 이온 농도를 비교해보면 이온 농도가 비슷한 것도 있고, 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것도 있다(Table 2). 본 연구에서 사용한 배양액 내 주요 이온의 농도는 일본과 네덜란드의 수경재배 수질 기준에서 제시하는 Ca, Mg, Cl, Fe 등의 이온 농도 기준에 부합하는 수준이었다[17]. 일본의 수경재배 시 용수 내 원소의 한계농도는 Ca, Mg, Cl, Fe에 대해 각각 80, 40, 200, 10 mg L^{-1} 이고, 네덜란드의 수경재배 수질 기준에서 제시하는 Cl, Ca, Mg, Fe 이온의 농도는 각각 53.3, 80, 12.1, 0.56~1.12 mg L^{-1} 이다[17].

수경재배 실험 기간동안 배양액의 pH와 온도 변화에 대한 변이 계수(coefficient of variance)는 10% 미만으로 비슷한 수준으로 유지되었다. 반면 상추가 성장함에 따라 배양액 내 이온들을 흡수하기 때문에 배양액의 전기전도도 변화에 대한 변이 계수는 16~40%의 범위를 가졌다(Table 3).

배양액별 상추 생육

용수와 양액을 혼합한 배양액에서는 실험 기간 동안 상추가 성장하였으나, 양액을 혼합하지 않은 용수에서는 시간이 지남에 따라 상추 종자가 말라죽는 경향을 보였다. 이는 상추 성장에 필수적인 영양분이 부족한 것에 의한 것으로 볼 수 있다[18]. Fig. 1은 수경재배를 위해 상추 종자를 정식하고 42일 성장 후 실험 조건별 수확한 상추의 개체별 평균 생체량

(Fig. 1(a))과 개체별 평균 건중량(Fig. 1(b))을 보여준다. 상추의 평균 생체량은 통계적으로는 배양액 간 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 1(a)). 반면 평균 건중량은 TW-M과 BW-M보다 GW-M에서 통계적으로 유의한 수준으로 컸다(Fig. 1(b)). 배양액별 상추의 평균 엽수 및 최장엽장은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다(Fig. 1(c)-1(d)). 상추의 건중량을 비교했을 때 배양액에 사용된 원수에 따라 상추 성장에 미치는 영향이 통계적으로 유의한 수준으로 다를 수 있다.

배양액별 상추의 엽록소 함량

Fig. 2는 각 조건에서 수확한 상추의 엽록소 함량을 보여준다. 엽록소는 광합성 정도를 평가하여 녹색 채소의 품질을 결정할 때 사용되는 지표이며, 함량이 높을수록 시각적 질이 상승한다. 또한 엽록소는 항산화 능력을 가지고 있어 활성산소종을 신체로부터 제거하는 역할을 한다[19]. 상추 개체별 총 엽록소 평균 함량은 BW-M이 다른 배양액에 비해 통계적으로 유의하게 높았으나, 엽록소 a와 엽록소 b 함량은 배양액별 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다(Fig. 2(a)). 수확한 상추의 건중량과 상추별 엽록소 함량을 고려해 각 상추개체로부터 수확한 엽록소 양을 계산하였고, 이를 Fig. 2(b)에 나타내었다. 상추개체별 평균 엽록소 양은 엽록소 a와 엽

Table 3. Average pH and temperature of the water and media over the test period

	pH	Coefficient of variance (CV)	Temperature (°C)	Coefficient of variance (CV)	Electrical Conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Coefficient of variance (CV)
Tap water (TW)	7.14±0.19	2.7	23±1	4.1	121±19	16
Bottled water(BW)	7.55±0.39	5.1	23±1	4.0	834±194	23
Groundwater (GW)	7.89±0.28	3.6	24±1	3.1	394±100	25
TW-nutrient solution (TW-M)	6.41±0.45	7.0	22±1	5.5	811±325	40
BW-nutrient solution (BW-M)	6.91±0.49	7.1	22±1	5.9	1417±283	20
GW-nutrient solution (GW-M)	7.46±0.46	6.1	23±1	5.2	1107±216	20

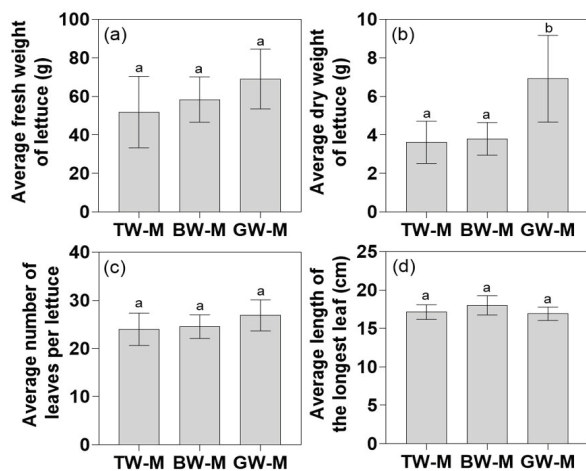


Fig. 1. Effect of the culture media prepared from waters from different sources on the (a) average fresh weight of the harvested lettuces, (b) average dry weight of the harvested lettuces, (c) average number of lettuce leaves per lettuce, and (d) the average length of the longest leaf. TW-M: tap water with nutrient solution, BW-M: bottled water with nutrient solution, GW-M: groundwater with nutrient solution. Small letters in each figure indicate statistical comparison of the data in each figure at the confidence level of 95%.

록소 b의 경우 배양액별로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 총 엽록소 양은 TW-M보다 BW-M와 GW-M에서 통계적으로 유의한 수준으로 높았다(Fig. 2(b)). 기존 연구에서 배양액 내 EC 범위 1.5~9.0 mS cm^{-1} 에서 배양액 농도가 증가함에 따라 상추의 엽록소 함량이 증가하는 추세를 보인다고 보고한 바 있다[20]. 본 연구에서 사용한 배양액들의 평균 EC 값과 총 엽록소 양은 높은 상관관계 계수($r=0.876$)을 보였으나, 이는 통계적으로 유의한 수준이 아니었다($p\text{-value}=0.320$)(Table 4). 이는 본 연구에서 사용한 배양액의 EC값이 TW-M과 BW-M만 통계적으로 유의한 차이를 보이고, TW-M과 GW-M, BW-M과 GW-M은 통계적으로 유사한 차이를 보이지 않아, EC 값들이 유사한 범위를 가지고 있기 때문인 것으로 볼 수 있다(Table 1). 본 연구에서는 초기 용수 및 배양액 내 질소와 인만 분석하여, 상추가 흡수한 질소와 인의 양은 알 수 없지만, 기존 연구에 따르면 해조

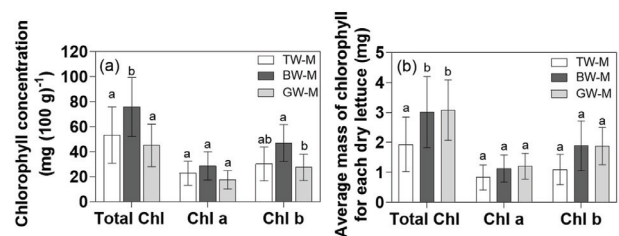


Fig. 2. Effect of the culture media prepared from waters from different sources on the lettuce: (a) average concentrations (mg (100 g)^{-1}) of chlorophyll for each lettuce and (b) average mass of chlorophyll for each dry lettuce (mg). Total Chl: total chlorophyll, Chl a: chlorophyll a, Chl b: chlorophyll b, TW-M: tap water with nutrient solution, BW-M: bottled water with nutrient solution, GW-M: groundwater with nutrient solution. The data shows the average and the standard deviation of 9 lettuces. Small letters in each figure indicate statistical comparison of the grouped data in each figure at the confidence level of 95%. Data between different groups (Total Chl, Chl a, Chl b) were not compared.

류인 구멍갈파래(*Ulva pertusa*)의 엽록소 a의 함량은 배양액의 질산염 농도와 양의 상관관계를 보였으나, 인산염 농도와는 관계가 없다고 보고한 바 있다[21].

배양액이 상추의 총 폴리페놀 함량에 미치는 영향

여러 재배 조건이 상추 생장에 미치는 영향을 알아보는 기존 연구에서도 상추의 생리활성물질로 페놀류 물질에 대한 분석을 수행한 바 있다[22,23]. Fig. 3은 수경재배 용수별 배양액의 총 폴리페놀 함량을 나타낸다. 용수별 배양액에서 키운 상추의 총 폴리페놀 함량은 배양액별로 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Fig. 3(a)). 각 배양액에서 수확한 상추 개체들의 폴리페놀 합성량도 배양액별로 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Fig. 3(b)). 상추의 평균 건중량이 GW-M에서 통계적으로 유의하게 컸지만(Fig. 1(b)), 배양액에 사용한 원수의 종류에 따라 상추가 합성하는 폴리페놀 함량에 유의한 차이는 없었다.

배양액 내 주요 이온 흡수량과 상추의 생체량

Fig. 4는 배양액 내 이온들 중 42일 동안 상추가 흡수한

Table 4. Correlation between the lettuce dry weight (Wt) and mass of ions absorbed by lettuce

Parameters	Ca (mg) vs. Wt	Mg (mg) vs. Wt	Zn (mg) vs. Wt	Fe (mg) vs. Wt	B (mg) vs. Wt	Cl (mg) vs. Wt
Correlation coefficient	0.8513	0.7116	0.9394	-0.4223	0.7407	-0.3991
<i>p</i> -value	0.0315	0.1128	0.0054	0.4042	0.0921	0.4331

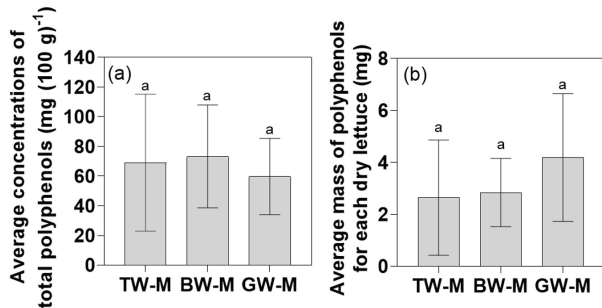


Fig. 3. Effect of the culture media prepared from waters from different sources on (a) average concentrations (mg (100 g)⁻¹) of total polyphenols for each lettuce and (b) average mass of polyphenols for each dry lettuce (mg). Total Chl: total chlorophyll, Chl a: chlorophyll a, Chl b: chlorophyll b, TW-M: tap water with nutrient solution, BW-M: bottled water with nutrient solution, GW-M: groundwater with nutrient solution. The data shows the average and the standard deviation of 9 lettuces. Small letters in the figure indicate statistical comparison of the data at the confidence level of 95%.

주요 이온의 양을 나타낸다. 배양액별로 각 이온의 흡수 정도는 Mg, Fe, B의 경우 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, Ca, Cl, Zn의 경우 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Fig. 4). 특히 Cl 이온의 경우 BW-M에서 성장한 상추가 흡수한 양이 다른 배양액에 비해 높았는데, 이는 배양액 BW-M의 높은 Cl 이온 함량에 의한 것으로 볼 수 있다(Fig. 4(a)). 상추의 건물중은 배양액 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Fig. 1). 이는 상추가 흡수한 이온이 상추 성장에 영향을 준 것이라 할 수 있다[24]. 상추의 건물중과 상추가 흡수한 이온의 양 간의 상관관계 분석을 하였고, Table 4는 그 결과를 보여준다. 상추가 흡수한 Ca 이온과 Zn 이온의 양과 상추의 건물중 간에 강한 양의 상관관계(Ca와 Zn에 대한 상관관계수, $r = 0.8518, 0.9394$)가 있었고, 통계적으로 유의한 수준이었다(p -value<0.05).

본 연구에서는 상추의 수경재배에 사용하는 배양액을 준비할 때 사용할 수 있는 용수의 종류(수돗물, 병물, 지하수)가 상추의 수경재배에 미치는 영향을 알아보기 위해 상추의 성장, 엽록소 함량 및 폴리페놀 함량을 측정하여 비교하였다. 실험에 사용한 용수는 세 가지로 달랐지만, 수질 특성을 비교했을 때 배양액 내 주요 이온의 농도는 수경재배 수질 기준에서 제시하는 이온 농도 기준에 부합하는 수준이었다. 양액이 포함되지 않은 용수에서는 상추의 성장을 관찰할 수 없었으나, 양액이 포함된 배양액의 경우 배양액에 사용한 용수의 중

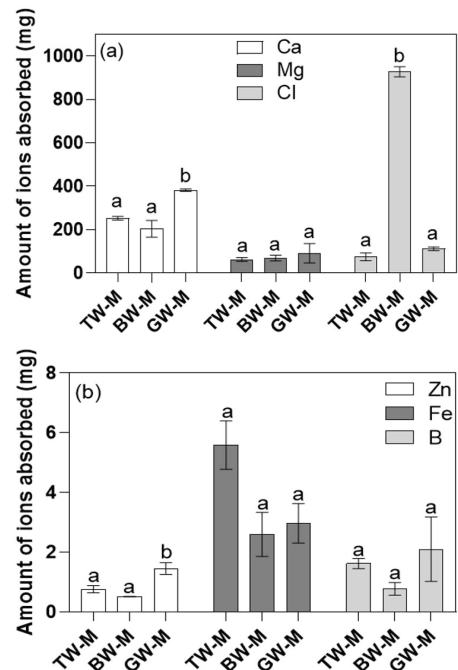


Fig. 4. Effect of the culture media prepared from waters from different sources on the amount of major ions absorbed by lettuce: (a) Ca, Mg, and Cl ions and (b) Zn, Fe, and B ions. TW-M: tap water with nutrient solution, BW-M: bottled water with nutrient solution, GW-M: groundwater with nutrient solution. Small letters in the figure indicate statistical comparison of the data for each ion at the confidence level of 95%.

류가 상추의 성장(건물량)에 유의미한 영향을 줄 수 있음을 확인하였다. 또한 상추의 총 엽록소 함량도 용수에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보일 수 있다. 본 연구에서는 TW-M과 BW-M에서 자란 상추의 건물량보다 GW-M에서 자란 상추의 건물량이 통계적으로 유의한 수준으로 컸고, 상추의 건물량 기준 총 엽록소 양도 GW-M에서 다른 배양액에서보다 통계적으로 유의한 수준으로 높았다. 반면 상추의 폴리페놀 함량은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 본 연구를 통해 본 연구에서 사용한 수돗물, 병물, 지하수와 같은 수경재배 배양액 제조에 활용할 수 있는 다양한 용수의 종류가 상추 성장에 유의한 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 물론 모든 병물 및 모든 지하수에 동일하게 적용하기에는 제한이 있을 수 있지만 본 연구와 같이 수경재배에 활용 가능한 다양한 용수의 종류에 따른 작물의 성장과 생산성에 미치는 영향에 대한 연구가 필요함을 시사한다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This study was financially supported by the Korea Rural Community Corporation. This work was also supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2021R1A2C4001746).

References

1. Lee S, Kim YC (2019) Water treatment for closed hydroponic systems. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 41, 501-513. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2019.41.9.501>.
2. Park B, Cho H, Kim M (2021) Environmental impact of hydroponic nutrient wastewater, used hydroponic growing media, and crop wastes from acyclic hydroponic farming system. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 29, 19-27. <https://doi.org/10.17137/korrae.2021.29.1.19>.
3. Lee J-S, Chang M-S (2017) Effect of nutrient solution concentration in the second half of growing period on the growth and postharvest quality of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a deep flow technique system. *Horticultural Science and Technology*, 35, 456-464. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20170049>.
4. Kim J (2021) Effects of nutrient solution and artificial light on the growth and physicochemical properties of hydroponically cultivated barley. *Journal of Plant Biotechnology*, 48, 77-85. <https://doi.org/10.5010/JPB.2021.48.2.77>.
5. Kim S, Chang J (2004) Effect of nutrient supply methods on the growth of hydroponically grown melon. *Journal of Bio-Environment Control*, 13, 125-129.
6. Choi JY, Kim SJ, Bok KJ, Lee KY, Park JS (2018) Effect of different nutrient solution and light quality on growth and glucosinolate contents of watercress in hydroponics. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 27, 371-380. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2018.27.4.371>.
7. Lee C-K, Cho K-C, Lee J-H, Cho J-Y, Seo B-S, Yang W-M (2005) Effect of selenium supplying methods on the growth and Se uptake of hydroponically grown tomato plants. *Journal of Bio-Environment Control*, 14, 284-288.
8. Lee S-J, Kang H-M, Kim I-S (2008) Effect of sodium selenate supplied condition by fertigation on the growth and content of minerals, ascorbic acid, nitrate, and selenium of some western vegetables. *Journal of Bio-Environment Control*, 17, 43-50.
9. Choi KY, Lee Y-B, Cho YY (2011) Allyl-isothiocyanate content and physiological responses of *Wasabia japonica* matusum as affected by different EC levels in hydroponics. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 29, 311-316.
10. Jeon S-Y, Sung J-M, Roh J-H, Kwon K-H (2021) Effects of LED treatment and plasma-activated water on the growth and quality of *Panax ginseng* sprouts during hydroponic cultivation. *Korean Journal of Food Preservation*, 28, 890-899. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2021.28.7.890>.
11. Bae J-H, Cho Y-R, Lee Y-B (1995) Field survey for well water quality in hydroponics farms. *Journal of Bio-Environment Control*, 4, 80-88.
12. Bae J-H, Lee Y-B (1996). Analysis of well water quality for hydroponic farms in Chollabuk-do area. *Journal of Bio-Environment Control*, 5, 131-137.
13. Choi K-Y, Oh J-S, Lee C-S, Park S-T, Gantumur N, Yoo H-J, Lee Y-B (2010) Ion characteristics of the ground water in hydroponic farms of paprika for export. *Journal of Bio-Environment Control*, 19, 70-76.
14. Rajalakshmi K, Banu N (2015) Extraction and estimation of chlorophyll from medicinal plants. *International Journal of Science and Research*, 4, 209-212.
15. Lee YR, Seo J, Hong C, Kim G-H, Lee JS, Jeong H-S (2020) Antioxidant activities of hydroponically-cultured ginseng roots and leaves. *The Korean Journal of Food and Nutrition*, 33, 58-63. <http://doi.org/10.9799/ksfan.2020.33.1.058>.
16. Park M-H, Shim M-Y, Lee Y-B (1999) Effects of pH level and electrical conductivity on growth, nutrient absorption, transpiration and CO₂ assimilation of leaf lettuce in hydroponics. *Journal of Bio-Environment Control*, 8, 115-124.
17. Rural Development Administration (2017). *Hydroponics (Nutrient Cultivation)*. p.49, 1st edition, Human Culture Airang, Seoul, Korea. ISBN 979115967 6109.
18. Cheon MG, Lee SH, Park KM, Choi S-T, Hwang YH, Chang YH, Kim JG (2021) Growth and yield response of highbush blueberry 'duke' to hydroponic cultivation. *Journal of Bio-Environment Control*, 30, 244-249. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2021.30.3.244>.

19. Kwak Y, Chun H, Kim J (1998) Chlorophyll, mineral contents and sod-like activities of leeks harvested at different times. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 14, 513-515. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2009.38.7.879>.
20. Choi K-Y, Cha Y-S, Lee Y-B (1998) Effect of electrical conductivity level on glutathion reductase, ion leakage, chllorophyll content, relative water content, root activity, and growth in butterhead and leaf lettuce. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 16, 423-423.
21. Choe T-S, Kim G-Y (2002) Time-dependent variation of growth and nutrient uptake of *Ulva pertusa* Kjellman (chlorophyta) from intertidal eelgrass beds. *Algae*, 17, 249-257.
22. Bok G, Noh S, Kim Y, Nam C, Jin C, Park J (2021) Changes in growth and bioactive compounds of lettuce according to CO₂ tablet treatment in the nutrient solution of hydroponic system. *Journal of Bio-Environment Control*, 30, 85-93. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2021.30.1.085>.
23. Noh SW, Part JS, Kim SJ, Kim D-W, Kang WS (2020) Effect of plasma-activated water process on the growth and functional substance content of lettuce during the cultivation period in a deep flow technique system. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 29, 464-472. <https://doi.org/10.12791/KSBE.2020.29.4.464>.
24. Chung J-B, Kim B-J, Ryu K-S, Lee S-H, Shin H-J, Hwang T-K, Choi H-Y, Lee Y-W, Lee Y-J et al. (2006) Relationships between micronutrient contents in soils and crops of plastic film house. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 25, 217-227. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2006.25.3.217>.