

양액 처리에 따른 수경재배 새싹보리 수량과 폴리페놀 및 무기질 함량 비교분석

김경철 · 김주성

Comparative analysis of hydroponically cultivated barley sprouts yield, polyphenol and mineral content by nutrient solution treatment

Kyeongcheol Kim · Ju-Sung Kim

Received: 13 July 2021 / Revised: 25 July 2021 / Accepted: 25 July 2021
© Korean Society for Plant Biotechnology

Abstract Barley (*Hordeum vulgare* cv. Hangmaeg) sprouts are important microgreens that contain high levels of polyphenols and flavonoids, as well as minerals, vitamin and chlorophyll. Barley sprouts were grown for 9 days and growth was checked every 3 days. In this study, the cultivation efficiency according to the nutrient solution treatment was evaluated by analyzing the length of barley sprouts, fresh weight, chlorophyll, and the yield by growth period. In addition, we tried to increase the industrial applicability of germinated barley through analysis of inorganic component, total polyphenol and total flavonoid content of the extract, and functional substance analysis using HPLC. As a result, the growth rate of the nutrient solution treatment group was faster than that of the control group. When harvested on the 9th day of sowing, the nutrient solution treatment group showed a significant increase in yield compared to the control group. And the barley sprout extract of the nutrient solution treatment group had higher total flavonoid content and luteolin content. Also, the efficiency of water was higher than that of ethanol when extracting phenolics from barley sprouts. Therefore, this study suggests that nutrient input is effective for increasing polyphenol content and increasing production in barley sprout hydroponics.

Keywords Barley sprouts, Hydroponics, Luteolin, Mineral content, Nutrient solution

K. C. Kim · J.-S. Kim (✉)
제주대학교 식물자원환경전공
(Major in Plant Resource and Environment, SARI, Jeju National University, Jeju, 63243, Korea)
e-mail: aha2011@jejunu.ac.kr

서 언

새싹 작물재배는 채소, 허브 및 곡물의 종자에서 생산되는 미성숙된 유식물체를 수확하기 위해 재배하는 것을 뜻한다. 특히 새싹 작물에는 다양한 물질이 함유되어 있고 영양적 가치가 높기 때문에 소규모 또는 시설 재배를 통해 유용한 식품 공급원의 역할을 할 수 있다(Kyriacou et al. 2016). 하지만 새싹 작물의 영양적 가치는 종자의 종류, 생육 조건, 양액 구성 요소 및 수확 시기와 같이 다양한 변수에 따라 달라진다. 발아하고 새싹이 자라는 과정에서 종자가 가지고 있던 저장 양분의 분해작용과 분해된 물질을 이용한 합성 작용이 동시에 이루어지고 식물체의 구성 성분이 변화하게 된다. Sun et al. (2013)은 완전히 자란 식물체보다 유식물체에서 더 다양한 종류의 폴리페놀 화합물이 함유되어 있다고 보고하였다. 또한 Guo et al. (2014)은 브로콜리 새싹을 재배하였을 때 생육 온도와 기간에 따라 생리활성 화합물인 sulforaphane 함량 변화를 보고하였다. 이러한 연구는 새싹 작물에 들어있는 생리활성 화합물의 함량 연구 필요성을 보여준다.

보리는 곡물 자체를 이용하는 작물이지만, 유식물체에 다양한 종류의 무기성분, 비타민 및 엽록소 함량이 높다는 연구가 밝혀져 새싹 작물로서 개발되었다(Hagiwara 1978; Hagiwara et al. 1979). 보리 종자가 발아된 후 성숙한 식물체가 되는 동안 구성 성분이 다양하게 변화하고 특히 새싹 보리는 생식생장이 이루어지기 전에 영양 성분의 함량이 높다고 보고하였다(Hagiwara et al. 1979). 새싹보리에서 유래된 lutanarin과 saponarin은 활성산소에 의한 세포 손상을 방지하는 강력한 항산화제의 역할을 한다(Kitta et al. 1992). 이외에도 항암(Kubatka et al. 2016), 항염증(Eun et al. 2016)과 항우울 효과(Yamaura et al. 2012) 등의 다양한 생리활성 분야에서 활용 가치가 높다. 따라서 새싹보리는 기능성 물질을 다량 함유하고 있는 미래 지향적 작물로 볼 수 있다. 한편, 새싹보리의 가

치가 높아짐에 따라 생산 분야에서 다양한 연구가 이루어졌다. 현재까지 다양한 산업적 기술이 발달하였고 정보 통신 기술(information technology; IT), 발광 다이오드(light-emitting diode; LED)와 식물공장 시스템 등과 같은 재배에 적용 가능한 방법들이 응용되었으며 새싹보리의 기능성 물질 함량을 높이거나 효율적으로 재배하는 방법들이 제시되고 있다 (Chung et al. 2019; Hegab 2018; Meng et al. 2015).

수경 재배 또는 양액 재배는 토양을 이용하지 않고 생육에 필요한 배양액으로 작물을 재배하는 방법이다. 배양액은 물을 이용하거나 필수원소가 들어있는 유기질 또는 무기 비료를 혼합하여 구성하는데 이러한 필수원소의 농도 또는 비율에 따라 식물체가 자라는 과정에서 결핍 또는 과다에 의한 증상이 나타날 수 있다(Gibson et al. 2001). 새싹 작물의 경우 종자로부터 영양분을 공급받아 생존할 수 있지만 다양한 무기성분의 농도는 생산된 작물의 영양학적 가치를 변화시키고 생육에도 영향을 준다(Di Gioia et al. 2019; Palmitessa et al. 2020). 이는 새싹보리의 생산 과정에서 배양액에 포함된 성분이 직접적으로 작용하여 새싹보리 식물체에 영향을 줄 수 있다는 점을 의미한다.

따라서 본 연구에서는 양액 처리 농도별 새싹보리를 생육하는 기간 동안 생육 상태를 비교 분석하고 생산된 새싹보리의 무기성분과 추출물의 폴리페놀 성분을 분석하여 고기능성 성분 함량을 가진 새싹보리를 최대 생산할 수 있는 양액 조건을 탐색하고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 재배환경

실험에 사용한 보리 종자는 ‘항맥’ 품종이며 (주)진생영농조합에서 제공받았다. 새싹보리 재배에 사용한 종자 전처리 과정은 다음과 같다. 70% 에탄올로 5분 간 소독한 뒤 3회 이상 세척하고 12시간 동안 물에 침지하였다. 이후 종자를 꺼내어 암실에서 발아를 유도한 뒤 생육 실험을 진행하였다. 재배 시설은 식물 공장형 시스템이며 제습기(SGD-11S, Shinan green tech, Suncheon, Korea), 가습기(UH-303, JB Natural, Gunpo, Korea), 유동팬(에어믹서1 SGA-380A, Shinan green tech, Suncheon, Korea), 온·습도검출기(THO2255, Consis, Incheon, Korea), 이산화탄소 검출기(EE820, Elektronik, Kranzberg, Germany) 및 전기 냉(난)방기(AP110RNPPBH1, Samsung electronics, Suwon, Korea)로 구성하였다. 생육 환경은 평균 온도 24.4±0.3°C, 평균 상대습도 63.1±8.6%, CO₂ 농도는 497.9±41.8 ppm 조건이었고, 형광등(T5 15W, Dayon, Suwon, Korea) 광원으로 광주기 24/0 (light/dark)로 처리하였다.

양액 처리에 따른 새싹보리 생육 비교

발아가 유도된 보리 100 g(투입 종자 중량 기준)을 생육 파종상(22.5 cm × 32.5 cm)에 파종하였다. 수경재배에 사용한 배양액은 하이포넥스(미분 Hyponex, Osaka, Japan)를 혼합하지 않은 무처리구와 0.5 g/L 처리구, 1 g/L 처리구로 각각 제조하고 pH가 7.0±0.1이 되도록 1 M sodium hydroxide로 보정하였다. 생육 기간 동안 파종일 기준 3일 간격으로 식물체를 채취한 뒤 지상부와 지하부(종실 부분 포함)로 나누어 길이, 생체 중 및 수분 함량을 측정하였다.

클로로필 추출 및 측정

클로로필 함량 측정은 Sumanta et al. (2014)의 방법을 변형하여 수행하였다. 측정 시료는 3일 간격으로 채집한 식물체 지상부를 이용하였고, 시료 0.1 g에 dimethyl sulfoxide 10 mL를 가한 뒤 30°C 암실 조건에서 24시간 추출하였다. 이후 분광광도계(UV-2450, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 470 nm, 648 nm 및 664 nm의 흡광도를 측정하였다. 클로로필 함량은 다음 수식에 따라 계산하여 나타내었다.

$$\text{Chlorophyll a } (\mu\text{g/mL}) = 12.47A_{664 \text{ nm}} - 3.62A_{648 \text{ nm}}$$

$$\text{Chlorophyll b } (\mu\text{g/mL}) = 25.06A_{648 \text{ nm}} - 6.5A_{664 \text{ nm}}$$

$$\text{Total chlorophyll } (\mu\text{g/mL}) = \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b}$$

$$\text{Carotenoid} = (1000A_{470 \text{ nm}} - 1.29\text{chl a} - 53.28\text{chl b}) / 220$$

새싹보리 수량

새싹보리 수량을 비교하기 위해서 9일 동안 재배된 새싹보리 지상부를 수확하였다. 식물체의 줄기와 인접한 뿌리로부터 3 cm 상단을 절단하였고, 파종상(22.5 cm × 32.5 cm) 당 수확량으로 나타내어 비교 분석하였다.

새싹보리 무기성분 분석

새싹보리 지상부를 세척 및 건조한 뒤 분말화하여 분석용 시료로 이용하였다. 질소 함량 분석은 분말화된 시료 0.5 g을 H₂SO₄-H₂O₂법으로 분해한 뒤 Kjeldahl 질소 정량법으로 측정하였고, 다량 및 미량 원소 함량 분석은 H₂SO₄-H₂O₂법으로 분해한 시료를 유도 결합 플라즈마(JY 138 Ultracore, Jobin Yvon, Longjumeau, France)로 정량하였다.

새싹보리 추출

새싹보리 추출방법은 분말화 시료 1 g에 20 mL의 용매를 넣어 초음파 추출기(Power sonic 520, Hwashin, Yeongcheon,

Korea)로 40 kHz 조건에서 30분 동안 3회 반복 추출하였다. 추출 용매는 에탄올, 70% 에탄올과 증류수 3가지 용매를 비교하였으며, 추출액은 여과하여 농축한 뒤 분석에 사용하였다.

새싹보리 추출물의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량 분석

새싹보리 추출물의 총 폴리페놀 함량 분석 방법은 다음과 같다. 추출물 20 µL에 50% Folin-Ciocalteu 시약 100 µL와 증류수 700 µL을 넣은 뒤 2시간 반응하였다. 그 다음 20% sodium carbonate 100 µL를 가하고 1시간 반응시킨 후 750 nm의 흡광도를 i-Mark microplate reader (168-1135, Bio-Rad, Hercules, CA, USA)로 측정하였다. 측정된 시료의 흡광도는 표준물질로 사용한 gallic acid 흡광도 대비 총 폴리페놀 함량(gallic acid equivalent; GAE)으로 계산하여 나타내었다. 총 플라보노이드 함량 분석은 추출물 100 µL에 에탄올 300 µL, 10% aluminium nitrate 20 µL와 1 M potassium acetate 20 µL를 넣고 1시간 반응시킨 후 415 nm의 흡광도를 i-Mark microplate reader로 측정하였다. 측정된 시료의 흡광도는 표준물질로 사용한 quercetin 흡광도 대비 총 플라보노이드 함량(quercetin equivalent; QE)으로 계산하여 나타내었다.

새싹보리 추출물의 luteolin 및 saponarin 함량 분석

새싹보리 추출물의 luteolin, saponarin 정량 분석은 high-performance liquid chromatography (LC-20AD, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하였다. 검출파장은 272 nm를 사용하였다. Column은 YMC-Triart C₁₈ column (250 × 4.6 mm I.D. 5 µM Hybrid silica-based ODS, YMC, Devens, MA, USA)을 사용하였고 용매 조성은 A: 증류수(0.1% formic acid), B: acetonitrile (0.1% formic acid)로 하였다. 용매는 A: 85%, B: 15%로 시작하여 25 min에 A: 60%, B: 40%, 30 min에 A: 85%, B: 15%로 구성하여 분석하

였다. 용매 흐름속도는 1 mL/min으로 하였고 column온도는 30°C로 고정하여 분석하였다.

통계 분석

새싹보리 추출물의 모든 데이터는 반복 실험한 뒤 평균 및 표준편차로 표현하였다. 통계 분석은 Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, ver. 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 일원배치 분산분석하고 Duncan's Multiple Range Test로 유의수준을 검정하였다($p < 0.05$). 비교 집단이 2개 이하인 경우 t-test를 통해 유의적 차이를 확인하였다.

결과 및 고찰

생육 기간별 새싹보리의 길이를 측정하였다(Table 1). 새싹보리의 지상부 길이는 3일차에서 9일차로 생육기간이 길어짐에 따라 점진적으로 증가하여 약 5배 이상 차이가 발생하였다. 초기 성장 단계인 3일차에서는 1 g/L 처리구의 길이가 가장 길었으며, 6일차 이후에도 양액 처리구는 무처리구와 비교할 때 유의적으로 높은 지상부 길이를 보였다($p < 0.05$). 새싹보리의 지하부 길이는 9일의 생육기간 동안 크게 신장하지 않았다. 특히 6일차 이후 유의적으로 증가하지 않는 경향을 보였다. 또한 무처리구와 양액 처리구 사이에도 유의적인 차이가 발생하지 않았다. 양액 처리에 따른 새싹보리의 지상부와 지하부를 합한 전체 길이는 3일차에서 4.75 ~ 6.58 cm로 큰 차이가 나타나지 않았으나 6일차 이후 무처리구(11.72 ± 2.36 cm)에 비해 양액 처리구는 더 길었고, 15 cm 이상의 길이가 확인되었다. 6일차에서 확인된 무처리구와 양액 처리구의 식물체 전체 길이의 차이는 9일차에도 유지되었다. 양액 처리구 지상부의 빠른 생육은 무기성분에 의

Table 1 The effect of nutrient solution on barley sprouts length

Growth duration	Nutrient solution	Length (cm)		
		Shoot	Root	Plant
3 days	Control	2.89 ± 0.74 b ^x	2.73 ± 0.87 a	5.62 ± 1.19 a
	0.5 g/L	2.92 ± 0.42 b	1.83 ± 0.71 b	4.75 ± 0.61 b
	1 g/L	3.73 ± 0.55 a	2.85 ± 0.44 a	6.58 ± 0.85 a
6 days	Control	9.28 ± 2.10 b	2.44 ± 0.58	11.72 ± 2.36 b
	0.5 g/L	12.21 ± 1.34 a	3.26 ± 1.39	15.47 ± 2.02 a
	1 g/L	12.71 ± 0.95 a	2.98 ± 1.33	15.59 ± 1.62 a
9 days	Control	16.59 ± 0.96 c	3.24 ± 1.02	19.83 ± 1.18 b
	0.5 g/L	20.99 ± 1.35 a	3.71 ± 1.68	24.70 ± 2.60 a
	1 g/L	19.94 ± 0.98 b	3.70 ± 1.54	23.64 ± 2.06 a

^xMeans with different letters (a-c) in the same column are significantly different at $p < 0.05$ (Duncan).

Table 2 The effect of nutrient solution on the fresh weights and moisture in barley sprouts

Growth duration	Nutrient solution	Fresh weight (mg)		Moisture (%)	
		Shoot	Root	Shoot	Root
3 days	Control	27.87 ± 7.30 b ^z	95.54 ± 13.17 a	94.87 ± 1.46 a	61.02 ± 9.03
	0.5 g/L	29.33 ± 7.93 ab	83.46 ± 15.48 ab	89.70 ± 5.04 b	55.52 ± 14.47
	1 g/L	35.75 ± 6.60 a	77.02 ± 18.89 b	90.72 ± 2.94 b	60.35 ± 8.91
6 days	Control	70.00 ± 12.17 c	112.13 ± 25.81	91.24 ± 1.48	75.93 ± 6.48
	0.5 g/L	88.19 ± 16.11 b	99.29 ± 17.81	90.20 ± 2.37	80.62 ± 4.21
	1 g/L	105.80 ± 17.40 a	109.49 ± 20.51	89.94 ± 3.34	77.18 ± 7.73
9 days	Control	108.35 ± 11.13 b	110.52 ± 12.17 a	90.10 ± 1.96	81.28 ± 3.97
	0.5 g/L	140.73 ± 22.65 a	91.83 ± 14.63 b	90.66 ± 1.71	82.68 ± 5.41
	1 g/L	145.78 ± 17.52 a	95.84 ± 19.05 b	90.73 ± 2.26	80.42 ± 7.10

^zMeans with different letters (a-c) in the same column are significantly different at $p < 0.05$ (Duncan).

Table 3 The effect of nutrient solution on the chlorophyll content in barley sprouts

Growth duration	Nutrient solution	mg/g of fresh weight				
		Chl ^y a	Chl b	Total Chl	Carotenoids	Chl a/b
3 days	Control	2.66 ± 0.06	0.34 ± 0.01	3.00 ± 0.05	0.97 ± 0.03	7.81
	0.5 g/L	2.48 ± 0.40	0.29 ± 0.40	2.77 ± 0.44	0.91 ± 0.14	8.55
	1 g/L	2.95 ± 0.27	0.34 ± 0.07	3.35 ± 0.35	1.07 ± 0.08	7.38
6 days	Control	3.59 ± 0.07	0.53 ± 0.10	4.12 ± 0.16	1.30 ± 0.01	6.77
	0.5 g/L	4.20 ± 0.74	0.61 ± 0.16	4.81 ± 0.90	1.52 ± 0.26	6.88
	1 g/L	4.14 ± 0.81	0.59 ± 0.14	4.73 ± 0.96	1.50 ± 0.29	7.01
9 days	Control	3.22 ± 0.67	0.99 ± 0.02 c ^z	4.22 ± 0.69	1.07 ± 0.25	3.25
	0.5 g/L	4.35 ± 0.14	1.16 ± 0.11 ab	5.51 ± 0.25	1.47 ± 0.03	3.74
	1 g/L	4.35 ± 0.25	1.26 ± 0.04 a	5.61 ± 0.21	1.45 ± 0.11	3.46

^yChl : Chlorophyll.

^zMeans with different letters (a-c) in the same column are significantly different at $p < 0.05$ (Duncan).

한 효과로 보인다. Yeo et al. (2013)은 무기성분의 농도가 식물 성장 특성을 변화시켜 적절한 양액의 농도가 지상부 생육을 증가시킨다고 보고하였다. 따라서 생육 초기 단계인 3일차 길에서 종실의 저장물질이 사용되어 큰 차이를 보이지 않았으나 6일차 이후 관찰된 길이는 양액의 무기성분이 흡수되었기 때문에 차이를 보였다고 판단된다.

새싹보리 식물체의 생체중과 수분 함량은 Table 2와 같다. 새싹보리 지상부의 생체중은 모든 처리구에서 생육 기간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 지상부의 수분 함량은 3, 6, 9일차 생육 기간에서 약 90%가 유지되었으며 생체중 증가의 원인은 지상부 길이 생장에 따른 건물량의 증가로 해석된다. 반면 생육 기간별 새싹보리 지하부의 생체중은 크게 증가하지 않았다. 또한 3일차 새싹보리 지하부의 수분 함량이 약 60% 인 반면 9일차 새싹보리 지하부의 수분 함량은 약 80%에 이른다. 이러한 지하부 수분함량 결과를 통해 지하부 생체중에 종실의 저장물질이 관여하였다고 판단된다. Choe and Youn (2005)의 연구에서 분석된 보리 종실은 9.5~

10% 수분 함량과 나머지 탄수화물, 지방 및 단백질로 구성되어 있다. 따라서 수분함량이 낮은 종실의 저장물질이 분해되어 생체중의 감소가 나타나지만 같은 기간 뿌리 생장을 통해 일정한 생체중이 유지된 것으로 보인다. 무처리구와 양액 처리구의 지상부 생체중을 비교하였을 때 양액 처리구의 생체중이 더 높았다. 지상부 길이 또한 양액 처리구에서 더 높았기 때문에 생체중 또한 차이를 보인 것으로 생각된다. 지하부 생체중은 무처리구에서 더 높은 중량이 확인되었다. 종실의 저장물질은 식물 생육이 활발하게 이루어질 때 빠르게 소모된다. 지상부 생육이 빠른 양액 처리구는 저장물질 소모가 무처리구에 비해 빠르기 때문에 상대적으로 무게가 낮은 것으로 판단된다.

새싹보리의 클로로필 함량은 광합성이 주로 이루어지는 지상부에서 추출하여 측정 비교하였다(Table 3). 식물체의 생육에서 클로로필 함량은 광합성과 관련이 깊다. 무처리구와 양액 처리구의 클로로필 함량은 유의적인 차이가 9일차 클로로필 b를 제외하고 확인되지 않았다. 그러나 양액 처리

Table 4 The effect of nutrient solution on the yield in barley sprouts at 9 days

Nutrient solution	g/seedbed (22.5 cm × 32.5 cm)	
	Fresh weight	Dry weight
Control	64.11 ± 28.05 b ^z	6.21 ± 1.48 b
0.5 g/L	107.81 ± 19.28 ab	10.63 ± 2.17 a
1 g/L	121.71 ± 30.03 a	11.93 ± 2.58 a

^zMeans with different letters (a-b) in the same column are significantly different at *p* < 0.05 (Duncan).

Table 5 The effect of nutrient solution on the minerals in barley sprouts

	Nutrient solution		
	Control	0.5 g/L	1 g/L
Macro mineral (mg/g of dry powder)			
N	22.67 ± 1.30	22.70 ± 0.36	22.33 ± 0.55
P	8.47 ± 0.55 b ^y	9.23 ± 0.21 a	9.00 ± 0.20 ab
K	12.57 ± 1.35 c	28.80 ± 0.95 a	25.43 ± 1.23 b
Ca	0.93 ± 0.06 c	2.13 ± 0.06 a	1.67 ± 0.06 b
Mg	2.07 ± 0.21 b	2.40 ± 0.00 a	2.00 ± 0.10 b
Na	1.63 ± 0.15	1.70 ± 0.10	1.77 ± 0.06
Micro mineral (µg/g of dry powder)			
Fe	50.93 ± 6.17 a	38.93 ± 3.53 b	36.73 ± 2.06 b
Mn	25.33 ± 2.01 a	24.80 ± 2.26 a	19.33 ± 1.19 b
Zn	27.50 ± 1.95 a	21.50 ± 3.70 b	19.13 ± 0.81 b
Cu	ND ^z	ND	ND

^yMeans with different letters (a-c) in the same row are significantly different at *p* < 0.05 (Duncan).

^zND; not detected.

구의 평균 함량은 무처리구와 비교하였을 때 클로로필 a, b 및 카로티노이드 함량이 더 높은 경향을 띄었다. 생육 기간에 따라 대체적으로 클로로필 함량과 카로티노이드 함량은 증가하는 경향을 보였다. 종실의 저장물질에 의존하던 유식 물체가 광합성을 통해 자체적인 독립 영양을 위한 기초적인 발달과정으로 보인다. 특히 클로로필 a와 클로로필 b의 비율은 일반적인 고등식물에서 3:1로 관찰된다. 그러나 본 실험에 새싹보리 3일차, 6일차 생육기간에서 클로로필 a/b 비율은 6~8:1이었다. 클로로필은 광합성을 하기 위한 중요한 물질로서 식물에는 클로로필 a와 b가 관여한다. 두 가지 색소는 광합성을 하기 위해 결합 단백질 복합체를 형성하는데 클로로필 a/b 비율이 낮아질수록 광 시스템을 안정적이고 효율적으로 활용한다고 보고하였다(Kume et al. 2018). 생육 9 일차의 경우 광합성 효율을 높이기 위해 3:1로 변화하여 안정적인 광 시스템을 갖추는 과정으로 보인다.

양액 처리에 따른 새싹보리 생산량은 9일동안 자란 파종 상에서 수확된 양으로 비교 분석하였다(Table 4). 무처리구의 새싹보리 생산량은 64.11 ± 28.05 g/seedbed였지만 양액 처리구에서는 100 g/seedbed 이상으로 유의적으로 더 높은 새싹보리 생산량을 보였다. 새싹보리의 지상부는 일반적으로

건조하여 이용된다. 이에 따라 새싹보리를 건조한 후 무게를 비교하였고 무처리구에 비해 양액 처리구에서 유의적으로 높은 중량을 확인하였다. Dung et al. (2010)은 양액 또는 수돗물로 재배한 새싹보리에서 생산량 차이가 없다고 보고하였다. 이는 본 실험결과와는 다른 결과였다. 이렇게 다른 경향이 나타난 원인으로 배양액을 구성하고 있는 무기성분의 비율과 농도가 달랐기 때문에 나타난 결과로 생각된다. Dung et al. (2010)은 실험 조건에서 배양액의 인 함량이 3.20 ppm이었으며 본 실험의 0.5 g/L 양액 처리구의 인 함량 30 ppm에 비해 낮은 수치를 보였다. 인산은 RNA와 단백질 합성과 관련이 있기 때문에 영양생장에 영향을 주고 인산 결핍이 생기면 생육 저하가 나타난다(Gibson et al. 2001). 따라서 양액 처리구에서 확인된 생산량 차이를 통해 적절한 농도의 무기성분 시비는 새싹보리 생산량 증가 효과에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

새싹보리 식물체의 무기성분은 Table 5와 같다. 식물체의 분석은 무기원소 시비량과 생육 정도를 판단할 수 있는 중요한 방법이다. 작물을 재배하면서 식물 생육에 필수적인 원소의 함량이 적정 농도를 초과하거나 부족하게 되면 다양한 증상이 나타난다(Gibson et al. 2001). 식물체의 무기성분에서

Table 6 The effect of nutrient solution on the total polyphenol, total flavonoid, and luteolin contents in various barley sprout extracts

	Extracts		
	Ethanol extract	70% Ethanol extract	Water extract
Total polyphenol content (mg GAE ^w /g)			
Control	39.79 ± 0.78 A ^{c y}	140.20 ± 1.41 A ^b	157.15 ± 1.20 A ^a
0.5 g/L	35.05 ± 0.73 B ^c	129.06 ± 0.55 B ^b	145.03 ± 2.45 B ^a
1 g/L	33.20 ± 1.07 C ^c	128.53 ± 2.01 B ^b	146.53 ± 0.76 B ^a
Total flavonoid content (mg QEx/g)			
Control	ND	25.14 ± 1.14 b ^{y ***z}	18.44 ± 1.49 b
0.5 g/L	ND	29.58 ± 1.11 a	31.35 ± 2.91 a
1 g/L	ND	30.26 ± 1.34 a	31.92 ± 2.15 a
Luteolin content (µg /g)			
Control	6.07 ± 1.17 c ^y	47.53 ± 1.26 a	39.18 ± 2.88 b
0.5 g/L	6.88 ± 1.11 b	48.61 ± 4.23 a	44.14 ± 7.13 a
1 g/L	7.18 ± 0.11 b	52.08 ± 3.33 a	47.09 ± 3.91 a

^wGAE: gallic acid equivalents of extract.

^xQE: quercetin equivalents of extract.

^yMeans with different letters (A-C) in the same column are significantly different at $p < 0.05$ (Duncan).

Means with different letters (a-c) in the same row are significantly different at $p < 0.05$ (Duncan).

^z***Represents significant differences with $p \leq 0.01$.

질소와 나트륨 함량에서는 유의적인 차이를 보이지 않았고, 구리는 검출되지 않았다. 반면 다른 무기성분은 차이를 보였는데 무처리구에 비해 양액 처리구에서 식물체내 인, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘 함량이 증가하였으며 철과 아연의 함량은 감소하는 경향을 보였다. 인산과 칼륨의 함량이 증가한 것은 양액 시비 처리에 따라 직접적인 영향을 받았음을 의미한다. 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 식물체의 생육과 관련이 있는 무기성분이다. 이러한 무기성분의 결핍은 식물체 신장과 세포분열에 영향을 주며 광합성과도 관련이 깊어 부족한 경우 생육이 늦어질 가능성이 있다(Prajapati and Modi, 2012; Yeo et al. 2013). 철은 클로로필 함량과 정량적으로 관련이 있는데 철의 결핍이 클로로필 합성 자체를 감소시키는 것보다는 틸라코이드의 합성을 지연시켜 최종적으로 클로로필을 감소시킬 수 있다고 보고하였다(Terry and Low, 1982). 본 실험에서 무처리구에 비해 양액 처리구의 철 함량은 유의적으로 낮았다. 하지만 클로로필 함량의 결과를 통해 양액 처리구의 철 함량(36.73 ~ 38.93 µg/g)은 적정 수준 이내의 함량으로 판단된다. 아연의 농도는 인의 흡수 효율과 관련이 있다. 인 함량이 증가함에 따라 아연의 흡수와 식물체 내의 아연 농도를 감소시킨다고 보고하였다(Zhu et al. 2001). 본 실험의 새싹보리를 분석하였을 때 인의 함량이 높은 양액 처리구에서 아연의 함량이 낮은 결과는 양액 투입에 의해 나타난 현상으로 보인다.

새싹작물은 인간의 건강에 도움이 될 것으로 예상되는 페놀성 물질이 풍부하기 때문에 기능성 식품으로서 가치가 기대된다(Kyriacou et al. 2016). 또한 Chae et al. (2019) 연구에서

새싹보리 추출에 사용한 용매에 따라 각기 다른 페놀성 화합물의 함량을 보고하였다. 이에 따라 양액 처리에 따라 생산된 새싹보리를 에탄올, 70% 에탄올 및 물 용매로 각각 추출하여 총 폴리페놀 함량, 총 플라보노이드 함량 및 플라보노이드 정량 분석을 실시하였다. 새싹보리의 총 폴리페놀 함량은 표준물질로 사용한 gallic acid 대비 함량으로 분석 비교하였다(Table 6). 새싹보리 추출 용매를 비교하였을 때 물 추출물이 가장 높은 함량을 보였고, 다음으로 70% 에탄올 추출물의 함량이 높았다. 반면 에탄올 추출물의 경우 다른 추출 용매에 비해 3배에서 4배 이상 낮은 함량을 보였다. 이러한 경향은 모든 처리구에서 동일하게 나타났다. 무처리구에서 생산된 새싹보리를 용매별 추출하였을 때 에탄올 추출물의 경우 39.79 ± 0.78 mg GAE/g이었으며 70% 에탄올 추출물(140.20 ± 1.41 mg GAE/g)이나 물 추출물(157.15 ± 1.20 mg GAE/g)보다 낮은 함량을 보였다. 무처리구와 양액 처리구에서 생산된 새싹보리의 총 폴리페놀 함량을 비교하였을 때 모든 추출물에서 무처리구의 함량이 높았다. 새싹보리 추출물의 총 플라보노이드 함량은 표준물질로 사용된 quercetin 대비 함량으로 분석 비교하였다(Table 6). 무처리구의 총 플라보노이드 함량은 에탄올 추출물에서 나타나지 않았다. 그러나 70% 에탄올 추출물(25.14 ± 1.14 mg QE/g)과 물 추출물(18.44 ± 1.49 mg QE/g)에서 확인된 총 플라보노이드 함량을 비교하였을 때 70% 에탄올 추출물의 함량이 더 높았다($p < 0.01$). 0.5 g/L 처리구와 1 g/L 처리구의 추출 용매에 따른 함량은 무처리구와 비슷한 경향을 가지고 있었다. 에탄올 추출물에서는 총 플라보노이드 함량이 확인되지 않았고 70% 에탄올과 물

추출물에서 29.58 ~ 31.92 mg QE/g의 범위를 나타내었다. 양액 처리에 따라 생산된 새싹보리를 비교하였을 때 무처리구 새싹보리에서 추출하는 것보다 양액 처리구 새싹보리를 추출에 사용하였을 때 더 높은 총 플라보노이드 함량을 보였다. Chae et al. (2019)은 새싹보리를 물, 25% 에탄올, 50% 에탄올, 75% 에탄올로 각각 추출하였을 때 물 추출물에 비해 75% 에탄올에서 총 폴리페놀 함량과 총 플라보노이드 함량이 유의적으로 높은 함량을 보고하였다. 반면 본 실험에서 70% 에탄올 추출물보다 물 추출물의 함량이 더 높았다. Folin-Ciocalteu 시약은 페놀 화합물에 따라 다르게 반응하기도 하며 총 폴리페놀 함량은 대략적으로 추정하는데 사용되는 실험 방법이다(Singleton et al. 1999). 또한 Chae et al. (2019)의 페놀성 화합물 함량 분석 결과에서 kaempferol, ferulic acid, gallic acid 함량이 75% 에탄올 추출물에 비해 물 추출물이 2 배 이상 높았다. 따라서 물 추출물에 다량의 페놀성 화합물이 존재할 수 있다는 점을 의미한다. 그리고 70% 에탄올로 추출하였을 때 무처리구의 총 폴리페놀 함량이 양액 처리구보다 높았지만 총 플라보노이드 함량은 양액 처리구에서 높은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 Kim (2021)의 연구에서 확인된 결과와 같은 경향이였다.

Luteolin은 과일, 채소 등 많은 식물에 존재하는 일반적인 플라보노이드 화합물로 항염증, 항 알레르기 및 항암과 같은 다양한 생리활성을 가지고 있다(Lin et al. 2008). 그리고 saponarin은 새싹보리의 주요 플라본으로 높은 항산화력과 생리활성을 가진 물질로 알려져 있다(Chung et al. 2019). 따라서 새싹보리에 주요 화합물로 예상되는 luteolin 및 saponarin을 HPLC를 이용하여 정량 분석하였다(Table 6). 새싹보리를 용매에 따라 추출하였을 때 무처리구에서 luteolin 함량은 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). 특히 70% 에탄올 추출물은 $47.53 \pm 1.26 \mu\text{g/g}$ 으로 에탄올 추출물($6.07 \pm 1.17 \mu\text{g/g}$)보다 7 배 이상 높았다. 0.5 g/L 처리구와 1 g/L 처리구에서 무처리구와 비슷한 경향으로 에탄올 추출물보다 70% 에탄올 추출물에서 7배 이상 높은 luteolin 함량을 보였다. 또한 양액 처리구 내의 70% 에탄올과 물 추출물 사이에는 유의적인 차이가 확인되지 않았다. 양액 처리에 따라 생산된 새싹보리의 luteolin 함량에서 유의적인 차이는 확인되지 않았으나 평균 함량이 양액 처리 농도가 높아짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 새싹보리의 생리활성 물질인 luteolin은 무처리구보다 양액 처리를 통하여 더 높은 함량을 가진 새싹보리 생산이 가능했으며, 이를 추출물로 제조할 경우 에탄올보다 70% 에탄올 또는 물을 이용한 수성 추출물 제조가 유리하다고 판단된다. Chung et al. (2019)의 연구에서 형광등을 광원으로 재배한 새싹보리의 saponarin은 26 mg/100g의 함량을 보고하였지만 본 실험의 새싹보리 추출물에서는 saponarin이 검출되지 않았다. 검출되지 않은 원인은 saponarin이 추출물에 매우 낮은 농도로 존재하고 보리의 품종이 다르기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

적 요

본 연구는 생육 기간에 따른 새싹보리 식물체의 길이, 무게 및 클로로필 함량 분석과 수확량을 통해 양액 처리에 따른 재배 효율성을 평가하고, 생산된 새싹보리의 무기성분 분석과 용매별 추출물의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량과 HPLC를 이용한 기능성 물질 분석을 통해 새싹보리의 산업적 이용 가능성을 높이고자 하였다. 새싹보리의 생육에서 무처리구보다 양액 처리구에서 생육속도가 빨랐으며 특히 지상부 길이가 크게 신장하였다. 지상부 길이가 더 증가한 만큼 생체중 또한 증가하였지만 수분 흡수량의 차이보다는 건물중의 증가로 이어졌다. 이는 수확량의 차이로 나타났다. 무처리구와 비교하였을 때 양액 처리구에서 생산량이 유의적으로 증가하였다. 클로로필 함량 분석을 통해 생육 9 일차에서 광합성을 통한 독립영양 과정을 확인하였고, 생육 3일차와 6일차에서 양액 처리를 통한 무기성분 투입이 초기 생장에 보조적인 효과가 있다고 판단된다. 새싹보리의 폴리페놀 함량 분석 결과 총 폴리페놀 함량은 무처리구에서 높았지만 총 플라보노이드 함량과 luteolin 함량은 양액 처리에 의해 증가하였다. 또한 추출 용매를 물로 사용하였을 때 폴리페놀 추출에 효과적이었다. 따라서 새싹보리 수경재배에서 양액의 투입이 높은 폴리페놀을 가진 새싹보리를 생산하고 생산량 증대에도 효과가 있음을 시사한다.

사 사

본 논문은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다.

References

- Chae KS, Ryu EH, Kim KD, Kim YS, Kwon JW. (2019). Antioxidant activities of ethanol extracts from barley sprouts. *Korean J Food Sci Technol* 51(5):486-491
- Choe JS, Youn JY. (2005). The chemical composition of barley and wheat varieties. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34(2): 223-229
- Chung NJ, Kim JY, Lee Y, Shin SH, Song JS, Shin SC, Kim BT. (2019). Variations of saponarin content in young barley leaves illuminated with different light-emitting diodes (LEDs). *J Crop Sci Biotechnol* 22(4):317-322
- Di Gioia F, Petropoulos SA, Ozores-Hampton M, Morgan K, Rosskopf EN. (2019). Zinc and iron agronomic biofortification of *Brassicaceae microgreens*. *Agronomy* 9(11):677
- Dung DD, Godwin IR, Nolan JV. (2010). Nutrient content and in sacco degradation of hydroponic barley sprouts grown using

- nutrient solution or tap water. *J Anim Vet Adv* 9(18): 2432-2435.
- Eun CS, Hwang EY, Lee SO, Yang SA, Yu MH. (2016). Anti-oxidant and anti-inflammatory activities of barley sprout extract. *J Life Sci* 26(5):537-544
- Gibson JL, Nelson PV, Pitchay DS, Whipker BE. (2001). Identifying nutrient deficiencies of bedding plants. *Florex* 46(1):4-7
- Guo L, Yang R, Wang Z, Guo Q, Gu Z. (2014). Glucoraphanin, sulforaphane and myrosinase activity in germinating broccoli sprouts as affected by growth temperature and plant organs. *J Funct Foods* 9:70-77
- Hagiwara, Y (1978) Study on green juice powder of young barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves II: Effect on several food additives, agricultural chemicals, and a carcinogen. The 98th Annual Assembly of Pharmaceutical Society of Japan
- Hagiwara YS, Sayuki T, Miyauchi H, Otake S, Abe M, Kuramoto, Takada K. (1979) Study on green barley extract. The 99th Annual Assembly of Pharmaceutical Society of Japan
- Hegab KK. (2018). Automatic environmental-control in the biosystem for sprouting soilless hydroponics barley. *MJAE* 35(2):767-784
- Kim JS. (2021). Effects of nutrient solution and artificial light on the growth and physicochemical properties of hydroponically cultivated barley. *J Plant Biotechnol* 48:77-85
- Kitta K, Hagiwara Y, Shibamoto T. (1992). Antioxidative activity of an isoflavonoid, 2"-O-glycosylisovitexin isolated from green barley leaves. *J Agric Food Chem* 40(10):1843-1845
- Kubatka P, Kello M, Kajo K, Kruzliak P, Výbohova D, Šmejkal K, Maršik P, Zulli A, Gönciova G, Mojžiš J, Kapinová A, Murin R, Pěč M, Adamkov M, Przygodzki RM. (2016). Young barley indicates antitumor effects in experimental breast cancer *in vivo* and *in vitro*. *Nutr cancer* 68(4):611-621
- Kume A, Akitsu T, Nasahara KN. (2018). Why is chlorophyll b only used in light-harvesting systems?. *Int J Plant Res* 131(6):961-972
- Kyriacou MC, Roupael Y, Di Gioia F, Kyrtzis A, Serio F, Renna M, Pascale DS, Santamaria P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Sci Technol* 57:103-115
- Lin Y, Shi R, Wang X, Shen HM. (2008). Luteolin, a flavonoid with potential for cancer prevention and therapy. *Curr Cancer Drug Targets* 8(7):634-646
- Meng T, Miura C, Irino N, Kondo R. (2015). Evaluation of the production of young green barley plants containing functional ingredients. *Am J Plant Sci* 6(02):323
- Palmitessa OD, Renna M, Crupi P, Lovece A, Corbo F, Santamaria P. (2020). Yield and quality characteristics of *Brassica* microgreens as affected by the NH₄: NO₃ molar ratio and strength of the nutrient solution. *Foods* 9(5):677
- Prajapati K, Modi HA. (2012). The importance of potassium in plant growth—a review. *JPS* 1(2):177-186
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Method Enzymol* 299:152-178
- Sumanta N, Haque CI, Nishika J, Suprakash R. (2014). Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents. *Res J Chem Sci* 4(9):63-69
- Sun J, Xiao Z, Lin LZ, Lester GE, Wang Q, Harnly JM, Chen P. (2013). Profiling polyphenols in five *Brassica* species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMSⁿ. *J Agric Food Chem* 61(46):10960-10970
- Terry N, Low G. (1982). Leaf chlorophyll content and its relation to the intracellular localization of iron. *J Plant Nutr* 5(4-7): 301-310
- Yamaura K, Nakayama N, Shimada M, Bi Y, Fukata H, Ueno K. (2012). Antidepressant-like effects of young green barley leaf (*Hordeum vulgare* L.) in the mouse forced swimming test. *Pharmacog Res* 4(1):22
- Yeo KH, Lee JH, Lee YB. (2013). Determination of optimal levels of Ca and Mg for single-stemmed roses grown in closed aeroponic system. *Hortic Environ Biotechnol* 54(6):510-518
- Zhu YG, Smith SE, Smith FA. (2001). Zinc (Zn)-phosphorus (P) interactions in two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in P uptake efficiency. *Ann Bot* 88(5):941-945