J Plant Biotechnol (2021) 48:62–70
DOI:https://doi.org/10.5010/JPB.2021.48.1.062

ISSN 1229-2818 (Print)
ISSN 2384-1397 (Online)

Research Article

인공조명이 수경재배 새싹보리(*Hordeum vulgare* L.)의 생장과 품질에 미치는 영향

김주성

The effect of artificial lights on the growth and quality of hydroponic cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.) sprouts

Ju-Sung Kim

Received: 23 December 2020 / Revised: 18 January 2021 / Accepted: 8 March 2021
ⓒ Korean Society for Plant Biotechnology

Abstract We analyzed the growth and quality characteristics of barley sprouts grown under artificial light sources consisting of a fluorescent lamp or light-emitting diode (LED) in an aquaculture system (grown with water only, without nutrients). At the end of the observation period, the shoots grown under the fluorescent lamp treatment were the longest, followed by the LED treatment and natural light-treatment. It was also observed that growth was faster for sprouts subjected to a non-sterilizing treatment than those subjected to a 70% ethanol treatment. As the seed sowing rate for planting trays increased, the yield of harvested barley sprouts increased; among light treatments, the natural light treatment resulted in the lowest yield, while the fluorescent light treatment resulted in the highest. The total phenol and total flavonoid contents of extracts of the barley sprouts were highest for the natural light treatment, but TEAC and FRAP were both highest for the fluorescent lamp treatment. The essential amino acid content ranged from 41.64 to 45.93 mg/g and was relatively higher for the natural light treatment than the other two treatments, while the content of non-essential amino acids was highest for the LED treatment. The total amino acid content was highest for the LED treatment at 97.47 ± 6.30 mg/g, for which the content of non-essential amino acids (53.17%) was higher than that of essential amino acids (46.83%).

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

Keywords Aquaculture system, Barley sprouts, Light-emitting diode, Total amino acid

서 언

빛은 식물의 생장에서 가장 중요한 역할을 한다. 특히 380 ~ 750 nm 범위에서 식물체의 생장과 품질에 커다란 영향을 미친다. 온실의 경우 빛이 제한 요인으로 작용하기도 하며, 인공광의 보광에 의해 작물의 수확시기 조절이 가능하여 주년재배를 가능하게 하였다(Samuolienė et al. 2012). 한편, 실내 식물 생장을 위해서는 인공조명을 정확하게 선택하여 스펙트럼 구성과 다른 기술적 특징의 균형을 맞춰야 한다. 식물 생장은 매일 몇 시간의 빛을 필요로 하기 때문에 발광 효율이 매우 중요하며, 이는 생산 비용뿐만 아니라 에너지 소비에도 영향을 미치게 된다(Burattini et al. 2017).

자연광은 이상적인 광원으로 사용 가능한 파장의 전체 범위를 포괄하고 있으며, 식물 재배 및 연구에서 일반적으로 사용되는 조명은 형광등, 백열등 및 고강도 방전(수은 증기, 금속 할라이드 및 고압 나트륨 램프) 등이다. 이 중에서 형광등은 조직 배양실에서 가장 널리 사용되며, 350 ~ 750 nm까지 넓은 범위의 파장을 가지고 있다(Economou and Read 1987). 그러나, 이렇게 넓은 범위의 파장은 불필요하며, 식물의 생장을 촉진하기에는 품질이 낮고 많은 전력을 소비한다. 이러한 불빛들은 열을 방출하기 때문에, 재배 식물을 광원 가까이에 둘 수 없으며, 광스트레스에 의한 피해를 받기도 한다. 따라서 생산 효율을 개선하고 비용을 절감하며 식물의 품질을 개선할 수 있는 효율적인 광원이 필요하다(Gupta and Jatothu 2013). 형광등과 비교하여 발광 다이오드(LED)는 스펙트럼 구성을 제어하여 가능한 한 자연광에 가깝게 모방할 수 있으며, 긴 수명, 작은 질량과 부피, 낮은 에너지 소비와

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

적은 열 방출 등 여러 가지 장점을 가지고 있다(Bula et al. 1991; Lin et al. 2013; Yeh and Chung 2009).

우리나라를 비롯한 동양에서 식량작물로 이용되는 보리(*Hordeum vulgare* L.)는 주곡뿐만 아니라 주류나 장류, 엿기름, 국수나 빵, 미숫가루, 차나 음료의 원료로 이용이 되고 있다. 그 중의 보리 종자를 물에 침지하여 1~2주일 정도 길러서 약 20 cm 정도 되었을 때 이용하는 것을 새싹보리라고 한다. 새싹보리는 일부 전라남도 지역에서 떡이나 된장국에 넣어서 먹거나 생즙으로 이용할 뿐 별로 이용이 되고 있지 않지만(Lee 2011), 최근에는 다양한 기능성이 알려지면서 분말화한 제품으로 가공하여 판매하거나, 식품(백설기(Lim et al. 2017), 절편(Lim et al. 2018), 인절미(Lee 2020), 케이크(Jang 2020), 식빵(Lee 2015), 쿠키(Choi et al. 2020), 스트링치즈(Park et al. 2017) 등)의 부재료로 추가하거나, 면양(Dung et al. 2010; Fayed 2011)이나 소(Tudor et al. 2004)의 사료로 이용되기도 한다. 또한 추출물에서 식이섬유나 비타민, 미네랄 및 항산화 관련 물질(Kim et al. 2006; Son et al. 2016)이나 다양한 생리활성(지질대사, 항알레르기, 항산화, 항당뇨, 항염)(Kim et al. 2003, 2006; Park et al. 2008)이 우수하다는 연구 결과가 보고되었다.

산업의 발전과 자연의 무분별한 개발에 따른 기후변화 속도가 하루가 다르게 변하고 있다. 이러한 환경 속에서 재배되는 작물들은 당시의 환경조건에 따라 생산량뿐만 아니라 품질도 일률적이지 못한 문제점이 발생하고 있다. 따라서 본 연구는 지금까지 노지에서 생산하여 제품화하던 새싹보리를 광 조절이 가능한 실내 육묘장에 도입하여 주년재배 뿐만 아니라 오염 없는 환경에서 기르기 위한 조건을 탐색하기 위하여 인공광원에 따른 생육 조사와 건조한 분말을 이용한 새싹보리의 품질 관련 요소들을 측정하였다.

재료 및 방법

공시재료

실험에 사용된 보리는 ㈜진생영농조합으로부터 받아 이용하였다. 새싹보리 종자는 70% 에탄올 침지 여부에 따라 소독구와 무소독구로 나누었으며 7분간 소독 후 수돗물에 2~3회 세척하였다. 이후 수돗물에 12시간 침지후 생육시험을 실시하였다. 생육시험은 3, 6, 9일차에 생육 조사 및 클로로필 함량을 측정하였고 마지막 9일차에 포트당 생체중 및 건물중을 측정하였다.

광 조건에 따른 생육량 시험

보리 유묘의 광원에 따른 생육 특성을 조사하기 위하여 다음과 같은 조건에서 실시하였다. 자연광 처리(natural light, NL)는 비닐하우스 내에서 온도 21.2 ± 1.4°C, 습도 78.3 ± 4.9%, CO_2 농도 420.2 ± 6.5 ppm의 자연광 조건에서 재배하였으며, 형광등 및 LED 처리(fluorescent lamp, FL; light-emitting diode, LED)는 유리온실 내 밀폐형 생장실에 형광등(데이온, 수원, 한국)과 LED (㈜ 레드일렉트릭, 대전, 한국)를 설치하고 온도 25.2 ± 0.2°C, 습도 69.4 ± 5.0%, CO_2 농도 449.4 ± 2 3.1 ppm, 광주기 24/0 (light/dark) 조건에서 재배하였다(Table 1). 밀폐형 생장실 조건은 이전 연구의 내용과 같다(Kim and Lee, 2020). 인공광원 처리는 형광등 처리(주광색)와 혼합광인 LED (Red : White : Blue = 2 : 1 : 1) 처리로 실험을 진행하였다. 보리 종자는 수돗물에 12시간 침지후 이틀간 암조건에서 발아를 유도하여 하루 동안 배양상에 배치한 후 다음날부터 1일차로 설정하여 생육 실험에 들어갔다. 발근이 유도된 보리 종자는 자연광, 형광등 및 LED 조건별로 알코올 소독구

Table 1 Daily change of average temperature, humidity and CO_2 concentration from growing period under a closed plant factory system (FL, LED) and green house (NL)

Growth condition	Air temperature (°C)		Relative humidity (%)		CO_2 concentration (ppm)	
	FL, LED	NL	FL, LED	NL	FL, LED	NL
09-28	25.2	20.4	62.1	75.8	424.0	412.3
09-29	25.0	21.6	62.7	75.1	429.2	419.3
09-30	25.3	22.1	68.7	79.7	429.6	424.7
10-01	25.0	20.9	68.5	81.9	429.2	421.4
10-02	25.0	22.1	67.4	76.6	444.3	418.2
10-03	25.1	23.9	72.6	82.4	468.5	431.4
10-04	25.1	20.9	72.2	87.5	459.6	425.0
10-05	25.6	19.5	77.8	73.8	484.7	410.0
10-06	25.4	19.5	72.3	72.3	475.1	419.8
Aver.	25.2	21.2	69.4	78.3	449.4	420.2

FL = fluorescent lamp; LED = light-emitting diode (Red : White : Blue = 2 : 1 : 1); NL = natural light.

와 무소독구로 나누어 재배하였다. 생육기간 동안 3일 간격으로 식물체를 채취하여 생체중, 건물중 및 길이, 클로로필 함량을 측정하였으며 최종 9일 후 파종상자(14.5 × 22 cm) 내의 전체 생산량을 계산하였다. 보리 종자 파종량은 80, 100, 120 g씩 세 그룹으로 나누어서 배치하였다.

클로로필 함량 측정

보리 유묘의 클로로필 추출 및 함량분석은 Kim et al. (2010)의 방법에 따랐다. 시료 0.5 g을 dimethyl sulfoxide 10 mL에 침지하여 30℃의 암조건에서 48시간 동안 색소를 추출한 다음 분광 광도계(UV-2450, Shimadzu, Japan)를 이용하여 470, 648과 664 nm에서 흡광도를 측정하였다. 클로로필의 함량은 각 파장에서의 흡광도를 다음 식에 대입하여 계산하였다.

Chlorophyll a (μg/mL) = $12.25A_{664\ nm}$ - $2.79A_{648\ nm}$
Chlorophyll b (μg/mL) = $21.50A_{648\ nm}$ - $5.10A_{664\ nm}$
Chlorophyll a+b (μg/mL) = Chlorophyll a + Chlorophyll b
Carotinoid = ($1000A_{470\ nm}$ - 1.82chl a - 85.02chl b)/198

색도 측정

새싹보리 분말의 색도는 9일차에 수확한 새싹보리를 건조하여 믹서기로 분쇄한 후 0.5 μm 체로 걸러서 측정하였다. 색도는 색차계(CR-400 Minolta Chroma Meter, Konica Minolta Sensing Inc., Japan)를 이용하여 광원 처리에 따른 보리 분말의 L* (lightness, 명도, 100 (white) ~ 0 (black)), a* (redness, 적색도, 60 (red) ~ -60 (green)), b* (yellowness, 황색도, 60 (yellow) ~ -60 (blue)), ΔE (overall color difference, 전체 색차)값을 3회 반복하여 측정하였다. Calibration plate는 Y: 93.5, x: 0.3133, y: 0.3195로 보정한 뒤 사용하였다.

총페놀 및 플라보노이드 함량 측정

새싹보리의 총페놀 및 플라보노이드 함량은 새싹보리 분말 0.5 g에 70% 에탄올 10 mL를 추가하여 추출한 추출액을 대상으로 측정하였다. 총페놀 함량은 농도별로 96 well plate에 희석된 추출액 20 μL를 증류수 700 μL와 50% Folin-Ciocalteu 100 μL를 첨가하여 상온의 어두운 곳에서 2시간 동안 반응시킨 후 Na_2CO_3 100 μL를 첨가하고 다시 1시간 동안 반응을 시킨 후 i-Mark microplate reader (168-1135, Bio-Rad, Hercules, CA, USA)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 gallic acid를 사용하였다. 총플라보노이드 함량은 농도별 추출액을 마이크로 튜브에 100 μL씩 넣고 에탄올 300 μL를 첨가하여 CH_3COOk 20 μL, $Al(NO_3)_2$ 20 μL, 증류수 560 μL를 각각 첨가한 후 상온에서 1시간 동안 반응시킨 다음 96 well plate에 200 μL씩 분주하고 i-Mark microplate reader를 이용하여 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 quercertin을 사용하였다.

항산화 지수 측정

ABTS 라디칼 소거능 측정

2.45 mM potassium persulfate와 7 mM 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)를 산화반응시켜 만든 $ABTS^{+}$에 새싹보리 추출액(새싹보리 분말 0.5 g을 70% 에탄올 10 mL에 추출)을 20 : 1 비율로 섞어 5분간 반응시킨 후 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 농도의존적으로 ABTS 라디칼을 제거하는 항산화제인 trolox 대비 활성(trolox equivalent antioxidant capacity; TEAC)으로 나타내었다.

Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay

300 mM sodium acetate buffer (pH 3.6)와 40 mM HCl에 녹인 10 mM 2,4,6-tripyridyl-s-triazine, 그리고 20 mM $FeCl_3$를 10 : 1 : 1의 비율로 혼합하여 37℃의 항온기에서 10분간 배양하였다. 96 well plate에 새싹보리 추출액(새싹보리 분말 0.5 g을 70% 에탄올 10 mL에 추출)을 5 μL씩 분주하고 위의 혼합물을 150 μL 첨가한 다음 37℃에서 15분간 배양 후 i-Mark microplate reader를 이용하여 570 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 $FeSO_4$을 사용하였다.

구성아미노산 측정

새싹보리 분말의 구성아미노산 함량을 분석하기 위하여, 분말 50 mg에 6 N HCl 1 mL를 첨가하여 1분 동안 질소 충전 후, 110℃에서 24시간 동안 가수분해한 다음 뚜껑을 열고 80℃에서 24시간 건조시켰다. 0.02 N HCl을 1 mL 넣어주고 잘 섞어서 녹인 다음 0.45 μm 3G-4 glass filter로 여과하고 여액은 sample buffer (pH 2.2)를 이용하여 50 mL로 정용하였다. 아미노산 자동분석기(L-8900 Amino acid auto analyzer, Hitachi, Japan)로 분석하였으며 표준용액(019-08393 Wako, Japan)을 이용하여 구성아미노산 함량을 계산하였다. 각 실험은 2회 반복하여 평균과 표준오차로 나타내었다.

통계처리

실험 데이터는 평균 및 표준오차로 표현하였으며 반복하여 실험하였다. 통계분석은 Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, ver. 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 실시하였으며, 실험구당 차이를 검증하기 위하여 일원배치 분산분석을 한 뒤, Duncan's Multiple Range Tests (DMRT)를 사용하여 5% 유의수준으로 검정하였다.

결과 및 고찰

수경조건에서 인공조명이 보리의 생장에 미치는 영향을 분석하기 위하여 보리종자 80, 100, 120 g을 파종상자(14.5 × 22 cm)에 넣어 에탄올 소독 처리구 및 무소독 처리구에 따라 자연광, 형광등 및 LED광하에서 재배한 결과는 Table 2와 같다. 자연광 처리구는 비닐하우스에서 재배하였으며 형광등과 LED 처리구는 비닐하우스 내 밀폐형 생장실에서 재배하였다. 따라서 자연광 처리구는 재배기간 동안의 일기에 따른 변화가 있었으며 형광등과 LED 처리구는 일정한 광 조건과 온도에서 재배가 되었다. 전체적으로 생육기간이 흐름에 따라 초장이 길어지는 것을 관찰할 수 있었으며 지상부의 경우 형광등 처리구가 가장 컸으며 다음으로 LED 처리구였고 자연광 처리구가 가장 작았다. 또 에탄올 소독 처리구보다 무소독 처리구의 생장이 더 빠른 것을 관찰할 수 있었다. 지하부의 경우 재배기간 동안 커다란 변화가 없었다. 이는 양분이 공급되지 않는 수경 조건에서 생육하면서 산소공급이라던가 양분공급의 부족 및 지상부의 빠른 생장에 따른 정체현상으로 보였다. 지상부와 지하부를 합친 전체 식물 길이에서도 형광등과 LED 처리구는 비슷한 값을 나타내었으며 자연광 처리구보다 2배 이상 생장하였다. Lee et al. (2016)은 자연광과 인공조명 조건에서 4주간 가락지나물을 재배하였는데, 자연광 조건보다는 형광등이나 단색 파장을 혼합한 LED 조명에서 재배할 경우 생장이나 바이오매스가 더 증가하였다고 보고하였다.

각 처리구에 따라 생체중 및 건물중을 조사한 결과(Table 3), 자연광 처리구에서 가장 적게 나타났으며 형광등 및 LED 처리구에서는 비슷한 경향을 보였으며, 이들 결과는 초장의 결과와 거의 유사하였다. 또한 에탄올 소독 처리구가 무소독 처리구보다 적었으며, 지상부 건물중 역시 비슷한 경향을 보였다. 지하부 뿌리의 생체중에서는 3일차에서는 처리구간별 차이가 없었으나, 6일과 9일차로 진행되면서 자연광 처리구보다 형광등과 LED 처리구가 더 높았다. Lee et al. (2012)은 인공광 하에서 파프리카 묘의 생육특성을 조사하였는데, 백색형광등에서 가장 생장이 우수하였으며 다음으로 적색 LED과 청색 LED 처리구였으며 자연광 처리구는 대조구인 형광등의 22%에 불과할 정도라고 보고하였다. 지하부의 건물중 역시 3일차에서는 통계적 유의성이 없었으나 6일과 9일차의 경우 자연광 처리구의 무게가 형광등과 LED 처리구보다 근소하게 높은 경향을 보였다. 한편 파프리카의 경우 지하부의 생체중과 건물중은 각 처리구(백색형광등, 적색 LED, 청색 LED, 자연광)별 유의차가 인정되지 않았다고 보고하였다(Lee et al. 2012).

식물 광합성에서 광수용체는 주로 청색과 적색 영역 및 UV 영역(300 ~ 400 nm)에서 빛을 흡수하는 엽록소 a와 b, 그리고 400 ~ 500 nm 대역에서 흡수하는 카로티노이드가 있다(Burattini et al. 2017). 재배기간중 3, 6, 9일차에 새싹보리의 클로로필과 카로티노이드 함량을 측정하였다(Table 4). 클로로필 a의 경우 3일차에서는 자연광 처리구가 다른 처리구에

Table 2 Effects of treatment of barley seeds with EtOH before sowing on shoot, root and plant length of sprouts

Treatments		Shoot	Root	Plant
		Length (cm)		
3D	NL Ⅰ	3.79 ± 0.31 b	2.87 ± 0.36 c	6.66 ± 0.47 c
	NL Ⅱ	3.58 ± 0.36 b	2.81 ± 0.36 c	6.38 ± 0.52 c
	LED Ⅰ	9.27 ± 0.55 a	4.92 ± 0.75 ab	14.20 ± 1.08 ab
	LED Ⅱ	7.13 ± 0.59 a	4.17 ± 0.53 b	11.30 ± 0.73 b
	FL Ⅰ	9.70 ± 0.51 a	5.31 ± 0.55 a	15.01 ± 0.85 a
	FL Ⅱ	7.55 ± 0.80 a	4.81 ± 0.60 ab	12.36 ± 1.27 ab
6D	NL Ⅰ	6.66 ± 0.46 c	2.80 ± 0.50 c	9.46 ± 0.68 c
	NL Ⅱ	6.25 ± 0.44 c	2.49 ± 0.40 c	8.74 ± 0.63 c
	LED Ⅰ	17.62 ± 1.12 a	4.79 ± 0.64 ab	22.41 ± 1.27 a
	LED Ⅱ	14.70 ± 0.76 b	4.34 ± 0.74 b	19.04 ± 1.05 b
	FL Ⅰ	17.27 ± 0.86 a	5.08 ± 0.88 ab	22.35 ± 1.16 a
	FL Ⅱ	17.01 ± 0.70 ab	5.47 ± 0.95 a	22.48 ± 1.16 a
9D	NL Ⅰ	7.88 ± 0.50 c	2.46 ± 0.44 c	10.35 ± 0.72 c
	NL Ⅱ	7.59 ± 0.52 c	2.45 ± 0.44 c	10.04 ± 0.64 c
	LED Ⅰ	21.25 ± 1.00 a	4.70 ± 0.94 a	25.94 ± 1.35 a
	LED Ⅱ	18.40 ± 0.98 b	3.81 ± 0.79 b	22.21 ± 1.09 b
	FL Ⅰ	21.00 ± 0.89 a	4.92 ± 0.82 a	25.92 ± 1.34 a
	FL Ⅱ	20.55 ± 1.01 ab	5.33 ± 1.04 a	25.88 ± 1.40 a

Data represent the means of ten plants ± standard deviation. Different letters (a, b, c) indicate significant differences between treatments at the 5% level by Duncan's multiple range test. NL = natural light; FL = fluorescent lamp; LED = light-emitting diode (Red : White : Blue = 2 : 1 : 1); Ⅰ = Non-treatment; Ⅱ = EtOH treatment.

Table 3 Effects of treatment of barley seeds with EtOH before sowing on fresh and dry weight of sprouts

Treatments		Shoot		Root	
		Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
3D	NL Ⅰ	0.034 ± 0.004 c	0.004	0.096 ± 0.010 a	0.027 ± 0.005
	NL Ⅱ	0.032 ± 0.004 c	0.004	0.092 ± 0.008 a	0.030 ± 0.003
	LED Ⅰ	0.069 ± 0.008 ab	0.007	0.097 ± 0.013 a	0.027 ± 0.004
	LED Ⅱ	0.055 ± 0.004 b	0.005	0.094 ± 0.013 a	0.030 ± 0.004
	FL Ⅰ	0.073 ± 0.008 a	0.007	0.098 ± 0.012 a	0.029 ± 0.003
	FL Ⅱ	0.054 ± 0.007 b	0.005	0.072 ± 0.012 b	0.027 ± 0.004
6D	NL Ⅰ	0.058 ± 0.005 c	0.007 ± 0.001 c	0.083 ± 0.010 c	0.035 ± 0.004 a
	NL Ⅱ	0.058 ± 0.007 c	0.007 ± 0.001 bc	0.087 ± 0.011 bc	0.023 ± 0.004 ab
	LED Ⅰ	0.109 ± 0.009 a	0.010 ± 0.001 a	0.114 ± 0.010 a	0.020 ± 0.003 ab
	LED Ⅱ	0.091 ± 0.007 b	0.008 ± 0.001 ab	0.099 ± 0.013 ab	0.022 ± 0.003 ab
	FL Ⅰ	0.107 ± 0.011 ab	0.010 ± 0.002 a	0.105 ± 0.014 a	0.019 ± 0.003 b
	FL Ⅱ	0.107 ± 0.008 ab	0.010 ± 0.001 a	0.110 ± 0.011 a	0.021 ± 0.003 ab
9D	NL Ⅰ	0.066 ± 0.006 b	0.009 ± 0.001 b	0.084 ± 0.013 b	0.017 ± 0.003 ab
	NL Ⅱ	0.065 ± 0.008 b	0.009 ± 0.001 b	0.086 ± 0.011 b	0.019 ± 0.004 a
	LED Ⅰ	0.120 ± 0.008 a	0.011 ± 0.001 ab	0.109 ± 0.012 a	0.015 ± 0.003 b
	LED Ⅱ	0.104 ± 0.008 a	0.010 ± 0.001 ab	0.106 ± 0.015 a	0.017 ± 0.004 ab
	FL Ⅰ	0.117 ± 0.009 a	0.011 ± 0.001 ab	0.105 ± 0.013 a	0.014 ± 0.002 b
	FL Ⅱ	0.120 ± 0.010 a	0.012 ± 0.001 a	0.102 ± 0.014 a	0.014 ± 0.002 b

Data represent the means of ten plants ± standard deviation. Different letters (a, b, c) indicate significant differences between treatments at the 5% level by Duncan's multiple range test. Abbreviations see Table 2.

Table 4 Effects of treatment of barley seeds with EtOH before sowing on chlorophyll and carotinoid content of sprouts

Treatments		Chl a	Chl b	Chl a+b	Carotinoid	Chl a/b
		mg/g fresh weight				
3D	NL Ⅰ	0.980 ± 0147 bc	0.177 ± 0.031 bc	1.157 ± 0.178 bc	0.303 ± 0.044 b	5.56
	NL Ⅱ	0.854 ± 0.089 c	0.149 ± 0.018 c	1.002 ± 0.104 c	0.274 ± 0.028 b	5.77
	LED Ⅰ	1.655 ± 0.212 a	0.324 ± 0.054 a	1.978 ± 0.265 a	0422 ± 0.054 a	5.14
	LED Ⅱ	1.215 ± 0.304 b	0.226 ± 0.062 b	1.441 ± 0.365 b	0.307 ± 0.077 b	5.42
	FL Ⅰ	1.548 ± 0.194 a	0.317 ± 0.038 a	1.865 ± 0.231 a	0.404 ± 0.050 a	4.88
	FL Ⅱ	1.628 ± 0.250 a	0.330 ± 0.059 a	1.958 ± 0.307 a	0.416 ± 0.066 a	4.96
6D	NL Ⅰ	1.812 ± 0.148	0.411 ± 0.036 a	2.223 ± 0.183 a	0.508 ± 0.038 a	4.41
	NL Ⅱ	1.707 ± 0.058	0.384 ± 0.018 a	2.091 ± 0.073 ab	0.478 ± 0.016 ab	4.44
	LED Ⅰ	1.663 ± 0.222	0.349 ± 0.055 ab	2.012 ± 0.277 ab	0.393 ± 0.056 c	4.78
	LED Ⅱ	1.590 ± 0.214	0.317 ± 0.050 b	1.907 ± 0.263 b	0.368 ± 0.045 c	5.04
	FL Ⅰ	1.706 ± 0.199	0.349 ± 0.050 ab	2.055 ± 0.248 ab	0.402 ± 0.052 c	4.90
	FL Ⅱ	1.779 ± 0.137	0.355 ± 0.031 ab	2.134 ± 0.167 ab	0.419 ± 0.024 bc	5.02
9D	NL Ⅰ	1.342 ± 0.162 b	0.322 ± 0.045 ab	1.664 ± 0.207 b	0.365 ± 0.046 a	4.18
	NL Ⅱ	1.350 ± 0.110 b	0.311 ± 0.025 ab	1.662 ± 0.135 b	0.363 ± 0.023 a	4.34
	LED Ⅰ	1.102 ± 0.178 c	0.233 ± 0.048 c	1.335 ± 0.225 c	0.255 ± 0.038 b	4.77
	LED Ⅱ	1.286 ± 0268 bc	0.274 ± 0.072 bc	1.560 ± 0.339 bc	0.288 ± 0.069 b	4.75
	FL Ⅰ	1.590 ± 0.204 a	0.345 ± 0.050 a	1.936 ± 0.252 a	0.370 ± 0.051 a	4.62
	FL Ⅱ	1.603 ± 0.205 a	0.346 ± 0.054 a	1.948 ± 0.258 a	0.367 ± 0.051 a	4.66

Data represent the means of three experiments ± standard deviation. Different letters (a, b, c) indicate significant differences between treatments at the 5% level by Duncan's multiple range test. Abbreviations see Table 2.

비해 상대적으로 낮은 함량을 보였으며 6일차에서는 통계적 유의성이 없었으나 9일차에서는 형광등 처리구가 가장 높았고 다음으로 자연광 처리구였으며 LED 처리구가 가장 낮았다. 총클로로필 함량 역시 클로로필 a와 비슷한 경향을 보였으며 클로로필 a/b 비율은 생육기간이 늘어남에 따라 감소하는 경향을 보였다. 카로티노이드 함량 역시 비슷한 경향을 보였는데 3일차에서는 자연광 처리구가 다른 처리구대비 낮은 함량을 보였으나 6일차에서는 가장 높았고 9일

Table 5 Yield of barley sprout according to the seed sowing rate in hydroponics system at 9 days

Treatments		Fresh weight (g)	Dry weight (g)		
		Shoot	Shoot	Root	Total
80	NL	21.0 ± 2.9 c	2.8 ± 0.3 c	22.5 ± 0.2 d	25.2 ± 0.5 e
	LED	99.9 ± 7.9 b	9.3 ± 0.6 b	30.1 ± 2.7 cd	39.4 ± 2.2 d
	FL	102.3 ± 10.1 b	9.6 ± 0.6 b	28.4 ± 1.6 d	38.0 ± 2.2 d
100	NL	23.8 ± 4.6 c	3.1 ± 0.5 c	25.4 ± 2.9 d	28.5 ± 3.4 e
	LED	117.1 ± 11.4 ab	10.7 ± 0.9 ab	38.7 ± 1.9 bc	49.5 ± 2.8 bc
	FL	129.2 ± 7.7 ab	11.4 ± 0.4 ab	40.3 ± 2.7 b	51.7 ± 2.3 bc
120	NL	34.2 ± 12.9 c	4.2 ± 1.3 c	39.9 ± 3.7 b	44.2 ± 5.0 cd
	LED	106.0 ± 37.7 b	9.8 ± 2.9 b	43.9 ± 9.0 ab	53.7 ± 6.1 b
	FL	147.2 ± 10.6 a	13.3 ± 0.8 a	52.8 ± 5.6 a	66.1 ± 6.3 a

Data represent the means of two experiments ± standard deviation. Different letters (a, b, c, d, e) indicate significant differences between treatments at the 5% level by Duncan's multiple range test. Abbreviations see Table 2.

Table 6 Hunter's color value of barley sprouts powders

Treatments	L*	a*	b*	ΔE
NL Ⅰ	53.34 ± 0.98 c	-3.83 ± 0.84 a	13.88 ± 0.41	43.86 ± 0.94 a
NL Ⅱ	54.67 ± 1.08 b	-4.46 ± 0.36 bc	14.14 ± 0.46	42.57 ± 1.01 b
LED Ⅰ	57.19 ± 1.68 a	-4.48 ± 0.79 bc	13.89 ± 0.63	40.05 ± 1.67 cd
LED Ⅱ	56.84 ± 1.57 a	-4.65 ± 0.61 c	14.09 ± 0.67	40.42 ± 1.61 cd
FL Ⅰ	57.59 ± 0.41 a	-4.28 ± 0.84 b	14.16 ± 0.21	39.70 ± 0.40 d
FL Ⅱ	56.64 ± 1.45 a	-4.61 ± 0.42 c	14.19 ± 0.71	40.95 ± 1.36 c

Data represent the means of three experiments ± standard deviation. Different letters (a, b, c, d) indicate significant differences between treatments at the 5% level by Duncan's multiple range test. L* = lightness; a* = redness; b* = yellowness; ΔE = overall color difference. Abbreviations see Table 2.

차에서는 형광등 처리구와 비슷한 함량을 보였으며 LED 처리구가 가장 낮았다. Wojciechowska et al. (2013)은 Noordhollandse 품종을 1월 20일과 10월 5일에 파종하여 한달간 재배한 결과, 1월에 파종하였을 때는 자연광보다 LED 보광에서 높은 클로로필 함량뿐만 아니라 카로티노이드 함량을 보였으나 10월에 파종하였을 때는 반대 현상을 보였다. 본 연구에서도 3일차에서는 LED 처리구에서 높은 경향성을 보이나 6일과 9일차에서는 Wojciechowska et al. (2013)의 결과와 유사한 경향을 보였다.

새싹보리의 생체중 및 건물중을 측정하였다(Table 5). 재배 상자에 투입되는 종자의 양이 많을수록 새싹보리의 생체중 및 건물중이 증가하였다. 또한 광 조건에 따라서도 달랐는데 자연광에서 재배한 처리구가 가장 적었으며 형광등 처리구가 가장 높았다. 이는 Table 1의 생육조건에서도 보다시피 기온이나 습도 및 이산화탄소 농도가 자연광 처리구에서 상대적으로 낮았으며 광 조건 역시 일정치 않아서 이러한 현상이 나온 것으로 생각이 된다. Wojciechowska et al. (2013)은 가을과 겨울에 lamb's lettuce를 온실에서 재배시 자연광보다는 백색광 LED나 적색+청색 LED를 보광했을 때 생산량이 증가하였다고 보고하였다.

식품의 중요한 품질 특징 중 하나인 색상은 소비자의 기호도나 선호도에 영향을 미쳐서, 수확 후 처리나 식품 가공 연구에서 널리 이용된다(Pathare et al. 2013). 인공광원 처리에 따른 최종 수확된 새싹보리 분말의 색도 및 갈변도를 측정하였다(Table 6). 밝기 정도를 나타내는 Hunter-L (lightness) 값은 형광등 무소독 처리구에서 57.59로 가장 높게 나타났으며, 형광등과 LED 처리구에서 비슷한 갈변도를 나타내었다. 적색도를 나타내는 Hunter-a (redness) 값은 LED 소독 처리구에서 가장 낮은 –4.65로 나타났으며 형광등 소독 처리구 역시 낮은 값을 보였다. 황색도를 나타내는 Hunter-b (yellowness) 값은 각 처리구별 유의성이 나타나지 않았으며 형광등 소독 처리구가 14.19로 가장 높았다. 또한 보정판과의 색차값(ΔE)은 태양광 무소독 처리구에서 가장 높았으며 형광등 무소독 처리구에서 가장 낮게 나타났다. 일반적으로 분말 건조시 동결건조보다 열풍건조시 분말 갈변도 값이 높게 나타나며(Kim et al. 2007), 건조 온도가 증가할수록 L값이 증가한다고 보고하였다(Beom et al. 2007).

9일차 재배 후 수확한 새싹보리 분말을 70% 에탄올로 추출하여 총페놀, 총플라보노이드 및 항산화 활성을 측정하였다(Table 7). 총페놀 함량의 경우, 자연광 무소독 처리구가 가장 높았으며 다음으로 자연광 소독 처리구와 LED 소독 처리구가 높았고 형광등 소독 처리구, 형광등 무소독 처리구, LED 무소독 처리구 순이었다. 총플라보노이드 함량은 총페놀 함량과 유사하게 자연광 무소독 처리구가 가장 높았으며 다음으로 자연광 소독 처리구, 형광등 처리구 및 LED 처리구 순이었다. 한편 새싹보리 분말의 항산화활성의 경우 총

Table 7 Effects of treatment of barley seeds with EtOH before sowing on total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity of sprouts

Treatments	TPC (mg/mL)	TFC (mg/mL)	TEAC (mM)	FRAP (mM)
NL Ⅰ	2.77 ± 0.19 a	2.77 ± 0.06 a	7.45 ± 0.14 b	21.48 ± 0.42 e
NL Ⅱ	2.53 ± 0.11 b	2.38 ± 0.04 b	5.89 ± 0.06 d	35.80 ± 0.52 ab
LED Ⅰ	1.99 ± 0.12 d	1.15 ± 0.03 e	6.85 ± 0.17 c	28.58 ± 0.40 d
LED Ⅱ	2.53 ± 0.09 b	1.30 ± 0.06 d	6.67 ± 0.21 c	30.79 ± 0.42 c
FL Ⅰ	2.25 ± 0.05 c	1.38 ± 0.04 cd	7.36 ± 0.06 b	35.22 ± 0.30 b
FL Ⅱ	2.43 ± 0.08 bc	1.43 ± 0.06 c	7.90 ± 0.14 a	36.45 ± 0.29 a

Data represent the means of three experiments ± standard deviation. Different letters (a, b, c, d, e) indicate significant differences between treatments at the 5% level by Duncan's multiple range test. Abbreviations see Table 2.

Table 8 Effects of treatment of barley seeds with EtOH before sowing on total amino acid content of sprouts

mg/g	NL Ⅰ	NL Ⅱ	LED Ⅰ	LED Ⅱ	FL Ⅰ	FL Ⅱ
Arginine	5.31 ± 0.11 a	5.24 ± 0.40 a	4.72 ± 0.07 b	4.90 ± 0.18 ab	4.90 ± 0.01 ab	4.86 ± 0.12 ab
Histidine	2.37 ± 0.15 bc	2.30 ± 0.16 c	2.56 ± 0.07 abc	2.81 ± 0.20 a	2.67 ± 0.06 ab	2.58 ± 0.14 abc
Isoleucine	4.83 ± 0.00	4.70 ± 0.40	4.28 ± 0.13	4.52 ± 0.29	4.50 ± 0.00	4.34 ± 0.13
Leucine	9.72 ± 0.27 a	9.41 ± 0.49 a	8.06 ± 0.02 b	8.40 ± 0.53 b	8.24 ± 0.05 b	8.29 ± 0.25 b
Lysine	4.66 ± 0.69	4.33 ± 0.48	4.99 ± 0.32	5.26 ± 0.45	5.10 ± 0.21	4.81 ± 0.21
Methionine	1.30 ± 0.14 a	1.19 ± 0.01 ab	0.98 ± 0.02 c	1.03 ± 0.06 bc	0.96 ± 0.02 c	1.03 ± 0.02 bc
Phenylalanine	6.06 ± 0.21 a	5.80 ± 0.27 a	4.92 ± 0.02 b	5.07 ± 0.31 b	5.11 ± 0.02 b	5.06 ± 0.14 b
Threonine	4.89 ± 0.39	4.65 ± 0.25	4.58 ± 0.06	4.87 ± 0.37	4.70 ± 0.09	4.58 ± 0.23
Valine	6.79 ± 0.02	6.73 ± 0.47	6.54 ± 0.16	6.93 ± 0.46	6.84 ± 0.08	6.52 ± 0.23
EAA	45.93 ± 1.98	44.34 ± 2.92	41.64 ± 0.79	43.78 ± 2.86	43.02 ± 0.44	42.06 ± 1.47
Alanine	8.68 ± 0.12 a	8.58 ± 0.36 ab	7.96 ± 0.03 ab	8.30 ± 0.34 ab	7.87 ± 0.38 b	8.07 ± 0.41 ab
Aspartic acid	10.35 ± 0.80 c	10.38 ± 0.78 c	16.50 ± 0.65 b	18.59 ± 1.11 a	16.35 ± 0.07 b	14.95 ± 1.10 b
Cystine	0.74 ± 0.07 b	0.71 ± 0.05 b	0.78 ± 0.00 b	1.01 ± 0.05 a	0.98 ± 0.03 a	0.94 ± 0.06 a
Glutamic acid	11.18 ± 0.70	10.66 ± 0.63	10.94 ± 0.09	11.31 ± 0.83	10.95 ± 0.24	10.68 ± 0.44
Glycine	4.37 ± 1.28	3.53 ± 0.16	3.14 ± 0.18	3.25 ± 0.32	3.20 ± 0.02	3.16 ± 0.14
Proline	5.30 ± 0.40 a	4.98 ± 0.14 ab	4.16 ± 0.07 c	4.41 ± 0.29 c	4.44 ± 0.01 bc	4.47 ± 0.10 bc
Serine	3.98 ± 0.52	3.66 ± 0.15	3.66 ± 0.03	3.95 ± 0.35	3.78 ± 0.06	3.81 ± 0.24
Tyrosine	3.23 ± 0.22 a	3.00 ± 0.19 ab	2.71 ± 0.04 b	2.87 ± 0.14 b	2.84 ± 0.03 b	2.85 ± 0.12 b
NEAA	47.84 ± 4.10 ab	45.51 ± 2.46 b	49.83 ± 0.71 ab	53.69 ± 3.44 a	50.41 ± 0.78 ab	48.93 ± 2.62 ab
TAA	93.78 ± 6.08	89.84 ± 5.38	91.47 ± 1.50	97.47 ± 6.30	93.43 ± 1.23	90.99 ± 4.08
E/T	48.98	49.35	45.52	44.91	46.05	46.22
NE/T	51.02	50.65	54.48	55.09	53.95	53.78

Data represent the means of two experiments ± standard deviation. Different letters (a, b, c) indicate significant differences between treatments at the 5% level by Duncan's multiple range test. Abbreviations see Table 2.

페놀 및 총플라보노이드 함량과는 다른 경향을 보였다. TEAC와 FRAP 모두 형광등 소독 처리구에서 가장 높게 나타났다. 이는 새싹보리 분말 속에 포함된 페놀 및 플라보노이드 성분 중 항산화 관련 성분 함량이 총함량과는 비례적으로 존재하지 않은 것으로 생각된다. Yang et al. (2016)은 상추 수경재배에서 적색/녹색/청색 LED를 조합한 광 조건으로 24시간 비추어 주었을 때 DPPH 자유 라디칼 소거 활성 및 페놀화합물 농도를 증가시켰다고 보고하였다. 또한, Samuolienė et al. (2012)은 4종의 새싹 잎 상추를 대상으로 보광에 따른 페놀 함량 및 DPPH 라디칼 소거능을 조사한 결과, 녹엽 'Multigreen 3'의 경우 보광해주는 LED의 모든 조건(455, 470, 505, 590 nm)에서 증가하는 것으로 나왔으나 그 외의 품종들은 파장에 따라 증감의 정도가 제각각이었다.

9일차 새싹보리의 구성아미노산 구성은 9종의 필수아미노산과 8종의 비필수아미노산을 분석하였다(Table 8). 총아미노산 함량은 LED 소독 처리구에서 97.47 ± 6.30 mg/g으로 가장 높았으며, 다음으로 자연광 무소독 처리구에서 93.78 ± 6.08 mg/g, 형광등 무소독 처리구 93.43 ± 1.23 mg/g, LED 무소독 처리구 91.47 ± 1.50 mg/g, 형광등 소독 처리구 90.99 ± 4.08 mg/g, 자연광 소독 처리구 89.84 ± 5.38 mg/g 순이었다. 필수아미노산 함량은 41.64 ~ 45.93 mg/g의 범위로 자연광 처리구가 다른 두 처리구에 비해 상대적으로 높은 함량을 나타내었

다. 특히, arginine, leucine, methionine, phenylalanine의 경우 유의적으로 그 함량이 높게 나타났다. 한편 비필수아미노산 함량은 45.51 ~ 53.69 mg/g의 범위로 LED 처리구에서 가장 높았으며 형광등 처리구, 자연광 처리구 순이었으며 필수아미노산(46.83%)보다 비필수아미노산(53.17%)이 더 많이 분포하였다. 17종의 구성아미노산의 개별 구성을 보면 자연광 처리구에서는 glutamic acid, aspartic acid의 함량 순이었으나 LED와 형광등 처리구에서는 aspartic acid, glutamic acid 순으로 높은 함량을 나타내었다. 다음으로 leucine, alanine, valine 순으로 나타났다. Seol et al. (2017)은 25종의 채소에서 구성아미노산을 조사하였더니 glutamic acid와 aspartic acid가 상대적으로 높았다고 보고하였으며 새싹보리에서도 유사한 결과를 나타내었다. 또한 Kim et al. (1995)의 보고에 의하면 출수 약 2주전 보리잎을 채취하여 유리아미노산 함량을 측정한 결과, 보리 품종별 함량 분포는 다소 차이가 있었으나 arginine, glutamic acid, aspartic acid, serine 함량이 상대적으로 높았다고 보고하였다.

적 요

본 연구는 물만을 공급하는 수경방식에서 인공광원에 따른 새싹보리의 생장과 품질에 미치는 영향을 분석하였다. 생육기간이 지나면서 초장이 길어지는 것을 관찰할 수 있었으며 지상부의 경우 형광등 처리구가 가장 높았으며 다음으로 LED 처리구, 자연광 처리구 순이었다. 또 에탄올 소독 처리구보다 무소독 처리구의 생장이 더 빠른 것을 관찰할 수 있었다. 종자 파종량이 많을수록 수확된 새싹보리의 수확량은 증가하였는데, 자연광 처리구가 가장 적었으며 형광등 처리구가 가장 높았다. 새싹보리 추출물의 총페놀 및 총플라보노이드 함량은 자연광 처리구가 가장 높았으나 TEAC와 FRAP은 모두 형광등 처리구에서 가장 높게 나타났다. 필수아미노산 함량은 41.64 ~ 45.93 mg/g의 범위로 자연광 처리구가 다른 두 처리구에 비해 상대적으로 높은 함량을 나타내었으며, 비필수아미노산 함량은 45.51 ~ 53.69 mg/g의 범위로 LED 처리구에서 가장 높았다. 총아미노산 함량은 LED 처리구에서 97.47 ± 6.30 mg/g으로 가장 높았으며, 필수아미노산(46.83%)보다 비필수아미노산(53.17%)이 더 많이 분포하였다.

사 사

본 논문은 2021학년도 제주대학교 교원성과지원사업 및 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다.

References

Beom HJ, Kang DJ, Lee BD, Shon J, Im JS, Eun JB. (2007) Physicochemical characteristics of powder from hot air and freeze dried leaves and roots of *Acorous calamus* L. J Korean Soc Food Sci Nutr 36(11):1451-1457

Bula RJ, Morrow RC, Tibbitts TW, Barta DJ, Ingnatius RW, Martin TS. (1991) Light-emitting diodes as a radiation source for plants. HortScience 26:203-205

Burattini C, Mattoni B, Bisegna F. (2017) The impact of spectral composition of white LEDs on spinach (*Spinacia oleracea*) growth and development. Energies 10:1383

Choi Y, Kim E, Kim H. (2020) Physicochemical and antioxidant properties of cookies prepared using powders of barley sprout, lemon balm, and green tea. J Korean Soc Food Cult 35(5): 459-466

Dung DD, Godwin IR, Nolan JV. (2010) Digestive characteristics, ammonia nitrogen and volatile fatty acids levels, in sheep fed oaten chaff supplemented with grimmett barley grain, freeze-dried or fresh barley sprouts. J Anim Vet Adv 9(19): 2493-2501

Economou AS, Read PE. (1987) Light treatments to improve effi ciency of *in vitro* propagation systems. Hortic Sci 22:751-754

Fayed AM. (2011) Comparative study and feed evaluation of sprouted barley grains on rice straw versus *Tamarix mannifera* on performance of growing Barki lambs in Sinai. J Amer Sci 7(1):954-961

Gupta SD, Jatothu B. (2013) Fundamentals and applications of light-emitting diodes(LEDs) in *in vitro* plant growth and morphogenesis. Plant Biotechnol Rep 7(3):211-220

Jang YS. (2020) Quality characteristics of sponge cake made with barley sprout powder. Culi Sci & Hos Res 26(10):190-197

Kim DC, Kim DW, Lee SD, In MJ. (2006) Preparation of barley leaf powder tea and its quality characteristics. J Korean Soc Food Sci Nutr 35(6):734-737

Kim HR, Seog EJ, Lee JH, Rhim JW. (2007) Physicochemical properties of onion powder as influenced by drying methods. J Korean Soc Food Sci Nutr 36(3):342-347

Kim JS, Lee MH. (2020) Growth characteristics of barley (*Hordeum Vulgare* L.) sprouts according to artificial light source. J Agr Sci Chungbuk Nat'l Univ 36(3):165-170

Kim JS, Shim IS, Kim MJ. (2010) Physiological response of Chinese cabbage to salt stress. Kor J Hort Sci Technol 28(3):343-352

Kim KT, Kim SS, Lee SH, Kim DM. (2003) The functionality of barley leaves and its application on functional foods. Food Sci Ind 36(1):45-49

Kim KT, Seog HM, Kim SS, Hong HD, Lee YT, Kim JG. (1995) Chemical composition of barley leaves from different varieties. J Appl Biol Chem 38(5):431-434

Lee JD, Park JA, Park BJ, Jeong CS, Park SY, Paek KY. (2016) Effect of shading, light quality, and chemical elicitation on growth and bioactive compound content of *Potentilla kleiniana* Wight et Arnott. Korean J Plant Res 29(4):363-375

Lee JS, Lee HI, Kim YH. (2012) Seedling quality and early yield

after transplanting of paprika nursed under light-emitting diodes, fluorescent lamps and natural light. J Bio-Environ Con 21(3):220-227

Lee KS. (2015) Analysis of consumer's present use of sprout vegetables and quality characteristics of grain sourdough and barley sprouts. Ph.D. Thesis, Daegu Catholic University, Daegu, Korea. pp 82-99

Lee SH. (2020) Quality characteristics of Injeulmi with barley sprout powder. J Agri Life Environ Sci 32(2):67-76

Lee YM. (2011) Effects of barley leaf powder on lipid metabolism in rats and its antidiabetic activity. Ph.D. Thesis, Chosun University, Gwangju, Korea. pp 7-10

Lim YS, Kim MJ, Kang YS. (2017) Quality characteristics of Sulgidduk added with barley sprout using different drying methods. Culi Sci & Hos Res 23(7):220-233

Lim YS, Kim MJ, Lee SJ, Kang YS. (2018) Quality characteristics of Jeolpyun added with barley sprout using different processing methods. Culi Sci & Hos Res 24(8):110-123

Lin KH, Huang MY, Huang WD, Hsu MH, Yang ZW, Yang CM. (2013) The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce(*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). Sci Hortic 150:86-91

Park SE, Seo SH, Kim EJ, Lee KM, Son HS. (2017) Quality characteristics of string cheese prepared with barley sprouts. J Korean Soc Food Sci Nutr 46(7):841-847

Park SJ, Joung YM, Choi MK, Kim YK, Kim JG, Kim KH, Kang MH. (2008) Chemical properties of barley leaf using different drying methods. J Korean Soc Food Sci Nutr 37(1):60-65

Pathare PB, Opara UL, Al-Said FAJ. (2013) Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. Food Bioprocess Technol 6:36-60

Samuolienė G, Brazaitytė A, Sirtautas R, Novičkovas A, Duchovskis P. (2012) The effect of supplementary led lighting on the antioxidant and nutritional properties of lettuce. Acta horticulturae 952:835-841

Seol HG, Ko HS, Je HJ, Kim NK, Choi DY, Ha GJ. (2017) Crude protein and amino acid composition of local agricultural products. Korean J Food & Nutr 30(4):796-803

Son HK, Lee YM, Lee JJ. (2016) Nutrient composition and antioxidative effects of young barley leaf. Korean J Community Living Sci 27:851-862

Tudor GD, Darcy T, Smith PC, Shallcross F, Allen JG. (2004) Is there a role for hydroponics in the beef industry? Proc Aust Soc Anim Prod 25:333

Wojciechowska R, Kołton A, Długosz-Grochowska O, Żupnik M, Grzesiak W. (2013) The effect of LED lighting on photosynthetic parameters and weight of lamb's lettuce (*Valerianella locusta*). Folia Hort 25:41-47

Yang Q, Bian Z, Lu C. (2016) Effects of continuous LED lighting on reducing nitrate content and enhancing edible quality of lettuce during pre-harvest stage. In:8th International Symposium on Light in Horticulture, Michigan, USA. P. 44

Yeh H, Chung JP. (2009) High-brightness LEDs-energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. Renew Sust Energy Rev 13:2175-2180