

배양액과 인공광 처리가 수경재배 보리의 성장과 이화학적 특성에 미치는 영향

김주성

Effects of nutrient solution and artificial light on the growth and physicochemical properties of hydroponically cultivated barley

Ju-Sung Kim

Received: 24 April 2021 / Revised: 8 May 2021 / Accepted: 8 May 2021
© Korean Society for Plant Biotechnology

Abstract Hydroponic cultivation, in which crops are grown without soil and are unaffected by the weather, has many advantages over conventional soil cultivation. The crop's growth can be further accelerated by using nutrient solution in place of water. This study investigated the growth and physicochemical properties of hydroponic barley sprouts under various nutrient solution and artificial light treatments. The shoot, root, and total plant length increased over time, with the fastest growth occurring in the nutrient solution and light-emitting diode (LED) treatments. Fresh and dry plant weights were higher in the fluorescent lamp treatment than in the LED treatment. Barley sprout powder color differed slightly by treatment, with the Hunters *L* value ranging from 50.79 to 53.77; Hunters *a* value from -6.70 to -4.42; and Hunters *b* value from 13.35 to 14.76. The Hunters *L* and Hunters *b* values were highest in the LED treatment, whereas the Hunters *a* value was relatively highest in the fluorescent lamp treatment. The total phenol content was higher in the control than in the nutrient solution treatment; however, the total flavonoid content showed the opposite pattern to that of total phenol content, being highest in plants that were grown in nutrient solution. The Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) was higher in the control group than in the nutrient solution group. The ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) was higher in the fluorescent treatment group than in the LED treatment group. The total amino acid

composition ranged from 106.82 to 122.63 mg/g dry powder, with the essential amino acid composition ranging from 47.01 to 56.19 mg/g, and non-essential amino acid composition from 67.86 to 77.66 mg/g. The most frequently detected compositional amino acid was aspartic acid, followed by glutamic acid, alanine, leucine, and valine.

Keywords Aspartic acid, Hunters value, Hydroponic cultivation, Non-essential amino acid, Nutrient solution

서 언

최근 잡곡의 기능성이 밝혀지면서 혼합용 잡곡이 인기를 끌고 있으며 보리도 그중 하나이다. 특히 보리에는 인체 내 다양한 생리활성기능을 나타내는 성분들이 있는 것으로 보고되어, 보리가 건강 보조제로서 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 관심을 끌고 있다. 이러한 보리 종자를 물에 담갔다가 1~2 주간 길러 어린 순을 이용하는 것을 새싹보리라고 하는데 발아 과정 동안 보리가 가지고 있는 영양소뿐만 아니라 다양한 성분들이 합성된다고 알려졌다(Kim and Lee 2020; Kim 2021). 새싹채소는 계절이나 장소, 시간에 구애받지 않고 파종 후 일·이주일 정도면 수확할 수 있으며, 조리 없이 바로 이용할 수 있어 즉석요리 가능 식품으로 인기가 높으며(Park et al. 2007), 비타민과 각종 미네랄 성분이 풍부하다고 알려져 있다(Feng 1997). 또한 백합과를 제외한 대부분의 새싹채소에는 Ca, K, Mg, Na, Fe 등과 같은 알칼리성 미네랄이 풍부하여 혈액의 산성화를 억제하고 함유된 식이섬유가 소화도를 도와준다고 알려져 있다(Greenwald 1998; Montville and Schaffner 2004). 보리의 새싹에는 칼륨이 우유의 55배, 시금치의 18배 이상, 칼슘은 우유의 11배 이상, 철분은 시금치의 5배 정도,

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

비타민 C는 시금치의 3배, 사과와 60배 정도 함유하고 있으며, 그 외 다양한 미네랄을 함유하고 있어 영양학적으로 뛰어난 천연식품으로 알려졌다(Kim 2011).

광은 식물 체내의 피토크롬(phytochrome)이라는 광 수용성 단백질에 영향을 받으며, 식물의 성장이나 형태 및 색소형성에 있어서 에너지원 및 조절인자로 작용하고, 생리활성 물질의 생성에도 영향을 준다(Fankhauser and Chory 1997). 엽록체에서 일어나는 광합성은 ATP와 NADPH를 생산하기 위해 광 에너지를 사용한다. 광스펙트럼은 청색(450 nm)과 적색(660 nm) 스펙트럼 영역에서 흡수 피크를 갖는 식물 엽록소에 필수적이다. 광선의 특정 색상은 적절한 식물 성장과 광합성에 중요한데, 가령 청색광은 식물의 형태 형성에, 적색광은 식물의 광합성에 영향을 미친다(Okamoto et al. 1996). 또한, 광합성은 적절한 광 강도가 중요한데, 낮은 광 강도에서는 효율적으로 작동하지 못할 뿐만 아니라 유식물에서 황화현상을 일으키며, 반대로 과도한 광 강도에서는 활성 산소종을 생성하고 광 억제제를 유발하기 때문이다(Ruangrak and Khummueng 2019).

Light-emitting diode (LED)는 녹색식물의 광합성에 유효한 파장 범위인 약 400~700 nm에 있는 빛의 효율을 최대로 나타내며, 성장 단계에 따라 필수적인 광량과 광질을 공급함으로써 형광 및 파장을 커버할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 청색 및 적색 LED 광 방출의 약 90%는 식물에 흡수되며 식물 발육 및 생리에 크게 영향을 미친다(Olle and Virile 2013; Terashima et al. 2009). Wang et al. (2016)은 청색광의 양이 형태학적 및 생리학적 반응을 유도하여 광합성 수행이나 성장을 촉진할 수 있다고 밝혔다. 또한 청색광은 식물의 성장과 발육을 활성화해 줄기의 연장이나 잎의 확장을 유도한다. 그 결과, 더 큰 잎은 더 많은 양의 photosynthetically active radiation을 받을 수 있고 최종적으로 전체 식물의 광합성이 증가하게 된다(Ruangrak and Khummueng 2019).

최근 COVID-19 확산으로 인한 홈가드닝(home gardening)의 관심과 기능성 새싹보리 시장이 늘어나고 있다. 본 저자

는 이전 연구(Kim and Lee 2020; Kim 2021)에서 자연광 및 인공광원에 따른 새싹보리의 생육에 대하여 조사를 한 결과 자연광보다는 인공광원이 우수한 것을 밝혔다. 따라서 본 연구는 인공광원(형광등과 혼합 발광다이오드) 조건에서 물만 사용했던 수경조건을 배양액을 공급하는 조건으로 변경하여, 새싹보리의 생육과 이화학적 성분의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

새싹보리의 생육량 변화 측정

실험에 사용된 보리는 (주)진생영농조합으로부터 받았다. 70% 에탄올에 10분간 소독한 보리 종자는 수돗물로 2~3회 세척한 후, 수돗물에 20시간 침지하여 이틀간 암조건에서 발아 유도 후 다음날부터 1일 차로 설정하여 생육 실험에 들어갔다. 생육기간 동안 3일 간격으로 식물체를 채취하여 생체량, 건조량 및 길이를 측정하였으며 최종 9일 차에 파종상자(14.5 × 22 cm)내의 전체 생산량을 계산하였다. 보리 종자는 80 g을 파종하였다. 배양액은 하이포넥스(미분 하이포넥스, 오사카, 일본)를 각각 500배, 1,000배 희석하여 제공하였다. 보리의 광원에 따른 생육 특성을 조사하기 위하여 재배실에 형광등(fluorescent lamp, FL; 데이온, 수원, 한국)과 LED (주)레드일렉트릭, 대전, 한국)를 설치하고 온도 25.0 ± 1.2°C, 습도 64.5 ± 15.9%, CO₂ 농도 538.3 ± 49.3 ppm, 광주기 24/0 (light/dark) 조건에서 재배하였다(Table 1; Kim 2021). 인공광원 처리는 형광등 처리(주광색)와 혼합광인 LED (Red : White : Blue = 2 : 1 : 1) 처리로 실험을 진행하였다.

새싹보리 분말의 색도 및 갈변도 측정

수확한 새싹보리를 건조하여 믹서기로 분쇄한 후 0.5 mm 체

Table 1 Daily changes in temperature, humidity and CO₂ concentration during the growth period of barley

Growth condition	Air temperature (°C)	Relative humidity (%)	CO ₂ concentration (ppm)
11-09	26.9	37.3	460.3
11-10	26.8	39.7	472.8
11-11	23.2	65.4	511.2
11-12	25.1	64.3	564.3
11-13	24.7	67.1	552.8
11-14	24.6	71.2	538.3
11-15	24.4	77.4	611.7
11-16	24.6	80.2	581.2
11-17	24.8	78.3	552.3
Aver.	25.0	64.5	538.3

로 걸러서 측정하였다. 보리 분말의 색도 측정은 표준백판 (Y: 93.5, x: 0.3133, y: 0.3195)으로 보정된 색차계(CR-400 Minolta Chroma Meter, Konica Minolta Sensing Inc., Japan)를 이용하여 배양액 투입에 따른 보리 분말의 Hunter-L* (명도), Hunter-a* (적색도), Hunter-b* (황색도), 및 ΔE (전체 색차)값을 3회 측정하여 나타내었다.

새싹보리 추출액의 총페놀 및 플라보노이드 함량 분석

70% 에탄올 10 mL에 새싹보리 분말 0.5 g을 넣고 추출한 추출액을 이용하여 총페놀과 플라보노이드 함량을 측정하였다. 총페놀 함량은 농도별로 희석한 추출액 20 μ L에 증류수 700 μ L와 50% Folin-Ciocalteu 100 μ L를 첨가하였다. 상온의 암상태에서 2시간 반응시키고 Na_2CO_3 100 μ L를 첨가하여 다시 1시간 반응시켜 i-Mark microplate reader (168-1135, Bio-Rad, Hercules, CA, USA)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 gallic acid를 사용하였다. 총플라보노이드 함량은 농도별 추출액 100 μ L에 에탄올 300 μ L, CH_3COOK 20 μ L, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 20 μ L, 증류수 560 μ L를 각각 첨가하여 상온에서 1시간 반응시킨 후 96 well plate에 200 μ L씩 분주하고 i-Mark microplate reader를 이용하여 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 quercetin을 사용하였다.

새싹보리 추출액의 ABTS 라디칼 소거능 분석

새싹보리 추출액에 2.45 mM potassium persulfate와 7 mM 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulphonic acid)를 혼합하여 만든 ABTS^+ 를 반응시켜 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 trolox 대비 활성(trolox equivalent antioxidant capacity; TEAC)으로 나타내었다.

새싹보리 추출액의 Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) 분석

새싹보리 추출액을 5 μ L씩 분주한 96 well plate에 300 mM sodium acetate buffer (pH 3.6) : 10 mM 2,4,6-tripyridyl-s-triazine in 40 mM HCl : 20 mM FeCl_3 를 10 : 1 : 1의 비율로 혼합한 용액 150 μ L를 첨가하고 37°C에서 15분간 배양한 다음 i-Mark microplate reader를 이용하여 595 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 FeSO_4 를 사용하였다.

새싹보리 분말의 구성아미노산 함량 분석

새싹보리 분말 50 mg에 6 N HCl 1 mL를 첨가하여 1분 동안 질소를 충전한 후 110°C에서 24시간 가수분해한 다음 뚜껑을 열고 80°C에서 24시간 건조시켰다. 0.02 N HCl을 1 mL 넣어주고 잘 섞어서 녹인 다음 0.45 μ m 3G-4 glass filter로 여과

하고 여액은 sample buffer (pH 2.2)를 이용하여 50 mL로 정용하였다. 아미노산 자동분석기(L-8900 Amino acid auto analyzer, Hitachi, Japan)로 분석(proline은 440 nm, 나머지 16종은 570 nm에서 측정)하였으며 표준용액(019-08393 Wako, Japan)을 이용하여 구성아미노산 함량을 계산하였다. 각 실험은 2회 반복하여 평균과 표준오차로 나타내었다.

통계처리

실험 데이터는 평균 및 표준오차로 표현하였으며 반복 실험하였다. 통계분석은 Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, ver. 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였고, LED광과 형광등 처리간 유의적 차이는 t-test를 통해 유의수준을 검정하였다($p < 0.05$). 또한 각 실험구당 차이를 검증하기 위하여 일원배치 분산분석을 한 뒤, Duncan's Multiple Range Tests를 사용하여 유의수준을 검정하였다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

9일간의 생육기간 동안 3일 간격으로 보리 유식물체의 길이를 측정하였다(Table 2). 3일 차 지상부의 길이는 각 처리구별 차이를 보였다. 형광등 처리구의 배양액 처리구가 가장 길었으며 LED 처리구의 500배 희석 배양액 투입구가 가장 짧았고, 형광등 처리구 내의 대조구와 배양액 투입구간 통계적 유의성을 나타내었다($p < 0.01$). 지하부 역시 형광등 500배 희석 배양액 투입구에서 가장 길었으며 형광등 대조구가 가장 짧았고, 형광등 처리구내 대조구와 배양액 투입구간 유의성을 보였다($p < 0.05$). 전체 길이에서도 지하부와 유사한 결과를 보였다. 6일 차 지상부의 길이는 각 처리구별 차이가 없었다. 지하부의 경우 두 처리구에서 대조구보다 배양액 투입구가 더 길게 생육하였으며 통계적 유의성을 나타내었다($p < 0.001$). 전체 길이에서도 지하부와 같은 경향을 보였다. 9일 차 지상부에서는 각 처리구별 차이가 나타났으며 LED에서는 대조구보다 배양액 투입구의 생장이 빨랐다($p < 0.05$). 지하부 역시 두 처리구에서 대조구보다 배양액 투입구가 유의적으로 길었다($p < 0.001$). 전체 길이에서도 같은 경향이었는데 특히 LED 처리구는 대조구와 배양액 투입구간 유의성을 보였다($p < 0.001$). Lee et al. (2016)은 당귀에 있어서 엽수는 LED 처리가 형광등 처리와 비교하여 13.5% 증가하였고, 엽장과 엽폭의 비율(Leaf length / width ratio)과 초장은 형광등 처리가 LED 처리와 비교하여 각각 24%, 13% 증가하여 광원에 따른 생육 특성이 달라짐을 보고하였다. 본 연구에서는 광원의 차이보다 배양액 투입에 따른 대조구와의 차이가 뚜렷하게 나타났다.

지상부의 3일 차 생체량은 배양액을 첨가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나 건조량은 통계적 유의성이 없었다

Table 2 Shoot, root, and plant lengths of hydroponic barley sprouts grown under various nutrient solutions and artificial light sources

Treatment	Shoot	Root	Plant	
	Length (cm)			
3D	FL Con.	4.88 ± 0.62 b,##	8.46 ± 0.59 b,#	13.34 ± 0.89 d,##
	FL 1000X	5.62 ± 0.72 a	9.09 ± 0.74 ab	14.71 ± 1.08 abc
	FL 500X	5.62 ± 0.67 a	9.79 ± 0.80 a	15.41 ± 0.89 a
	LED Con.	5.05 ± 0.60 b	8.75 ± 0.46 ab	13.80 ± 0.89 cd
	LED 1000X	5.55 ± 0.62 a	9.64 ± 0.57 a	15.19 ± 0.95 ab
	LED 500X	4.80 ± 0.68 b	9.26 ± 0.71 ab	14.06 ± 0.91 bcd
6D	FL Con.	5.29 ± 0.79	15.69 ± 1.26 b,###	20.97 ± 1.12 b,##
	FL 1000X	6.35 ± 0.81	17.84 ± 1.09 a	24.18 ± 1.76 a
	FL 500X	5.70 ± 0.75	18.99 ± 0.99 a	24.69 ± 1.22 a
	LED Con.	5.35 ± 0.91	15.57 ± 1.21 b,###	20.92 ± 1.57 b,##
	LED 1000X	5.82 ± 0.81	18.89 ± 1.34 a	24.71 ± 1.47 a
	LED 500X	5.95 ± 1.01	18.72 ± 1.24 a	24.67 ± 1.77 a
9D	FL Con.	6.04 ± 0.84 bc	20.03 ± 1.16 b,###	26.07 ± 1.64 b
	FL 1000X	7.18 ± 0.92 a	23.28 ± 1.38 a	30.46 ± 1.74 a
	FL 500X	6.89 ± 0.81 ab	23.87 ± 0.77 a	30.76 ± 0.92 a
	LED Con.	5.50 ± 0.77 c,#	19.07 ± 0.92 b,###	24.56 ± 1.18 b,###
	LED 1000X	6.19 ± 0.89 abc	23.20 ± 1.12 a	29.39 ± 1.28 a
	LED 500X	6.69 ± 0.80 ab	22.73 ± 1.86 a	29.42 ± 1.81 a

Each treatment group consisted of 10 barley plants ($n = 10$). Lowercase letters (a, b, c, and d) indicate significant differences among treatments at $p < 0.05$. # represents significant differences between the Hyponex and water-only treatments (# $p < 0.05$; ## $p < 0.01$; and ### $p < 0.001$). D = day; FL = fluorescent lamp; LED = light-emitting diode (red:white:blue = 2:1:1); Con = control; X = dilution rate.

(Table 3). 6일 차에는 형광등과 LED 처리구간 유의성은 없었으나 각 처리구간 대조구와 배양액 투입구간 유의성을 보였다. 9일 차 역시 형광등과 LED 처리구간 유의성이 없었으며, 생체량은 각 처리구간 대조구와 배양액 투입구간 유의성을 보였으나 건조량은 LED 처리구에서만 유의성을 나타냈다. Kwack et al. (2015)은 4종(다채, 로메인, 비트, 적무)의 어린잎 채소 생육에 양액 조성이 미치는 영향을 조사한 연구에서, 다채의 경우 야마자키 양액이, 로메인은 한국 원시와 야마자키 양액이, 비트와 적무는 한국 원시, 일본 엔시, 야마자키 양액간 유의한 차이가 없었으며 수돗물로 재배하였을 때 생체중이 가장 가벼웠다고 보고하였는데, 보리 역시 생육에 적합한 배양액 조성이 있을 것으로 생각되며 향후 추가 연구가 필요하다고 생각한다. 본 실험 역시 배양액을 투입한 실험구에 비해 수돗물만 공급한 대조구가 가장 적었다. 지하부는 3일 차의 생체량은 각 처리구간 유의성이 없었으나 건조량은 각 처리구간 차이를 나타내었으며 LED 처리구에서는 대조구와 배양액 투입구간 유의성을 나타내었다($p < 0.05$). 6일 차의 생체량은 각 처리구간 차이가 없었으나 건조량은 형광등 대조구에서 가장 많았으며 LED 처리 역시 대조구가 배양액 투입구보다 많았다. 9일 차의 생체량은 형광등과 LED 처리구간 유의성을 보였으며($p < 0.05$) 형광등 처리구가 더

많았다. 또한 형광등 처리구내에서도 대조구가 배양액 투입구보다 더 많았으며 유의성을 나타내었다($p < 0.05$). 건조량은 각 처리구별 차이를 보여서 형광등 대조구가 가장 많았으며 형광등 처리구내 대조구와 배양액 투입구간 통계적 유의성을 나타내었다($p < 0.05$). Lee et al. (2016)은 LED를 처리한 당귀의 지상부 생체중과 건물중은 각각 50%, 42%씩 증가하였으며, 지하부는 각각 125%, 45%씩 증가하여 당귀의 재배에서 LED광이 유효함을 보고하였다. 한편, 아이스플랜트의 경우 형광등 처리가 다른 RWLED (red : white = 7 : 3)나 RBW LED (red : blue : white = 8 : 1 : 1) 처리보다 엽면적, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중이 높았다(Kim et al. 2016). 따라서 조사되는 인공광원에 따라 재배식물의 생육이 다르게 나타남을 알 수 있었다.

9일간 기른 보리 유식물체를 수확 후 생체량과 건조량을 측정하였다(Table 4). 지상부의 생체량은 두 처리구 모두 대조구 대비 배양액 공급으로 인한 수확량 증가가 확연히 나타났다. 형광등 500배 희석 배양액 투입구가 222.61 g으로 가장 많았으며 1,000배 희석 배양액 투입구가 217.06 g으로 많았다. 다음으로 LED 500배 및 1,000배 희석 배양액 투입구가 200 g 정도의 무게였으며 각 대조구들은 상대적으로 적은 양을 나타냈다. 지하부 역시 비슷한 경향을 보였는데 형광등

Table 3 Fresh and dry weights of hydroponic barley sprouts grown under various nutrient solutions and artificial light sources

Treatment	Shoot		Root		
	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	
3D	FL Con.	0.070 ± 0.007 b	0.006 ± 0.001	0.108 ± 0.019	0.029 ± 0.006 ab
	FL 1000X	0.072 ± 0.009 b	0.007 ± 0.001	0.102 ± 0.021	0.026 ± 0.006 b
	FL 500X	0.079 ± 0.012 ab	0.007 ± 0.001	0.096 ± 0.021	0.026 ± 0.006 b
	LED Con.	0.072 ± 0.007 b	0.006 ± 0.001	0.108 ± 0.013	0.031 ± 0.005 a,#
	LED 1000X	0.081 ± 0.009 a	0.007 ± 0.001	0.107 ± 0.020	0.027 ± 0.005 b
	LED 500X	0.077 ± 0.009 ab	0.007 ± 0.001	0.100 ± 0.018	0.028 ± 0.005 ab
6D	FL Con.	0.096 ± 0.014 b,#	0.008 ± 0.002 b,##	0.102 ± 0.019	0.020 ± 0.004 a
	FL 1000X	0.113 ± 0.012 a	0.010 ± 0.002 a	0.104 ± 0.019	0.018 ± 0.005 ab
	FL 500X	0.120 ± 0.014 a	0.010 ± 0.002 a	0.090 ± 0.020	0.017 ± 0.004 b
	LED Con.	0.091 ± 0.015 b,##	0.008 ± 0.002 b,#	0.085 ± 0.012	0.018 ± 0.005 ab
	LED 1000X	0.110 ± 0.013 a	0.010 ± 0.002 a	0.086 ± 0.025	0.017 ± 0.005 b
	LED 500X	0.121 ± 0.016 a	0.010 ± 0.002 a	0.086 ± 0.022	0.017 ± 0.004 b
9D	FL Con.	0.126 ± 0.013 b,#	0.010 ± 0.002 ab	0.116 ± 0.018 a,*,#	0.016 ± 0.003 a,#
	FL 1000X	0.137 ± 0.026 ab	0.011 ± 0.004 ab	0.101 ± 0.019 ab,*	0.014 ± 0.003 ab
	FL 500X	0.136 ± 0.026 ab	0.011 ± 0.003 ab	0.100 ± 0.020 ab,*	0.013 ± 0.004 b
	LED Con.	0.114 ± 0.017 b,#	0.010 ± 0.002 b,#	0.097 ± 0.022 ab	0.015 ± 0.004 ab
	LED 1000X	0.128 ± 0.021 b	0.012 ± 0.004 ab	0.093 ± 0.017 b	0.014 ± 0.004 ab
	LED 500X	0.171 ± 0.036 a	0.014 ± 0.003 a	0.093 ± 0.016 b	0.012 ± 0.002 b

Each treatment group consisted of 10 barley plants ($n = 10$). Lowercase letters (a, b) indicate significant differences among treatments at $p < 0.05$. * represents significant differences between the FL and LED treatments ($p < 0.05$). # represents significant differences between the Hyponex and water-only treatments ($\# p < 0.05$; $\#\# p < 0.01$). D = day; FL = fluorescent lamp; LED = light-emitting diode (red:white:blue = 2:1:1); Con = control; X = dilution rate.

Table 4 Day 9 barley sprout yield resulting from various nutrient solution and artificial light source treatments in hydroponic systems

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total
FL Con.	156.78 ± 3.19 c,###	317.12 ± 2.40 bc,**,##	473.89 ± 0.79 c,* ,###	12.20 ± 0.06 c,###	32.90 ± 1.20 bc	45.10 ± 1.14 c,#
FL 1000X	217.06 ± 13.64 ab	353.74 ± 13.79 a,**	570.80 ± 23.48 a,*	15.76 ± 1.11 a	32.72 ± 2.06 bc	48.48 ± 1.93 abc
FL 500X	222.61 ± 14.03 a	364.96 ± 4.70 a,**	587.57 ± 9.34 a,*	15.64 ± 0.70 a	36.14 ± 2.25 b	51.78 ± 1.56 a
LED Con.	149.56 ± 6.83 c,###	320.11 ± 9.58 bc	469.67 ± 2.75 c	11.65 ± 0.66 c,##	39.67 ± 1.12 a,##	51.31 ± 1.78 a
LED 1000X	200.86 ± 0.58 b	326.19 ± 9.31 b	527.06 ± 9.75 b	14.81 ± 0.22 ab	34.23 ± 1.83 bc	49.04 ± 2.02 ab
LED 500X	201.23 ± 10.75 b	304.00 ± 8.22 c	505.22 ± 17.81 b	14.15 ± 0.73 b	31.28 ± 1.22 c	45.43 ± 1.92 bc

This experiment was conducted twice. Lowercase letters (a, b, and c) indicate significant differences among treatments at $p < 0.05$. * represents significant differences between the FL and LED treatments (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$). # represents significant differences between the Hyponex and water-only treatments ($\# p < 0.05$; $\#\# p < 0.01$; and $\### p < 0.001$). FL = fluorescent lamp; LED = light-emitting diode (red:white:blue = 2:1:1); Con = control; X = dilution rate.

처리구에서 수확한 것들이 LED 처리구에서보다 유의적으로 많았으며($p < 0.01$), 형광등 처리구에서도 대조구 대비 배양액 투입구에서 높은 수확량을 보였다($p < 0.01$). 따라서 총 생체량에서도 지상부와 지하부의 영향으로 비슷한 경향을 보였으며 형광등 처리구가 LED 처리구보다 유의적으로 많은 양을 나타내었으며($p < 0.05$), 형광등 처리구내에서도 대조구보다 배양액 투입구가 월등히 많은 양을 나타내었다

($p < 0.001$). 지상부의 건조량은 형광등 처리구와 LED 처리구간 통계적 유의성은 보이지 않았으나 형광등 처리구내 대조구와 배양액 투입구간 $p < 0.001$ 의 유의성이 나타났으며, LED 처리구 역시 대조구 대비 $p < 0.01$ 의 유의성이 나타났다. 지하부의 건조량 역시 광원에 따른 유의성은 나타나지 않았으나 LED 처리구내에서는 대조구가 배양액 투입구보다 유의성 있게 많았다($p < 0.01$). 한편 수확물의 총건조량은 인공

Table 5 Chromacity of barley sprout powder from hydroponic barley sprouts grown under various nutrient solutions and artificial light sources

Treatment	L (lightness)	a (redness)	b (yellowness)	ΔE (overall color difference)
FL Con.	51.87 ± 1.00 bc, ^{***}	-4.42 ± 0.40 a, ^{###}	13.83 ± 0.33 bcd, ^{***}	45.28 ± 0.94 ab, ^{***}
FL 1000X	51.42 ± 1.21 c, ^{***}	-6.25 ± 0.56 b	13.65 ± 0.21 cd, ^{***}	45.71 ± 1.18 a, ^{***}
FL 500X	50.79 ± 1.05 c, ^{***}	-6.05 ± 0.64 b	13.35 ± 0.57 d, ^{***}	46.29 ± 0.95 a, ^{***}
LED Con.	53.77 ± 0.79 a	-4.94 ± 0.82 a, ^{###}	14.76 ± 0.32 a	43.56 ± 0.71 c
LED 1000X	53.50 ± 1.09 a	-6.70 ± 0.28 b	14.41 ± 0.34 abc	43.78 ± 1.01 c
LED 500X	52.97 ± 1.09 ab	-6.53 ± 0.92 b	14.58 ± 1.04 ab	44.28 ± 1.00 bc

This experiment was conducted three times. Lowercase letters (a, b, c, and d) indicate significant differences among treatments at $p < 0.05$. * represents significant differences between the FL and LED treatments ($*** p < 0.001$). # represents significant differences between the Hyponex and water-only treatments ($### p < 0.001$). FL = fluorescent lamp; LED = light-emitting diode (red:white:blue = 2:1:1); Con = control; X = dilution rate.

광원에 따른 통계적 유의성은 나타나지 않았으나 형광등의 경우 1,000배 희석 배양액 투입구가 가장 많았으나, LED의 경우는 대조구가 다른 배양액 투입구보다 많았다. 형광등 처리구에서는 대조구보다 배양액 투입구가 유의성 있게 높은 수확량을 나타내었다($p < 0.05$). Lee and Kim (2003)은 벼에서 질소시비량이 많을수록 생장이 커서 건물중이 증가하였으나 성장 초기에는 시비량에 의한 건물중의 차이가 거의 나타나지 않았다고 보고하였다. 또한 Lee et al. (2004)은 생육 특성이 다른 완주와 금산 지방종 돌나물을 포트와 포장에서 재배하면서 질소 시비량에 따른 생체중과 건물중을 조사한 결과, 모두 질소시비량이 늘어남에 따라 증가하였다고 보고하였다. Ha (1989)는 보리 재배시 보조조명의 광질이 출수 및 생육에 미치는 영향을 구명하기 위하여 8시간의 자연일장과 16시간의 보조조명으로 장일처리를 하였는데, 출수 촉진 이 목적이면 백열등의 보조조명이 바람직하나 출수기와 수량을 고려한다면 백열등+청색 형광의 혼합조명이 더 바람직하다고 하였다.

농산물이나 식품, 그리고 안료 산업에서 색상은 그 제품의 신선도라든가 숙성도, 나아가서 선호도를 평가할 수 있는 매우 중요한 품질 평가 수단이다(Zhu et al. 2010). 따라서 배양액 처리에 따른 최종 수확된 새싹보리 분말의 색도 및 갈변도를 측정하였다(Table 5). 명암을 나타내는 Hunter-L 값은 LED 처리구에서 형광등 처리구보다 상대적으로 밝은 값을 나타내었다($p < 0.001$). LED 대조구(53.77) 및 1,000배 희석액(53.50)으로 재배한 보리에서 가장 밝았으며 다음으로 500배 희석액(52.97)으로 기른 보리에서 높았고 형광등 처리구의 대조구에서 51.87의 값을, 1,000배 희석액으로 재배한 보리에서 51.42 및 500배 희석액에서 재배한 보리에서 50.79의 값을 나타내었다. 적색과 녹색 정도를 나타내는 Hunter-a 값에서는 LED 처리구($p < 0.001$)와 형광등 처리구($p < 0.001$)에서 대조구와 배양액 투입구간 유의성 있는 차이를 보였다. 대조구에서는 -4.42 ~ -4.94의 값을 나타냈지만, 배양액 투입구에서는 -6.05 ~ -6.70의 값을 나타내었다. 황색과 청색 정도를

나타내는 Hunter-b 값은 Hunter-L 값과 유사하게 LED 처리구(14.41 ~ 14.76)가 형광등 처리구(13.35 ~ 13.83)보다 상대적으로 황색을 나타내었다($p < 0.001$). 또한 보정판과의 색차값(ΔE) 역시 Hunter-L과 Hunter-a 값처럼 형광등 처리구와 LED 처리구간 유의성 있는 차이를 나타냈다($p < 0.001$). Park et al. (2008)은 보리잎을 진공동결건조 하였을 때 Hunter-L 값이 64.33으로 가장 높았고 전자레인지 사용하여 건조하였을 때 36.64로 가장 낮아 건조 방법에 따라 색도가 다르게 나타난다고 보고하였다.

형광등 처리구와 LED 처리구에서 총페놀 함량을 측정하였다(Table 6). 배양액 첨가 없이 재배한 대조구가 배양액을 첨가한 시험구보다 총페놀 함량이 높았으며 형광등 처리구나 LED 처리구에서도 같은 현상을 보였다. Urbonavičiūtė et al. (2009)은 두 종류의 보리 품종에 적색(638 nm)과 청색(445 nm) 파장을 조합하여 재배하였더니 ‘Aura’ 앞에서는 32%, ‘Luokė’ 앞에서는 61% 페놀화합물이 증가하였다고 보고하였는데, 본 연구에서는 대조적인 현상이 나타났다. 한편 총플라보노이드 함량은 총페놀과는 반대 현상을 보였다(Table 6). 대조구보다 배양액을 첨가한 시험구에서 총플라보노이드 함량이 증가하는 것을 볼 수 있었다. TEAC의 경우 대조구의 항산화능력이 높았으며 배양액을 첨가한 시험구에서는 상대적으로 낮은 함량을 나타내었으며, FRAP의 경우 형광등 처리구의 경우 배양액 500배 희석액 처리구가 가장 높았으며 LED 처리구의 경우 대조구가 배양액을 첨가한 시험구보다 높은 함량을 나타내었으며 전체적으로 형광등 처리구가 LED 처리구보다 높은 함량을 나타내었다(Table 6). Son and Oh (2013)는 적엽 상추 ‘Sunmang’와 녹엽 상추 ‘Grand Rapid TBR’에서 청색 LED의 비율이 증가함에 따라 총페놀 함량과 항산화능력이 증가한다고 보고하였으며, Johkan et al. (2010)과 Stutte et al. (2009) 또한 청색과 적색 LED의 조합에 의한 조사에 의해 상추에서 페놀화합물과 항산화제의 축적을 유도한다고 보고하였으나 본 연구결과에서는 반대로 감소하는 현상을 보였다.

Table 6 Total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity of hydroponic barley sprouts grown under various nutrient solutions and artificial light sources

Treatment	TPC (mg/ml)	TFC (mg/ml)	TEAC (mM)	FRAP (mM)
FL Con.	6.00 ± 0.12 a,##	0.54 ± 0.04 b,##	6.58 ± 0.47 a,##	31.80 ± 4.64 a,*
FL 1000X	4.67 ± 0.42 b	0.91 ± 0.10 a	5.68 ± 0.10 b	25.07 ± 0.70 b,*
FL 500X	4.59 ± 0.49 b	0.88 ± 0.08 a	5.27 ± 0.16 bc	33.34 ± 0.48 a,*
LED Con.	5.74 ± 0.41 a,#	0.50 ± 0.06 b,###	6.54 ± 0.33 a,###	27.29 ± 4.45 b
LED 1000X	4.63 ± 0.14 b	0.94 ± 0.07 a	5.19 ± 0.03 c	20.55 ± 0.60 c
LED 500X	4.48 ± 0.91 b	0.97 ± 0.06 a	5.08 ± 0.20 c	24.15 ± 0.57 bc

This experiment was conducted three times. Lowercase letters (a, b, and c) indicate significant differences among treatments at $p < 0.05$. * represents significant differences between the FL and LED treatments ($* p < 0.05$). # represents significant differences between the Hyponex and water-only treatments ($# p < 0.05$; $## p < 0.01$; and $### p < 0.001$). FL = fluorescent lamp; LED = light-emitting diode (red:white:blue = 2:1:1); Con = control; X = dilution rate; TPC = total phenolic content; TFC = total flavonoid content; TEAC = trolox equivalent antioxidant capacity value; FRAP = ferric ion reducing antioxidant power.

Table 7 Total amino acid content (mg/g) of hydroponic barley sprouts grown under various nutrient solutions and artificial light sources

Amino acid	FL Con	FL 1000X	FL 500X	LED Con	LED 1000X	LED 500X
Arg	5.12 ± 0.54 bc	5.71 ± 0.75 abc	6.38 ± 0.13 a	4.73 ± 0.35 c,##	5.82 ± 0.18 ab	6.05 ± 0.06 ab
His	3.36 ± 0.17	3.30 ± 0.38	3.38 ± 0.12	3.33 ± 0.20	3.25 ± 0.12	3.30 ± 0.09
Ile	5.31 ± 0.33	5.33 ± 0.64	5.63 ± 0.23	4.76 ± 0.63	5.34 ± 0.14	5.15 ± 0.36
Leu	9.58 ± 0.58 ab	10.07 ± 0.65 a	10.70 ± 0.12 a	8.71 ± 0.72 b,#	9.71 ± 0.01 ab	10.03 ± 0.45 a
Lys	6.38 ± 0.47	6.97 ± 1.28	7.44 ± 0.17	6.41 ± 0.65 #	7.40 ± 0.11	7.71 ± 0.48
Met	1.22 ± 0.01 c	1.29 ± 0.12 abc	1.41 ± 0.06 ab	1.27 ± 0.03 bc	1.30 ± 0.00 abc	1.42 ± 0.04 a
Phe	5.66 ± 0.36 bc	6.00 ± 0.44 ab	6.49 ± 0.11 a	5.15 ± 0.37 c,#	5.75 ± 0.05 abc	6.02 ± 0.21 ab
Thr	5.46 ± 0.37	5.68 ± 0.71	6.19 ± 0.05	5.23 ± 0.35 #	5.79 ± 0.13	6.17 ± 0.22
Val	8.02 ± 0.44	8.10 ± 1.02	8.58 ± 0.48	7.43 ± 0.76	8.20 ± 0.29	8.14 ± 0.45
EAA	50.11 ± 3.27	52.44 ± 5.98	56.19 ± 0.75	47.01 ± 4.06	52.55 ± 1.01	53.98 ± 2.37
Ala	9.08 ± 0.47 c	10.23 ± 0.71 b	11.41 ± 0.08 a	8.13 ± 0.29 d,##	10.26 ± 0.18 b	10.99 ± 0.02 ab
Asp	19.69 ± 0.62 ab,*	17.55 ± 2.58 b,*	19.74 ± 0.96 ab,*	21.62 ± 0.35 a	20.00 ± 1.56 ab	21.83 ± 0.21 a
Cys	1.06 ± 0.07 ab	1.14 ± 0.16 ab	1.24 ± 0.09 ab	1.02 ± 0.04 b,##	1.20 ± 0.05 ab	1.25 ± 0.03 a
Glu	13.24 ± 1.22	14.16 ± 2.05	14.99 ± 0.93	12.79 ± 1.32 #	14.57 ± 0.60	15.57 ± 0.46
Gly	3.95 ± 0.15	3.95 ± 0.29	4.60 ± 0.62	4.02 ± 0.01	4.28 ± 0.16	4.58 ± 0.38
Pro	4.83 ± 0.29 ab	5.23 ± 0.36 ab	5.54 ± 0.01 a	4.60 ± 0.55 b	4.89 ± 0.03 ab	5.23 ± 0.16 ab
Ser	4.62 ± 0.34 b	4.77 ± 0.47 ab	5.22 ± 0.07 ab	4.58 ± 0.20 b	4.91 ± 0.03 ab	5.36 ± 0.16 a
Tyr	3.16 ± 0.25	3.35 ± 0.52	3.70 ± 0.16	3.04 ± 0.29	3.30 ± 0.09	3.50 ± 0.07
NEAA	59.64 ± 3.39	60.39 ± 7.13	66.44 ± 1.39	59.80 ± 3.04	63.41 ± 2.36	68.31 ± 1.45
TAA	109.74 ± 6.67	112.83 ± 13.11	122.63 ± 2.14	106.82 ± 7.11	115.96 ± 3.37	122.29 ± 3.82
EAA/TAA, %	45.66	46.48	45.82	44.01	45.32	44.14
NEAA/TAA, %	54.34	53.52	54.18	55.99	54.68	55.86

This experiment was conducted twice. Lowercase letters (a, b, c, and d) indicate significant differences among treatments at $p < 0.05$. * represents significant differences between the FL and LED treatments ($* p < 0.05$). # represents significant differences between the Hyponex and water-only treatments ($# p < 0.05$; $## p < 0.01$). FL = fluorescent lamp; LED = light-emitting diode (red:white:blue = 2:1:1); Con = control; X = dilution rate; EAA = essential amino acid; NEAA = non-essential amino acid; TAA = total amino acid.

단백질을 구성하고 있는 구성아미노산은 일반적으로 영양평가를 위한 좋은 지표가 된다. 새싹보리 분말에 함유된 구성아미노산의 함량은 Table 7과 같이 9종의 필수아미노산 (Arg, His, Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Thr, Val)과 8종의 비필수아

미노산(Ala, Asp, Cys, Glu, Gly, Pro, Ser, Tyr)이 검출되었다. 총 구성아미노산 함량은 106.82 ~ 122.63 mg/g dry powder였으며, 필수아미노산 함량은 47.01 ~ 56.19 mg/g dry powder였고 비필수아미노산은 67.86 ~ 77.66 mg/g dry powder 범위였

다. 구성아미노산 중 가장 많이 검출된 것은 Asp이며, Glu, Ala, Leu, Val 순으로 나타났다. Asp의 경우 LED 처리구가 형광등 처리구보다 월등히 함량이 높았다. LED 처리구에서도 Arg, Leu, Lys, Phe, Thr, Ala, Cys, Glu의 경우 배양액 투입에 의한 함량이 증가함을 알 수 있었다. Son et al. (2016)은 보리 순을 이용하여 구성아미노산을 분석한 결과 필수아미노산이 51.67%, 비필수아미노산이 48.33%로 필수아미노산이 상대적으로 많다고 보고하였으나 본 연구에서는 비필수아미노산이 더 많았다. 또한 Asp와 Glu가 가장 많다고 하였으며 이는 본 결과나 Kim et al. (2006)이 보고한 보리잎 분말 차의 결과와 유사하였다. 또한 총아미노산에 대한 필수아미노산의 함량 역시 무순(39.95 ~ 41.94%) 싹보다 높은 비율을 나타내었다(Han et al. 2003).

적 요

수경재배는 토양 없이 물로만 재배 가능하며 날씨의 영향을 받지 않아 기존에 토양을 이용해 재배하는 것에 비해 많은 이점을 지니고 있다. 여기에 물 대신 배양액을 추가한다면 생육을 더욱 앞당길 수 있다. 본 연구는 배양액과 인공광 처리에 따른 새싹보리의 성장과 이화학적 특성을 조사하였다. 먼저 배양 기간이 지남에 따라 식물체의 길이는 커졌으며 LED 처리구의 배양액 투입구에서 생장이 빨랐다. 생체량 및 건조량은 형광등 처리구가 LED 처리구보다 더 무거웠다. 새싹보리 분말의 색상은 약간의 차이를 보였으며, *L* 값은 50.79 ~ 53.77, *a* 값은 -6.70 ~ -4.42, *b* 값은 13.35 ~ 14.76이었으며 *L* 값과 *b* 값은 LED 처리구가 높았으나 *a* 값은 형광등 처리구가 상대적으로 높았다. 총페놀 함량은 두 처리구에서 대조구가 배양액 투입구보다 높았으나, 총플라보노이드 함량은 총페놀과는 반대 현상을 보였다. TEAC의 경우 대조구의 항산화능력이 배양액 투입구보다 높았으며 FRAP의 경우 형광등 처리구가 LED 처리구보다 높은 함량을 나타내었다. 총구성아미노산 함량은 106.82 ~ 122.63 mg/g dry powder였으며, 필수아미노산 함량은 47.01 ~ 56.19 mg/g dry powder였고 비필수아미노산은 67.86 ~ 77.66 mg/g dry powder 범위였다. 구성아미노산 중 가장 많이 검출된 것은 Asp이며, Glu, Ala, Leu, Val 순으로 나타났다.

사 사

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

References

- Fankhauser C, Chory J (1997) Light control of plant development. *Annu Rev Cell Dev Biol* 13:203-229
- Feng P (1997) A summary of background information and foodborne illness associated with the consumption of sprouts. Center for Food Safety and Applied Nutrition, Washington, DC
- Greenwald T (1998) Is it good medicine?. *Time* 30:37-44
- Ha YW (1989) Studies on heading date of wheat and barley., 6; effects of light qualities on heading and growth characteristics of barley. *Korean J Crop Sci* 34(2):184-191
- Han JH, Moon HK, Kim JK, Kim JY, Kang WW (2003) Changes in chemical composition of radish bud (*Raphanus sativus* L.) during growth stage. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 19(5):596-602
- Johkan M, Shoji K, Goto F, Hashida S, Yoshihara T (2010) Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience* 45:1809-1814
- 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 JS (2021) The effect of using artificial lights on the growth and quality of hydroponic cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.) sprouts. *J Plant Biotechnol* 48(1):62-70
- 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 YH (2011) Extraction of manganese superoxide dismutase from sprouts of barley (*Hordeum vulgare* var. *hexastichon*). *J Sangmyung Uni Eng Res Inst* 2011:42-47
- Kim YJ, Kim HM, Hwang SJ (2016) Growth and phytochemical contents of ice plant as affected by light quality in a closed-type plant production system. *Korean J Hort Sci Technol* 34(6):878-885
- Kwack Y, Kim DS, Chun C (2015) Growth and quality of baby leaf vegetables hydroponically grown in plant factory as affected by composition of nutrient solution. *Protected Hort Plant Fac* 24(4):271-274
- Lee GI, Kim HJ, Kim SJ, Lee JW, Park JS (2016) Increased growth by LED and accumulation of functional materials by fluorescence lamps in a hydroponics culture system for *Angelica gigas*. *Protected Hort Plant Fac* 25(1):42-48
- Lee HS, Kim KU (2003) Dry matter, nitrogen content, chlorophyll and yield maps of rice by different rates of nitrogen application and their correlations. *J Kor Soc Agri Machi* 28(4):361-368
- Lee SY, Ahn JH, Kim HJ (2004) Characteristics of growth and flowering by nitrogen levels in *Sedum sarmentosum*. *Kor J Hort Sci Technol* 22(4):426-430
- Montville R, Schaffner DW (2004) Analysis of published sprout seed sanitization studies shows treatments are highly variable. *J Food Prot* 67:758-765
- Okamoto K, Yanagi T, Takita S, Tanaka M, Higuchi T, Ushida Y, Watanabe H (1996) Development of plant growth apparatus

- using blue and red LED as artificial light source. *Acta Hort* 440:111-116
- Olle M, Viršile A (2013) The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agric Food Sci* 22:223-234
- Park KJ, Lim JH, Kim JH, Jeong JW, Jo JH, Jeong SW (2007) Reduction of microbial load on radish(*Raphanus sativus* L.) seeds by aqueous chlorine dioxide and hot water treatments. *Kor J Food Preserv* 14:487-491
- 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
- Ruangrak E, Khummueng W (2019) Effects of artificial light sources on accumulation of phytochemical contents in hydroponic lettuce. *J Hort Sci Biotechnol* 94:378-388
- Son HK, Lee YM, Lee JJ (2016) Nutrient composition and antioxidative effects of young barley leaf. *Korean J Community Living Sci* 27(4):851-862
- Son KH, Oh MM (2013) Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light emitting diodes. *HortScience* 48:988-995
- Stutte GW, Edney S, Skerritt T (2009) Photoregulation of bio-protectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *HortScience* 44:79-82
- Terashima I, Fujita T, Inoue T, Chow WS, Oguchi R (2009) Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: Revisiting the enigmatic question of why leaves are green. *Plant Cell Physiol* 50:684-697
- Urbonavičiūtė A, Samuolienė G, Brazaitytė A, Ruzgas V, Šabajevienė G, Šliogerytė K, Sakalauskaitė J, Duchovskis P, Žukauskas A (2009). The effect of light quality on the antioxidative properties of green barely leaves. *Sodininkystė ir Darzininkystė* 28:153-161
- Wang J, Lu W, Tong Y, Yang Q (2016) Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce(*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. *Front Plant Sci* 7:250
- Zhu K, Kanu PJ, Claver IP, Wang X, Zhu K, Qian H, Zhou H (2010) Evaluation of Hunter color values L, a, and b of mixed powder. *Color Res Appl* 35:361-367