

광 유무에 따른 다양한 새싹 채소의 생육 및 생리활성 화합물의 함량

이진희¹ · 오명민^{2,3*}

¹치바대학교 원예학과 박사후 연구원, ²충북대학교 축산·원예·식품공학부 원예학전공 교수,
³충북대학교 생물건강소재산업화사업단 교수

Growth and Bioactive Compound Contents of Various Sprouts Cultivated under Dark and Light Conditions

Jin-Hui Lee¹ and Myung-Min Oh^{2,3*}

¹Post-Doctor, Graduate School of Horticulture, Chiba University, Chiba 271-8510, Japan

²Professor, Division of Animal, Horticultural, and Food Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

³Professor, Brain Korea 21 Center for Bio-Health Industry, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

Abstract. Recently, as consumers' interest and importance in health care have significantly increased, they prefer natural and organic foods that do not use chemical pesticides. Since sprout vegetables effectively promote health and prevent diseases such as cancer and cardiovascular disease, the consumption of sprout vegetables, a highly functional and safe food, has been increased significantly. This study aimed to investigate the effect of light on the growth and bioactive compounds of seven different sprout vegetables. After sowing the seeds of various sprout vegetables (kale, Chinese kale, broccoli, red cabbage, alfalfa, red radish, and radish), the sprouts were cultivated under light conditions (20°C, RGB 6:1:3, 130 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 12 hours photoperiod) and dark condition for 7 days. Sprouts samples were taken at 1-day intervals from 4 to 7 days after treatment. The fresh weight, dry weight, plant height, total phenol content, and antioxidant capacity were measured. *Brassica* species (kale, Chinese kale, broccoli, red cabbage) and *Medicago* species (alfalfa) had significantly higher fresh weight values under dark conditions, while the content of bioactive compounds was increased considerably under light conditions. In contrast, the fresh weight of *Raphanus* genus (red radish, radish) significantly increased under the light condition, but the antioxidant phenolic compounds were significantly higher under the dark state. A negative correlation was observed between the growth and secondary metabolites in various sprout vegetables. This study confirmed the effect of light and dark conditions on different sprout vegetables' growth and nutritional value and emphasizes the importance of harvest time in producing high-quality sprout vegetables.

Additional key words : *Brassica* species, *Medicago* species, *Raphanus* genus, phytochemicals, germination, imbibition

서 론

최근 건강한 식단에 대한 관심과 중요도가 높아짐에 따라 식물 유래 식품의 선호도가 증가하고 있으며, 식품의 안전성 또한 중요시되고 있다. 신선 채소는 필수 영양소를 함유하고 있을 뿐만 아니라 수 많은 생리활성 화합물을 가지고 있어, 심혈관 질환과 암을 예방하는 등 건강 증진에 효과적이다(Guo 등, 2012; Pérez-Balibrea 등, 2008).

생물학적 관점에서 새싹은 종자 발아에서 시작하는 식물 생

육의 첫 번째 단계의 식물체이다. 새싹 채소는 종자에서 발아한 싹을 키워 생육 초기의 어린 자엽과 배축을 이용하는 것으로 약 1주일의 짧은 생육 주기(4-10일)를 가지고 있기 때문에 비료 또는 농약 없이 암상태에서 단기간에 수확이 가능하다는 특징을 가지고 있다(Di Gioia 등, 2017).

새싹 채소는 독특한 맛과 향을 가지며 비타민과 무기질을 풍부하게 함유하고 있기 때문에 식품적 가치가 충분하다(Jung, 2007; Lucy 등, 2002; Luo 등, 2014). 종자가 발아하는 동안 물질대사의 활성화가 이루어지면서, 저장 단백질과 탄수화물의 가수분해가 촉진되어 생리활성을 띠는 이차 대사산물의 합성 및 축적이 유도된다(Cáceres 등, 2014). 또한, 발아 과정에서 필수 아미노산과 같은 일차 대사산물도 증가되어 새싹 채

*Corresponding author: moh@cbnu.ac.kr

Received July 14, 2021; Revised July 26, 2021;

Accepted July 27, 2021

소는 동물성 단백질과는 차별화되는 아미노산/단백질 공급원이 될 수 있다(Aguilera 등, 2013; Tarasevičienė 등, 2009; Vale 등, 2015).

이전 연구들은 새싹 채소의 품질이 형태, 크기, 색깔 등 외적 요인에 좌우된다고 보고하였지만 최근 들어 맛과 향 그리고 생리활성 물질 함량 등 내적요인의 중요성이 강조되고 있다(Ampofo와 Ngadi, 2021; Lee 등, 2007; Świeca 등, 2012). 새싹 채소의 영양적인 가치의 향상은 종자의 발아 과정과 밀접한 관련이 있기 때문에, 발아 환경 조건은 새싹 채소의 영양학적 품질을 결정하는 중요한 요인이라 할 수 있다. 이전 연구에서 종자의 발아 과정동안 무기양분 및 단백질 프로파일, 그리고 포화 및 불포화 지방산의 비율 등과 같은 다양한 영양학적 품질의 변화가 보고되었다(Cáceres 등, 2014; Tarasevičienė 등, 2009). 발아 환경 조건 중 광도, 광질 그리고 광주기를 포함한 광 환경은 식물의 성장과 발달에 중요한 역할을 한다(Frankland와 Taylorson, 1983; Woolley와 Stoller, 1978). 빛을 필요로 하는 호광성 종자(positive photoblastic seeds)는 광에 노출된 후에만 발아하는 반면, 빛이 제한된 환경에서 발아하는 혐광성 종자(negative photoblastic seeds)는 어둠속에서만 발아하며, 세번째 범주인 중립 종자(light-neutral seeds)는 광 유무의 관계없이 발아하는 특징을 가지고 있다(Mérai 등, 2019). 즉, 광의 유무는 종자의 발아율과 발아속도에 크게 영향을 줄 수 있기 때문에 종자 발아에 있어 중요한 요인이라 할 수 있다. 일반적으로 새싹 채소를 대량생산하는 과정에서 경제성과 편리성 때문에 종자를 대부분 암상태에서 발아시킨다. 하지만, 암조건에서의 종자의 발아가 새싹 채소의 성장 그리고 영양학적 품질 측면에서 최적의 조건인지에 대한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서 사용된 7종의 새싹 채소들은 일반적으로 새싹 채소로 많이 이용되고 있는 작물이며 십자화과 채소(홍빛 열무, 케일, 다채, 브로콜리, 적양배추, 무)는 특히 인체 건강에 유익한 파이토케미컬을 함유하여 전세계적으로 인기를 얻고 있다(Šamec와 Salopek-Sondi, 2019). 따라서 본 연구의 목적은 7가지 작물의 발아 및 수확 시 광의 유무가 성장과 생리활성 물질 함량에 미치는 영향을 확인하는 것이다.

재료 및 방법

1. 식물 재료

광 유무에 따른 다양한 새싹 채소의 생육 그리고 생리활성 물질 함량의 변화를 확인하기 위하여 새싹 채소용 홍빛 열무(*Raphanus sativus* var.), 케일(*Brassica oleracea* L. var. *Onica*), 다채(*Brassica campestris* L.), 브로콜리(*Brassica*

oleracea L. var. *italica*), 알팔파(*Medicago sativa* L.)(Asia seed Korea, Seoul, Korea), 무(*Raphanus sativus* L.), 적양배추(*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*)(Onsem, Anseong, Korea) 종자를 실험에 사용하였다.

2. 실험처리

2.1 종자 침지 시간에 따른 수분함량의 변화

7가지 종자의 침지 시간을 결정하기 위한 침종 실험을 수행하였다. 각각의 종자를 1g씩 증류수에 침지 한 뒤 시간의 경과에 따라 24시간까지 매시간 종자의 무게를 측정함으로써 수분 흡수량을 추정하였다. 종자의 무게는 각 종자 별로 10립씩 취하여 종피에 묻은 수분을 제거한 뒤 전자 저울(Si-234, Denver Instrument, Bohemia, NY, USA)을 이용하여 무게를 측정하였다.

2.2 재배 및 광조건

종자 침지 실험에서 도출된 결과를 토대로 7가지 작물의 종자를 증류수에 5시간 동안 침지 시켰다. 가라앉은 종자를 2-3g씩 나누어 투명한 플라스틱 용기(120 × 73mm; Fig. 1A)에 골고루 퍼 파종하였다. 파종한 새싹들을 광조건(Red : Green : Blue = 6 : 1 : 3, 130 μmol · m⁻² · s⁻¹, 12시간 광주기) 그리고 암조건 아래에서 온도 20°C, 상대습도 60%의 성장 챔버(BI-1000M; Jeio-Tech, Daejeon, Korea)에서 7일 동안 재배하였다(Fig. 1B). 발아 과정 동안 과습 피해를 받지 않도록 투명 플라스틱 용기 뚜껑에 6개씩 구멍을 뚫으며 관수는 파이펫을 이용하여 매일 오전 10시에 증류수를 10mL씩 공급해 주었다. 광 처리구에서는 균일한 광 분포를 위해 1일 간격으로 용기를 시계방향으로 옮겨주었다.

3. 생육 측정

성장 지표로 새싹 채소의 생체중, 건물중, 초장을 측정하였다. 생체중은 처리 당 9개체의 새싹 채소를 티슈로 표면의 수분을 제거한 후 전자저울(Si-234, Denver Instrument, Bohemia, NY, USA)을 이용하여 측정하였고, 이후 70°C의 항온 건조

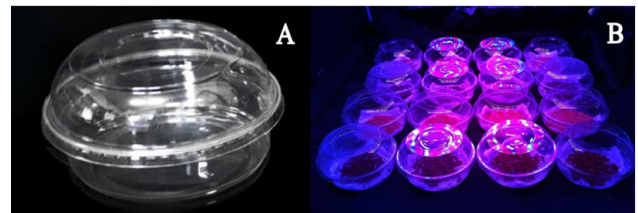


Fig. 1. A transparent plastic container for sprouting (A) and various sprouts grown under a growth chamber with LEDs (B).

기(FS-420, Advantec, Tokyo, Japan)에 72시간 이상 건조시킨 뒤 건물중을 측정하였다. 처리 종료일인 7일째에 새싹의 식용 가능한 크기 여부를 알아보기 위하여 초장을 측정하였다. 광 처리 후 4일째부터 7일째 까지 1일 간격으로 새싹 채소의 샘플을 채취하였다.

4. 생리활성 화합물 측정

4.1 총 페놀 함량

총 페놀 함량은 Ainsworth와 Gillespie(2007)에 의해 보고된 방법을 이용하여 Folin-Ciocalteu reagent를 사용하여 측정하였다. 새싹 채소 샘플은 분석 전까지 -70°C 초저온 냉동고에 보관되었다. 새싹 채소는 막자 사발을 사용하여 액체질소와 함께 분쇄한 뒤 3mL의 80%(v/v) 아세톤을 이용하여 추출하였다. 이후 4°C 암 상태에서 12시간 이상 보관된 샘플을 $3,000 \times \text{g}$ 에서 2분간 원심분리 시켰다. 다음의 용액들을 순서대로 2mL의 마이크로 튜브에 넣었다; 135 μL 의 증류수, 750 μL 의 10% Folin-Ciocalteu 시약(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), 50 μL 의 추출 샘플, 그리고 600 μL 의 7.5%(w/v) Na_2CO_3 . 혼합물을 잘 섞어준 후 45°C 의 항온수조에서 15분 동안 반응시켰다. 반응 용액의 흡광도는 분광 광도계(UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 사용하여 765nm에서 측정하였다. 새싹 채소 추출물의 총 페놀 함량은 단위 생체중(g)당 Gallic acid(Acros Organics, Geel, Belgium)의 함량(mg)으로 표현하였다.

4.2 항산화도

항산화도는 안정한 ABTS[2,2'-Azino-di-(3-ethylbenzthiazoline sulfonic acid) (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)] 용액에 대한 추출물의 라디칼 소거능력으로 표현하였고, Miller와 Rice-Evans(1996)방법을 약간 수정하여 분석에 이용하였다. 총 페놀 함량 측정에 사용된 방법과 동일하게

추출한 새싹 채소 추출물은 -20°C 암 상태에서 12시간 이상 보관되었다. $3,000 \times \text{g}$ 에서 원심 분리된 상층액을 분석에 이용하였다. 0.4g의 MnO_2 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 2.5mM의 ABTS용액에 첨가하여 ABTS 활성 양이온 용액(ABTS*)을 제조한 뒤, 여과지와 0.22 μm 필터로 걸러 주었다. ABTS*용액에 5mM의 PBS[phosphate buffer saline, pH 7.4, ionic strength(150mM NaCl)] 용액을 첨가하여 730nm의 파장에서 흡광도를 0.7(± 0.02)로 맞추주었다. ABTS*용액은 분석이 끝날 때까지 30°C 항온수조에 보관되었다. 100 μL 의 새싹 채소 추출물을 1mL의 ABTS*용액에 반응시킨 뒤, 충분히 섞은 다음 1분 후 730nm에서 흡광도를 측정하였다. 흡광도의 변화는 대조구에서 차감되었으며 새싹 채소의 항산화도는 단위 생체(g)당 Trolox(mM)[(6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid)(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)]로 표현하였다.

5. 통계처리

데이터 분석은 SAS(Statistical Analysis System, 9.2 Version, Cary, NC, USA) 통계 프로그램을 이용하여 분산 분석을 실시하였고, 처리 간 평균값은 T-test를 이용하여 비교하였다. 종자 침지 실험의 경우, 각각의 새싹 채소 종자 10립을 반복으로 하여 수행되었다. 하지만 생육(생체중, 건물중, 초장)과 생리활성 물질 함량 분석의 경우, 홍빛 열무, 케일, 다채, 알팔파는 6반복 그리고 무, 브로콜리, 적양배추는 9반복하였고, 1반복 당 8개체가 이용되었다. 광조건 그리고 암조건의 실험구 배치는 완전임의 배치법으로 수행되었다.

결과 및 고찰

1. 침지 시간에 따른 종자의 수분 흡수량

다양한 종류의 새싹 채소 종자의 시간 경과에 따른 수분 흡

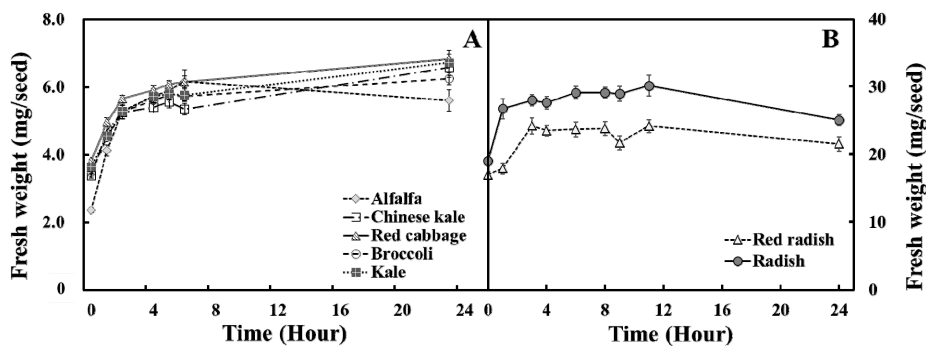


Fig. 2. Changes of various seeds (A: alfalfa, Chinese kale, red cabbage, broccoli, and kale; B: red radish and radish) weights according to imbibition time.

수량을 조사한 결과, 비교적 종자 크기가 작은 케일, 다채, 브로콜리, 적양배추 그리고 알팔파는 종자 침지 후 2시간째부터 수분 흡수량이 급격히 증가하였다(Fig. 2A). 이 종자들은 5시간 이후 수분 함량이 평형상태에 도달하여 24시간까지 비교적 비슷한 값을 유지하였다. 비교적 종자의 크기가 큰 홍빛 열무와 무 종자는 침종 직후 수분 함량이 급격히 증대되었고, 약 4시간 이후 평형상태에 도달하였다(Fig. 2B).

점진적으로 종자에 흡수된 수분은 종자의 배아 성장을 유도하고 궁극적으로 발아 시기를 결정하기 때문에 종자 침지 시간의 결정은 매우 중요한 요인이라 할 수 있다(Lechowska 등, 2019). 이전 연구결과에 따르면 암조건에서 장기간의 종자 침지는 수분 스트레스 또는 산소 부족을 유도할 수 있으며 이러한 영향은 종자의 2차 휴면의 가능성을 증대시킬 수 있다(Hoang 등, 2013; Pekrun 등, 1997). 종자 발달 과정 중, 미성

숙한 종자가 성숙되는 동안 1차 휴면(primary dormancy)이 유도되며, 성숙한 종자가 삼투압 스트레스 및 저산소증과 같은 종자 발아에 불량한 환경 조건에 노출되면 2차 휴면(second dormancy) 상태가 될 수 있다(Hilhorst, 1995). 2차 휴면은 ABA 활성 관련 메커니즘을 통해 유도되는데(Fei 등, 2009), 스트레스 조건에 노출되었을 때 종자내 관련 유전자 발현이 상향조절 되어 궁극적으로 발아율의 감소를 초래한다. 본 실험을 통해 모든 종자의 침종 시간은 5시간이 적합하다고 판단하였다.

2. 광의 유무가 7가지 새싹 채소의 생육에 미치는 영향

2.1 광의 유무에 따른 새싹 채소 별 생체중 및 건물중 광조건과 암조건에서 재배된 새싹들의 생육은 모두 생체중에서 유의적인 차이를 보였다(Table 1). 대부분의 십자화과

Table 1. Fresh and dry weights of various sprouts grown under light and dark conditions at 4, 5, 6, and 7 days after sowing.

Crop	Treatment	Day after sowing							
		4		5		6		7	
		Fresh weight (mg)	Dry weight (mg)	Fresh weight (mg)	Dry weight (mg)	Fresh weight (mg)	Dry weight (mg)	Fresh weight (mg)	Dry weight (mg)
Red Radish	Light	93.5 ± 1.0 ^z	10.1 ± 0.5	107.8 ± 4.1	10.2 ± 0.5	126.0 ± 1.7	9.8 ± 0.4	133.3 ± 2.1	11.2 ± 0.6
	Dark	68.7 ± 2.4	9.4 ± 0.1	79.4 ± 1.9	10.2 ± 0.4	81.4 ± 2.1	8.7 ± 0.2	62.1 ± 6.4	9.4 ± 1.4
	Significance ^y	**	NS ^x	***	NS	***	*	***	NS
Kale	Light	16.6 ± 0.7	2.8 ± 0.1	18.3 ± 0.8	2.5 ± 0.5	25.4 ± 0.7	2.9 ± 0.5	27.1 ± 0.8	2.9 ± 0.4
	Dark	17.4 ± 0.7	3.0 ± 0.4	21.8 ± 1.0	2.4 ± 0.1	29.7 ± 5.5	2.5 ± 0.3	26.8 ± 1.0	2.5 ± 0.4
	Significance ^y	NS	NS	*	NS	***	NS	NS	NS
Chinese kale	Light	19.5 ± 0.6	2.5 ± 0.1	20.7 ± 0.9	2.3 ± 0.3	23.4 ± 1.1	2.0 ± 0.2	25.8 ± 1.0	2.4 ± 0.2
	Dark	18.2 ± 1.2	2.1 ± 0.2	24.1 ± 2.6	2.3 ± 0.1	28.8 ± 2.7	1.9 ± 0.2	29.0 ± 1.8	2.1 ± 0.4
	Significance ^y	NS	NS	**	NS	**	NS	*	NS
Alfalfa	Light	12.9 ± 0.3	1.2 ± 0.1	14.5 ± 0.5	1.5 ± 0.5	18.8 ± 1.9	1.2 ± 0.1	19.6 ± 2.2	1.4 ± 0.2
	Dark	12.9 ± 1.0	1.1 ± 0.2	19.3 ± 2.0	1.2 ± 0.1	21.2 ± 2.5	1.0 ± 0.1	23.4 ± 1.5	1.3 ± 0.2
	Significance ^y	NS	NS	**	NS	NS	**	**	NS
Radish	Light	91.5 ± 1.6	13.3 ± 0.3	101.6 ± 4.0	11.4 ± 1.2	116.4 ± 4.0	12.7 ± 1.1	168.5 ± 10.0	13.1 ± 1.1
	Dark	101.5 ± 2.6	12.8 ± 0.5	112.6 ± 4.2	13.3 ± 1.3	133.6 ± 4.6	12.6 ± 1.2	149.6 ± 9.3	12.6 ± 1.6
	Significance ^y	**	NS	***	**	***	NS	***	NS
Broccoli	Light	14.2 ± 0.5	2.6 ± 0.1	17.8 ± 0.9	2.7 ± 0.3	22.9 ± 1.0	2.8 ± 0.3	30.3 ± 2.5	3.0 ± 0.6
	Dark	13.4 ± 0.2	2.4 ± 0.1	19.4 ± 0.7	2.3 ± 0.4	25.0 ± 4.2	2.4 ± 0.5	35.1 ± 3.6	2.8 ± 0.4
	Significance ^y	NS	NS	***	*	NS	NS	**	NS
Red cabbage	Light	16.9 ± 0.5	3.1 ± 0.2	18.3 ± 0.7	3.2 ± 0.3	22.5 ± 0.7	2.8 ± 0.2	22.8 ± 1.3	2.7 ± 0.2
	Dark	17.5 ± 0.3	2.8 ± 0.1	21.3 ± 0.7	2.9 ± 0.3	23.1 ± 0.6	2.7 ± 0.2	25.7 ± 2.3	2.8 ± 0.3
	Significance ^y	NS	NS	***	NS	NS	NS	**	NS

^zData are shown as mean ± standard error.

^ySignificance **p* = 0.05, ***p* = 0.01, ****p* = 0.001.

^xNS = Non Significance.

채소(케일, 다채, 브로콜리, 적양배추)와 콩과 작물 알팔파는 암조건에서 생체중이 유의적으로 높았다. 이 5종의 새싹 채소는 파종 4일째에는 광조건과 암조건에서 생체중에 유의적인 차이를 보이지 않다가 파종 후 5일째부터 유의적인 차이를 보이기 시작하였다. 암조건에서 생육이 급격히 증대되기 시작하여 처리 종료일인 7일째까지 점차적으로 생체중이 증대되었으며, 적게는 12%(다채)에서 많게는 19%(알팔파)까지 유의적인 증대가 나타났다. 하지만 모든 종의 새싹 채소의 건물중은 유의적인 차이를 보이지 않았다.

같은 종임에도 불구하고 *Raphanus* 속인 홍빛 열무와 무는 생육 기간에 따라 두 처리구에서 서로 다른 경향을 나타냈다. 홍빛 열무의 경우, 다른 새싹들과는 달리 광조건에서 생체중이 지속적으로 높은 경향을 보였다. 파종 후 4일째부터 암조건에 비해 광조건에서 자란 홍빛 열무 새싹의 생체중이 약 1.36배 높았고 특히, 7일째에는 2.14배 유의적으로 증대되었다. 무의 경우에는 생육 기간에 따라 생체중의 결과가 다르게 나타났다. 파종 후 6일째까지는 암조건에서 생체중 값이 유의적으로 높았지만 처리 종료일인 7일째에는 광조건에서 생체중이 약 1.12배 유의적으로 증대되었다. 하지만 홍빛 열무 그리고 무 새싹의 건물중에는 모든 처리 일수에서 대부분 유의적인 차이가 없었으며 처리 종료일인 7일째에는 모두 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

다양한 작물의 종자의 발아에서 광의 유무는 식물의 생육과 발달에 영향을 미친다(Mérai 등, 2019). 어떠한 종자는 발아를 위해 광이 필요하지만 어떠한 종자는 광을 필요로 하지 않는다(de Jong 등, 2013). 일반적으로 십자화과 종자는 암 상태, 고온 다습 조건 하에서 100%에 가까운 발아율을 보인다(Landbo와 Jørgensen, 1997; Naeem 등, 2009). 알팔파 종자 또한 암조건에서 발아시켜 새싹을 재배한 여러 연구들이 보고되었다(Yacoubi 등, 2013; Janicki 등, 2005). 이러한 연구 결과들을 토대로, 십자화과 채소인 케일, 다채, 브로콜리, 적양배추 그리고 콩과 작물인 알팔파는 암조건에서 발아가 빠르게 진행되어 광조건보다 생체중이 급격히 증대되었을 가능성이

존재한다. 이러한 새싹 채소들의 암조건에서의 발아율 증가는 종자 발아의 광 저해 효과에 기인한 결과일 수 있다(Pons, 2000). 종자 발아의 광 억제 반응은 전통적으로 토양 표면 또는 그 근처에서 발아를 피하기 위한 생리학적 적응 반응일 수 있으며 묘목이 탈수 또는 극도로 높은 온도에 노출되는 것을 보호하는 역할을 한다(Koller 등, 1964; Thanos 등, 1991).

Raphanus 속(홍빛 열무, 무) 작물은 일반적으로 광조건에서 보다 암조건에서 발아율이 높다(Mekenian와 Willemsen 1975; Vercellino 등, 2019). 반대로 일부 무 품종의 비 휴면 종자는 어두운 조건 보다 광조건에서 더 쉽게 발아된다고 보고된 바 있다(Baskin와 Baskin, 1988). 이전 연구에 따르면, 광 환경 조건(특히, 광도)에 따라 구성 성분, 초미세구조 그리고 광합성 능력이 다른 뚜렷한 두 가지 형태의 엽록체가 생성된다(Lichtenthaler, 1979). 발아 시 종자가 약한 광(예: 음지)에 노출되면 높은 grana stacks 함량, 낮은 Hill-activity rate을 가진 shade-type 엽록체가 형성된다. 반면에, 높은 광도에 노출되는 경우 lamellar material이 적고 grana stacks이 거의 없는 sun-type 엽록체가 형성된다. 이러한 sun-type 엽록체는 더 높은 Hill-activity를 가지고 있으며 이것은 잠재적인 전자운반자 역할을 하는 prenylquinones의 수준을 향상시켜 광합성 능력을 증대시킬 수 있다. 추가적으로 8일간 무 종자를 높은 광 아래에서 발아 및 재배하였을 때 chlorophylls, carotenoids 그리고 prenylquinones의 축적이 더 많이 유도되었고 생체중 및 건물중 또한 대략 2배 정도 증대되었다(Lichtenthaler, 1979). 즉, 홍빛 열무 그리고 무 종자의 광조건에서의 성장 증진은 7일간의 재배기간 동안 발생된 광합성 능력의 증대에 의한 것일 수 있다.

2.2 광의 유무에 따른 새싹 채소별 초장 및 외형 특성

홍빛 열무와 무를 제외하고 비교적 종자 크기가 작은 케일, 다채, 브로콜리, 적양배추 그리고 알팔파는 암조건에서 초장이 유의적으로 증대되었다(Table 2). 케일, 다채, 브로콜리, 적양배추, 알팔파는 암조건에서 2.35배, 1.85배, 1.91배, 1.17배,

Table 2. Shoot length of various sprouts at 7 days after sowing.

Treatment	Shoot length (cm)						
	Red radish	Kale	Chinese kale	Alfalfa	Radish	Broccoli	Red cabbage
Light	4.1 ± 0.6 ^z	1.7 ± 0.3	2.0 ± 0.4	1.8 ± 0.3	5.2 ± 0.7	2.2 ± 0.3	1.2 ± 0.2
Dark	2.5 ± 0.5	4.0 ± 0.8	3.7 ± 0.6	4.1 ± 0.3	4.9 ± 0.8	4.2 ± 0.4	1.4 ± 0.3
Significance ^y	***	***	***	***	NS ^x	***	**

^zData are shown as mean ± standard error.

^ySignificance **p* = 0.05, ***p* = 0.01, ****p* = 0.001.

^xNS = Non Significance.

2.28배 각각 증대되었다(Table 2). 일반적으로 암조건에서 재배된 묘는 광형태형성(photomorphogenic)이 아닌 암형태형성(skotomorphogenic) 반응이 진행된다. 암형태형성 반응에는 종자 발아, 노화, 다양한 생물학적 그리고 비생물학적 요인에 대한 방어를 포함한 생리학적 특성을 제어하는 스테로이드 호르몬인 브라시노스테로이드가 관여한다. 식물체내 동화산물이 떡잎과 뿌리 발달이 아닌 배축 신장으로 분배되기 때문에 초장이 길어짐과 동시에 1차적인 뿌리 성장이 억제된다(Josse와Halliday, 2008; Vriet 등, 2013; Yamamuro 등, 2000). 광이 없는 조건에서 나타나는 암형태형성 반응에 의한 급격한 배축의 신장은 식물체가 광원을 추가적으로 받도록 하는 수단임과 동시에 토양 속에서 발아된 묘가 토양을 뚫고 지표면 위로 나오는데 있어 중요한 역할을 한다(Josse와 Halliday, 2008; Jiao 등, 2007). 이러한 이유로 암상태의 케일, 다채, 브로콜리, 적양배추 그리고 알팔파는 광을 받기 위해 급격히 초장이 증대된 것으로 판단된다.

하지만, *Raphanus* 종인 흥빛 열무의 초장은 광조건에서 4.06cm, 암조건에서는 2.51cm로 광조건에서 유의적으로 높았다. 새싹 채소들 중 가장 큰 초장 값을 나타낸 것은 무 새싹으로, 광조건에서 5.21cm를 기록했지만 암조건과 비교하여 유의적인 차이는 보이지 않았다. 이러한 결과는 생체중의 결과와 일치한다. 7일간 광에 의한 무 새싹의 초장 증대는 Sun-type 엽록체 의해 광합성 능력이 증가되어 나타난 결과일 수 있다(Lichtenthaler, 1979). 이러한 결과는 무 새싹을 8일간 4가지

의 다양한 광질의 광조건(암조건, 형광등, 적색 LED, 청색 LED)에 옮겨 주었을 때 암조건에 비해 광조건(청색 LED)에서 생체중이 유의적으로 증대된 Abdelgader 등(2015)의 결과와도 일치한다. 하지만 우리의 결과와 반대되는 결과 또한 보고되었으며 이것은 품종에 따른 반응일 수 있다(Park 등, 2013). 새싹 채소 수확 시 적절한 초장 길이는 작물의 품종에 따라 달라지며, 고품질의 새싹을 수확하는데 있어 제한적인 요인은 짧은 초장과 생육의 불균일성이라 할 수 있다. 우리의 실험에서 새싹 채소의 초장은 작게는 1.2cm에서 길게는 5.2cm 까지 다양했지만 외관상으로 보았을 때 균일함을 보였기 때문에 상업적으로 이용하는데 있어 큰 문제가 없을 것이라 생각된다.

초장 이외에도 광조건과 암조건에서 재배된 새싹을 육안으로 관찰하였을 때 색과 모양에서 뚜렷한 차이를 보였다(Figs. 3와 4). 전반적으로 광조건에서 재배된 새싹은 녹색을 암조건에서는 황색을 띠었다. 녹색 빛을 쬐 새싹 채소는 광조사에 의한 광합성 작용으로 생성된 엽록소(엽록소 a)에 의한 것이며, 황색 색소는 새싹이 엽록소를 합성하지 못하여 카로티노이드가 발현되어 나타난 결과이다(Green과 Durnford, 1996). 하지만 적양배추는 광조건에서 검붉은 색을 암조건에서는 분홍색을 띠었는데, 이러한 결과는 식물 세포 내 안토시아닌 생합성 정도의 차이에 의한 것일 수 있다. 식물 조직에서 안토시아닌의 생합성은 빛에 의존적이며 광에 노출된 시간이 증가될수록 그 발현이 강화된다(Mancinelli, 1985). 일반적으로 안토시아닌은 가시광선(290-750nm)에 장기간 노출되었을 때



Fig. 3. Various sprouts grown under a growth chamber with LEDs.

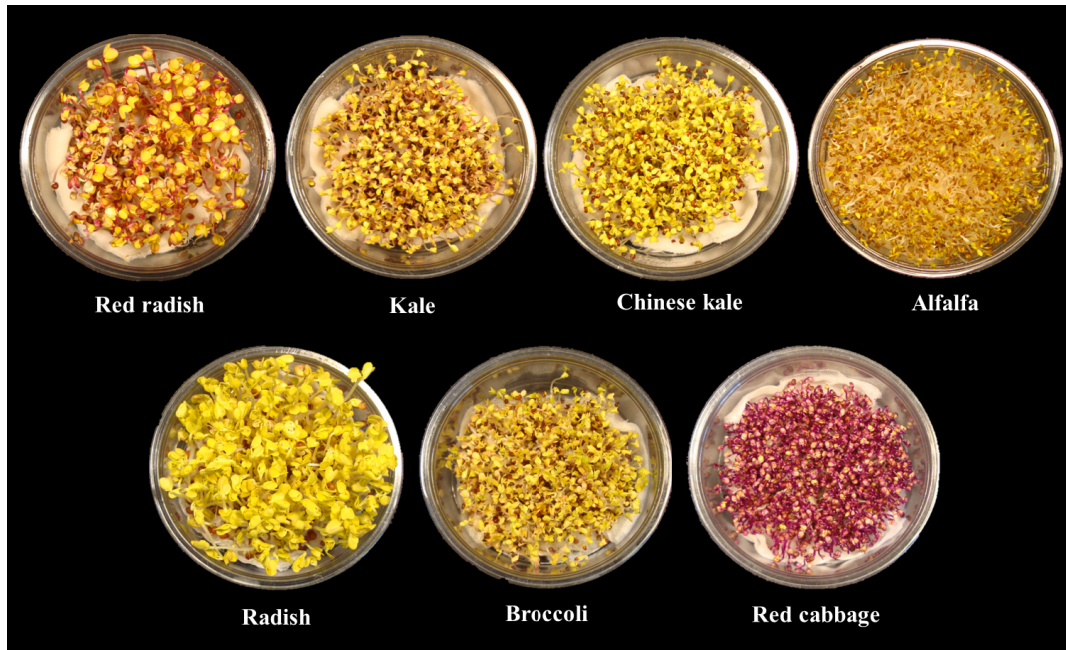


Fig. 4. Various sprouts grown under a growth chamber with dark conditions.

안토시아닌 생합성과 관련된 유전자 발현이 자극되어 색소가 발현된다(Mancinelli, 1985). 이러한 이유로 광조건에서는 광의존성 안토시아닌의 합성으로 어두운 자색을 나타내었고, 암조건에서는 안토시아닌이 발현될 만큼의 광이 조사되지 않아 분홍빛을 띤 것으로 생각된다(Boo와 Lee, 1999).

3. 광의 유무가 7가지 새싹 채소의 생리활성 화합물 함량에 미치는 영향

3.1 십자화과 채소 및 알팔파의 총 페놀 함량과 항산화도
광조건과 암조건 하에서 재배된 다양한 새싹 채소의 총 페놀 함량 그리고 항산화도는 종에 따라 서로 다른 반응을 나타냈다(Fig. 5). 파종 후 4일째 광조건에서 재배된 십자화과 새싹 채소(케일, 다채, 브로콜리, 적양배추)의 총 페놀 함량이 가장 높다가 시간이 지남에 따라 점차 감소하는 경향을 보였다. 알팔파는 파종 후 4일째에서 6일째까지는 십자화과 품종과 비슷하게 광조건에서 총 페놀 함량이 감소하는 경향을 보이다가 처리 종료일인 7일째에 급격히 높아졌다. 항산화도 또한 총 페놀 함량과 비슷한 경향을 보였다. 십자화과 및 콩과 작물 새싹은 총 페놀 함량과 마찬가지로 모두 광조건에서 항산화도가 높았다. 십자화과 채소는 총 페놀 함량과 비슷하게 파종 후 4일째에 광조건에서 가장 높은 항산화도를 보였다가 시간이 지나면서 점차 감소하였다. 하지만 케일은 파종 후 4일째 보다 5일째에 더 높은 항산화도를 기록하였다. 알팔파는 총 페놀 함

량과 비슷한 경향을 보이긴 했지만 생육 전기간 동안 거의 비슷한 함량을 보였다.

본 실험의 결과는 십자화과 종인 브로콜리와 콩 새싹에 광과 암처리를 해 주었을 때 광조건(형광등, 적색, 청색, 황색, UV-B) 아래에서 총 페놀 함량, 항산화도, 비타민 C 등과 같은 생리활성 물질 함량이 더 높아진 이전 연구 결과와 일치한다(Chen와 Chang, 2015; Jiao 등, 2016; Liu 등, 2016; Pérez-Balibrea 등, 2008; Yuan 등, 2015). 발아하는 동안 흡수된 광은 새싹 채소의 페놀 화합물의 합성에 관여하는 malonyl-CoA pathway의 경로를 촉진하여 총 페놀 함량을 증대시킨다(Kim 등, 2006). 또한, 광은 flavonoids를 포함한 다양한 극성 이차 대사산물의 함량을 증가시킬 수 있으며(Maldini 등, 2015), 이러한 화합물들은 건강 증진에 도움이 되는 매우 강력한 항산화 능력을 갖고 있다(Gorelik 등 2005; Hollman와 Katan, 1999; Plumb 등, 1997). 이전 연구 결과에 따르면 높은 광자 에너지를 가진 청색광과 UV-A 광 조사가 케일과 바질에서 총 페놀 함량을 증대시켰다(Bian 등, 2018; Smith 등, 2017). 또한 녹색광 또한 상추의 비타민 C, 안토시아닌 그리고 총 페놀 함량을 증대시켰다(Samuoliene 등, 2012). 따라서 우리가 사용한 LED 광원에서 녹색광과 청색광이 새싹 채소의 총 페놀 함량과 항산화도의 함량 증대를 유도했을 가능성이 존재한다.

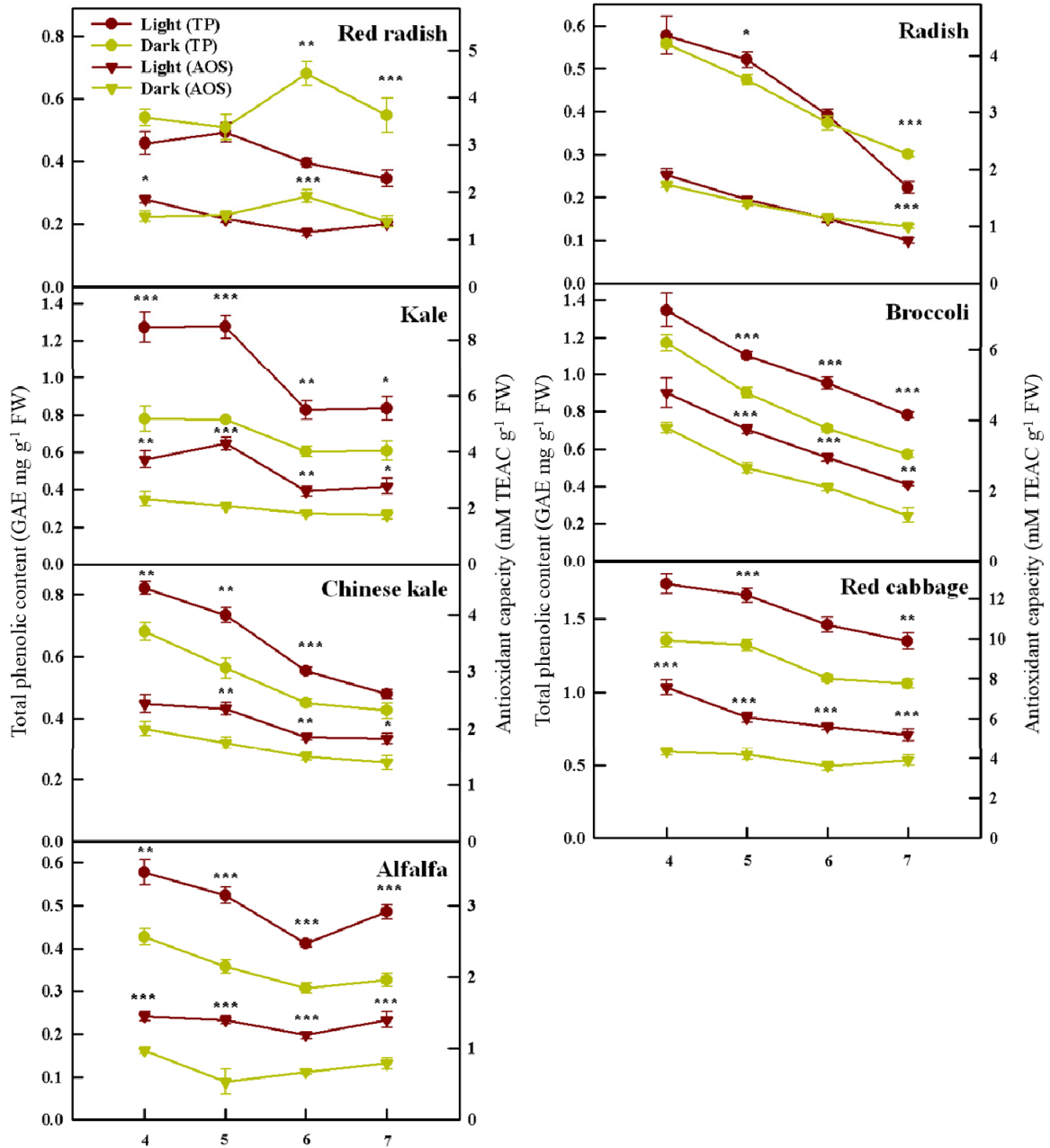


Fig. 5. Total phenolic content (circles) and antioxidant capacity (inverted triangles) of various sprouts at 4, 5, 6, and 7 days after sowing. Significant at * $p=0.05$, ** $p=0.01$, *** $p=0.001$.

3.2 흥빛 열무 및 무의 총 페놀 함량과 항산화도

Raphanus 속인 흥빛 열무와 무는 생육과 비슷하게 서로 다른 경향을 나타냈다. 흥빛 열무는 전 생육 기간 동안 암조건에서 총 페놀 함량이 높았다. 파종 후 5일째까지는 유의적인 차이를 보이지 않다가 파종 후 6일과 7일째에서는 암조건에서

그 값이 유의적으로 증대되었다. 무는 파종 후 6일째까지는 광조건에서 총 페놀 함량이 수치적으로 높다가 처리 종료일인 7일째엔 암조건에서 값이 유의적으로 증가하였다. 흥빛 열무와 무의 항산화도 결과는 총 페놀 함량과 거의 유사한 경향을 보였다.

이러한 광 유무에 따른 생리활성 물질 함량에 대한 결과는 McGregor(1988)와 Mastropasqua 등(2020)의 연구 결과와 일치한다. 일반적으로 무 새싹은 다른 새싹 채소와 비교하여 상당히 많은 양의 글루코시놀레이트 함량을 함유한다(Fenwick 등, 1983). 이전 연구에 따르면 광조건에서 발아된 새싹은 암조건에서 발아된 새싹(5, 6, 7일)과 비교하였을 때 전체 글루코시놀레이트가 품종에 따라 30 - 70%까지 감소됨이 보고되었다(Mastropasqua 등, 2020). 또한, 암조건과 광조건에서 발아된 병아리콩 새싹의 비타민 C의 함량을 분석한 Riddoch 등(1998)의 논문에서도 완전한 암조건에서 5일간 자란 새싹에서 그 함량이 증대되었다. 다양한 품종의 완두콩을 암조건에서 재배하였을 때 종자 크기가 비교적 큰 품종에서 발아 7일째에 총 isoflavone, 총 페놀 함량 그리고 항산화도가 광처리구에 비하여 유의적으로 증대되었다(Eum 등, 2020). 하지만 우리의 결과와 반대되는 연구 결과들 또한 보고되었으며 이러한 차이는 품종 또는 광 처리의 강도와 지속 시간에 기인한 결과일 수 있다(Castillejo 등, 2021; Eum 등, 2020).

홍빛 열무를 제외하고 대부분의 새싹 채소의 생리활성 물질은 대체적으로 생육 초반에 높은 값을 가지다가 점차 감소하였다. 광조건의 경우에는 광조건에서 발아되는 동안 새로운 화합물이 합성되었을 가능성이 존재한다. 이러한 발아 일수 경과에 따른 생리활성 물질 함량의 감소는 이전 연구에서도 보고되었다(Oh와 Rajashekar, 2009). 이러한 생리활성 물질의 하향 조절은 생육의 급격한 증대에 의한 희석 효과일 수 있으며(Pérez-Balibrea 등, 2008), 또는 생육 단계에 따른 식물 생리활성 화합물의 변화에 의한 것일 수 있다(Vogt와 Gul, 1994).

결 론

광·암조건 아래에서 발아된 7가지 새싹 채소는 생육과 생리활성 물질 사이에서 서로 다른 반응을 보였다. 생육면에서는 비교적 종자 크기가 작은 케일, 다채, 브로콜리, 적양배추와 알팔파는 암조건에서 생체중이 유의적으로 높았고, *Raphanus* 속인 홍빛 열무와 무는 광조건에서 생체중이 유의적으로 증대되었다. 생리활성 물질 함량 면에서는 케일, 다채, 브로콜리, 적양배추와 알팔파는 총 페놀 함량 그리고 항산화도가 광조건에서 모두 높았고 *Raphanus* 속인 홍빛 열무와 무는 암조건에서 생리활성 화합물의 함량이 유의적으로 증대되었다. 전반적으로 새싹 채소의 생육과 생리활성 화합물 함량 사이에서는 반 비례적인 관계가 관찰되었다.

하지만 몇몇 생육기간에서는 생육과 관계하여 음의 상관관계가 나타나지 않았다. 그 중 하나인 홍빛 열무는 파종 후 5일

째 광조건 암조건의 생체중을 보면 광조건 107.8(mg/sprout), 암조건 79.4(mg/sprout)로 생체중 값에서 큰 차이를 보였다. 하지만 생리활성 물질 함량은 광조건과 암조건에서 비슷한 함량을 나타냈다. 이것을 보아 홍빛 열무는 광조건 아래에서 파종 후 5일째 수확한다면 생육과 생리활성 물질 함량 모두 좋은 새싹 채소를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 케일의 경우엔 파종 후 5일째에, 광조건 18.3(mg/sprout), 암조건 21.8(mg/sprout)로 생체중 값에 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 생리활성 물질 함량에서는 광조건 아래에서 값이 상대적으로 더 높았기 때문에(대략 2배 이상 증대), 광조건 아래에서 파종 후 5일째에 수확한다면 고품질의 새싹 채소를 수확할 수 있을 것이다. 추가적으로 다채, 알팔파, 브로콜리, 적양배추 또한 파종 후 4일째에는 광조건 암조건 사이에서 생체중이 유의적인 차이를 보이지 않지만 생리활성 물질 함량 면에서는 광조건에서 더 큰 값을 나타내어 파종 후 4일째 수확한다면 고품질의 최종 산물을 얻을 수 있다.

본 실험을 통해 발아 시 광의 유무에 따라 다양한 새싹 채소의 생육 그리고 생리활성 물질 함량 특성이 변할 수 있음을 확인하였다. 우리의 연구 결과는 고품질의 새싹 채소를 재배하기 위한 기초적인 정보를 제공하며 적절한 수확 시기의 결정은 고품질의 새싹 채소 생산을 위한 좋은 접근법이 될 수 있음을 보여준다.

적 요

최근, 소비자들이 건강관리에 대한 관심과 중요도가 높아짐에 따라 화학적인 농약을 사용하지 않은 유기농 천연 식품을 선호하게 되었다. 새싹 채소는 건강증진과 암, 심혈관질환 등의 질병을 예방하는 효과가 있어, 고기능성이고 안전한 식품인 새싹 채소의 소비가 크게 증가하고 있는 추세이다. 이 연구의 목적은 여러가지 새싹 채소 7종의 생육 그리고 생리활성 물질 함량에 대한 광의 영향을 조사하는 것이다. 새싹 채소용 케일, 다채, 브로콜리, 적양배추, 알팔파, 홍빛 열무 그리고 무 종자를 파종한 뒤 새싹들을 광조건(20°C, RGB 6:1:3, 130 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 12시간 광주기), 암조건 아래에서 각각 7일간 재배하였다. 처리 후 4일째부터 7일째까지 1일 간격으로 샘플을 채취하였고 생체중과 건물중, 초장, 총 페놀 함량, 항산화도를 측정하였다. *Brassica* 종(케일, 다채, 브로콜리, 적양배추)과 *Medicago* 종(알팔파)은 암조건에서 생체중 값이 유의적으로 높았지만 생리활성 물질 함량은 광조건에서 유의적으로 증대되었다. 이에 반해 *Raphanus* 속(홍빛 열무, 무)는 광조건에서 생체중이 유의적으로 증대되었지만 생리활성 물질 함량은 암조건에서 유의적으로 높은 값을 나타내었다. 다양한 새싹 채

소의 생육과 생리활성 물질 함량 사이에서 음의 상관관계가 관찰되었다. 본 연구는 다양한 새싹 채소의 생육 및 영양학적 가치에 대한 광의 영향을 확인하였고 고품질의 새싹 채소를 생산하는데 있어 수확시기의 중요성을 강조한다.

추가주제어: 십자화과, 콩과, 무속, 파이토케미컬, 발아, 침지

사 사

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(421033-4).

Literature Cited

AbdElgader A., S. Aiemia-Or, C. Wongs-Aree, P. Jitareerat, and A. Uthairatanakij 2015, Effect of LED lighting on the quality of radish sprout. *Agric Sci* 46:888-891.

Aguilera Y., M.F. Díaz, T. Jiménez, V. Benítez, T. Herrera, C. Cuadrado, M. Martín-Pedrosa, and M.A. Martín-Cabrejas 2013, Changes in nonnutritional factors and antioxidant activity during germination of nonconventional legumes. *J Agric Food Chem* 61:8120-8125. doi:10.1021/jf4022652

Ainsworth E.A., and K.M. Gillespie 2007, Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nat Protoc* 2:875-877. doi:10.1038/nprot.2007.102

Ampofo J.O., and M. Ngadi 2021, Stimulation of the phenylpropanoid pathway and antioxidant capacities by biotic and abiotic elicitation strategies in common bean (*Phaseolus vulgaris*) sprouts. *Proc Biochem* 100:98-106. doi:10.1016/j.procbio.2020.09.027

Baskin J.M., and C.C. Baskin 1989, Role of temperature in regulating timing of germination in soil seed reserves of *Thlaspi arvense* L. *Weed Res* 29:317-326. doi:10.1111/j.1365-3180.1989.tb01301.x

Bian Z., R. Cheng, Y. Wang, Q. Yang, and C. Lu 2018, Effect of green light on nitrate reduction and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) under short-term continuous light from red and blue light-emitting diodes. *Environ Exp Bot* 2018, 153:63-71, doi:10.1016/j.envexpbot.2018.05.010

Boo H.O., and B.Y. Lee 1999, Effect of light on the biosynthesis of anthocyanin in *Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra* L. *Kor J Soc Hort Sci* 40:322-326.

Cáceres P.J., C. Martínez-Villaluenga, L. Amigo, and J. Frias 2014, Maximising the phytochemical content and antioxidant

activity of Ecuadorian brown rice sprouts through optimal germination conditions. *Food Chem* 152:407-414. doi:10.1016/j.foodchem.2013.11.156

Castillejo N., L. Martínez-Zamora, P.A. Gómez, G. Pennisi, A. Crepaldi, J.A. Fernández, and F. Artés-Hernández 2021, Postharvest LED lighting: effect of red, blue and far red on quality of minimally processed broccoli sprouts. *J Sci Food Agric* 101:44-53. doi:10.1002/jsfa.10820

Chen Y., and S.K.C. Chang 2015, Macronutrients, phytochemicals, and antioxidant activity of soybean sprout germinated with or without light exposure. *J Food Sci* 80:S1391-S1398. doi:10.1111/1750-3841.12868

de Jong T.J., M.T. Isanta, and E. Hesse 2013, Comparison of the crop species *Brassica napus* and wild *B. rapa*: characteristics relevant for building up a persistent seed bank in the soil. *Seed Sci Res* 23:169-179. doi:10.1017/s0960258513000159

Di Gioia F., M. Renna, and P. Santamaria 2017, Sprouts, microgreens and “baby leaf” vegetables. In *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables* pp. 403-432. Springer, Boston, MA.

Eum H.L., Y. Park, T.G. Yi, J.W. Lee, K.S. Ha, I.Y. Choi, and N.I. Park 2020, Effect of germination environment on the biochemical compounds and anti-inflammatory properties of soybean cultivars. *PLoS One* 15:e0232159. doi:10.1371/journal.pone.0232159

Fei H., Y. Ferhatoglu, E. Tsang, D. Huang, and A.J. Cutler 2009, Metabolic and hormonal processes associated with the induction of secondary dormancy in *Brassica napus* seeds. *Bot* 87:585-596. doi:10.1139/b09-022

Fenwick G.R., R.K. Heaney, and W.J. Mullin 1983, Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants. *Crit Rev Food Sci Nutr* 18:123-194. doi:10.1016/0308-8146(83)90074-2

Frankland B., and R. Taylorson 1983, Light control of seed germination. In *Photomorphogenesis*. pp. 428-456. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-68918-5_17

Gorelik S., T. Lapidot, I. Shaham, R. Granit, M. Ligumsky, R. Kohen, and J. Kanner 2005, Lipid peroxidation and coupled vitamin oxidation in simulated and human gastric fluid inhibited by dietary polyphenols: Health implications. *J Agric Food Chem* 53:3397-3402. doi:10.1021/jf040401

Green B.R., and D.G. Durnford 1996, The chlorophyll-carotenoid proteins of oxygenic photosynthesis. *Annu Rev Plant Biol* 47:685-714.

Guo X., T. Li, K. Tang, and R.H. Liu 2012, Effect of germination on phytochemical profiles and antioxidant activity of mung bean sprouts (*Vigna radiata*). *J Agric Food Chem* 60:11050-11055. doi:10.1021/jf304443u

Hilhorst H.W. 1995, A critical update on seed dormancy. I. Primary dormancy. *Seed Sci Res* 5:61-73. doi:10.1017/s0960258500002634

- Hoang H.H., C. Bailly, F. Corbineau, and J. Leymarie 2013, Induction of secondary dormancy by hypoxia in barley grains and its hormonal regulation. *J Exp Bot* 64:2017-2025. doi:10.1093/jxb/ert062
- Hollman P.C.H., and M. Katan 1999, Dietary flavonoids: Intake, health effects and bioavailability. *Food Chem Toxicol* 37:37-942. doi:10.1016/s0278-6915(99)00079-4
- Janicki B., B. Kupcewicz, A. Napierała, and A. Mądzielewska 2005, Effect of temperature and light (UV, IR) on flavonol content in radish and alfalfa sprouts. *Folia Biologica* 53:121-125. doi:10.3409/173491605775789272
- Jiao C., R. Yang, Y. Zhou, and Z. Gu 2016, Nitric oxide mediates isoflavone accumulation and the antioxidant system enhancement in soybean sprouts. *Food Chem* 204:373-380, doi:10.1016/j.foodchem.2016.02.147
- Jiao Y., O.S. Lau and X.W. Deng 2007, Light-regulated transcriptional networks in higher plants. *Nature Rev Genet* 8:217-230. doi:10.1038/nrg2049
- Josse E.M., and K.J. Halliday 2008, Skotomorphogenesis: the dark side of light signalling. *Current Biol* 18:R1144-R1146. doi:10.1016/j.cub.2008.10.034
- Jung C.H. 2007, Study of growth character and storage for functional sprouts vegetables. MS thesis. Kangwon National Univ. Chuncheon.
- Kim E.H., S.H. Kim, J.I. Chung, H.Y. Choi, J.A. Kim, and I.M. Chung 2006, Analysis of phenolic compounds and isoflavones in soybean seeds (*Glycine max* (L.) Merrill) and sprouts grown under different conditions. *Eur Food Res Technol* 222:201-208. doi:10.1007/s00217-005-0153-4
- Koller D., M. Sachs, and M. Negbi 1964, Spectral sensitivity of seed germination in *Artemisia monosperma*. *Plant Cell Physio* 5:79-84. doi:10.1093/oxfordjournals.pcp.a079026
- Landbo L., and J.B. Jørgensen 1997, Seed germination in weedy *Brassica campestris* and its hybrids with *B. napus*: implications for risk assessment of transgenic oilseed rape. *Euphytica* 97:209-216.
- Lechowska K., S. Kubala, Ł. Wojtyła, G. Nowaczyk, M. Quinet, S. Lutts, and M. Garmczarska 2019, New insight on water status in germinating *Brassica napus* seeds in relation to priming-improved germination. *Int J Mole Sci* 20:540. doi:10.3390/ijms20030540
- Lee S.H., C.S. Kim, S.S. Lee, and S.E. Jun 2007, Consumer confidence improving agricultural products. Seoul:Future Agric Policy Res Institute.
- Lichtenthaler H.K. 1979, Effect of biocides on the development of the photosynthetic apparatus of radish seedlings grown under strong and weak light conditions. *Zeitschrift für Naturforschung* 34:936-940. doi:10.1515/znc-1979-1110
- Liu H., Y. Chen, T. Hu, S. Zhang, Y. Zhang, T. Zhao, H. Yu, and Y. Kang 2016, The influence of light-emitting diodes on the phenolic compounds and antioxidant activities in pea sprouts. *J Function Food* 25:459-465. doi:10.1016/j.jff.2016.06.028
- Lucy J.R., S.J. Gro, K.G. Bjorn, and L. Semir 2002, Microbiological analysis of seed sprouts in Norway. *Int J Food Microbiol* 75:119-126. doi:10.1016/s0168-1605(01)00738-3
- Luo Y.W., W.H. Xie, X.X. Jin, Q. Wang, and Y.J. He 2014, Effects of germination on iron, zinc, calcium, manganese, and copper availability from cereals and legumes. *CyTA-J Food* 12:22-26. doi:10.1080/19476337.2013.782071
- Maldini M., F. Natella, S. Baima, G. Morelli, C. Scaccini, J. Langridge, and G. Astarita 2015, Untargeted metabolomics reveals predominant alterations in lipid metabolism following light exposure in broccoli sprouts. *Int J Mole Sci* 16:13678-13691. doi:10.3390/ijms160613678
- Mancinelli A.L. 1985, Light dependent anthocyanin synthesis: A model system for the study of plant photomorphogenesis. *Bot Rev* 51:107-157. doi:10.1007/bf02861059
- Mastropasqua L., N. Dipierro, and C. Paciolla 2020, Effects of darkness and light spectra on nutrients and pigments in radish, soybean, mung bean and pumpkin sprouts. *Antioxidants* 9:558. doi:10.3390/antiox9060558
- McGregor D.I. 1988, Glucosinolate content of developing rapeseed (*Brassica napus* L. "Midas") seedlings. *Can J Plant Sci* 68:367-380. doi:10.4141/cjps88-048
- Mekenian M.R., and R.W. Willemsen 1975, Germination characteristics of *Raphanus raphanistrum*. L. Laboratory studies. *Bulletin Torrey Bot Club* 1975:243-252. doi:10.2307/2484141
- Mérai Z., K. Graeber, P. Wilhelmsson, K.K. Ullrich, W. Arshad, C. Grosche, D. Tarkowská, V. Turečková, M. Strnad, S. A-Rensing, G. Leubner-Metzger, and O. Mittelsten Scheid 2019, *Aethionema arabicum*: a novel model plant to study the light control of seed germination. *J Exp Bot* 70:3313-3328. doi:10.1093/jxb/erz146
- Miller N.J., and C.A. Rice-Evans 1996, Spectrophotometric determination of antioxidant activity. *Redox Rpt* 2:161-171. doi:10.1080/13510002.1996.11747044
- Naeem M.S., D. Liu, R. Raziuddin, G.L. Wan, G.X. Tang, and W.J. Zhou 2009, Seed dormancy and viability. pp 151-176 in Gupta, S.K. (Ed.) *Biology and breeding of crucifers*. Boca Raton, CRC Press.
- Oh M.-M., and C.B. Rajashekar 2009, Antioxidant content of edible sprouts: effect of environmental shocks. *J Sci Food Agric* 89:2221-2227. doi:10.1002/jsfa.3711
- Park W.T., Y.B. Kim, J.M. Seo, S.J. Kim, E. Chung, J.H. Lee, and S.U. Park 2013, Accumulation of anthocyanin and associated gene expression in radish sprouts exposed to light and methyl jasmonate. *J Agric Food Chem* 61:4127-4132. doi:10.1021/jf400164g
- Pekrun C., P.J.W. Lutman, and K. Baeumer 1997, Induction of secondary dormancy in rape seeds (*Brassica napus* L.) by prolonged imbibition under conditions of water stress or oxygen deficiency in darkness. *Eur J Agronomic* 6:245-255. doi:10.1016/s1161-0301(96)02051-5

- Pérez-Balibrea S., D.A. Moreno, and C. García-Viguera 2008, Influence of light on health-promoting phytochemicals of broccoli sprouts. *J Sci Food Agric* 88:904-910. doi:10.1002/jsfa.3169
- Plumb G.W., K.R. Price, M.J. Modes, and G. Williamson 1997, Antioxidant properties of the major polyphenolic compounds in broccoli. *Free Radic Res* 27:429-435. doi:10.3109/10715769709065782
- Pons T.L. 2000, Seed responses to light. In: *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd edn (ed. M Fenner), 237-260. CAB International, Wallingford.
- Riddoch C.H., C.F. Mills, and G.G. Duthie 1998, An evaluation of germinating beans as a source of vitamin C in refugee foods. *European J Clinical Nut* 52:115-118. doi:10.1038/sj.ejcn.1600524
- Šamec D., and B. Salopek-Sondi 2019, Cruciferous (*Brassicaceae*) vegetables. In *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements*; Nabavi, S.M., Sanches Silva, T., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp 195-202.
- Samuolienė G., R. Sirtautas, A. Brazaitytė, and P. Duchovskis 2012, LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. *Food Chem* 134:1494-1499. doi:10.1016/j.foodchem.2012.03.061
- Smith H.L., L. McAusland, and E.H. Murchie 2017, Don't ignore the green light: exploring diverse roles in plant processes. *J Exp Bot* 68:2099-2110. doi:10.1093/jxb/erx098
- Świeca M., U. Gawlik-Dziki, D. Kowalczyk, and U. Złotek 2012, Impact of germination time and type of illumination on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of *Lens culinaris* sprouts. *Scientia Horticulturae* 140:87-95. doi:10.1016/j.scienta.2012.04.005
- Tarasevičienė Ž., H. Danilčenko, E. Jariene, A. Paulauskienė, and M. Gajewski 2009, Changes in some chemical components during germination of broccoli seeds. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37:173-176.
- Thanos C.A., K. Georgiou, D.J. Douma, and C.J. Marangaki 1991, Photoinhibition of seed germination in Mediterranean maritime plants. *Annals Bot* 68:469-475. doi:10.1093/oxfordjournals.aob.a088280
- Vale A.P., J. Santos, N.V. Brito, V. Peixoto, R. Carvalho, E. Rosa, and M.B.P. Oliveira 2015, Light influence in the nutritional composition of *Brassica oleracea* sprouts. *Food Chem* 178:292-300. doi:10.1016/j.foodchem.2015.01.064
- Vercellino R.B., C.E. Pandolfo, A. Cerrota, M. Cantamutto, and A. Presotto 2019, The roles of light and pericarp on seed dormancy and germination in feral *Raphanus sativus* (*Brassicaceae*). *Weed Res* 59:396-406. doi:10.1111/wre.12377
- Vogt T., and P.G. Gul 1994, Accumulation of flavonoids during leaf development in *Cistus laurifolius*. *Phytochem* 36:591-597. doi:10.1016/S0031-9422(00)89780-0
- Vriet C., E. Russinova, and C. Reuzeau 2013, From squalene to brassinosteroid: the steroid metabolic and signaling pathways across the plant kingdom. *Mol Plant* 6:1738-1757. doi:10.1093/mp/sst096
- Woolley J.T., and E.W. Stoller 1978, Light penetration and light-induced seed germination in soil. *Plant Physiol* 61:597-600. doi:10.1104/pp.61.4.597
- Yacoubi R., C. Job, M. Belghazi, W. Chaibi, and D. Job 2013, Proteomic analysis of the enhancement of seed vigour in osmoprimed alfalfa seeds germinated under salinity stress. *Seed Sci Res* 23:99-110. doi:10.1017/s0960258513000093
- Yamamuro C., Y. Ihara, X. Wu, T. Noguchi, S. Fujioka, S. Takatsuto, M. Ashikari, H. Kitano, and M. Matsuoka 2000, Loss of function of a rice brassinosteroid insensitive1 homolog prevents internode elongation and bending of the lamina joint. *Plant Cell* 12:1591-1605. doi:10.1105/tpc.12.9.1591
- Yuan M., X. Jia, C. Ding, H. Zeng, L. Du, S. Yuan, Z. Zhang, Q. Wu, C. Hu, and J. Liu 2015, Effect of fluorescence light on phenolic compounds and antioxidant activities of soybeans (*Glycine max* L. Merrill) during germination. *Food Sci Biotechnol* 24:1859-1865. doi:10.1007/s10068-015-0243-4