

Effect of postharvest LED lighting in the phenolic content and scavenging free radicals in broccoli sprouts

Efecto de una iluminación LED postrecolección en el contenido de compuestos fenólicos y radicales libres de germinados de brócoli

N. Castillejo^{1,2*}, L. Martínez-Zamora^{1,2}, P.A. Gómez², J.L. Pedreño-Molina³, F. Artés^{1,2}, F. Artés-Hernández^{1,2}

¹Grupo de Postrecolección y Refrigeración, Departamento de Ingeniería Agronómica, ETSIA, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena. Murcia. Spain.

²Instituto de Biotecnología Vegetal, Edificio I+D+I, Universidad Politécnica de Cartagena, Campus Muralla del Mar, 30202 Cartagena, Murcia. Spain.

³Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, ETSIT, Universidad Politécnica de Cartagena, Campus Muralla del Mar, 30202 Cartagena, Murcia. Spain.

*noelia.castillejo@upct.es

Abstract

The objective was to evaluate phytochemical content changes in minimally processed broccoli sprouts illuminated for 15 days at 5°C with white, blue, green, red and far red LEDs. darkness and fluorescent light (FL) were used as controls. Sprouts under white, blue, green, red, and far red LED lighting improved the free radical scavenging after 8 days at 5°C by 61, 58, 54, 68, and 36%, respectively, compared to darkness. All LED treatments maintained these increases in the percentage of radical scavenging after 15 days at 5°C. Such results agree with the increase in phenolic compounds, where sprouts illuminated with LEDs for 15 days at 5°C showed an increase compared to FL and darkness. In conclusion, our results suggest that minimally processed sprouts can benefit from LED illumination during their shelf life in terms of their nutraceutical compounds, especially under red illumination.

Keywords: *Brassicaceae*; bioactive compounds; sinapic acid; shelf life.

Resumen

El objetivo fue evaluar el contenido de compuestos fitoquímicos en brotes de brócoli mínimamente procesados iluminados durante 15 días a 5°C con LEDs blancas, azules, verdes, rojas y rojas lejanas. Se utilizaron tratamientos de oscuridad y luz Fluorescente como controles. Los germinados bajo iluminación LED blanca, azul, verde, roja y roja lejana mejoraron la captación de radicales libres tras 8 días a 5°C en un 61, 58, 54, 68 y 36%, respectivamente, en comparación con la oscuridad. Todos los tratamientos LED mantuvieron dichos incrementos en el porcentaje de captación de radicales tras 15 días a 5°C. Estos resultados están en concordancia con el aumento de los compuestos fenólicos, en los que los brotes iluminados con LEDs durante 15 días a 5°C mostraron un aumento respecto a la luz fluorescente y la oscuridad. En conclusión, nuestros resultados sugieren que los germinados mínimamente procesados pueden beneficiarse de la iluminación LED durante su vida útil en términos de sus compuestos nutracéuticos, especialmente bajo iluminación roja.

Palabras clave: *Brassicaceae*; compuestos bioactivos; ácido sinápico; vida útil.

1. INTRODUCCIÓN

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), es un reconocido alimento nutritivo rico en antioxidantes naturales, incluyendo vitaminas, minerales, glucosinolatos, isotiocianatos y compuestos fenólicos (1). Los brotes y los microgreens de brócoli se valoran como alimentos nutraceuticos y funcionales por mayor contenido en compuestos bioactivos con alto potencial antioxidante, antiinflamatorio y anticancerígeno, en comparación con la planta adulta (2,3). En los últimos años, se ha sugerido el uso de luz artificial durante el almacenamiento como una forma de preservar o incluso mejorar las propiedades nutricionales de los productos hortícolas (1,4). Además, luces LED son caracterizadas por su limitada disipación térmica, sus bajos requisitos energéticos y la posibilidad de personalizar con precisión la intensidad de la luz y las propiedades espectrales (5). El objetivo del presente estudio fue evaluar el contenido de compuestos fitoquímicos en germinados de brócoli mínimamente procesados cultivados bajo un fotoperiodo de 16 h de luz + 8 h de oscuridad que fueron iluminados tras su recolección con LEDs blancas, azules, verdes, rojas y rojas lejanas durante 15 días a 5°C.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), adquiridas en Intersemillas S.A. (Valencia, Spain), fueron sumergidas en agua durante 12 h y se germinaron según Castillejo et al. (1). Los 3 primeros días permanecieron en oscuridad a 25°C para favorecer el inicio de la germinación. Posteriormente, estuvieron 7 días bajo un fotoperiodo de luz/oscuridad de 16 h / 8 h. Tras los 10 días de germinación, los germinados fueron recolectados y procesados mínimamente, realizando su desinfección con 100 ppm de hipoclorito sódico. Se envasaron bajo atmósfera modificada mediante un film de polipropileno orientado de 40 µm (Plásticos del Segura SL, Murcia; permeabilidad a 23°C y 0% HR fue 800 cm³ m⁻² d⁻¹ atm⁻¹ para ambos gases O₂ y CO₂) y se dispusieron para su vida comercial a 5°C bajo diferentes luces LED (blanco, azul, verde, rojo y rojo lejano). Como controles se utilizaron luz fluorescente y oscuridad. Los días de muestreo fueron a los 0 (recolección), 4, 8 y 15 días de conservación a 5°C.

2.1 Porcentaje de captación de radicales libres

La capacidad antioxidante total (CAT) fue analizada por espectrofotometría siguiendo los métodos de DPPH y ABTS (1). El porcentaje de captación de radicales libres fue calculado según la siguiente fórmula: $[(\text{Abs (promedio(DPPH + ABTS))} - \text{Abs Muestra}) / \text{Abs promedio(DPPH + ABTS)}] \times 100$.

2.2 Contenido de fenoles individuales

El extracto se filtró mediante filtros PTFE de 0,2 µm. El análisis y la identificación de los compuestos fenólicos individuales se realizaron según Moreira-Rodríguez et al. (2). Los ácidos fenólicos se cuantificaron como equivalentes de ácido clorogénico, ácido sinápico y ácido gálico. Los resultados se expresaron en mg kg⁻¹ de peso fresco (pf).

2.3 Análisis estadístico

El experimento fue un diseño de dos factores (tratamiento de luz × tiempo de almacenamiento) sometido a un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el SPSS 15.0 (IBM, Armonk, Nueva York, EE.UU.). La significación estadística se evaluó a $p < 0,05$, y se utilizó la prueba de rango múltiple de Tukey para separar las medias.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los germinados bajo luces LED blanca, azul, verde, roja y roja lejana mejoraron la captación de radicales libres tras 8 días a 5°C en un 61, 58, 54, 68 y 36%, respectivamente, en comparación con el tratamiento de oscuridad (Fig. 1). Además, la luz LED roja mostró el mayor porcentaje tras 8 y 15 días con respecto al resto de luces LED, incrementando el 67% tras 15 días

a 4°C con respecto a la oscuridad. Pennisi et al. (5) mostraron que combinaciones del 30% rojo y 58% azul disminuían el contenido de la CAT y fenoles totales mientras que un mayor porcentaje de luz roja (>70%) incrementó el contenido de flavonoides y fenoles totales. A partir del día 8, la iluminación LED incrementó los compuestos fenólicos individuales. Los compuestos mayoritarios fueron los derivados del ácido sinápico. La luz roja incrementó un 47% el contenido del 1,2,2-trisinapoylgentiobiose. Estos incrementos también fueron observados por Kopsell et al. (3), concluyendo que la aplicación de luces LED con un ratio azul-rojo, incluyendo un 80% de rojo, estimula las rutas metabólicas primarias y secundarias asociadas a los compuestos fenólicos.

4. CONCLUSIONES

La iluminación LED incrementó los compuestos fenólicos individuales. Además, los germinados conservados bajo luces rojas obtuvieron un mayor porcentaje de captación de radicales libres, mejorando sus compuestos nutraceuticos.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la financiación a la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia a través del Programa Regional de Fomento de la Investigación Científica y Técnica de la Fundación Séneca-Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia (Proyecto Ref 20849/PI/18) y al Ministerio de Economía y Competitividad la concesión de un contrato predoctoral a Noelia Castillejo (FPU/04763).

6. REFERENCIAS

1. Castillejo N, Martínez-Zamora L, Gómez PA, Pennisi G, Crepaldi A, Fernández JA, et al. Postharvest LED lighting: effect of red, blue and far red on quality of minimally processed broccoli sprouts. *J Sci Food Agric*. 2021;101(1):44–53.
2. Moreira-Rodríguez M, Nair V, Benavides J, Cisneros-Zevallos L, Jacobo-Velázquez DA. UVA, UVB light doses and harvesting time differentially tailor glucosinolate and phenolic profiles in broccoli sprouts. *Molecules*. 2017;22(7):1065.
3. Kopsell DA, Sams CE, Barickman TC, Morrow RC. Sprouting broccoli accumulate higher concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting. *J Am Soc Hortic Sci*. 2014;139(4):469–77.
4. Martínez-Zamora L, Castillejo N, Artés F. Postharvest UV-B and Photoperiod with Blue + Red LEDs as Strategies to Stimulate Carotenogenesis in Bell Peppers. *Appl Sci*. 2021;11(9):3736.
5. Pennisi G, Orsini F, Blasioli S, Cellini A, Crepaldi A, Braschi I, et al. Resource use efficiency of indoor lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation as affected by red:blue ratio provided by LED lighting. *Nat Sci Reports*. 2019;9(1):1–11.

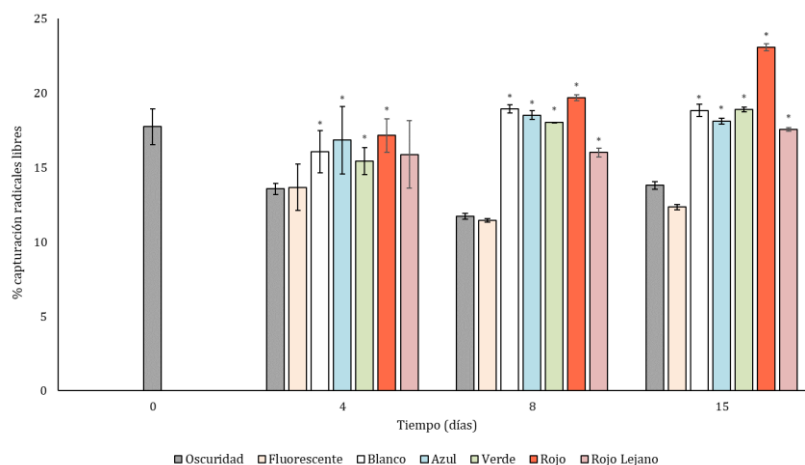


Figura 1. Porcentaje de captación de radicales libres en germinados de brócoli tras 15 días a 4°C bajo diferentes condiciones de iluminación LED, fluorescente y oscuridad.

Tabla 1. Contenido de compuestos fenólicos individuales (mg kg⁻¹ pf) de germinados de brócoli tras 15 días a 4°C bajo diferentes condiciones de iluminación LED, fluorescente y oscuridad (promedio ± desviación estándar) (n=3).

Día de análisis	Tratamientos	Ácido sinápico	1-sinapoyl-2-feruloylgentiobiose	1,2,2-trisinapoylgentiobiose	1,2-disinapoyl-1'-feruloylgentiobiose	Ácido gálico	Ácido clorogénico	Ácido neoclorogénico
Recolección		0,84 ± 0,07	3,23 ± 0,21	6,12 ± 0,81	1,19 ± 0,14	0,08 ± 0,01	3,86 ± 0,56	0,41 ± 0,05
4	Oscuridad	0,79 ± 0,08	3,37 ± 0,37	6,88 ± 1,05	1,13 ± 0,24	0,07 ± 0,01	2,74 ± 0,27	0,47 ± 0,21
	Fluorescente	0,18 ± 0,02	3,13 ± 0,38	6,18 ± 0,40	0,99 ± 0,22	0,07 ± 0,01	1,97 ± 0,25	0,43 ± 0,17
	Blanco	0,64 ± 0,10	3,75 ± 0,14	7,55 ± 0,39	1,25 ± 0,14	0,07 ± 0,05	3,01 ± 0,61	0,45 ± 0,11
	Azul	0,48 ± 0,00	2,91 ± 0,34	6,83 ± 0,35	0,97 ± 0,16	0,07 ± 0,00	3,03 ± 0,23	0,25 ± 0,09
	Verde	1,20 ± 0,13*	2,53 ± 0,02	6,27 ± 0,66	0,82 ± 0,12	0,04 ± 0,03	2,40 ± 0,53	0,32 ± 0,12
	Rojo	0,89 ± 0,04	3,59 ± 0,21	8,08 ± 1,00	1,15 ± 0,11	0,03 ± 0,04	3,20 ± 0,43	0,28 ± 0,00
	Rojo lejano	0,75 ± 0,01	3,20 ± 0,10	6,61 ± 0,21	0,95 ± 0,10	0,03 ± 0,03	3,19 ± 0,53	0,31 ± 0,10
8	Oscuridad	0,20 ± 0,01	3,07 ± 0,02	5,95 ± 0,10	1,17 ± 0,01	0,07 ± 0,00	1,73 ± 0,03	0,42 ± 0,11
	Fluorescente	0,12 ± 0,03	3,09 ± 0,39	6,11 ± 0,48	1,17 ± 0,15	0,07 ± 0,00	1,55 ± 0,25	0,30 ± 0,11
	Blanco	1,35 ± 0,06*	3,89 ± 0,33*	8,13 ± 1,07*	1,36 ± 0,13*	0,09 ± 0,01*	4,06 ± 0,49*	0,46 ± 0,05
	Azul	1,01 ± 0,34*	4,29 ± 0,58*	8,19 ± 0,30*	1,27 ± 0,25	0,06 ± 0,03	3,79 ± 0,06*	0,36 ± 0,08
	Verde	0,89 ± 0,17*	4,03 ± 0,42*	8,10 ± 0,71*	1,35 ± 0,08*	0,09 ± 0,00*	3,03 ± 0,07*	0,46 ± 0,11
	Rojo	0,78 ± 0,34*	4,12 ± 0,33*	7,96 ± 0,07*	1,38 ± 0,06*	0,08 ± 0,03	2,88 ± 0,09*	0,27 ± 0,21
	Rojo lejano	1,17 ± 0,02*	3,61 ± 0,25*	8,32 ± 0,61*	1,25 ± 0,22*	0,06 ± 0,04	3,46 ± 0,01*	0,42 ± 0,02
15	Oscuridad	0,27 ± 0,05	3,15 ± 0,31	6,12 ± 0,43	1,14 ± 0,10	0,07 ± 0,02	1,88 ± 0,60	0,31 ± 0,08
	Fluorescente	0,20 ± 0,09	3,26 ± 0,65	6,55 ± 0,69	1,07 ± 0,18	0,07 ± 0,02	1,77 ± 0,48	0,34 ± 0,02
	Blanco	0,87 ± 0,27*	4,00 ± 0,05*	7,89 ± 1,02*	1,47 ± 0,14*	0,08 ± 0,03	3,27 ± 0,27*	0,40 ± 0,08
	Azul	0,56 ± 0,11*	3,36 ± 0,15	6,42 ± 0,72	1,20 ± 0,27	0,07 ± 0,00	2,26 ± 0,09	0,35 ± 0,07
	Verde	0,87 ± 0,18*	3,27 ± 0,24	7,24 ± 0,33*	1,19 ± 0,12	0,07 ± 0,01	2,20 ± 0,56	0,39 ± 0,08
	Rojo	0,87 ± 0,27*	4,72 ± 0,27*	9,00 ± 0,48*	1,26 ± 0,07	0,10 ± 0,01*	3,03 ± 0,62	0,48 ± 0,17
	Rojo lejano	0,44 ± 0,13*	4,08 ± 0,51*	8,15 ± 0,99*	1,26 ± 0,10	0,09 ± 0,02	1,72 ± 0,14	0,45 ± 0,05

*: diferencias significativas entre tratamientos para un mismo día de análisis con respecto al tratamiento de oscuridad (p < 0,05).