

REVISIÓN DE LITERATURA

LOS CAROTENOIDES DIETÉTICOS EN EL ORGANISMO ANIMAL

Andrea Brenes-Soto¹

RESUMEN

Los compuestos carotenoides se encuentran en plantas, algas y bacterias, principalmente, y son ingeridos por los animales en sus dietas. Estos compuestos lipofílicos se dividen en carotenos y xantofilas, dependiendo de su estructura y composición molecular. Además de su función como precursores de la vitamina A y como antioxidantes, los carotenoides también se pueden depositar en varios tejidos y órganos como el ojo, hígado, músculo, piel, picos y plumas de aves, en los cuales también cumplen funciones esenciales tanto fisiológicas como de comportamiento. Adicionalmente, se sugiere que puede haber una tasa de transferencia durante la reproducción, especialmente en animales ovíparos e insectos. Los carotenoides son, en su mayoría, los responsables de la coloración roja, anaranjada, amarilla o verde que puedan mostrar algunas especies de animales tales como crustáceos, peces, aves y reptiles. Las variaciones dietéticas pueden afectar la expresión de estos colores, por lo que la nutrición es clave en la dinámica de estos compuestos en el organismo animal.

Palabras clave: carotenoides, β -carotenos, xantofilas, luteína, zeaxantina

¹Centro de Investigación en Nutrición Animal y Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Autor para correspondencia: andrea.brenessoto@ucr.ac.cr

Recibido: 11 marzo 2014

Aceptado: 14 de mayo 2014

ABSTRACT

Dietary carotenoids in the animal organism. Carotenoids can be found in plants, algae and bacteria, and are acquired by animals in their diets. These lipophilic compounds are classified in carotenes and xanthophylls, according to their chemical structure and composition. In addition to their functions as vitamin A precursors and as antioxidants, carotenoids can be mobilized to the eye, liver muscle, skin, beak and plumage, with important physiological and behavioral purposes. Also, it is suggested that there is a rate of transfer during reproduction, especially in oviparous animals and insects. Carotenoids are mainly responsible for red, orange, yellow and green colors of some species of crustaceans, fishes, birds and reptiles. Because dietary variations can affect color expression in those tissues, nutrition is a key for carotenoids' dynamics in the animal body.

Keywords: carotenoids, β -carotene, xanthophylls, lutein, zeaxanthin

INTRODUCCIÓN

Los carotenoides son compuestos que se encuentran en diversas estructuras de plantas y en gran variedad de animales, algas, hongos y bacterias. Pueden encontrarse también formando complejos hidrosolubles estables con proteínas, lipoproteínas o glucoproteínas, sobre todo en animales invertebrados acuáticos como gambas, langostas y cangrejos, entre otros (Meléndez-Martínez, Vicario y Heredia, 2007).

Estos compuestos son indispensables para la vida debido a las funciones que llevan a cabo en relación con la fotosíntesis, como captación de luz, foto-protección, disipación de excesos de energía, entre otros, y sin ellos este proceso no sería viable (Meléndez-Martínez et al., 2007). En la fotosíntesis, la transferencia de energía incluye la excitación directa del carotenoide por la luz solar para formar un primer estado excitatorio y la subsecuente transferencia de esta energía a un pigmento foto-receptivo, como la clorofila, para iniciar el proceso fotosintético (Krinsky, 1994).

Desde el punto de vista nutricional, la importancia de los carotenoides radica en su actividad provitamínica A, en su capacidad antioxidante y su efecto beneficioso en la prevención de diversas enfermedades como el cáncer, trastornos oculares y vasculares, entre otros (Böhm, Tinkler y Truscott, 1995; Snodderly, 1995; Naguib, 2000; Maoka et al., 2001; Rao, 2002), pese a que aún persisten ciertas interrogantes al respecto.

Químicamente, la mayoría de los carotenoides son compuestos lipídicos tetraterpenoides, con cadenas de 40 átomos de carbono y formados por ocho unidades isoprenoides, de modo que la secuencia se invierte en el centro de la molécula (Meléndez-Martínez et al., 2007). Debido a su carácter hidrofóbico, se encuentran en ambientes lipófilos como membranas, sin embargo, a través de reacciones de asociación con proteínas o glicosilación pueden estar en ambientes acuosos. Considerando los elementos químicos presentes en sus moléculas, los carotenoides pueden dividirse en dos grupos: carotenos que son hidrocarburos y xantofilas, que contienen átomos de oxígeno y comprenden más de 600 identificados en la naturaleza (Olson y Krinsky 1995, Meléndez-Martínez et al., 2007).

Los carotenoides son compuestos altamente insaturados, y tienen la capacidad de extraer o donar electrones de sus co-reatantes produciendo aniones y cationes libres de radicales, los cuales a su vez pueden reaccionar con el oxígeno y otras moléculas. De esta manera, los carotenoides pueden mostrar características tanto antioxidantes como pro-oxidantes dependiendo de las condiciones. Por eso es que muchas de las acciones y funciones conocidas de los carotenoides se pueden atribuir directamente a sus propiedades físico-químicas (Olson y Krinsky, 1995).

El color de los carotenoides se debe a la oscilación de los electrones a lo largo de la cadena hidrocarbonada insaturada de la molécula, y con la energía de la radiación visible se da un salto electrónico que produce el color. Algunos estudios han propuesto la medida objetiva del color como una herramienta en el ámbito del control de calidad para la estimación rápida del contenido de carotenoides en diversas fuentes, sobretodo en alimentos (Meléndez-Martínez et al., 2007).

DIGESTIÓN Y SITIOS DE ALMACENAMIENTO

Los carotenoides se liberan en el bolo alimenticio por medio de gotas lipídicas en el estómago o intestino, dándose luego la formación de vesículas multilaminares o micelas debido a la acción de sales biliares y lipasas pancreáticas (Parker, 1996). Estas micelas se difunden por la mucosa duodenal a través de la membrana del enterocito, por mecanismos que involucran difusión pasiva, similar al colesterol y a los productos de la lipólisis de triglicéridos (Parker, 1996; Mínguez, Pérez-Gálvez y Hornero, 2006).

Los quilomicrones son los responsables del transporte de los carotenoides desde la mucosa intestinal hacia el torrente sanguíneo vía sistema linfático. A continuación, los carotenoides se acumulan en el tejido adiposo e hígado, aunque se ha descrito su presencia en el pulmón, riñón, piel y médula espinal. El plasma, al ser el medio de distribución de estos pigmentos, mantiene siempre una reserva de carotenoides circulando, transportados en lipoproteínas LDL o de baja densidad en el caso de los β -carotenos, y en lipoproteínas tanto de alta densidad (HDL) como de baja densidad (LDL) en el caso de las xantofilas (Parker, 1996; Mínguez et al., 2006).

La tasa de deposición de carotenoides en órganos y tejidos depende de la absorción selectiva a través de la pared intestinal por una parte, y de su utilización y excreción por otra. Los diferentes grupos de animales seleccionan diferentes tipos de carotenoides. Los mamíferos, por ejemplo, tienen preferencia por la absorción del β -caroteno, mientras que los peces y las aves absorben las xantofilas mucho mejor (Schiedt, Leuenberger, Vecchi y Glinz, 1985).

Schiedt et al. (1985) indican que durante la madurez sexual los carotenoides pueden ser movilizados hacia los órganos reproductivos y huevos, favoreciendo la fertilidad y reproducción.

Dierenfeld, Norkus, Carroll y Ferguson (2002), han demostrado diferencias significativas en las concentraciones de pigmentos carotenoides en huevos y embriones de camaleones insectívoros (*Chameleo pardalis*), relacionados con diferencias en su dietas naturales, los cuales pueden obtener los nutrientes de varios hábitats. Los camaleones también han mostrado niveles cuantificables de vitamina A preformada en los contenidos de sus huevos, sugiriendo que puede haber conversión enzimática de precursores carotenoides a vitamina A activa. Estos autores mencionan que la dinámica de la conversión de los carotenos a vitamina A no ha sido detallada en otros grupos de animales como los anfibios, y que esa habilidad de transformación de los carotenos varía entre especies.

Según Krinsky (1994), en aves y anfibios los carotenoides se acumulan en gotas aceitosas en los segmentos internos de los conos de los ojos, donde funcionan como filtros de luz regulando el tipo de luz que llega a cada uno, es decir, los carotenoides pueden modular la visión de colores en esos animales.

Por otra parte, los primates también utilizan los carotenoides y sus metabolitos en la región macular de la fóvea; por ejemplo, una posible función de la luteína y zeaxantina en esta región es atenuar la luz azul para aumentar la agudeza visual. Sin embargo, otra función puede ser funcionar como pigmentos foto-protectores, protegiendo esta sensible región de la fóvea de daño por exceso de luz (Krinsky, 1994).

En el caso de las aves, en pollos de engorde jóvenes, el volumen de zeaxantina se encuentra en músculo, piel, plumas, hígado y sangre, mientras que en gallinas ponedoras el 25% de la zeaxantina ingerida es eliminada en la yema de huevo y el 50% se deposita en los ovarios (Schiedt et al., 1985).

Asimismo, la coloración brillante roja, anaranjada y amarilla que tienen muchas aves, provienen de pigmentos carotenoides consumidos en sus dietas, y las cuales luego se depositan en plumas, picos y patas (Fox y Vevers, 1960). Por ejemplo, Hill (2000) encontró que al inducir privación de alimento en los finches *Carpodacus mexicanus*, disminuyó la expresión en el color de su plumaje en el caso de los machos, mientras que McGraw, Hill, Navara y Parker (2004), determinaron que la luteína y zeaxantina eran los responsables de la coloración del plumaje y pico de los finches *Carduelis tristis* y *Taeniopygia guttata*, y que la intensidad del color se podía manipular dependiendo de la dieta ofrecida.

Por otra parte, en el caballo la función más reconocida de los β -carotenos es como precursores de la vitamina A; sin embargo al igual que la vitamina E, pueden servir como antioxidantes y reforzar el sistema inmune (Santos et al., 1996, Hughes et al., 1997).

En algunos animales marinos, los procesos metabólicos que intervienen en la transformación de los carotenoides son muy especializados, debido a la importancia que tienen estos en el camuflaje, en las actitudes de cortejo, de guerra o de defensa. Por ejemplo, en el crustáceo *Panulirus japonicus*, Salazar (2000) menciona que a partir del β -caroteno o isocriptoxantina, por medio de reacciones de oxigenación e hidroxilación, dan origen a la molécula de la astaxantina, lo cual ha sido confirmado por utilización de radioisótopos.

En el caso de los reptiles, Salazar (2000) menciona la presencia de astaxantina en el caparazón, en combinación con el β -caroteno y la luteína, así como también en la retina de la de tortuga *Clemmys insculpa*.

En los anfibios, la distribución de carotenoides es muy amplia, ya que se puede detectar en diferentes sitios de acumulación, tales como la piel, el hígado, los ovarios, los oviductos, las gónadas, los riñones, los músculos, el páncreas, los ojos, el nervio ciático y medular (Salazar, 2000). Este autor indica que el origen de estos pigmentos no es todavía muy claro, sin embargo, se ha mencionado que durante las variaciones estacionales se producen cambios en el metabolismo y transporte de estos carotenoides.

Por otra parte, Khachik et al. (2002) al analizar carotenoides en varios tejidos de *Rana pipiens*, encontraron concentraciones de zeaxantina y luteína en la retina y plasma, mientras que en el hígado además de los antes mencionados, se detectaron también cantidades de α y β -criptoxantina, así como α -carotenos, β -carotenos y γ -carotenos, los cuales se encontraban en formas no esterificadas con ácidos grasos. Estos autores proponen una vía de transformación de zeaxantina a β -caroteno y viceversa a través de procesos de oxidación y reducción y reacciones de isomerización.

En truchas, la astaxantina se deposita en un 10%, de la cual entre el 40 y 80% se encuentra en el músculo y del 12 a 60% en la piel. Además, también se han detectado en la bilis, aletas, opérculo y ovarios. En salmones, la astaxantina y cantaxantina se depositan en mayor cantidad en piel y músculo (Schiedt et al., 1985).

Los carotenoides contribuyen al color del cuerpo de los insectos. A pesar de que las funciones de los carotenoides en la coloración de estos animales no se ha estudiado del todo, el color está involucrado como parte de la estrategia para evitar depredadores, por medio del camuflaje o actuando como advertencia ante sabores desagradables o presencia de tóxicos (Canavoso et al., 2001).

Algunos carotenoides encontrados en insectos están directamente relacionados con sus hábitos alimenticios, como en el caso de algunos Hymenópteros (Underwood 1984). Por otra parte, Heller, Fleischmann y Lutz-Rider (2000) encontraron en los espermatóforos del grillo *Ephippiger zeleri* cantidades importantes de carotenoides, principalmente luteína y zeaxantina, los cuales también se encontraron en los huevos de esta especie, lo que sugiere que los machos transfieren estos pigmentos a las hembras durante la reproducción.

Así mismo, Goodwin (1984) menciona la presencia de astaxantina, β -caroteno y luteína en Orthópteros (*Locusta migratoria* y *Schistocerca gregaria*), izoxeatantina en Homópteros (*Acysthosiphon pelargonii*, *Aphis fabae*, *Tretaneura ulmi*) y cantaxantina en Homópteros (*Eriosoma languinosum*, *Eriosoma ulmi*) y en Coleópteros (*Liloceris lili*).

Eeva, Helle, Salminen y Hakkarainen (2010) realizaron algunos análisis a varios grupos de insectos y determinaron que los lepidópteros presentan mayores cantidades de luteína y β -carotenos, mientras que las cucarachas contienen más cantidad de β -carotenos, lo cual se relaciona con el color de dos especies de aves que las consumen (las paseriformes *Parus major* y *Ficedula hypoleuca*).

De esta manera, la mayoría de los lípidos almacenados en el cuerpo de los insectos se encuentran en los “cuerpos grasos”, un órgano análogo al tejido adiposo e hígado de los vertebrados, el cual se distribuye debajo del integumento y alrededor del intestino y del órgano reproductor (Canavoso et al., 2001).

En el tracto digestivo, la molécula de β -caroteno sufre una fragmentación en su parte central, entre los átomos de carbono 15 y 15', por acción de la enzima caroteno-15,15'-dioxigenasa y produciendo retinal como producto primario; este proceso ocurre en el intestino delgado y en menor proporción en el hígado (Meléndez-Martínez et al. 2007). Esta actividad enzimática fue encontrada por Olson y Hayaishi (1965) en el hígado de la rata, por Goodman y Huang (1965) en el intestino de la rata y por Devery y Milborrow (1994) en el intestino del conejillo de indias.

Posteriormente, el retinal puede ser reducido a retinol o ser oxidado a ácido retinoico. En el ser humano, el retinol es esterificado casi en su totalidad en el intestino para ser transportado al hígado en los quilomicrones, sin embargo, esta conversión del β -caroteno en retinoides depende en gran medida de la especie (Parker, 1996). Por ejemplo, la rata lo convierte en ésteres de retinil, mientras que los primates son menos eficientes en esta conversión, según los estudios realizados *in vivo* por Krinsky (1994). Por otra parte, el gato posee poca capacidad de metabolizar carotenoides en vitamina A, debido a que la actividad de fragmentación enzimática intestinal es mucho menor (Lakshmanan, Chansang y Olson, 1972).

CONSIDERACIONES FINALES

Los pigmentos carotenoides juegan un papel bioquímico muy importante en todos los animales, pero estos deben ser consumidos en las dietas en las cantidades necesarias para cumplir sus funciones adecuadamente. Algunas especies utilizan mejor el β -caroteno, mientras que otras lo hacen mejor con las xantofilas, tales como la luteína, zeaxantina, criptoxantina, astaxantina, entre otras. En muchas de esas especies, el aporte dietético de estos compuestos es clave para evitar enfermedades nutricionales y asegurar un buen estado de salud de los animales, y permitir la expresión de su comportamiento normal, por lo que la dieta que se ofrezca es de vital importancia en el balance de estos nutrientes.

LITERATURA CITADA

- Böhm, F., Tinkler, JH., Truscott, TG. (1995). Carotenoids protect against cell membrane damage by the nitrogen dioxide radical. *Nature Medicine* 1,98-99.
- Canavoso, L., Jouni, Z., Karnas, KJ., Pennington, J., Wells, M. (2001). Fat metabolism in insects. *Annual Review of Nutrition* 21, 23-46.
- Devery, J., Milborrow, B. (1994). J-Carotene 15,15'-dioxigenase (EC 1,13,11,21) isolation reaction mechanism and an improved assay procedure. *British Journal of Nutrition* 72,397-414.
- Dierenfeld E., Norkus, E., Carroll, K., Ferguson, G. (2002). Carotenoids, vitamin A, and vitamin E concentrations during egg development in panther chameleons (*Chameleo pardalis*). *Zoo Biology* 21, 295-303.
- Eeva, T., Helle, S., Salminen, J., Hakkarainen, H. (2010). Carotenoid composition of invertebrates consumed by two insectivorous bird species. *Journal of Chemical Ecology* 36, 608-613.
- Fox, H.M., Vevers, G. (1960). *The Nature of Animals Colors*. New York: Macmillan.
- Goodman, DS., Huan, HS. (1965). Biosynthesis of vitamin A with rat intestinal enzymes. *Science* 149, 879-880.

- Goodwin, TW. (1984). The biochemistry of the carotenoids. v. 2 Animals. 2 ed. Chapman and Hall. London and New York. 223 p.
- Heller, KG., Fleischmann, P., Lutz-Rider, A. (2000). Carotenoids in the spermatophores of buscrickets (Orthoptera: Ephemeroptera). *Proceedings of the Royal Society*. 267, 1905-1908.
- Hill, G.E. (2000). Energetic constraints on expression of carotenoid-based plumage coloration. *Journal of Avian Biology* 31, 559-566.
- Hughes, DA., Wright, AJ., Finglas, PM., Peerless, AC, Bailey, AL., Astley, SB., Pinder, AC., Southon, S. (1997). The effect of beta carotene supplementation on the immune function of blood monocytes from healthy male non-smokers. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*. 129, 309.
- Khachik, F., Moura, F de, Zhao, D., Aebischer, C., Bernstein, P. (2002). Transformations of selected carotenoids in plasma, liver, and ocular tissues of humans and in nonprimate animal models. *Investigative Ophthalmology and Visual Science* 43(11), 3383-3392.
- Krinsky, N. (1994). The biological properties of carotenoids. *Pure and Applied Chemistry* 66(5), 1003-1010.
- Lakshmanan, M., Chansang, H., Olson, JA. (1972). Purification and properties of carotene 15,15'-dioxygenase of rabbit intestine. *The Journal of Lipid Research* 13, 477-482.
- Maoka, T., Mochida, K., Kosuka, M., Ito, Y., Fujiwara, Y., Hashimoto, K., Enjo, F., Ogata, M., Nobukuni, Y., Tokuda, H., Nishino, H. (2001). Cancer chemopreventive activity of carotenoids in the fruits of red paprika *Capsicum annum* L. *Cancer Letters* 172, 103-109.
- McGraw, K., Hill, GE., Navara, KJ., Parker, R. (2004). Differential accumulation and pigmentation ability of dietary carotenoids in colorful finches. *Physiological and Biochemical Zoology* 77(3), 484-491.
- Meléndez-Martínez, A., Vicario, IM., Heredia, FJ. (2007). Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 57(2), 109-117.

- Mínguez, MI., Pérez-Gálvez, A., Hornero, D. (2006). Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples "colorantes" naturales. *CTC Alimentación* 26, 108-113.
- Naguib, YMA. (2000). Antioxidant activities of astaxanthin and related carotenoids. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 48, 1150-1154.
- Olson, JA., Hayaishi, O. (1965). The enzymatic cleavage of n-carotene into vitamin a by soluble enzymes of rat liver and intestine. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 54, 1365-1370.
- Olson, JA, Krinsky, NI. (1995). Introduction: The colorful, fascinating world of the carotenoids: important physiologic modulators. *The FASEB Journal* 9, 1547-1550.
- Parker, R. (1996). Absorption, metabolism and transport of carotenoids. *The FASEB Journal* 10, 542-551.
- Rao AV. (2002). Lycopene, tomatoes and the prevention of coronary heart disease. *Experimental Biology Medicine* 227, 908-913.
- Salazar, M. (2000). Carotenoides: distribución en el mundo vegetal y animal. *Contactos* 37, 60-68.
- Santos, MS, Meydani, SN, Leka, L., Wu, D., Fotohui, N., Meydani, N., Hennekens, CH., Gaziano, JM. (1996). Natural killer cell activity in elderly men is enhanced by beta-carotene supplementation. *American Journal of Clinical Nutrition*. 64, 772.
- Schiedt, K., Leuenberger, FJ., Vecchi, M., Glinz, E. (1985). Absorption, retention and metabolic transformation of carotenoids in rainbow trout, salmon and chicken. *Pure and Applied Chemistry*. 57(5), 685-692.
- Snodderly, DM. (1995). Evidence for protection against age-related macular degeneration by carotenoids and antioxidant vitamins. *American Journal of Clinical Nutrition*. 62, 1448S-61S.
- Underwood, BA. (1984). Vitamin A in animal and human nutrition. In: *The Retinoids*. Vol. I. M.B. Sporn, A.B. Roberts, D.S. Goodman (eds.) Academic Press, Florida, U.S.A. p. 126-177