

ASTAXANTHIN TỪ VI TẢO: ỨNG DỤNG VÀ THÁCH THỨC TRONG QUÁ TRÌNH SẢN XUẤT VÀ THƯƠNG MẠI

Nguyễn Phú Thọ, Nguyễn Hữu Thanh

Trường Đại học An Giang, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Astaxanthin nguồn gốc từ vi tảo gần đây đã thu hút được sự quan tâm bởi tiềm năng ứng dụng trong thực phẩm, dược phẩm dinh dưỡng, dược phẩm, thức ăn chăn nuôi, và mỹ phẩm. Astaxanthin được sử dụng như một chất bổ sung dinh dưỡng, chất chống oxy hóa, chống viêm, chống ung thư, kích thích miễn dịch. Astaxanthin có thể ngăn ngừa bệnh đường tiêu hóa, bệnh tiểu đường, bệnh tim mạch, và rối loạn thoái hóa thần kinh. Hầu hết các đặc tính này là do khả năng chống oxy hóa cao của astaxanthin, cao hơn nhiều so với các hợp chất tự nhiên đã biết khác. Tuy nhiên, việc phát triển thương mại vẫn còn ở giai đoạn đầu do chi phí sản xuất cao, những khó khăn kỹ thuật trong quá trình chế biến tiếp theo và các vấn đề liên quan đến tính khả dụng sinh học của phân tử sinh học này. Đánh giá hiện tại tập trung vào các ứng dụng công nghiệp của astaxanthin và những thách thức phải đối mặt trong quá trình sản xuất thương mại.

Từ khóa: Astaxanthin, carotenoid, chất chống oxy hóa, vi tảo

MICROALGAE DERIVED ASTAXANTHIN: APPLICATIONS AND CHALLENGES IN PRODUCTION AND TRADE

ABSTRACT

Astaxanthin derived from microalgae has recently attracted attention because of its potential applications in food, nutraceuticals, pharmaceuticals, animal feeds, and cosmetics. Astaxanthin is used as a nutritional supplement, antioxidant, anti-inflammatory, anti-cancer, immunostimulant. Astaxanthin can prevent gastrointestinal disease, diabetes, cardiovascular disease, and neurodegenerative disorders. Most of these properties are due to astaxanthin's high antioxidant capacity, much higher than that of other known natural compounds. However, commercial development is still at an early stage due to high production costs, technical difficulties in further processing and problems related to the bioavailability of this biomolecule. The current review focuses on the industrial applications of astaxanthin and the challenges in its commercial production.

Key words: Astaxanthin, carotenoids, antioxidants, microalgae

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc sản xuất các hợp chất có hoạt tính sinh học từ vi tảo đang được quan tâm hơn bởi ngày càng có nhiều nghiên cứu chứng minh tác dụng có lợi của chúng đối với sức khỏe con người. Nhờ tốc độ phát triển nhanh và sử dụng năng lượng mặt trời, vi tảo là nền tảng lý tưởng có tiềm năng đáp ứng nhu cầu to lớn về sản xuất các hợp chất hoạt tính sinh học, bao gồm các sắc tố có giá trị cao và các axit béo không bão hòa đa (tiếng Anh: polyunsaturated fatty acid) [1]. Trong số tất cả các chất chuyển hóa thứ cấp được xác định từ vi tảo, carotenoid nhận được sự quan tâm đặc biệt do tầm quan trọng của chúng trong giá trị điều trị bệnh. Carotenoid bao gồm một nhóm lớn các hợp chất tự nhiên được tìm thấy chủ yếu trong thực vật, tảo và một số vi khuẩn. Ngoài ra, nhóm này cũng có thể được tìm thấy trong vi sinh vật không quang hợp như nấm và nấm men. Carotenoid là một loại sắc tố terpenoid bao gồm caroten (phân tử không oxy hóa) và xanthophyll (phân tử oxy hóa) có thể được phân biệt dựa trên cấu trúc hóa học của chúng [2].

Trong số các carotenoid, astaxanthin, một nhóm xanthophyll carotenoid được công nhận là một trong những chất chống oxy hóa mạnh nhất được tìm thấy trong tự nhiên, cao hơn cả β -carotene và α -tocopherol (vitamin E) [3]. Astaxanthin là sắc tố màu đỏ hòa tan trong béo được tìm thấy chủ yếu ở vi tảo, nấm men, và một số loài giáp xác. Astaxanthin nhận được sự quan tâm đáng kể từ các ngành công nghiệp dược phẩm và dinh dưỡng do sự hiện diện của hai nhóm hydroxyl (OH) và xeton trong chuỗi bên của nó. Astaxanthin có nguồn gốc từ vi tảo đang được sử dụng làm

chất màu trong thực phẩm, thức ăn chăn nuôi, thức ăn thủy sản và cả trong các sản phẩm mỹ phẩm và dược phẩm [4].

Sự quan tâm đến astaxanthin được hỗ trợ bởi những bằng chứng cho thấy tiềm năng ứng dụng của nó. Tuy nhiên, chi phí sản xuất astaxanthin tự nhiên cao cũng như một số vấn đề công nghệ (phổ biến đối với tất cả các sản phẩm có nguồn gốc từ vi tảo) hiện đang hạn chế việc sản xuất hàng loạt thành phần này. Để giảm chi phí, các nhà nghiên cứu đang nỗ lực thực hiện các phương pháp khác nhau để tăng năng suất sinh khối và tích lũy astaxanthin. Trong đó, kỹ thuật di truyền là một chiến lược đầy hứa hẹn đang được nhiều nhóm nghiên cứu trên toàn cầu quan tâm [5]. Ngoài ra, việc tối ưu hóa điều kiện nuôi cấy và sử dụng môi trường thay thế bằng các chất dinh dưỡng có giá trị thấp cũng đang được nghiên cứu rộng rãi [6].

Bài tổng quan sẽ thảo luận về ứng dụng và thách thức trong quá trình sản xuất và thương mại astaxanthin thông qua việc tóm tắt các kết quả và thành tựu nghiên cứu có liên quan đến chủ đề này. Lợi ích sức khỏe của astaxanthin cũng được thảo luận và phân tích để xác định các xu hướng nghiên cứu hiện tại liên quan đến việc sử dụng astaxanthin trong ngành công nghiệp thực phẩm và dược phẩm.

II. SẢN XUẤT ASTAXANTHIN Ở VI TẢO

Haematococcus pluvialis và *Chlorella zofingiensis* là các chủng vi tảo được sử dụng rộng rãi để sản xuất astaxanthin (Bảng 1). Do các đặc điểm sinh trưởng khác nhau, các loài vi tảo này cho thấy sự khác biệt lớn trong việc tích lũy sinh khối và tổng hợp astaxanthin.

Bảng 1. Năng suất sản xuất astaxanthin ở vi tảo [7]

Môi trường nuôi cấy	Điều kiện nuôi cấy	Giai đoạn sinh trưởng (ngày)	Năng suất sinh khối	Năng suất astaxanthin
<i>C. zofingiensis</i>				
Bristol	100 mM pyruvate	14	8,86 g/L	10,72 mg/L
	50 mM citrate	14	9,16 g/L	10,63 mg/L
	100 mM malic acid	14	8,73 g/L	10,39 mg/L
CZ-M1	30 g/L glucose và 0,55 g/L nitrate	-	10 g/L	12,5 mg/L
Kuhl	30 g/L ri đường	8	12,4 g/L	13,8 mg/L
<i>H. pluvialis</i>				
Bold's Basalmedium (BBM)	2% w/v natri acetate	11	-	73,16 pg/cell
BBM	17,1 mM NaCl	9	~0,35 g/L	24,5 mg/g sinh khối khô
BBM	Chiếu sáng đèn LED	30	-	466 mg/L
BG11	Bổ sung CO ₂	14	-	29,62 mg/g
	Môi trường không nito	14	-	30,07 mg/g
NIES-C	Môi trường không nito	18	2,28 g/L	77 mg/g
<i>C. sorokiniana</i>				
Proteose	0,14 g/L nitrate	20	-	1,1–1,2 mg/L
<i>Tetraselmis</i> sp.				
F/2	0,14 g/L nitrate	20	-	2,1–2,2 mg/L

H. pluvialis thường được tìm thấy ở các vùng ôn đới trên thế giới có nồng độ astaxanthin cao nhất. Như thể hiện trong Bảng 1, hàm lượng astaxanthin trong sinh khối khô của *H. pluvialis* có thể đạt 30,07 mg/g. Tuy nhiên, năng suất sinh khối của *H. pluvialis* là rất thấp.

Vidhyavathi et al. (2008) báo cáo rằng năng suất sinh khối của *H. pluvialis* được nuôi trong môi trường nhân tạo chỉ khoảng 0,35 g/L [8]. Do đó, *H. pluvialis* có thể được coi là một dòng tảo có tỷ lệ astaxanthin cao nhưng năng suất sinh khối thấp.

C. zofingiensis là một dòng tảo khác cũng thường được sử dụng để sản xuất astaxanthin. Bảng 1 chỉ ra rằng năng suất sinh khối của *C. zofingiensis* cao hơn nhiều so với *H. pluvialis*. Năng suất sinh khối của *C. zofingiensis* nuôi cấy trong môi trường Kuhl có thể đạt 12,4 g/L. Hơn nữa, giống như một loại vi khuẩn, người ta có thể sử dụng *C. zofingiensis* để thu hồi chất dinh dưỡng từ nước thải. Do đó, bằng cách sử dụng *C. zofingiensis*, việc sản xuất astaxanthin có thể được kết hợp với xử lý nước thải để giảm chi phí sản xuất. Mặc dù năng suất sinh khối cao nhưng không nên bỏ qua nhược điểm hàm lượng astaxanthin thấp trong *C. zofingiensis*. Travieso et al.

(2008) báo cáo rằng hàm lượng astaxanthin trong sinh khối khô của *C. zofingiensis* dao động trong khoảng 1,16 mg/g đến 1,21 mg/g, thấp hơn nhiều so với *H. pluvialis* [9]. Hàm lượng astaxanthin thấp trong *C. zofingiensis* cũng được quan sát thấy trong nhiều nghiên cứu khác (Bảng 1). Như vậy, *C. zofingiensis* cho thấy lợi thế hơn so với *H. pluvialis* ở khía cạnh sản xuất sinh khối nhưng nó có hàm lượng astaxanthin thấp hơn nhiều. Ngoài *H. pluvialis* và *C. zofingiensis*, một số loài vi tảo khác như *Scenedesmus* sp., *C. protothecoides*, *C. sorokiniana* và *Tetraselmis* sp. cũng có thể được sử dụng để sản xuất astaxanthin (Bảng 1).

III. ỨNG DỤNG CỦA ASTAXANTHIN VI TẢO

3.1. Ứng dụng trong chăn nuôi

Một số loài cá và giáp xác có màu đỏ tươi đặc trưng là một trong những thuộc tính chính xác định chất lượng, nhu cầu mua và quyết định tới giá cả trên thị trường. Astaxanthin lần đầu tiên được thương mại hóa như một thành phần thức ăn chăn nuôi thủy sản. Các loại vi tảo giàu astaxanthin được sử dụng để làm tăng màu đỏ của động vật biển. Ví dụ, sử dụng vi tảo *Monoraphidium* sp. GK12 giúp cải thiện sắc tố của tôm, có thể so sánh với những gì đạt được khi sử dụng astaxanthin tổng hợp [10]. Không chỉ màu sắc mà sức khỏe và chất lượng dinh dưỡng của động vật biển cũng được cải thiện sau khi tiêu thụ vi tảo có chứa astaxanthin. Tôm hùm được ăn astaxanthin tự nhiên cho thấy sự gia tăng hàm lượng carotenoid trong mô và làm sẫm sắc tố màu vỏ ngoài của chúng, điều này có thể có ý nghĩa quan trọng đối với khả năng miễn dịch và

đáp ứng thị hiếu người tiêu dùng [11]. Hơn nữa, nghiên cứu gần đây đã chứng minh astaxanthin tự nhiên thúc đẩy khả năng kháng bệnh của cá chêm châu Á (*Lates calcarifer*) chống lại sự nhiễm vi khuẩn *Vibrio alginolyticus* [12].

Astaxanthin cũng được bổ sung vào thành phần thức ăn cho động vật trên cạn. Gà thịt với chế độ ăn bổ sung *Phaffia rhodozyma* (một loại nấm men giàu astaxanthin) giúp tăng hàm lượng axit amin tự do, cải thiện kết cấu và các thuộc tính cảm quan của thịt [13]. Sử dụng astaxanthin cũng có tiềm năng để thúc đẩy sức khỏe của động vật. Những phát hiện gần đây cho thấy hợp chất này có thể làm giảm ảnh hưởng của stress nhiệt và viêm nhiễm ở gà thịt và gà đẻ. Các kết quả tương tự cũng được báo cáo đối với bò thịt, trong đó việc bổ sung astaxanthin làm giảm tác dụng bất lợi của stress nhiệt và cải thiện cân nặng [14].

3.2. Ứng dụng trong thực phẩm

Astaxanthin tự nhiên có nguồn gốc từ vi tảo thường được thương mại hóa

như một thực phẩm chức năng. Ngoài ra, các sản phẩm thực phẩm giàu

astaxanthin cũng đã được nghiên cứu sản xuất và kết quả cho thấy tiềm năng lớn để phát triển hơn nữa. Ví dụ, chả cừu sống và và nấu chín có chứa astaxanthin không chỉ làm giảm quá trình oxy hóa lipid trong bảo quản mà còn tăng chất lượng cảm quan thu hút người tiêu dùng [15]. Trong một nghiên cứu khác, việc bổ sung astaxanthin vào thịt gà bít tết làm hạn chế tối thiểu quá trình oxy hóa lipid và vi sinh trong quá trình bảo quản [16]. Các kết quả tương tự cũng thu được ghi nhận trên thịt lợn băm bổ sung *H. pluvialis*, kết quả làm chậm quá trình

3.3. Ứng dụng trong mỹ phẩm

Astaxanthin cũng được sử dụng ngày càng nhiều trong ngành công nghiệp mỹ phẩm. Astaxanthin đã được nghiên cứu rộng rãi về tác dụng có thể có của nó đối với sức khỏe của da [19]. Mặt nạ có chất chống oxy hóa tự nhiên thu hút được nhiều sự quan tâm. Trong một nghiên cứu gần đây, mặt nạ có chứa astaxanthin cho thấy khả năng chống oxy hóa vượt trội so sánh với loại mặt nạ khác có công thức sử dụng vitamin E [20]. Mỹ phẩm chứa vi tảo có sẵn trên thị trường chẳng hạn như Astaxanthin Collagen All-in-One Gel (DHC, Tokyo,

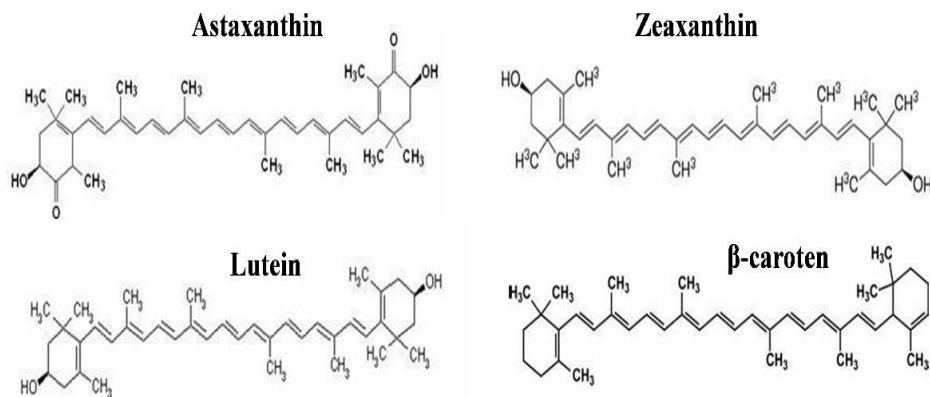
3.4. Ứng dụng trong điều trị bệnh

Các gốc tự do và gốc oxy hóa hoạt động (ROS: Reactive oxygen species) được tạo ra một cách tự nhiên trong quá trình trao đổi chất hiếu khí bình thường. Tuy nhiên, khi các phân tử oxy hóa được tích lũy quá mức, chúng có thể phản ứng với các thành phần tế bào, gây ra quá trình oxy hóa protein và lipid hoặc tổn thương DNA, có liên quan đến các bệnh khác nhau. Một sự cân bằng chính xác giữa chất oxy hóa và chất chống oxy hóa (hoạt động như những chất khử gốc tự do) là cần thiết cho hoạt động sinh lý bình thường. Cơ thể con người có thể

oxy hóa lipid (giảm hàm lượng các chất phản ứng axit thiobarbituric trong thịt) và cải thiện độ ổn định màu sắc cũng như sự chấp nhận của người tiêu dùng [17]. Ngoài ra, do lợi ích sức khỏe khi sử dụng astaxanthin, sắc tố này có thể được sử dụng để sản xuất các loại thực phẩm chức năng để bán với giá cao hơn và thu hút được sự quan tâm của người tiêu dùng [18]. Hiện nay, việc tìm kiếm và sử dụng các sắc tố tự nhiên là xu hướng hàng đầu trong ngành công nghiệp thực phẩm, đặc biệt nếu sắc tố có hoạt tính chống oxy hóa như astaxanthin.

Nhật Bản), một loại kem dưỡng ẩm da mặt khai thác sức mạnh của astaxanthin, một chất chống oxy hóa tự nhiên đã được chứng minh là hiệu quả gấp 6.000 lần so với vitamin C và mạnh hơn 550 lần so với vitamin E trong việc giúp bảo vệ chống lại các gốc tự do và các tác nhân gây ô nhiễm môi trường [21]. Mặc dù số lượng mỹ phẩm có chứa astaxanthin vẫn còn hạn chế, nhưng do khả năng khử gốc tự do cực cao của phân tử này nên khả năng nhiều nghiên cứu tiếp theo sẽ được tiến hành và các sản phẩm mới sẽ được đưa ra thị trường.

tổng hợp chất chống oxy hóa nội sinh bao gồm các enzyme (catalase hoặc superoxide dismutase) và một số peptide chống oxy hóa (carnosine và anserine), nhưng hầu hết các chất chống oxy hóa được cung cấp thông qua chế độ ăn uống [22]. Do đó, việc bổ sung các chất có hoạt tính chống oxy hóa cao như astaxanthin là cần thiết để chống lại stress oxy hóa. Astaxanthin có liên quan đến các caroten khác, chẳng hạn như zeaxanthin, lutein hoặc β -caroten (Hình 1).



Hình 1. Cấu trúc hóa học của các carotenoid

Tuy nhiên, sự hiện diện của nhóm keto- và hydroxyl ở mỗi đầu của astaxanthin dẫn đến hoạt tính sinh học của astaxanthin cao hơn. Thật vậy, astaxanthin có khả năng chống oxy hóa cao nhất được báo cáo đối với một hợp chất tự nhiên, cao hơn so với các carotenoid khác [23].

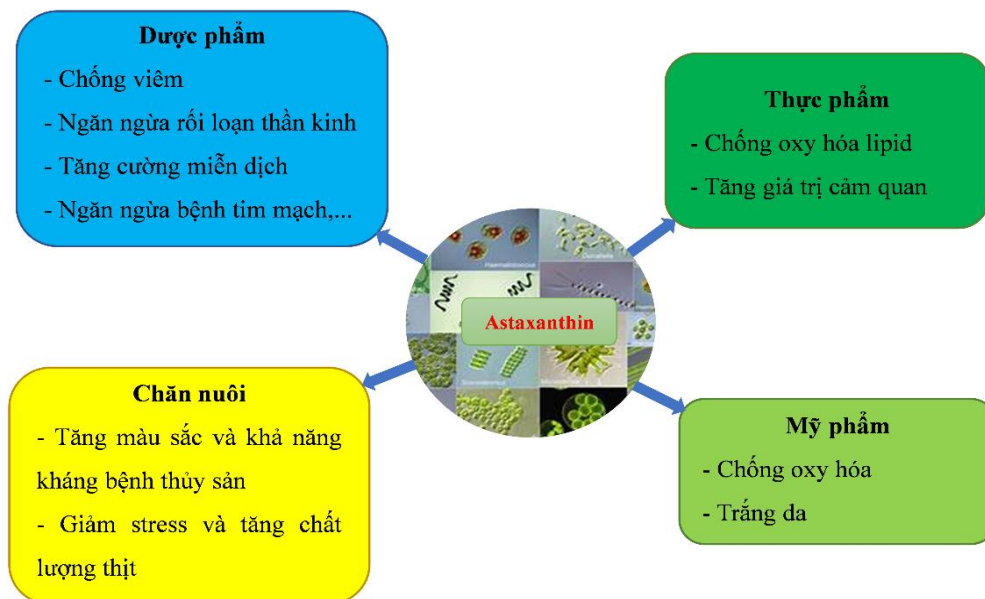
Astaxanthin có thể được sử dụng để ngăn ngừa hoặc điều trị chứng viêm, một chuỗi phản ứng miễn dịch phức tạp diễn ra như cơ chế bảo vệ hoặc phản ứng đối với các tổn thương trên cơ thể [24]. Các phản ứng viêm nếu không được kiểm soát sẽ gây hại cho các tế bào và mô vật chủ dẫn đến một số tình trạng thoái hóa thần kinh. Astaxanthin có thể ngăn chặn sự khởi phát của chứng viêm và do đó, đóng một vai trò quan trọng trong việc ngăn ngừa các rối loạn của hệ thống thần kinh trung ương [25]. Carotenoid cũng có tác dụng làm giảm viêm dạ dày do nhiễm vi khuẩn và có tác động đến hệ vi sinh vật đường ruột, giảm thiểu tình trạng viêm và stress oxy hóa cục bộ và toàn thân ở chuột [26]. Tiêu thụ astaxanthin đã được nhắm mục tiêu như một chiến lược tiềm năng để giảm thiểu bệnh Parkinson, bệnh Alzheimer,

trầm cảm, đau thần kinh và các rối loạn khác [27]. Người ta báo cáo rằng astaxanthin có nguồn gốc từ vi tảo có thể ức chế sự biểu hiện cytokine và các chất trung gian gây viêm cũng như ức chế sự biểu hiện của nitric oxide synthase và cyclooxygenase-2, có liên quan đến các bệnh như bệnh viêm não, xơ vữa động mạch hoặc bệnh viêm ruột. Hơn nữa, trong một nghiên cứu khác, astaxanthin bảo vệ các cấu trúc quan trọng và nhạy cảm với oxi hóa khử của tế bào lympho, có thể là do hoạt động chống viêm của nó gây ra [28]. Người ta cho rằng astaxanthin có thể làm giảm stress oxy hóa và viêm nhiễm, đồng thời tăng cường phản ứng miễn dịch. Một phân tích ELISA tiết lộ rằng astaxanthin có thể tăng cường sản xuất interferon để đáp ứng với sự kích thích lipopolysaccharide hoặc concanavalin, cho thấy rằng astaxanthin có thể điều chỉnh các phản ứng miễn dịch của tế bào lympho [29].

Nhìn chung, nhu cầu sử dụng astaxanthin tự nhiên từ vi tảo ngày càng tăng và chất màu này đã được chứng minh các ứng dụng khác nhau. Astaxanthin được sử dụng như một chất bổ sung dinh dưỡng, chất

chống oxy hóa, chống viêm, ung thư, bệnh đường tiêu hóa, bệnh tiểu đường, bệnh tim mạch, rối loạn thoái hóa thần kinh, đồng thời tăng cường miễn dịch[30]. Các ứng dụng chính của

astaxanthin có thể tóm tắt ở Hình 2. Do đó, các nghiên cứu cải thiện năng suất và làm sáng tỏ đầy đủ tiềm năng của phân tử sinh học quý giá này là rất cần thiết.



Hình 2. Các ứng dụng của astaxanthin vi tảo

III. KHÓ KHĂN TRONG SẢN XUẤT VÀ ỨNG DỤNG ASTAXANTHIN VI TẢO

Một trong những thách thức chính hiện đang phải đối mặt trong sản xuất và ứng dụng astaxanthin vi tảo là mặc dù sản lượng đang tăng lên hàng năm nhưng công suất hiện tại vẫn thấp hơn so với yêu cầu sử dụng. Giá trị thị trường hàng năm của astaxanthin tự nhiên đang tăng lên và ước đạt 2,57 tỷ USD vào năm 2025 [31]. Sản xuất astaxanthin nhân tạo hiện đang thống trị thị trường nhưng do những tác dụng phụ của nó đã được quan sát thấy sau khi con người tiêu thụ nên astaxanthin tự nhiên đang trở nên không thể thiếu và được dự đoán sẽ có nhu cầu cũng như tốc độ tăng trưởng vượt trội trong những năm tới [32]. Hiện tại, các nhà

nghiên cứu vẫn đang tập trung vào việc phát triển các phương pháp mới để tăng cường sản xuất sinh khối và tổng hợp astaxanthin trong nuôi trồng vi tảo thương mại [33], chẳng hạn như tối ưu hóa điều kiện nuôi cấy [6], sử dụng các chất gây cảm ứng (các ROS) [34], gây đột biến (tạo chủng mới có năng suất sinh khối và khả năng tổng hợp astaxanthin cao) và xử lý gây stress (thiếu nitơ, chiếu sáng nhiều,...)[32].

Thách thức quan trọng thứ hai là chi phí sản xuất astaxanthin vẫn còn cao. Theo báo cáo của Villaró et al. (2021) thì giá astaxanthin tự nhiên cao hơn lên đến 15.000 USD/kg so với chỉ khoảng 1000 USD/kg của astaxanthin nhân

tạo[35]. Các chi phí thu hoạch và tinh chế vi tảo khá tốn kém, đây là một bước hạn chế cần phải khắc phục. Các nghiên cứu kinh tế kỹ thuật cho thấy chi phí thu hoạch vi tảo chiếm 20–30% tổng chi phí sản xuất, trong khi chiết xuất và tinh chế sản phẩm là các quy trình quan trọng đóng góp tới 60% tổng chi phí sản xuất. Kỹ thuật chiết xuất sử dụng dung môi CO₂ siêu tới hạn có ưu điểm không độc hại thường được áp dụng để tách lipid và các hợp chất có giá trị từ sinh khối tảo nhưng chi phí vận hành cao [36]. Để giảm giá thành sản xuất, các nghiên cứu sử dụng chất dinh dưỡng có giá trị thấp như là môi trường thay thế đang được quan tâm. Cụ thể, kết hợp nuôi cấy vi tảo xử lý nước thải đang được nhân rộng cho các quy trình công nghiệp, sinh khối giá rẻ được tạo ra phù hợp để sử dụng trong các thị trường có giá trị thấp như chất bổ sung thức ăn chăn nuôi[6].

Hầu hết các lợi ích sức khỏe của việc sử dụng astaxanthin là do khả năng chống oxy hóa cao của nó. Thực tế để hoạt động như chất chống oxy hóa trong điều kiện *vivo*, astaxanthin phải được vận chuyển đến đúng nơi và với số lượng đủ để phát huy tác dụng có lợi. Tuy nhiên, sự hấp thụ các carotenoid như astaxanthin phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố mà vẫn chưa được hiểu rõ hoàn toàn. Tính khả dụng sinh học của carotenoid phụ thuộc vào cấu

trúc của chúng. Nhìn chung, các loại carotenoid phân cực (ví dụ như astaxanthin tự do) có tính khả dụng sinh học cao hơn so với các loại phân cực (ví dụ như β -carotene và lycopene) [37]. Một số nghiên cứu chỉ ra astaxanthin từ *H. pluvialis* có tính khả dụng sinh học tốt hơn so với β -caroten của *Spirulina platensis* và lutein của *Botryococcus braunii* [38].

Liên quan đến các ứng dụng thương mại, pháp luật hiện hành cũng đang trì hoãn việc đưa vi tảo vào thị trường thực phẩm. Như đã biết, vi tảo được thương mại hóa ở EU như thực phẩm mới (theo Quy định EU 2015/2283). Do lịch sử sử dụng lâu dài của chúng, tảo *Spirulina* (*Arthrospira platensis* hoặc *Arthrospira maxima*) và *Chlorella* có thể được thương mại hóa ở EU mà không cần phải tuân thủ quy định về thực phẩm mới. Vì lý do này, hầu hết các sản phẩm được tung ra thị trường châu Âu đều chứa sinh khối của hai chủng này (chủ yếu là tảo *Spirulina*). Tuy nhiên, việc thương mại hóa các chủng có khả năng sản xuất astaxanthin cao chẳng hạn như *H. pluvialis* vẫn đang bị trì hoãn [4]. Hiện tại cho phép dùng vi tảo làm nguồn nguyên liệu là chủ yếu. Việc tách chiết astaxanthin không có hiệu quả mọi mặt nên ít được nghiên cứu.

V. KẾT LUẬN

Astaxanthin tự nhiên có một số đặc tính tăng cường sức khỏe, hầu hết là do khả năng chống oxy hóa cao của nó. Tiêu thụ astaxanthin được cho là ngăn ngừa và kiểm soát các rối loạn y tế khác nhau. Các kết quả được báo cáo cho đến nay đầy hứa hẹn cho sản xuất

astaxanthin vi tảo. Thật vậy, astaxanthin tự nhiên có nguồn gốc từ vi tảo đang là xu hướng hàng đầu trong nghiên cứu ứng dụng cho ngành công nghiệp thực phẩm. Các sản phẩm thực phẩm và chất bổ sung dinh dưỡng khác nhau chứa astaxanthin hiện đang có

mặt trên thị trường và con số này dự kiến sẽ tăng lên trong những năm tới. Trong số các loại vi tảo khác nhau có thể sản xuất và tích lũy astaxanthin, *H. pluvialis* được nghiên cứu nhiều nhất như một nguồn cung cấp astaxanthin. Tuy nhiên, việc sản xuất công nghiệp

astaxanthin vẫn là một thách thức do chi phí sản xuất cao và cần có những nghiên cứu *in vivo* sâu hơn nữa để khẳng định chắc chắn hơn các hiệu quả tăng cường sức khỏe mà astaxanthin mang lại.

Tài liệu tham khảo

- Lafarga T. Effect of microalgal biomass incorporation into foods: Nutritional and sensorial attributes of the end products. *Algal Res.* 2019;41:101566.
- Kaha M, Iwamoto K, Yahya NA, et al. Enhancement of astaxanthin accumulation using black light in *Coelastrum* and *Monoraphidium* isolated from Malaysia. *Sci Rep.* 2021;11(1):11708.
- Higuera-Ciapara I, Félix-Valenzuela L, Goycoolea F. Astaxanthin: A review of its chemistry and applications. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2006;46:185-196.
- Villaro S, Ciardi M, Morillas-Espana A, et al. Microalgae derived astaxanthin: Research and consumer trends and industrial use as food. *Foods.* 2021;10 (10).
- Kathiresan S, Chandrashekar A, et al. Regulation of astaxanthin and its intermediates through cloning and genetic transformation of β -carotene ketolase in *Haematococcus pluvialis*. *J Biotechnol.* 2015;196-197:33-41.
- Garrido-Cardenas JA, Manzano-Agugliaro F, Acien-Fernandez FG, Molina-Grima E. Microalgae research worldwide. *Algal Res.* 2018;35:50-60.
- Lu Q, Li H, Zou Y, Liu H, Yang L. Astaxanthin as a microalgal metabolite for aquaculture: A review on the synthetic mechanisms, production techniques, and practical application. *Algal Res.* 2021;54:102178.
- Vidhyavathi R, Venkatachalam L, Sarada R, Ravishankar GA. Regulation of carotenoid biosynthetic genes expression and carotenoid accumulation in the green alga *Haematococcus pluvialis* under nutrient stress conditions. *J Exp Bot.* 2008;59(6):1409-1418.
- Travieso L, Domínguez-Bocanegra A, Rincon B, et al. Batch culture growth of *Chlorella zofingiensis* on effluent derived from two-stage anaerobic digestion of two-phase olive mill solid waste. *Electron J Biotechnol.* 2008;11: 2-8.
- Fujii K, Nakashima H, Hashidzume Y, et al. Potential use of the astaxanthin-producing microalga, *Monoraphidium* sp. GK12, as a functional aquafeed for prawns. *J Appl Phycol.* 2010;22 (3):363-369.
- Barclay MC, Irvin SJ, Williams KC, Smith DM. Comparison of diets for the tropical spiny lobster *Panulirus ornatus*: astaxanthin-supplemented feeds and mussel flesh. *Aquac Nutr.* 2006;12(2):117-125.
- Lim KC, Yusoff FM, Shariff M, Kamarudin MS. Dietary astaxanthin augments disease resistance of Asian seabass, *Lates calcarifer* (Bloch, 1790), against *Vibrio alginolyticus* infection. *Fish Shellfish Immunol.* 2021;114:90-101.
- Perenlei G, Tojo H, Okada T, et al. Effect of dietary astaxanthin rich yeast, *Phaffia rhodozyma*, on meat quality of broiler chickens. *Anim Sci J.* 2014;85(10):895-903.
- Kumar S, Singh SV. Influence of astaxanthin supplementation on attainment of puberty and lipid peroxidation in Sahiwal and Karan Fries (Holstein \times Tharparkar) heifers during summer season. *Biol Rhythm Res.* 2020;51 (1):15-28.
- Carballo DE, Caro I, et al. Assessment of the antioxidant effect of astaxanthin in fresh, frozen and cooked lamb patties. *Food Res Int.* 2018;111:342-350.
- Abdelmalek BE, Sila A, Ghilissi Z, et al. The influence of natural astaxanthin on the formulation and storage of marinated chicken steaks. *J Food Biochem.* 2016;40(4):393-403.
- Pogorzelska E, Godziszewska J, et al. Antioxidant potential of *Haematococcus*

- pluvialis extract rich in astaxanthin on colour and oxidative stability of raw ground pork meat during refrigerated storage. *Meat Sci.* 2017;135:54-61.
18. Lafarga T, Gallagher E, Walsh D, Valverde J, Hayes M. Chitosan-containing bread made using marine shellfishery byproducts: Functional, bioactive, and quality assessment of the end product. *J Agric Food Chem.* 2013;61 (37):8790-8796.
19. Singh KN, Patil S, Barkate H. Protective effects of astaxanthin on skin: Recent scientific evidence, possible mechanisms, and potential indications. *J Cosmet Dermatol.* 2020;19 (1):22-27.
20. Cheng X-Y, Xiong Y-J, Yang M-M, Zhu M-J. Preparation of astaxanthin mask from *Phaffia rhodozyma* and its evaluation. *Process Biochem.* 2019;79:195-202.
21. Astaxanthin Collagen All-in-One Gel: One-Step, Multi-Action Facial Moisturizer. DHC USA Inc. Accessed June 14, 2023 at: <https://www.dhccare.com/astaxanthin-collagen-all-in-one-gel.html>
22. Lafarga T, Hayes M. Bioactive peptides from meat muscle and by-products: generation, functionality and application as functional ingredients. *Meat Sci.* 2014;98 (2):227-239.
23. Naguib Y. Antioxidant activities of astaxanthin and related carotenoids. *J Agric Food Chem.* 2000;48:1150-1154.
24. Turrin NP, Rivest S. Molecular and cellular immune mediators of neuroprotection. *Mol Neurobiol.* 2006;34 (3):221-242.
25. Galasso C, Orefice I, Pellone P, et al. On the neuroprotective role of astaxanthin: New Perspectives? *Marine Drugs.* 2018;16:247.
26. Bhuvaneswari S, Arunkumar E, Viswanathan P, Anuradha CV. Astaxanthin restricts weight gain, promotes insulin sensitivity and curtails fatty liver disease in mice fed a obesity-promoting diet. *Process Biochem.* 2010;45 (8):1406-1414.
27. Fakhri S, Aneva I, Farzaei MH, et al. The neuroprotective effects of astaxanthin: Therapeutic targets and clinical perspective. *Molecules.* 2019;24:2640.
28. Bolin AP, Macedo RC, Marin DP, et al. Astaxanthin prevents in vitro auto-oxidative injury in human lymphocytes. *Cell Biol Toxicol.* 2010;26 (5):457-467.
29. Lin K-H, Lin K-C, Lu W-J, et al. Astaxanthin, a carotenoid, stimulates immune responses by enhancing IFN- γ and IL-2 secretion in primary cultured lymphocytes in vitro and ex vivo. *Int J Mol Sci.* 2016;17(1):44.
30. Yuan J-P, Peng J, Yin K, Wang J-H. Potential health-promoting effects of astaxanthin: A high-value carotenoid mostly from microalgae. *Mol Nutr Food Res.* 2011;55 (1):150-165.
31. Torres-Haro A, Verdín J, Kirchmayr MR, Arellano-Plaza M. Metabolic engineering for high yield synthesis of astaxanthin in *Xanthophyllomyces dendrorhous*. *Microb Cell Factories.* 2021;20 (1):175.
32. Patel AK, Tambat VS, Chen CW, et al. Recent advancements in astaxanthin production from microalgae: A review. *Bioresour Technol.* 2022;364:128030.
33. Udayan A, Pandey AK, Sharma P, et al. Emerging industrial applications of microalgae: challenges and future perspectives. *Syst Microbiol Biomanuf.* 2021;1 (4):411-431.
34. Li Q, Li L, et al. Chemical inducers regulate ROS signalling to stimulate astaxanthin production in *Haematococcus pluvialis* under environmental stresses: A review. *Trends Food Sci Technol.* 2023;136:181-193.
35. Villaró S, Ciardi M, Morillas-España A, et al. Microalgae derived astaxanthin: Research and consumer trends and industrial use as food. *Foods.* 2021;10 (10):2303.
36. Greenwell C, Laurens L, et al. Placing microalgae on the biofuels priority list: A review of the technological challenges. *J R Soc Interface.* 2010;7:703-726.
37. Bohn T. Bioavailability of non-provitamin a carotenoids. *Curr Nutr Food Sci.* 2008;4:240-258.
38. Ambati DRR, Lakshmaiah RR, et al. Characterization of microalgal carotenoids by mass spectrometry and their bioavailability and antioxidant properties elucidated in rat model. *J Agric Food Chem.* 2010;58:8553-8559.