

**Tổng luận**

**khoa học - công nghệ - kinh tế**

**TRIỂN VỌNG PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ SINH HỌC BIỂN**

# MỤC LỤC

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>GIỚI THIỆU .....</b>                                                       | <b>2</b>  |
| <b>I . KHÁI NIỆM VÀ LỢI ÍCH CỦA CÔNG NGHỆ SINH HỌC BIỂN .....</b>             | <b>3</b>  |
| 1.1. Tài nguyên sinh vật biển .....                                           | 3         |
| 1.2. Công nghệ sinh học biển .....                                            | 5         |
| 1.3. Lợi ích của công nghệ sinh học biển đối với con người và hành tinh.....  | 10        |
| 1.3.1. An ninh lương thực .....                                               | 10        |
| 1.3.2. Y học .....                                                            | 12        |
| 1.3.3 An ninh nhiên liệu.....                                                 | 14        |
| 1.3.4. Công nghiệp chế biến .....                                             | 18        |
| 1.3.5. Hàng hóa sinh thái và dịch vụ từ tài nguyên biển .....                 | 20        |
| <b>II. TIỀM NĂNG KINH TẾ CỦA CÔNG NGHỆ SINH HỌC BIỂN .....</b>                | <b>23</b> |
| 2.1. Giá trị thị trường của công nghệ sinh học biển .....                     | 25        |
| 2.2. Đóng góp kinh tế của các đại dương.....                                  | 27        |
| 2.3. Đo lường các yếu tố đầu vào của công nghệ sinh học biển .....            | 28        |
| 2.4. Các chỉ số khác.....                                                     | 29        |
| 2.5. Giá trị phi thị trường của đại dương.....                                | 30        |
| <b>III. HẠ TẦNG XÂY DỰNG VÀ CHIA SẺ TRI THỨC CÔNG NGHỆ SINH HỌC BIỂN.....</b> | <b>33</b> |
| 3.1. Hạ tầng nghiên cứu .....                                                 | 33        |
| 3.2. Hợp tác quốc tế để thúc đẩy đổi mới hạ tầng NC&PT.....                   | 38        |
| <b>KẾT LUẬN.....</b>                                                          | <b>43</b> |
| <b>Tài liệu tham khảo .....</b>                                               | <b>45</b> |

## GIỚI THIỆU

Công nghệ sinh học biển ngày càng được quan tâm do những tiến bộ khoa học đã nâng cao nhận thức của con người về đa dạng sinh học biển, cũng như sự phát triển của công nghệ và các công cụ tiếp cận và nghiên cứu sinh vật biển và hệ sinh thái. Nguồn tri thức về sinh vật biển đang được mở rộng nhanh chóng do các loài mới được phát hiện và do tính phức tạp và đa dạng sinh học của các sinh vật biển và hệ sinh thái đã được thừa nhận.

Tài nguyên sinh vật biển có tiềm năng lớn, như một nguồn cung cấp các sản phẩm và quy trình mới, vẫn chưa được khai thác triệt để. Việc ứng dụng công nghệ sinh học cho các nguồn tài nguyên này có thể giúp giải quyết thách thức toàn cầu về lương thực, an ninh năng lượng và y tế và góp phần thúc đẩy phát triển các ngành công nghiệp xanh và bền vững. Đồng thời, các điều kiện để duy trì mối quan hệ bền vững giữa bảo tồn và sử dụng tài nguyên sinh vật biển đã được xác định rõ. Sinh vật biển sống trong một hệ thống các đại dương rộng lớn kết nối với nhau, góp phần điều chỉnh nhiệt độ và điều kiện khí quyển của hành tinh.

Dòng hải lưu mang theo sinh vật biển, chất dinh dưỡng và chất thải đi vào và ra ngoài biên giới quốc gia. Môi trường biển chung cùng với các sinh vật di chuyển và phân tán về mặt địa lý thể hiện những thách thức trong quản lý liên quan đến cả việc tiếp cận và phát triển tài nguyên biển. Sự tương quan giữa các tài nguyên sinh học biển trong các hệ sinh thái biển phức tạp làm tăng thêm khó khăn trong việc nghiên cứu, bảo tồn và phát triển sinh vật biển.

Để khai thác các ứng dụng tiềm năng của công nghệ sinh học biển, chính phủ các nước cần hành động để tác động đến đầu tư cho nghiên cứu cơ bản, phát triển quan hệ hợp tác và phổ biến tri thức đến người sử dụng cuối cùng. Ngoài ra, chính phủ cần phải xem xét môi trường chính sách phù hợp cho phép thúc đẩy phát triển và đổi mới lĩnh vực này.

Với trên 3000 km bờ biển, khoa học, công nghệ và kinh tế biển sẽ đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển của Việt Nam. Để giúp bạn đọc hiểu rõ hơn về tiềm năng và giá trị kinh tế của công nghệ sinh học biển, Cục Thông tin Khoa học và Công nghệ Quốc gia xin chân trọng giới thiệu tổng luận: “***Triển vọng phát triển công nghệ sinh học biển***”.

**CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ  
CÔNG NGHỆ QUỐC GIA**

# I. KHÁI NIỆM VÀ LỢI ÍCH CỦA CÔNG NGHỆ SINH HỌC BIỂN

## 1.1. Tài nguyên sinh vật biển

Cho đến thời điểm gần đây, chúng ta gần như không có kiến thức về tính đa dạng của sinh vật biển gần. Các đại dương rộng lớn hầu hết vẫn chưa được thăm dò và khả năng hỗ trợ sự sống của các đại dương tương đối ít được biết đến. Cá, động vật có vỏ, thực vật biển và động vật có vú dưới biển đã bị đánh bắt trong hàng thiên niên kỷ, nhưng việc tiếp cận và tìm hiểu toàn bộ tài nguyên sinh vật biển vẫn là thách thức cần giải quyết.

Chuyến đi lịch sử của Darwin trên con tàu *HMS Beagle* vào năm 1831 là khởi nguồn cho tri thức mới về tài nguyên sinh vật biển. Kể từ đó và xuyên suốt gần hết thế kỷ 19, các sinh vật biển đã được thu thập và phân loại theo cách cấp thiết hơn các hoạt động thăm dò và lập bản đồ đại dương. Hoạt động thu thập thường diễn ra dọc theo các khu vực ven biển và ở các tầng nước biển phía trên. Đến năm 1864, các nhà nghiên cứu Na Uy đã phát hiện ra dạng sự sống đầu tiên ở dưới biển sâu đến 3.109m, đó là huệ biển có thân (stalked crinoid).

Vài năm sau, con tàu *HMS Challenger* đã được sửa đổi phục vụ nghiên cứu khoa học các loài sinh vật biển. Cuộc thám hiểm Challenger (trong thời gian từ 1872-1876) đã tiến hành lập bản đồ và lấy mẫu toàn bộ các đại dương, bờ biển và ngoài khơi. Cuộc thám hiểm diễn ra trong phạm vi gần gần 130.000 km và phát hiện ra 715 giống mới và 4.417 loài sinh vật biển mới. Kết quả thám hiểm đã dẫn đến 50 báo cáo được công bố và 75 năm tiếp theo, hầu hết những kiến thức về địa lý sinh học của các đại dương trên thế giới đều bắt nguồn từ phân tích các bộ sưu tập có được trong chuyến thám hiểm này.

Ngày nay, nhờ có tiến bộ của công nghệ thăm dò đại dương và các dự án lớn như *Cuộc điều tra đầu tiên về sinh vật biển* kéo dài một thập kỷ, mọi người đã hiểu rõ về địa lý và sinh học biển. Cuộc điều tra đã xác định được hơn 6.000 loài mới, làm tăng số lượng các loài sinh vật biển lên 250.000 loài. Những tiến bộ của công nghệ gen tiếp tục làm phong phú thêm hiểu biết của chúng ta về tài nguyên sinh vật biển nhưng đồng thời tiết lộ nhiều điều mới mẻ. Trên thực tế, theo ước tính, 90% các loài trong đại dương chưa được biết đến.

*Đa dạng sinh học biển: Khai thác tiềm năng di truyền to lớn*

Phạm vi rộng lớn của đại dương (bao phủ hơn 2/3 bề mặt của hành tinh) và lịch sử tiến hóa lâu đời là cơ sở của đa dạng sinh học biển. Sự sống bắt đầu dưới đại dương cách đây hơn bốn tỷ năm và trong khoảng ba tỷ năm, sự sống chỉ tồn tại dưới đại dương. Yếu

tổ đó kết hợp môi trường rất khắc nghiệt của đại dương, đã làm tăng tính đa dạng sinh học đáng ngạc nhiên của môi trường biển.

Thuật ngữ "đa dạng sinh học" do Walter Rosen đưa ra vào thập niên 80 như là sự rút gọn của thuật ngữ "tính đa dạng của sinh học" và từ đó đã trở thành một nội dung của tài liệu khoa học và văn hóa dân gian. Định nghĩa về đa dạng sinh học chưa có sự thống nhất. Đa dạng sinh học thường được định nghĩa trong phạm vi rộng bao gồm hệ sinh thái, loài và đa dạng di truyền. Mỗi liên hệ nội tại này cùng với tính đa dạng di truyền cho thấy tiềm năng của công nghệ sinh học biển. Trước đây, việc tìm hiểu đa dạng sinh học và tiềm năng di truyền vốn có của tài nguyên sinh vật biển đã bị cản trở bởi thực tế là phần lớn sinh vật biển không thể dễ dàng được nuôi cấy trong phòng thí nghiệm. Người ta cho rằng chỉ một phần nhỏ trong số 1% vi khuẩn biển có thể được nuôi cấy bằng các phương pháp hiện có. Và rõ ràng, việc nuôi cấy virus và thể thực khuẩn thậm chí còn khó khăn hơn nhiều.

Tình trạng này đang thay đổi sau một thập kỷ có sự đầu tư cho khoa học "omic"<sup>1</sup> và các công nghệ liên quan. Các công cụ di truyền mới như lập trình tự ADN thông lượng cao, đang được sử dụng để tiếp cận và nghiên cứu các mẫu không thể nuôi cấy. Sự quan tâm của giới khoa học đối với tài nguyên sinh vật biển đã gia tăng nhanh chóng: năm 1980 đã có 108 ấn phẩm liên quan đến công nghệ sinh học biển, nhưng trong giai đoạn từ 1994 đến 1996, chỉ riêng Hoa Kỳ đã có 700 ấn phẩm.

Metagenomics<sup>2</sup>, được sử dụng thành công trong môi trường trên cạn, cho phép nghiên cứu nhiều phân đoạn của hệ sinh thái trong môi trường biển ở cấp độ phân tử và dẫn đến cung cấp tri thức mới về sinh vật biển. Metagenomics cũng được sử dụng để nghiên cứu các tài nguyên sinh vật biển không thể nuôi cấy. Kết quả ban đầu chứng nhận tính đa dạng của tài nguyên sinh vật biển như là một nguồn to lớn cung cấp các quá trình và sản phẩm sinh học và hóa học mới để từ đó phân lập, mô hình hóa hoặc tạo ra các hợp chất hoạt tính sinh học mới.

Dưới đại dương, hầu hết đa dạng di truyền đều xuất hiện trong vi khuẩn, cổ khuẩn, sinh vật nguyên sinh (một nhóm các sinh vật nhân thực gần như đơn bào) và virus. Thật vậy, sự sống dưới đại dương tính theo trọng lượng thì chủ yếu là vi khuẩn. Theo số lượng, 90% các dạng sự sống sinh học đơn lẻ trong đại dương là virus, 8-9% là sinh vật nhân sơ và phần còn lại là sinh vật nguyên sinh; các dạng sự sống lớn hơn như cá và cá

---

<sup>1</sup> Khoa học "omic" nghiên cứu bộ gen, chuyển hóa protein và trao đổi chất

<sup>2</sup> Metagenomics nghiên cứu vật liệu di truyền lấy từ các mẫu trong môi trường.

vòi chỉ chiếm số lượng rất nhỏ. Tính trung bình, có 10 triệu virus và 1 triệu sinh vật nhân sơ trong 1 lít nước biển.

Tiến bộ khoa học và công nghệ gen cho phép tiếp cận và phân tích những vi khuẩn không thể nuôi cấy. Nhưng cho đến nay nghiên cứu ở cấp độ phân tử vẫn gặp khó khăn, bởi số lượng và tính đa dạng của các sinh vật biển và gen có sẵn cho các ứng dụng công nghệ sinh học đang gia tăng theo cấp số nhân. Điều đó đang thúc đẩy sự thay đổi trong mô hình nhận thức của con người về đại dương. Các nguồn tài nguyên sinh vật biển không còn được xem như một nguồn thức ăn mà còn được coi như là “kho lớn” chứa các sinh vật và gen với tiềm năng hầu như vô hạn cho hoạt động phát triển và thăm dò.

## **1.2. Công nghệ sinh học biển**

Công nghệ sinh học biển có thể được xem là việc sử dụng các nguồn tài nguyên sinh vật biển làm mục tiêu hoặc làm nguồn cung cấp các ứng dụng công nghệ sinh học và bao gồm:

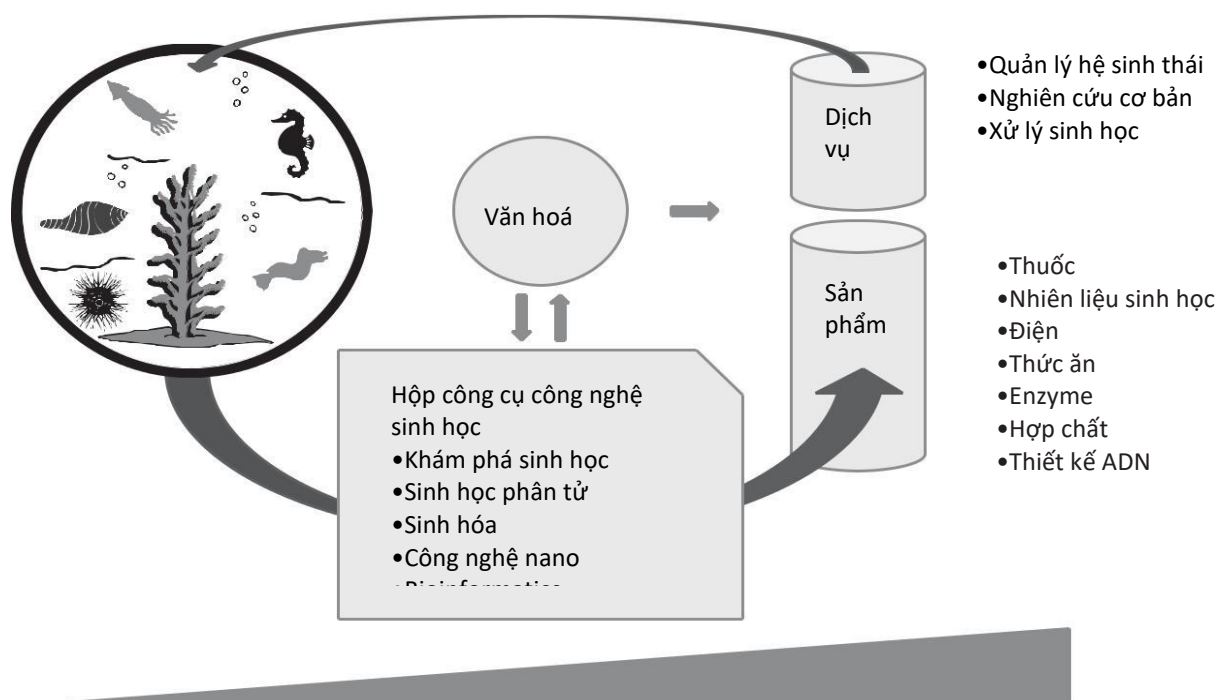
- Sinh vật biển hoặc các bộ phận của chúng được sử dụng làm nguyên liệu (ví dụ: để sản xuất thực phẩm, nhiên liệu, vật liệu hoặc hợp chất hoạt tính sinh học).
- Các sản phẩm chiết xuất từ sinh vật biển.
- Các sản phẩm được phát triển tại phòng thí nghiệm thông qua sử dụng tri thức về các quy trình tự nhiên hoặc tính chất của các sinh vật biển, bao gồm các sản phẩm được tạo ra từ ADN của sinh vật biển bằng kỹ thuật di truyền hoặc sinh học tổng hợp.
- Các quá trình được xúc tác bởi các sinh vật biển hoặc các chất dẫn xuất từ những sinh vật này.
- Các dịch vụ hệ sinh thái (ví dụ: cảm biến sinh học và xử lý sinh học).
- Ứng dụng tri thức về công nghệ sinh học, ví dụ: để bảo vệ sức khỏe của cá (vắc-xin, thức ăn, chăn nuôi).
- Hiểu và lập bản đồ các hệ sinh thái dựa vào các công cụ và kiến thức chung về công nghệ sinh học.

Hiểu biết rộng về công nghệ sinh học biển bao gồm cả các hình thức công nghệ sinh học biển truyền thống như nuôi trồng thủy sản và các hình thức hiện đại như bioprospecting<sup>3</sup> và chọn lọc cá nuôi cấy dựa vào chỉ số. Các hình thức công nghệ sinh

---

<sup>3</sup> Bioprospecting là quá trình phát hiện và thương mại hóa các sản phẩm mới từ tài nguyên sinh học

học biển chủ yếu được thực hiện nhờ những tiến bộ khoa học và công nghệ trong hai thập kỷ qua đã được đề cập trong Hình 1.1.



**Hình 1.1.** Công nghệ sinh học biển: Tài nguyên - Hạ tầng - Đổi mới

Nguồn: European Science Foundation-Marine Board (2010), “Marine Biotechnology: A New Vision and Strategy for Europe”, Position Paper 15, ESF, [www.esf.org/marineboard](http://www.esf.org/marineboard), accessed March 2011.

### *Giải quyết các thách thức toàn cầu bằng công nghệ sinh học biển*

Trong 60 năm qua, công nghệ sinh học đã mang lại một số tiến bộ đáng chú ý trong y học, mỹ phẩm, dược phẩm dinh dưỡng, sản xuất thực phẩm và các ứng dụng công nghiệp như lọc sinh học. Các ứng dụng của công nghệ sinh học biển cũng rất đa dạng và nhiều cơ hội đã được đề cập trong một nghiên cứu gần đây của OECD về công nghệ sinh học, bao gồm sản xuất thực phẩm và nhiên liệu sinh học (công nghệ sinh học nông nghiệp), bào chế các loại thuốc mới (công nghệ sinh học y tế), phát triển vật liệu mới (công nghệ sinh học công nghiệp) và phát triển công nghệ xử lý sinh học (công nghệ sinh học môi trường), tồn tại song song cùng với lĩnh vực công nghệ sinh học biển. Điều đó cho thấy công nghệ sinh học biển có thể giúp giải quyết các thách thức toàn cầu liên quan đến lương thực, an ninh nhiên liệu, sức khỏe của con người và các quy trình công nghiệp bền vững.

Tiến bộ khoa học và công nghệ gần đây đã thu hút sự quan tâm lớn đến công nghệ

sinh học biển như một nguồn đổi mới sáng tạo và tăng trưởng kinh tế. Chính phủ nhiều nước đã thừa nhận tầm quan trọng của công nghệ sinh học biển đối với nền kinh tế thông qua đầu tư kinh phí cho nỗ lực xác định tiềm năng của lĩnh vực này hoặc đưa ra các chiến lược chính thức để phát triển công nghệ sinh học biển.

Liên minh châu Âu có một số chương trình hỗ trợ công nghệ sinh học biển như ERA-NET AMPERA, Marinera, MARIFISH và SEAS - ERA và Mạng lưới Chương trình khung về bộ gen sinh vật biển ở châu Âu.

Trong khi Ai-len đã xây dựng chiến lược công nghệ sinh học biển, thì hầu hết các nước mới lồng ghép nội dung này vào chiến lược công nghệ sinh học hoặc chiến lược công nghệ mở rộng. Ví dụ, Na Uy có lịch sử thăm dò hàng hải lâu đời và công nghệ sinh học biển là một nội dung không thể thiếu của các chiến lược đổi mới sáng tạo và phát triển kinh tế đất nước và là một lĩnh vực cần có sự đầu tư liên tục. Chiến lược công nghệ sinh học biển quốc gia của Na Uy đã đề cập đến công nghệ sinh học biển và trong năm 2009, chính phủ đã công bố Chiến lược quốc gia về bioprospecting; chiến lược này có tầm nhìn từ 10–15 năm và tập trung vào việc tạo ra giá trị từ các khám phá sinh học bằng cách hoạt động thông qua chuỗi giá trị từ viện nghiên cứu đến ngành công nghiệp. Chiến lược này được thực hiện bởi BIOTEK2021, một chương trình của Hội đồng Nghiên cứu Na Uy. Chương trình nhằm khuyến khích phát triển và sử dụng công nghệ sinh học biển, cũng như các chương trình chuyên đề liên quan đến đại dương (HAV) và sản xuất lương thực (NATUROGNÆRING). Chiến lược Na Uy đổi mới đưa ra một thỏa thuận song phương với Vương quốc Anh và có nhiều hoạt động kết nối để thúc đẩy sử dụng tài nguyên biển thông qua các phương pháp công nghệ sinh học.

Mặc dù Canada không có chiến lược công nghệ sinh học biển quốc gia, nhưng rất quan tâm đến việc áp dụng công nghệ sinh học trong ngành hàng hải. Các lĩnh vực công nghệ sinh học biển như nuôi trồng thủy sản và bioprospecting để tìm ra các hợp chất mới, nhận được sự hỗ trợ từ các chương trình và sáng kiến của chính phủ, ví dụ: Hội đồng Nghiên cứu quốc gia Canada (NRC) và quỹ gen Canada tài trợ cho NC&PT bộ gen. Tại Hoa Kỳ, công nghệ sinh học biển đã trở thành một nội dung của các cuộc thảo luận chính sách kể từ khi báo cáo *“Công nghệ sinh học trong thế kỷ 21: Những chân trời mới”* của Hội đồng Khoa học và Công nghệ quốc gia được công bố.

Nhiều nước châu Á cũng đặt ưu tiên cao cho công nghệ sinh học biển. Năm 1996, Trung Quốc đã bổ sung công nghệ sinh học biển vào như một nội dung riêng biệt trong Kế hoạch Phát triển công nghệ cao của nhà nước (Chương trình 863 của Bộ Khoa học và Công nghệ Trung Quốc) và đã tăng nguồn lực cho khu vực này theo Kế hoạch 5 năm lần

thứ 8 và thứ 9. Năm 2001, tại Nhật Bản, công nghệ sinh học biển đã được đưa vào Chiến lược Công nghệ sinh học năm 2002 và được sự hỗ trợ của một số Bộ.

Ở Hàn Quốc, công nghệ sinh học biển là trọng tâm của Blue-Bio 2016: Kế hoạch chiến lược về công nghệ sinh học biển của Bộ Thủy sản, Giao thông và Hàng hải. Chiến lược này đưa công nghệ sinh học biển vào trung tâm của chiến lược tăng trưởng xanh và nhằm mục tiêu đạt tổng sản phẩm quốc gia (GNP) bình quân đầu người là 40.000 USD nhờ vào những thành tựu của công nghệ sinh học biển. Chiến lược này, đi kèm với đầu tư lớn và chú trọng nghiên cứu và phát triển sinh vật biển, phát triển các vật liệu mới từ biển và bảo tồn môi trường biển, được thiết kế để đưa Hàn Quốc trở thành nước dẫn đầu thế giới trong lĩnh vực này vào năm 2016.

*Mối đe dọa đối với các nguồn tài nguyên sinh vật biển: Thách thức về tính bền vững*

Khi công nghệ sinh học biển ngày càng được quan tâm, thì nhận thức về các yếu tố đe dọa khả năng sinh tồn và tính đa dạng của các nguồn tài nguyên sinh vật biển được nâng lên. Trong đó, phát thải khí nhà kính là mối đe dọa lớn nhất. Sự gia tăng phát thải khí nhà kính chủ yếu do đốt nhiên liệu hóa thạch và các nhiên liệu cacbon khác bao gồm gỗ, than, dầu và khí tự nhiên, đã góp phần làm tăng lượng khí CO<sub>2</sub> trong khí quyển từ mức 280 ppm lên 396 ppm kể từ cuộc cách mạng công nghiệp. Chính điều đó phần nào gây nóng lên toàn cầu với nhiệt độ Trái đất tăng trung bình khoảng 0,8°C kể từ đầu thế kỷ 20.

Nóng lên toàn cầu và biến đổi khí hậu đang làm cho mực nước biển dâng cao và phá vỡ sự cân bằng tinh tế của các hệ sinh thái biển và các dịch vụ mà chúng cung cấp cho hành tinh và con người. Thay đổi nhiệt độ và các sự kiện thời tiết khắc nghiệt được dự báo, sẽ làm thay đổi nơi cư trú của các loài sinh vật biển, mở rộng nơi cư trú của một số loài trong khi lại thu hẹp nơi cư trú của các loài khác, dẫn đến nạn tuyệt chủng của một số loài và sự gia tăng của các loài xâm lấn do các hệ sinh thái và chuỗi thức ăn được điều chỉnh cho phù hợp với điều kiện mới. Ví dụ, theo ước tính, các vùng nước ấm hơn đã làm suy giảm 1% quần thể thực vật phù du, nguồn cung cấp một nửa số lượng oxy cho con người và động vật.

Tác động của phát thải khí nhà kính đã được giảm thiểu khi cacbon được cô lập trong các bể chứa, nhưng điều này dẫn đến các vấn đề khác về nguồn lợi sinh học biển. Đại dương, bể chứa cacbon lớn nhất trong tự nhiên, hấp thụ khoảng ¼ lượng khí CO<sub>2</sub> thải vào khí quyển mỗi năm. Kể từ cuộc cách mạng công nghiệp, đại dương đã hấp thụ 700 tỷ tấn CO<sub>2</sub>. Điều đó làm giảm độ pH của nước biển 0,1 đơn vị, nhưng lại làm tăng 30% tính axit của nước biển và giảm nồng độ ion cacbonat. Axit hóa đại dương gây tác động xấu

đến các sinh vật biển có vỏ như san hô và động vật giáp xác, ảnh hưởng đến các hệ sinh thái biển mong manh và đe dọa hoạt động sản xuất của động vật giáp xác, cũng như đe dọa đến các ngành công nghiệp có liên quan.

Các hoạt động khác của con người cũng đe dọa tài nguyên sinh vật biển. Đánh bắt quá mức đã làm giảm một phần trữ lượng cá gần đến mức tuyệt chủng và các hoạt động nghề cá mang tính hủy diệt như đánh cá dưới đáy biển, đã tàn phá môi trường sống dưới đáy đại dương. Phát triển ven biển gây phát sinh chất thải sinh hoạt và công nghiệp tiếp tục làm xáo trộn hệ sinh thái biển và đe dọa môi trường sống ven biển ở một số khu vực. Trong những trường hợp cực đoan, ô nhiễm nông nghiệp đã dẫn đến tình trạng thiếu oxy, làm suy yếu hệ sinh thái biển và đôi khi tạo nên những “vùng chết” vĩnh viễn.

Các chất ô nhiễm hữu cơ như dầu thô, hydrocacbon, sản phẩm dầu mỏ hoặc các hợp chất chứa halogen có thể bắt nguồn từ trên mặt đất (dòng thải), từ hiện tượng rò rỉ trong quá trình vận chuyển (bao gồm sự cố đường ống) và từ các sự cố được kiểm soát hoặc ngoài tầm kiểm soát khác như vụ tràn dầu năm 1991 từ Cuộc chiến tranh vùng Vịnh đầu tiên. Trong khi các vụ tràn dầu ở biển được chú ý đến nhiều thì nghiên cứu gần đây cho thấy chúng chỉ chiếm khoảng 10% số nguyên nhân gây ô nhiễm môi trường biển. Các chất ô nhiễm phổ biến này không chỉ ảnh hưởng tiêu cực đến sinh vật biển, mà còn tác động rất xấu đến đời sống kinh tế - xã hội của các cộng đồng ven biển.

Chất thải rắn và dạng hạt, có lẽ được minh họa sinh động nhất bằng hình ảnh Đảo rác Thái Bình Dương nằm ở giữa Thái Bình Dương, là một ví dụ khác về ô nhiễm do con người gây ra. Nhựa, bùn hóa học và các mảnh vụn khác đã bị mắc kẹt bởi dòng hải lưu, là mối đe dọa liên tục đối với tài nguyên sinh vật biển. Các hạt nhỏ, một số hóa chất độc hại hoặc kim loại nặng bám chặt vào chúng, có thể bị sinh vật phù du và động vật nhỏ ăn phải và cuối cùng di chuyển vào chuỗi thức ăn. Chất rắn có thể bít kín các rạn san hô, gây ảnh hưởng xấu đến sức khỏe của những sinh vật này. Các chất rắn, nhựa hoặc sợi dây cỡ lớn có thể bẫy cá lớn hơn. Khai khoáng dưới biển sâu và vận tải cũng góp phần gây ô nhiễm môi trường biển, cản trở hoạt động của các sinh vật biển hoặc hệ sinh thái biển liên quan và ảnh hưởng đến các dịch vụ hệ sinh thái của môi trường biển.

Những mối đe dọa đối với tài nguyên sinh vật biển là có thật và trong hầu hết các trường hợp, thiệt hại không thể khắc phục. Chính phủ, đặc biệt là những người tìm kiếm lợi ích kinh tế hoặc xã hội từ công nghệ sinh học biển, được hưởng lợi trong việc đảm bảo rằng các nguồn tài nguyên sinh vật biển được phát triển theo cách vừa hiệu quả vừa bền vững. Để làm được điều này, cần phải tìm kiếm sự cân bằng hợp lý giữa khai thác lợi ích từ các nguồn tài nguyên biển đang mở rộng trên các hệ sinh thái biển phức tạp và

tăng tối đa tính toàn vẹn và tính bền vững của các hệ sinh thái đó cho các thế hệ tương lai. Việc thừa nhận thách thức này đã thúc đẩy OECD xem xét giải pháp tốt nhất hỗ trợ phát triển một khuôn khổ phù hợp cho sự phát triển bền vững của ngành công nghệ sinh học biển.

### **1.3. Lợi ích của công nghệ sinh học biển đối với con người và hành tinh**

#### **1.3.1. An ninh lương thực**

Khi dân số thế giới tăng, nhu cầu thực phẩm và các nguồn protein mới được dự báo sẽ tăng lên, gây khó khăn cho các hệ thống sản xuất lương thực hiện có. Để nuôi sống 9 tỷ người theo dự báo tăng lên vào năm 2050, sản lượng lương thực phải tăng 70%. Đây sẽ là điều khó khăn. Các yếu tố cản trở bao gồm: biến đổi khí hậu, đô thị hóa, thay đổi thị hiếu của người tiêu dùng, khan hiếm tài nguyên thiên nhiên như đất và nước, các vấn đề đa dạng sinh học và quy mô đầu tư cần thiết để chuyển đổi các hệ thống sản xuất lương thực. Trên toàn cầu, tiêu thụ protein từ động vật dự kiến sẽ tăng gấp đôi trong nửa đầu của thế kỷ này với mức tăng mạnh nhất sẽ là cá và thịt gà nuôi - xem ra là nguồn protein từ động vật phát thải ít cacbon nhất.

Hơn 1 tỷ người trên toàn thế giới dựa vào cá làm nguồn cung cấp protein chính. Nhu cầu gia tăng đang thúc đẩy đổi mới trong sản xuất cá, vì 75% trữ lượng cá đánh bắt đã cạn kiệt do tình trạng đánh bắt quá mức. Nuôi trồng thủy sản hiện cung cấp 50% số lượng cá được sử dụng làm thực phẩm trên thế giới. Đây cũng là ngành sản xuất lương thực tăng trưởng nhanh nhất, cung cấp các cơ hội mới cho sản xuất lương thực từ biển và trên đất liền và giảm áp lực đối với trữ lượng cá trong tự nhiên. Điều may mắn là sự gia tăng năng suất trong nuôi trồng thủy sản được một số người gọi là “cuộc cách mạng biển xanh”, hứa hẹn sẽ chuyển đổi hình thức sản xuất lương thực thành “cuộc cách mạng xanh” trong nông nghiệp như một thế kỷ trước.

Những lợi ích có được từ sự tăng trưởng nhanh chóng trong nuôi trồng thủy sản đi kèm với những thách thức nghiêm trọng về môi trường, xã hội và sản xuất. Sự phụ thuộc vào thức ăn cho cá vẫn là vấn nạn tại hầu hết các quốc gia vì chúng thường được sản xuất từ các nguồn tài nguyên thiên nhiên khan hiếm. Tác động xã hội của nuôi trồng thủy sản tồn tại ở nhiều khía cạnh: tạo các cơ hội việc làm mới nhưng cũng có nghĩa là làm mất các việc làm truyền thống. Ngoài ra còn có những thách thức liên tiếp về sức khỏe của cá và hoạt động chăn nuôi. Để thúc đẩy và thực hiện lời hứa về cuộc cách mạng biển xanh, nuôi trồng thủy sản sẽ cần phải cân bằng tính bền vững môi trường lâu dài với mục tiêu hiện tại là nuôi cá lớn với tốc độ nhanh. Công nghệ sinh học biển có thể giúp thực hiện và hài hòa hai yêu cầu này.

Công nghệ sinh học biển, dưới dạng bào chế vắc-xin mới và chẩn đoán dựa vào phân tử, đã giúp tăng sản lượng, giảm sử dụng kháng sinh và cải thiện sức khỏe cho cá. Ở nhiều nơi, việc sử dụng thuốc kháng sinh đã giảm mạnh. Ở Na Uy, 99% cá hồi được nuôi mà không cần dùng kháng sinh. Tuy nhiên, tại các nước khác, đặc biệt là các nước đang phát triển không được tiếp cận với các công cụ và công nghệ phân tử, kháng sinh vẫn được sử dụng phổ biến. Việc áp dụng tri thức và công nghệ gen mới vào thực hành nuôi trồng thủy sản được gọi là “nuôi trồng phân tử” để giúp phân biệt nó với nhiều hoạt động sản xuất trong nuôi trồng thủy sản như cải thiện hệ thống cho ăn, thiết kế lồng và quản lý. Nuôi trồng thủy sản bằng công nghệ phân tử có đặc trưng là sự kết hợp của tri thức “omic” mới, công nghệ gen thông lượng cao và công nghệ ADN tái tổ hợp. Các công nghệ này đã tạo điều kiện cho việc nhân giống chọn lọc các đặc điểm có giá trị kinh tế quan trọng như hình dạng cơ thể hoặc khả năng kháng bệnh.

Tri thức về cả bộ gen bắt nguồn từ các dự án lập trình tự bộ gen (như cho cá tuyết hoặc cá hồi Đại Tây Dương) đang cung cấp thông tin đầu vào mới cho công nghệ sinh học biển và mở ra các cơ hội mới cho chế độ nuôi trồng thủy sản và quản lý trữ lượng trong tự nhiên. Kiến thức di truyền đang được sử dụng để nghiên cứu các loài hiện không phải là trọng tâm của những nỗ lực nuôi trồng trên quy mô lớn nhằm tìm ra các loài mới phục vụ hoạt động nuôi trồng. Genomics<sup>4</sup> đang làm tăng hiểu biết về các loài này - vòng đời của chúng, các yêu cầu dinh dưỡng, khả năng nhiễm bệnh - và cung cấp nền tảng sản xuất thức ăn cải tiến (như ít phụ thuộc vào dầu cá), phương thức sản xuất và các công cụ cải thiện sức khỏe cho cá.

Công nghệ gen và các công nghệ có liên quan cũng đã được áp dụng để sản xuất các loại vắc-xin mới dựa vào ADN dành cho các bệnh gây ảnh hưởng lớn đến giá trị kinh tế (ví dụ: Apex®-IHN, Novartis để điều trị hoại tử tạo máu truyền nhiễm ở cá hồi nuôi) và các công cụ phát hiện bệnh rất nhạy. Công nghệ ADN tái tổ hợp gây nhiều tranh cãi hơn đã được sử dụng để biến đổi gen của cá. Giống như các cây trồng biến đổi gen, cá có thể được biến đổi bằng cách đưa các gen từ những loài khác để cải thiện các đặc trưng về năng suất. Tại Hoa Kỳ, Cục Quản lý thực phẩm và dược phẩm Hoa Kỳ (FDA) đang tiến tới phê duyệt chấp nhận giống cá hồi biến đổi gen đầu tiên, có một gen chứa hoóc-môn tăng trưởng từ một loài có liên quan, cho phép cá hồi sinh trưởng với kích thước bằng kích thước cá thương phẩm nhưng chỉ mất một nửa thời gian bình thường.

Nuôi trồng thủy sản bằng công nghệ phân tử có tiềm năng lớn tăng sản lượng

---

<sup>4</sup> Genomics nghiên cứu cấu trúc, chức năng, sự tiến hóa, lập bản đồ và chỉnh sửa bộ gen

thực bền vững nhằm đáp ứng nhu cầu lương thực gia tăng trên toàn cầu như dự báo thông qua nuôi trồng các loài như cá hồi, cá rô phi, tôm và hàu. Tuy nhiên, nuôi trồng thủy sản bằng công nghệ phân tử đang phát triển và mở rộng với tốc độ khác nhau tại nhiều quốc gia, có thể hạn chế nỗ lực này. Các nước đang phát triển phải đối mặt với khó khăn trong việc tiếp cận các công nghệ mới và vốn, trong khi các nước phát triển lại vấp phải thách thức về hỗ trợ công và hợp tác công - tư. Những thách thức này sẽ cần được giải quyết để có thể khai thác hết tiềm năng của nuôi trồng thủy sản bằng công nghệ phân tử.

### **1.3.2. Y học**

Các nước phải đối mặt với những thách thức y tế khác nhau. Tại các nước đang phát triển, bệnh truyền nhiễm, chi phí điều trị và tiêm chủng là những thách thức hàng đầu, trong khi các nước phát triển lại phải nỗ lực cung cấp các dịch vụ phù hợp cho dân số đang già hóa và giải quyết tình trạng bệnh tật có tính chất phân tầng rõ nét và tỷ lệ kháng thuốc cao hơn. Khi dân số thế giới già hóa gia tăng, những thách thức này sẽ lớn hơn. Do đó, các công ty dược phẩm phải tìm cách để đáp ứng những nhu cầu mới. Để cải thiện sức khỏe cho người dân trên thế giới, cần có các loại thuốc mới, hiệu quả hơn và các sản phẩm thiên nhiên để tăng cường sức khỏe cho con người.

Kể từ khi các nucleoside hoạt tính sinh học từ bọt biển được phát hiện cách đây khoảng 5 thập kỷ, hơn 20.000 sản phẩm tự nhiên mới từ các sinh vật biển đã được khám phá. Một số sinh vật biển có chứa hoặc sản sinh các hợp chất hoạt tính sinh học hoặc hợp chất có cấu trúc, được sử dụng để giảm đau hoặc viêm, điều trị ung thư hoặc các bệnh khác, như vật liệu mới dùng băng bó vết thương hoặc tái tạo mô. Bọt biển hoặc vi khuẩn cộng sinh đã được sử dụng làm nguồn cung cấp sản phẩm.

Chất chitin được khai thác từ vỏ cua, tôm hùm và các cấu trúc bên trong của động vật không xương sống khác, có tính chất kháng khuẩn, chống nấm và chống virus, nên phù hợp để sử dụng làm vật liệu y tế như băng vết thương và chỉ phẫu thuật. Một số loại bọt biển silic được chú ý vì khả năng tạo thành bộ xương silica. Silica từ những sinh vật này và nhiều chi tiết về quá trình hình thành của bộ xương silica, đang được tìm kiếm để sử dụng trong nhiều ứng dụng y sinh như lớp phủ cho mô cấy phẫu thuật, chất kết dính để phân phối thuốc và chế tạo vi điện tử. Tương tự như vậy, agar được chiết xuất từ tảo lớn (macroalgae) đang được sử dụng để bao gói thuốc và bộ xương của bọt biển dựa vào collagen có tiềm năng sử dụng để hàn gắn xương.

Việc phân lập arabinonucleoside hoạt tính sinh học từ bọt biển *Tethya crypta* vào thập niên 50, đã dẫn đến sự phát triển của hai loại thuốc tổng hợp gồm: Ara-C (chữa bệnh bạch cầu) và Ara-A (điều trị nhiễm virus). Dù khởi đầu đầy triển vọng, nhưng đến năm

2004, các loại thuốc thể hệ tiếp mới có nguồn gốc từ biển là ziconotide (Prialt®) được phân lập từ ốc sên hình nón và trabectedin (Yondelis®) từ con hải tiêu, đã được thương mại hóa. Conotoxin có trong nọc độc của ốc sên hình nón thường gây chết người, nhưng với số lượng nhỏ, nó có thể trở thành thuốc gây mê hoặc giảm đau hữu ích hoặc được sử dụng để bào chế các loại thuốc chữa nhiều bệnh như động kinh và rối loạn tâm thần. Ngày nay, conotoxin đang được chú trọng cho hoạt động thương mại. Có 251 sáng chế và đăng ký sáng chế đề cập đến thuật ngữ “conotoxin” trong tiêu đề.

Genomics đang cung cấp những kiến thức mới về đa dạng di truyền của các tài nguyên sinh vật biển và tiết lộ các nguồn thuốc mới. Kết quả là số lượng các hợp chất có nguồn gốc từ biển hoặc các chất chuyển hóa thứ cấp đang gia tăng nhanh và một số hợp chất đã được sử dụng để bào chế thuốc. Trong giai đoạn 1998 - 2006, đã có 592 hợp chất có nguồn gốc từ biển với hoạt tính chống khối u và gây độc tế bào và 666 hóa chất bổ sung có hoạt tính dược học (chống vi khuẩn, chống đông máu, chống viêm và chống nấm, cũng như có ảnh hưởng đến các hệ thống tim mạch, nội tiết, miễn dịch và thần kinh).

Hoạt động tiền lâm sàng trong bào chế thuốc có nguồn gốc từ biển đang gia tăng và mang tính toàn cầu; các nhà nghiên cứu từ 32 quốc gia tham gia hoạt động này trong hai năm 2007 và 2008. Đến năm 2010, có hơn 36 loại thuốc chiết xuất từ những vật liệu ở biển được phát triển lâm sàng, trong đó có 15 loại thuốc ung thư. Gần một nửa nỗ lực phát hiện thuốc chống ung thư hiện nay tập trung vào sinh vật biển. Hai năm sau, 7 loại thuốc đã được FDA chứng nhận được phép sử dụng, 11 loại thuốc đã được thử nghiệm lâm sàng và 1.458 có triển vọng cho thử nghiệm lâm sàng.

Vi khuẩn nói chung và vi khuẩn biển nói riêng là trọng tâm thu hút nhiều sự chú ý, vì chúng ngày càng được xem là một nguồn hợp chất sinh học đặc biệt phong phú. Nguyên nhân là do tính chất phức tạp của hệ sinh thái biển và nhiều vi khuẩn trong môi trường biển theo ước tính chưa được phát hiện. Vì hầu hết các loại thuốc hiện có đều bắt nguồn từ trên cạn, nên các nguồn tài nguyên biển, đặc biệt là vi sinh vật biển, là phần lớn chưa được khai thác.

Do vậy, công nghệ sinh học biển có thể góp phần to lớn vào sự phát triển của các loại thuốc kháng sinh mới, thuốc chống ung thư và điều tiết hệ miễn dịch. Hiện tượng kháng kháng sinh là do tình trạng sử dụng rộng rãi kháng sinh cho con người và trong nông nghiệp, là một mối đe dọa nghiêm trọng đến sức khỏe và là trọng tâm được chính phủ và người dân quan tâm. Tổ chức Y tế thế giới (WHO) đã xác định đây là một trong ba mối đe dọa chính đối với sức khỏe con người. Vấn đề có thể trở nên tồi tệ hơn vì có rất

ít loại thuốc tiềm năng mới được phát triển; vi khuẩn đang có khả năng kháng thuốc kháng sinh với tốc độ nhanh hơn việc thay thế hiệu quả thuốc cũ.

Bào chế được phẩm phụ thuộc nhiều vào việc khai thác các hợp chất mới được phát hiện thông qua metagenomics và sàng lọc hoạt tính sinh học của các mẫu trong ngân hàng sinh học biển. Những khó khăn chủ yếu là thiếu kinh phí và thách thức kỹ thuật để mô tả đặc điểm của phân nhóm và các chức năng gen mới. Một số nhóm có các chương trình NC&PT để bào chế các loại thuốc kháng sinh học bằng cách phân lập và mô tả các hợp chất từ biển có tác dụng mạnh. Năm 2006, Viện nghiên cứu Scripps đã công bố chương trình NC&PT khả năng kháng khuẩn từ phát hiện ban đầu đến phát triển và nghiên cứu cho đến các thử nghiệm lâm sàng.

Tuy nhiên, vi khuẩn biển không phải là nguồn duy nhất cung cấp thuốc mới tiềm năng. Các vi sinh vật biển khác, thực vật thủy sinh và sinh vật biển lớn cũng là trọng tâm của nghiên cứu được phẩm. Việc khám phá và phát triển các chất hoạt tính sinh học mới có nguồn gốc từ biển đang gia tăng do những tiến bộ gần đây trong việc sàng lọc thông lượng cao và phân tích metagenomic, và các hợp chất từ tảo nở hoa có hại có triển vọng về được phẩm.

Các chất dinh dưỡng, enzyme, chất chuyển hóa và các hợp chất khác từ tài nguyên sinh vật biển cũng đóng góp cho các ứng dụng được phẩm dinh dưỡng và sự phát triển của thực phẩm chức năng. Tảo lớn, cá và thậm chí vi khuẩn được sử dụng làm nguồn axit béo thiết yếu, bao gồm axit arachidonic (ARA) và axit docosahexaenoic (DHA). Động vật có xương sống và động vật giáp xác là nguồn cung cấp canxi hoặc chitin tốt (và các dẫn xuất như glucosamine) đã tìm thấy trong nhiều ứng dụng như là chất bổ sung dinh dưỡng hoặc chất hỗ trợ. Sinh vật biển cũng sản sinh một số chất chuyển hóa và các hợp chất hoạt tính có thể được kết hợp trong nhiều được phẩm dinh dưỡng có chứa các thành phần hoạt tính như chất chống oxy hóa, tinh dầu và vitamin hỗ trợ sức khỏe.

Vì thực phẩm chức năng chủ yếu dựa vào sinh khối, nên chúng không cần được đầu tư và nghiên cứu nhiều như được phẩm. Nghiên cứu về tác động của thực phẩm chức năng/được phẩm dinh dưỡng đang bị bỏ quên nhưng có tiềm năng làm tăng giá trị cho các sản phẩm này. Thực phẩm chức năng thâm nhập thị trường tương đối mạnh và được sự đón nhận của người dân, nhưng việc thương mại hóa loại thực phẩm này sẽ đòi hỏi sự phát triển của văn hóa khai thác bền vững cũng như phương thức chiết xuất và bảo quản phù hợp.

### ***1.3.3 An ninh nhiên liệu***

Hầu hết các nước trên thế giới đều cam kết giảm phát thải cacbon. Nhiều nước thành

viên OECD đang chuyển sang sử dụng bổ sung sinh khối tái tạo để cuối cùng thay thế một số nguyên liệu từ dầu mỏ. Đối với các quốc gia khác, động thái này có thể được thúc đẩy bởi các vấn đề liên quan đến an ninh nhiên liệu hoặc khả năng dễ bị tổn thương về kinh tế.

Sinh khối là một nguồn sinh học cung cấp cacbon hữu cơ (ví dụ: gỗ, động, thực vật và nhiều chất rắn hữu cơ bao gồm chất thải công nghiệp và nông nghiệp), có thể được sử dụng trực tiếp hoặc chuyển đổi thành các sản phẩm năng lượng như nhiên liệu sinh học và khí biogas. Do đó, sinh khối là một nguồn năng lượng tái tạo và chuyển đổi sinh khối thành nhiên liệu sinh học là một ví dụ về công nghệ sinh học nông nghiệp hoặc công nghiệp.

Nhiên liệu sinh học thế hệ thứ nhất như dầu diesel sinh học chủ yếu bắt nguồn từ ngũ cốc, ngô hoặc mía... được sản xuất ở nhiều nơi trên thế giới. Đây là dạng nhiên liệu đã bị chỉ trích là làm giảm nguồn thực phẩm của con người và dẫn đến các mô hình sử dụng đất không bền vững. Nhiên liệu sinh học thế hệ thứ hai, còn được gọi là nhiên liệu sinh học tiên tiến, là sản phẩm cuối cùng như nhau nhưng được xem là bền vững hơn. Các nhiên liệu này được sản xuất từ các nguồn bền vững (ví dụ, các loại cây trồng phi lương thực và sinh khối chất thải) và/hoặc phát thải cacbon ít hơn các nguồn nguyên liệu dùng cho nhiên liệu sinh học thế hệ thứ nhất. Dù nhiên liệu sinh học làm gia tăng ít vấn đề về tính bền vững, nhưng lại tạo rào cản cho phát triển và thương mại hóa, chủ yếu là do khó chiết xuất các loại đường hữu ích có trong sinh khối xơ.

Năm 2008, OECD đã công bố đánh giá kinh tế về các chính sách hỗ trợ nhiên liệu sinh học thế hệ thứ hai. OECD đã đưa ra kết luận, đó là sự hỗ trợ cho hoạt động sản xuất nhiên liệu sinh học từ phía chính phủ của các nước OECD đã tác động hạn chế đến việc giảm phát thải khí nhà kính và cải thiện an ninh năng lượng và gây tác động lớn đến đơn giá cây trồng trên thế giới. Bên cạnh đó, các dạng năng lượng sinh học khác như nhiệt sinh học, năng lượng sinh học và khí biogas, sẽ là những phương pháp khả thi về kinh tế và bền vững về môi trường để giảm khí nhà kính.

Để sản xuất nhiên liệu sinh học khả thi về kinh tế và môi trường, sẽ cần phải giải quyết những thách thức kỹ thuật và thương mại như xử lý phụ phẩm, không thải cacbon, chi phí sản xuất và vốn, mở rộng quy mô và kết hợp với cơ sở hạ tầng hiện có. Nhiên liệu sinh học từ tảo, còn được gọi là nhiên liệu sinh học thế hệ thứ ba hoặc thế hệ mới, có thể giải quyết một số thách thức này và làm cho nhiên liệu sinh học có giá trị kinh tế cao hơn và thân thiện với môi trường.

Sinh khối tảo bao gồm vi tảo hoặc tảo lớn (rong biển). Nhiên liệu sinh học từ tảo

được tạo ra nhờ ứng dụng công nghệ sinh học biến vào sinh khối tảo để sản xuất dầu diesel sinh học, ethanol sinh học, xăng sinh học, methanol sinh học, butanol sinh học và các nhiên liệu sinh học khác. Sinh khối tảo có nhiều ưu điểm liên quan đến sinh khối xenlulô thế hệ thứ nhất và thứ hai. Bên cạnh đó, sinh khối tảo không có lignin, nguyên liệu từ thực vật xuất hiện trong sinh khối xenlulô gây khó khăn lớn trong quá trình xử lý. Đây là lợi thế công nghệ lớn nhất của sinh khối tảo đối với nhiên liệu sinh học. Những lợi thế khác của sinh khối tảo là sản lượng của nó không bị giới hạn về mặt địa lý và hoạt động canh tác tảo có thể tránh cạnh tranh với sản xuất lương thực. Việc sử dụng nhiên liệu sinh học từ tảo một phần phụ thuộc vào đầu tư và cơ sở hạ tầng được phát triển cho phù hợp với các nhiên liệu sinh học thế hệ thứ nhất và thứ hai.

Việc sử dụng tảo để sản xuất nhiên liệu sinh học rất hấp dẫn vì nhiều lý do. Tảo có thể sản sinh nhiều năng lượng và được nuôi trồng nhanh hơn (thường là trong vòng 1-10 ngày) so với cây trồng phổ biến như đậu tương hoặc bông. Các tính toán lý thuyết về sản xuất nhiên liệu sinh học không giống nhau, nhưng sản xuất ethanol từ tảo được xem là vượt trội hơn so với sử dụng các loại cây trồng trên cạn. Canh tác vi tảo cũng chiếm ít diện tích hơn sinh khối từ các cây trồng trên cạn. Theo ước tính, chỉ cần không quá 39.000 km<sup>2</sup> tảo, tương đương với diện tích của Biển Azov hoặc khoảng 10% tổng diện tích đất của nước Đức, sẽ đủ để thay thế tất cả nhiên liệu từ dầu mỏ của Hoa Kỳ.

Dù nhiên liệu sinh học từ tảo cần có phân bón hoặc vật liệu hữu cơ, nhưng chúng tạo ra các dòng khí thải giàu cacbon hoặc nitơ và mở ra cơ hội để cố định sinh học các khí nhà kính này trước khi chúng thải vào môi trường. Tảo có thể được sản xuất bằng nước biển và nước thải, làm giảm nhu cầu về nước ngọt. Vi tảo cũng có thể được canh tác trên đất và tảo có thể phân huỷ sinh học nếu thải vào môi trường dưới dạng chất thải.

Vi tảo có thể được trồng trong ao hoặc lò phản ứng quang học và được sử dụng làm nguyên liệu cho một số loại nhiên liệu tái tạo. Rõ ràng, công nghệ sinh học biến góp phần phát triển thành công các chủng tảo. Thành phần sinh hóa của tảo có thể được biến đổi bằng cách thay đổi các điều kiện sinh trưởng trong lò phản ứng sinh học để cho ra đời các sản phẩm tương tự có giá trị như protein và sinh khối dư thừa. Các điều kiện sinh trưởng và quy trình chiết xuất cần được phát triển mạnh hơn trước khi sản xuất nhiên liệu sinh học từ tảo trở nên khả thi về thương mại. Tính khả thi kinh tế của các quy trình này cần được giải quyết và cần có một phân tích vòng đời đầy đủ để nghiên cứu sự sản sinh CO<sub>2</sub>, khả năng cố định sinh học của các chủng vi tảo và sự ổn định của các chủng này trong điều kiện sản xuất. Các ứng dụng khác của công nghệ sinh học biến, bao gồm biến đổi gen các chủng tảo cho phù hợp với các kịch bản sản xuất hoặc khai thác các hoạt tính sinh học khác trong quá trình chiết xuất nhiên liệu, chắc chắn sẽ cần cho hoạt động

thương mại hóa trên quy mô rộng. Việc thích ứng khái niệm lọc sinh học cho các nguyên liệu từ biển cung cấp một cách tiếp cận để giải quyết những thách thức này.

Nhiên liệu sinh học được sản xuất từ tảo lớn, có các cơ hội và thách thức gần như nhau. Tảo lớn là một nguồn sinh khối dễ tiếp cận, các phương pháp nuôi trồng và sản xuất tảo đã được áp dụng rất hiệu quả và chuỗi cung ứng được thiết lập tốt. Tuy nhiên, trồng tảo lớn sẽ mất nhiều diện tích hơn. Vì tảo lớn sinh trưởng ở đại dương sẽ phù hợp hơn, nên nhiều thách thức đặt ra đối với việc ngăn chặn và tương tác với các cơ sở như thủy sản và trang trại gió. Những khó khăn trong việc khai thác nhiên liệu sinh học và chất thải đang được giải quyết. Phòng Thí nghiệm Kiến trúc sinh học (BAL) ở Hoa Kỳ gần đây đã biến đổi một vi khuẩn để chuyển hóa alginate, loại đường dồi dào nhất trong rong biển. Axit alginic/alginate chiếm 20-30% tổng hàm lượng chất khô của rong biển nâu. Phòng Thí nghiệm BAL đã biến đổi cacbohydrate từ rong biển thành chất trung gian hóa học tái tạo, có thể được dùng để sản xuất cả nhiên liệu và nhiều loại hóa chất cho nhựa xanh, chất hoạt động bề mặt, hóa chất nông nghiệp, sợi tổng hợp và dược phẩm dinh dưỡng.

Dù hiện nay nhiên liệu sinh học từ tảo đắt hơn các nhiên liệu sinh học khác, nhưng đại diện cho một công nghệ sinh học biển mới đã trải qua giai đoạn chứng minh khái niệm và hiện là trọng tâm của hoạt động quan trọng trong các lĩnh vực công và tư. Ngoài các thách thức kỹ thuật đã đề cập ở trên, việc thương mại hóa nhiên liệu sinh học và nhiên liệu hóa sinh vấp phải hai khó khăn lớn. Về đầu tư, tốc độ ra quyết định còn chậm và mức độ giao thoa giữa các lĩnh vực tài trợ cản trở tiến bộ; về thị trường bên ngoài, các công ty nhiên liệu sinh học phải cạnh tranh với công nghệ đã được phát triển từ 100 năm qua và sự hỗ trợ lớn của chính phủ cho lĩnh vực dầu khí.

Những vấn đề quan trọng vẫn liên quan đến tính khả thi của hoạt động sản xuất nhiên liệu sinh học trên quy mô lớn. Ví dụ, một báo cáo gần đây của Đức nêu rõ các đại dương không phù hợp với vai trò là một nguồn cung cấp sinh khối cho sản xuất nhiên liệu sinh học trên quy mô lớn do sự gia tăng nhanh chóng của thực vật phù du đơn bào bắt nguồn từ tác động của động vật phù du. Để giải quyết các vấn đề liên quan đến khả năng sinh tồn sẽ đòi hỏi phải phân tích chi tiết vòng đời để cung cấp dữ liệu hiển thị được quốc tế công nhận. Trong khi tảo có nhiều lợi thế, nhưng một phân tích chi tiết đã hé mở thêm nhiều vấn đề. Ví dụ, sử dụng phân bón gây phát thải các khí nhà kính chứa nitơ với tiềm năng gây nóng lên toàn cầu mạnh hơn nhiều so với CO<sub>2</sub> và phạm vi của vấn đề sẽ phụ thuộc vào tỷ lệ sử dụng phân bón.

Ngoài sản xuất nhiên liệu sinh học tái tạo, công nghệ sinh học biển có thể được sử

dụng để khai thác nhiên liệu hóa thạch hiệu quả hơn. Khai thác nhiên liệu hóa thạch thường tương đối kém hiệu quả do độ rỗng của đá hoặc độ nhớt của dầu thô. Chỉ một phần nhỏ dầu trong các mỏ dầu được khai thác, cho đến nay đã được loại bỏ và các bể chứa với một tỷ lệ lớn dầu thường bị bỏ lại do những khó khăn ngày càng lớn trong quá trình khai thác bể chứa. Các sinh vật biển có thể được sử dụng để tăng hiệu quả thu hồi dầu bằng cách giảm độ nhớt của dầu hoặc tăng tính thấm thấu của vật liệu đá trong các bể chứa. Trong khi việc thu hồi dầu được tăng cường bởi vi khuẩn vẫn còn gây tranh cãi, thì đây là một phương pháp khác, trong đó công nghệ sinh học biển có thể góp phần giải quyết các thách thức toàn cầu về an ninh năng lượng.

Vi tảo, tảo lớn và vi khuẩn cũng đã cho chứng tỏ lợi ích của chúng trong việc chế tạo pin nhiên liệu vi khuẩn, tức là các hệ thống khai thác điện sinh ra từ quá trình trao đổi chất của vi khuẩn.

#### ***1.3.4. Công nghiệp chế biến***

Áp lực giảm phát thải khí nhà kính và tăng tính bền vững môi trường đã thúc đẩy đầu tư lớn cho sự phát triển của các ngành công nghiệp bền vững với vai trò như một nguồn tăng trưởng xanh. Các công cụ dựa vào công nghệ sinh học biển có thể được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp chế biến và sản xuất và đóng vai trò quan trọng trong nỗ lực tăng trưởng xanh trên toàn cầu. Nhiều sinh vật biển hoặc các sản phẩm của chúng, bao gồm một số sinh vật đã được đề cập ở trên, là nguồn cung cấp enzyme mới, polyme sinh học và vật liệu sinh học. Các phân tử hoạt tính sinh học, hợp chất hoặc enzyme có thể được nuôi cấy hoặc khai thác trực tiếp dưới dạng nguyên liệu từ biển hoặc được sử dụng để tổng hợp các chất tương tự.

Ví dụ, ngoài tiềm năng sản xuất nhiên liệu, tảo và các loại sinh khối biển khác là những giải pháp thay thế chưa được khai thác trên quy mô lớn cho hóa chất nền tảng và thậm chí là thực phẩm chức năng. Vi tảo giàu axit béo đa không bão hòa (PUFA), chất thay thế rau dùng để sản xuất dầu cá và các loại dầu giàu axit béo omega-3. Do đó, chúng có thể được sử dụng làm thức ăn cho cá và các sản phẩm để con người tiêu thụ trước khi cần được este hóa cho sản xuất nhiên liệu sinh học.

Chitin, một polysaccharide chứa các đơn vị glucosamine N-Acetyl, là một nguồn tài nguyên biển đã được phát hiện có nhiều ứng dụng rộng rãi. Được khai thác từ vỏ cua, tôm hùm và cấu trúc bên trong của các động vật không xương sống khác, chitin và dạng khử axetyl hóa của nó là chitosan, được sử dụng làm chất ổn định trong thực phẩm và mỹ phẩm để xử lý nước cho bảo quản thực phẩm và trong các ứng dụng chống gỉ.

Phần lớn trong số 3.500 enzyme được xác định có nguồn gốc từ vi sinh vật cho đến

nay đều từ các nguồn trên cạn. Các enzyme đó được xác định trong môi trường biển, có xu hướng bắt nguồn từ các sinh vật sống trong môi trường khắc nghiệt và có rất nhiều ứng dụng trong chế biến nông nghiệp và công nghiệp.

Các chất hoạt động bề mặt sinh học và chất tạo nhũ sinh học là hai hợp chất hoạt tính sinh học quan trọng được chiết xuất từ vi khuẩn. Các hợp chất ưa nước này có nhiều hoạt động bề mặt, cho phép hòa tan các chất nền kỵ nước. Chúng được sản sinh bởi rất nhiều loại vi khuẩn và có nhiều dạng cấu trúc và chức năng. Tùy theo hình dạng, chúng có rất nhiều ứng dụng công nghiệp và môi trường tiềm năng (ví dụ nhũ tương hóa, tẩy rửa, phân tán và hòa tan các hợp chất kỵ nước) được quan tâm để thay thế các chất hoạt động bề mặt tổng hợp.

Tương tự như vậy, exopolysaccharide có nguồn gốc từ vi khuẩn, các polyme có trọng lượng phân tử cao được tiết ra bởi vi khuẩn, được coi là chất thay thế cho cao su tổng hợp hoặc cao su từ thực vật và tảo (kể cả carrageenan được chiết xuất từ vật liệu biển). Cao su từ vi khuẩn có các tính chất tương tự như cao su từ thực vật và tảo, có thể được sử dụng để ổn định, tạo keo, bám dính, làm dày và cho nhiều ứng dụng công nghiệp khác. Ví dụ, cao su xanthan được chiết xuất từ vi khuẩn *Xanthomonas campestris*, được sử dụng phổ biến trong thực phẩm và mỹ phẩm. Loại cao su này được sử dụng với số lượng lớn trong quá trình khoan dầu, đặc biệt trong khoan trục ngang, như chất làm đặc bùn với các đặc tính lưu biến tuyệt vời. Vi khuẩn biển được cho là một nguồn cung cấp exopolysaccharide có giá trị với các đặc tính cấu trúc và chức năng đa dạng và hữu ích.

Silica có nguồn gốc từ vi khuẩn tồn tại dưới dạng các silica sinh học mới với các tính chất điện, quang và xúc tác độc đáo, cũng có tiềm năng lớn trong sản xuất vật liệu nano. Silica có nguồn gốc từ biển có thể được sử dụng làm chất tải hoặc chất ổn định sản phẩm, làm cho chất kết dính hoặc sơn có các tính chất độc đáo và được dùng làm chất cách điện hoặc chất trám vật liệu.

Ứng dụng công nghệ sinh học biển cũng là một nguồn sản phẩm mới để nghiên cứu sinh học. Agar và agarase từ tảo lớn tạo sự ổn định cho quá trình nuôi cấy, trong khi các enzyme polymerase như *Thermus aquaticus* phân lập từ các lỗ thông nhiệt trong môi trường biển được sử dụng trong phản ứng chuỗi polymerase (PCR) để khuếch đại một lượng nhỏ ADN. Hợp chất phát quang sinh học aequorin và phân tử huỳnh quang GFP (protein huỳnh quang xanh) được phân lập từ sứa, cũng được dùng làm đầu dò và các ứng dụng tạo ảnh trong nghiên cứu khoa học đời sống. Phát quang sinh học có rất nhiều ứng dụng trong môi trường như vi khuẩn phát quang phát hiện các chất ô nhiễm trong nước thải và đất.

Các ứng dụng môi trường khác của công nghệ sinh học biển bao gồm giám sát môi trường và xử lý ô nhiễm sinh học (biofouling<sup>5</sup>). Ô nhiễm sinh học có thể làm giảm hiệu quả nhiên liệu của tàu vận tải; trong nuôi trồng thủy sản, nó có thể làm giảm chức năng của lưới, cũng như gây ăn mòn và bất ổn định các công trình trên biển. Ngoài ra, ô nhiễm sinh học cũng làm mất chi phí kinh tế, nhưng những nỗ lực để khắc phục có thể gây hại cho môi trường. Các loại sơn được thiết kế để giảm tình trạng này và các chất làm sạch vật liệu bị bám dính sinh học (ví dụ lưới nuôi trồng thủy sản) thường độc hại cho môi trường. Công nghệ sinh học biển có thể dẫn đến sự phát triển của các sinh vật biển tự nhiên hoặc các chất dẫn xuất ngăn chặn hiện tượng ô nhiễm sinh học.

#### *Nhà máy lọc dầu sinh học trên biển*

Mô hình kinh doanh và hoạt động kinh tế của các nhà máy lọc dầu sinh học dựa vào các nguyên liệu ở biển cần có khoản đầu tư lớn. Phương thức thú vị nhất là kết hợp tất cả các thành phần vào mô hình kinh doanh toàn cầu. Trong nhà máy lọc dầu sinh học tích hợp trên biển, nhiên liệu sinh học không chỉ là một sản phẩm mà còn là nguồn cung ứng giá trị, thực phẩm và các vật liệu khác cũng được tạo ra và thực sự cần được sản xuất để làm cho hoạt động lọc dầu khả thi về mặt tài chính. Như trong các nhà máy lọc hóa dầu, tỷ lệ lợi nhuận trên khối lượng nhiên liệu sản xuất có thể thấp và doanh thu cao hơn từ các vật liệu giá trị cao, khối lượng nhỏ làm cho hoạt động lọc dầu sinh học hấp dẫn.

Ngoài ra còn có nhiều cơ hội để áp dụng các quy trình lọc dầu sinh học nhằm chiết xuất các sản phẩm thương mại từ sinh khối vi tảo. Sinh khối vi tảo được canh tác có hàm lượng lipid dùng để chuyển đổi thành dầu diesel sinh học, mở ra triển vọng tạo ra các vật liệu thương mại bổ sung như lên men để sản xuất ethanol (tỷ lệ chuyển đổi thấp) và khí biogas. Bên cạnh đó, cũng có thể sản xuất thức ăn giàu protein cho động vật và người.

#### **1.3.5. Hàng hóa sinh thái và dịch vụ từ tài nguyên biển**

Tài nguyên sinh vật biển cung cấp một số hàng hóa và dịch vụ hệ sinh thái quan trọng cho hành tinh và người dân trên hành tinh. Costanza et al. (1997) đã phân loại 17 dịch vụ sinh thái khác nhau và ước tính rằng hệ sinh thái biển đóng góp khoảng 63% giá trị (20,9 nghìn tỷ USD mỗi năm, chủ yếu từ các hệ thống ven biển. Các sinh vật biển (vi tảo, cá và động vật không xương sống) là nguồn thức ăn cho hàng tỷ người và vật nuôi. Các đại dương được biết đến như là nơi điều hòa nhiệt độ toàn cầu và là bộ lọc ô nhiễm. Đại dương cũng là bể chứa cacbon và nitơ, cũng như là nguồn cung cấp oxy và thực

---

<sup>5</sup> Biofouling là sự tích tụ của vi sinh vật, thực vật, tảo và động vật trên các bề mặt ướt

phẩm.

Thực vật phù du sinh sống trên lớp nước mặt của đại dương, dễ dàng tiếp cận với ánh sáng, nên theo ước tính chúng sản sinh một nửa lượng oxy mà con người và động vật sử dụng. Ngoài ra, thực vật phù du cũng có vị trí quan trọng trong mạng lưới thức ăn và đóng vai trò quan trọng trong chu trình cacbon thông qua lưu giữ an toàn khí CO<sub>2</sub> và nitơ, cuối cùng được lắng đọng dưới đáy đại dương, qua đó, làm giảm tác động của nóng lên toàn cầu. Các dịch vụ hệ sinh thái được cung cấp bởi môi trường biển, là do quy mô rộng lớn và phạm vi mở rộng đến các hệ sinh thái và đa dạng sinh học phức tạp.

Tuy nhiên, các nguồn tài nguyên sinh vật biển và đa dạng sinh học của đại dương đang phải đối mặt ngày càng nhiều với các mối đe dọa trực tiếp và gián tiếp có thể làm gián đoạn các dịch vụ hệ sinh thái biển. Do đó, điều quan trọng nhất là phải bảo tồn môi trường biển và các tài nguyên sinh vật biển. Công nghệ sinh học biển giữ vai trò thiết yếu trong việc thực hiện những mục tiêu này.

Các cảm biến sinh học có nguồn gốc từ biển giúp theo dõi môi trường biển. Cảm biến sinh học là các thiết bị bao gồm một thành phần cảm biến sinh học liên kết với một thành phần tín hiệu, tiết lộ sự hiện diện của một nguyên tố, phân tử hoặc sinh vật được chú ý. Các cảm biến sinh học có thể phát hiện những thay đổi trong các thông số phân tích hoặc thông số sinh học để xác định nhanh sự hiện diện của các loài xâm lấn để làm gián đoạn các hệ sinh thái biển và nơi cư trú của sinh vật biển hoặc trên cạn. Năm 2011, một nhóm nghiên cứu tại Viện Khoa học hàng hải Virginia thông báo đã chế tạo được cảm biến sinh học di động có khả năng phát hiện các chất ô nhiễm ở biển trong đó có dầu với tốc độ nhanh và ít tốn kém hơn các công nghệ hiện tại. Nếu các cảm biến này được lắp đặt gần các cơ sở khai thác dầu, chúng có thể cung cấp cảnh báo sớm về sự cố tràn dầu và rò rỉ và theo dõi các mẫu phân tán trong thời gian thực.

Công nghệ sinh học biển cũng có thể góp phần bảo tồn môi trường biển và các dịch vụ hệ sinh thái thông qua phát triển các công cụ giám sát dựa vào ADN. Những công cụ này có nhiều ứng dụng; chúng cho phép phát hiện các sinh vật biến đổi gen, xác định danh tính của các loài và cảnh báo cho các nhà môi trường học về sự hiện diện của các loài xâm lấn.

Ngoài giám sát môi trường biển, công nghệ sinh học biển còn có thêm vai trò xử lý ô nhiễm. Các nhà khoa học đang sàng lọc các quần thể vi sinh vật tự nhiên trong môi trường biển để xác định các vi khuẩn chuyển hóa một số loại hydrocacbon nhất định. Những vi khuẩn này có thể được sử dụng để phân hủy các chất ô nhiễm mà không hề gây nguy hiểm cho hệ sinh thái khi chúng xuất hiện trong môi trường tự nhiên.

Mặc dù xử lý sinh học có một số lợi thế triển vọng, nhưng vẫn cần được cải tiến. Quá trình này thường diễn ra chậm và không thể hoạt động liên tục trong các điều kiện môi trường khác nhau, như sự thay đổi của nhiệt độ và cường độ sáng. Xử lý sinh học thường được thúc đẩy bởi các chất phụ gia tăng cường hoạt động của các vi sinh vật nội sinh phân hủy các hợp chất hydrocacbon (kích thích sinh học) hoặc bằng cách bổ sung các vi khuẩn phân hủy dầu mới (tăng cường sinh học). Kích thích sinh học đã được sử dụng thành công trong vụ tràn dầu Exxon Valdez, nhờ sử dụng phân bón cho hơn 120 km bờ biển có dầu tràn. Tuy nhiên, các quy trình này có thể không phù hợp trong mọi hoàn cảnh và hiệu quả của chúng có thể thay đổi tùy theo dạng hydrocacbon, khối lượng dầu tràn và điều kiện gió và môi trường biển. Thật vậy, chúng có thể gây thiệt hại thêm cho môi trường biển mong manh. Thao tác di truyền của những vi khuẩn này và/hoặc xác định vi khuẩn mới với khả năng xử lý phù hợp hiện nay là trọng tâm của nghiên cứu công nghệ sinh học biển.

### ***Công nghệ sinh học biển cho con người và hành tinh***

Triển vọng của công nghệ sinh học biển đã thay đổi sâu sắc trong thập kỷ qua phần lớn là nhờ tiến bộ khoa học và công nghệ, đặc biệt là khoa học "omic". Những tiến bộ này cung cấp thông tin mới chi tiết về các tài nguyên sinh vật biển và cải thiện khả năng tiếp cận, điều khiển và phát triển nguồn tài nguyên sinh vật biển để giải quyết một số thách thức lớn hiện nay. Các nguồn tài nguyên sinh vật biển không còn được xem như một nguồn thức ăn mà còn là bể lớn chứa đựng sự đa dạng của các sinh vật và đa dạng gen với tiềm năng gần như không giới hạn để phát triển và khai thác. Trong các điều kiện thích hợp, công nghệ sinh học biển có thể cung cấp các loại thực phẩm và phương thức sản xuất lương thực mới, các sản phẩm y tế mới, các giải pháp thay thế năng lượng tái tạo bền vững và các ngành công nghiệp mới bền vững.

Việc áp dụng công nghệ sinh học biển cho sinh khối biển - cá, động vật có vỏ, vi tảo và tảo lớn, chất thải liên quan - mở ra nhiều cơ hội mới để cải thiện và mở rộng sản xuất lương thực, phát triển nhiên liệu sinh học bền vững và các sản phẩm tự nhiên mới có lợi cho sức khỏe. Có lẽ thách thức lớn nhất đối với hoạt động phát triển dựa vào sinh khối là nhu cầu khai thác theo cách bền vững. Một số ví dụ hiện nay về tình trạng đánh bắt quá mức (ví dụ: đánh bắt cá tuyết ở đảo Newfoundland (Canada), đánh bắt cá trống ngoài khơi bờ biển Peru) minh họa thiệt hại kinh tế, xã hội và sinh thái có thể do tình trạng khai thác thiếu bền vững sinh khối biển. Công nghệ sinh học biển có thể giúp đảm bảo sử dụng bền vững sinh khối thông qua phát triển các kỹ thuật và phương thức nuôi trồng, sản xuất và chế biến mới.

Đa dạng di truyền của tài nguyên sinh vật biển, đặc biệt là vi sinh vật biển, cung cấp nhiều cơ hội và thách thức cho công nghệ sinh học biển. Nó có tiềm năng lớn để phát hiện các hợp chất hoạt tính sinh học mới với khả năng ứng dụng rộng rãi cho các loại thuốc và trong các ngành công nghiệp xanh và bền vững hơn. Nhu cầu phát triển tài nguyên biển một cách bền vững vẫn còn, nhưng đối với vi sinh vật biển, nó bắt nguồn từ nhu cầu tiếp cận và mô tả các nguồn gen này trong một hệ sinh thái phức tạp và năng động. Ở đây, cần phải sàng lọc và biến đổi khối lượng lớn dữ liệu để tìm hiểu và phát triển nguồn tài nguyên này một cách hiệu quả. Genomics và các công cụ liên quan đang cung cấp một phương tiện để tiếp cận và mô tả các tài nguyên sinh vật biển, nhưng công việc này rõ ràng sẽ phát huy hiệu quả khi hiểu rõ hơn về sự phức tạp của các tài nguyên sinh vật biển.

Tài nguyên biển rất quan trọng cho sự sống còn của hành tinh và chất lượng của các nguồn tài nguyên này có thể bị ảnh hưởng tích cực hoặc tiêu cực bởi hành động của nhiều quốc gia. Vì tài nguyên sinh vật biển có liên quan chặt chẽ đến các dịch vụ hệ sinh thái mà đại dương cung cấp cho hành tinh và người dân trên hành tinh, nên cần phải bảo tồn tính toàn vẹn và đa dạng sinh học của nó. Công nghệ sinh học biển có thể cung cấp một phương tiện giám sát và thậm chí khắc phục sự cố môi trường biển thông qua các ứng dụng cảm biến sinh học và xử lý sinh học. Các ứng dụng này rất cần thiết để hiểu và dự báo những thay đổi trong môi trường biển, cũng như bảo tồn và quản lý các nguồn tài nguyên biển và ven biển quan trọng đối với nền kinh tế sinh học.

Dù tiềm năng của công nghệ sinh học biển là rõ ràng, nhưng để khai thác tiềm năng này thì cần có sự quan tâm của chính phủ, các nhà hoạch định chính sách và những đối tượng khác. Hiểu đơn giản là, khó khăn nằm ở việc khai thác giá trị từ các nguồn tài nguyên phân bố rộng rãi trên một hệ sinh thái biển phức tạp, đồng thời phải tăng tối đa tính toàn vẹn và tính bền vững của hệ sinh thái đó cho các thế hệ tương lai. Nghiên cứu chính sách để vừa bảo vệ và phát triển một cách phù hợp các nguồn tài nguyên biển được chia sẻ, là yêu cầu mang tính toàn cầu và các hành động sẽ hiệu quả nhất nếu được thực hiện hài hòa giữa các quốc gia.

## **II. TIỀM NĂNG KINH TẾ CỦA CÔNG NGHỆ SINH HỌC BIỂN**

Công nghệ sinh học biển một lần nữa lại được quan tâm song hành với sự ra đời và phát triển của khái niệm “nền kinh tế sinh học”, đó là các khu vực kinh tế dựa vào đổi mới khoa học sinh học và công nghệ sinh học. Năm 2009, Chương trình tương lai quốc tế của OECD đã thực hiện dự án *Nền kinh tế sinh học đến năm 2030*, xem xét các phương

thức để nền kinh tế sinh học có thể mang lại lợi ích cho các nước thành viên và không phải thành viên của OECD.

Kể từ đó, thuật ngữ “nền kinh tế sinh học” đã có vị trí vững chắc trong từ điển của hầu hết các quốc gia OECD và được chú trọng ở các mức độ cấp bách khác nhau. Năm 2009, Phần Lan đã đề cập đến chiến lược kinh tế sinh học quốc gia cụ thể trong Chiến lược tài nguyên thiên nhiên của Hội đồng quốc gia và nhiều nước châu Âu khác (bao gồm Đan Mạch, Đức, Ai-len và Hà Lan) cũng có chiến lược kinh tế sinh học quốc gia. Vào tháng 2/2012, Ủy ban châu Âu đã công bố tầm nhìn cho nền kinh tế sinh học châu Âu. Theo ước tính, các khu vực kinh tế sinh học của EU mang lại giá trị 2 nghìn tỷ USD doanh thu hàng năm và đóng góp hơn 22 triệu việc làm và chiếm khoảng 9% lực lượng lao động.

Ngoài châu Âu thì Canada, Trung Quốc và Nam Phi đã có hoặc dự kiến xây dựng các kế hoạch chiến lược đầy tham vọng riêng. Đến tháng 4/2012, Hoa Kỳ đã công bố Kế hoạch chi tiết về nền kinh tế sinh học quốc gia. Văn bản này công nhận nền kinh tế sinh học là một ưu tiên chính trị vì có tiềm năng thúc đẩy tăng trưởng kinh tế và mang lại lợi ích xã hội to lớn. Kế hoạch nêu rõ kinh tế sinh học sẽ cho phép công dân Mỹ sống lâu hơn, khỏe mạnh hơn, giảm sự phụ thuộc vào dầu mỏ, giải quyết những thách thức môi trường quan trọng, biến đổi các quy trình sản xuất, tăng năng suất và mở rộng phạm vi của ngành nông nghiệp trong khi vẫn tạo công ăn việc làm mới và hình thành nên các ngành công nghiệp mới.

Hầu hết các chiến lược hoặc tầm nhìn kinh tế sinh học này đều đề cập đến tài nguyên sinh vật biển hoặc công nghệ sinh học biển và nhiều cơ hội triển vọng. Trong dự án *Nền kinh tế sinh học đến năm 2030*, những nội dung tương tự cũng được đề cập trong lĩnh vực công nghệ sinh học biển. Ví dụ, sản xuất lương thực và nhiên liệu sinh học (công nghệ sinh học nông nghiệp), phát triển các loại thuốc mới (công nghệ sinh học y tế), vật liệu mới (công nghệ sinh học công nghiệp) và công nghệ xử lý sinh học (công nghệ sinh học môi trường) là những khu vực có tiềm năng ứng dụng công nghệ sinh học biển. Từ đó, có thể thấy công nghệ sinh học biển sẽ đóng góp lớn cho nền kinh tế sinh học thông qua phát triển các sản phẩm và quy trình đổi mới sáng tạo, tạo việc làm và xây dựng hoặc “xanh hóa” một số ngành công nghiệp và lĩnh vực.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Năm 2017, Thủ tướng Chính phủ đã ký các Quyết định số 553/QĐ-TTg ngày 21/4/2017 về việc phê duyệt “kế hoạch tổng thể phát triển công nghệ sinh học đến năm 2030” và Quyết định số 562/QĐ-TTg ngày 25/4/2017 về việc phê duyệt “Chương trình phát triển khoa học cơ bản trong lĩnh vực hóa học, khoa học sự sống, khoa học trái đất và khoa học biển giai đoạn 2017-2025.

## 2.1. Giá trị thị trường của công nghệ sinh học biển

Thị trường sản phẩm và quy trình công nghệ sinh học biển trên toàn cầu được cho là mở ra cơ hội kinh tế quan trọng và lớn mạnh. Công ty Phân tích công nghiệp toàn cầu ước tính thị trường công nghệ sinh học biển toàn cầu mang lại giá trị 2,8 tỷ EUR (ước tính năm 2010), với tốc độ tăng trưởng hàng năm (CAGR) là 4-5% (hoặc thấp hơn mức giả định từ 10-12%). Tuy nhiên, giá trị của đóng góp này khó định lượng dựa vào nhiều ứng dụng công nghệ sinh học biển và việc đo lường và theo dõi các thị trường công nghệ sinh học biển khác nhau còn gặp nhiều khó khăn. Công nghệ sinh học biển xem ra không giống các công nghệ sinh học khác ở chỗ nó được xác định dựa vào vật liệu gốc (hoặc vật liệu mục tiêu) chứ không phải là thị trường mà nó đáp ứng.

Công nghệ sinh học biển rất hữu ích và trong nhiều trường hợp cần để định lượng thị trường và tiềm năng của thị trường công nghệ sinh học biển nhằm thu hút đầu tư và định hướng phát triển chính sách. Tuy vậy, ít dữ liệu và thị trường phân khúc chỉ cho phép ước tính giá trị của một số thị trường. Dù đây là một cách tiếp cận khó thực hiện và có phần không chính xác, nhưng có thể giúp minh họa tiềm năng của thị trường công nghệ sinh học biển.

### *Dược phẩm*

Thị trường của một số loại thuốc và hợp chất hoạt tính sinh học có nguồn gốc từ biển có thể định lượng được, vì ngành công nghiệp này đã trụ vững và dữ liệu về các sản phẩm thương mại hóa được công bố công khai. Thành công ban đầu của thị trường công nghệ sinh học biển liên quan đến việc chiết xuất arabinosides Ara-A (Vidarabine®, Vidarabin®, Thilo®) và Ara-C (Cytarabine, Alexan®, Udicil®) từ bọt biển *Cryptotethya crypta* vào thập niên 50. Những hợp chất này có tính chất chống virus (Ara-A) và chống bệnh bạch cầu (Ara-C) và tạo ra một thị trường mang lại giá trị từ 50-100 triệu USD mỗi năm.

Các pseudopterosin chống viêm và giảm đau được phân lập từ san hô mềm Bahamian có tên là *Pseudoterigorgia elisabethae*, là một ví dụ điển hình khác. Các hợp chất bắt nguồn từ loại san hô mềm này dẫn đến sự phát triển của các sản phẩm sinh học hiện được dùng trong các dòng sản phẩm chăm sóc da và mỹ phẩm và hiện đang tạo ra giá trị 3-4 triệu USD/năm.

### *Công nghệ sinh học*

Một số hợp chất hoạt tính sinh học đã được thương mại hóa thành công trong lĩnh vực công nghệ sinh học. Ví dụ, phosphatase kiềm của tôm (SAP) được phân lập từ các

sinh vật sống trong môi trường thủy sinh lạnh và enzyme polymerase ADN chịu nhiệt được chiết xuất từ vi khuẩn ưa nhiệt *Thermus aquaticus* trong suối nước nóng. Năm 1985, Kary Mullis đã mô tả cách polymerase ADN chịu nhiệt có tên là *Taq polymerase*, được sử dụng để khuếch đại trong ống nghiệm các chuỗi ADN hoặc ARN một cách nhanh chóng bằng phản ứng chuỗi polymerase (PCR). Công ty Cetus đã cấp sáng chế cho enzyme và kỹ thuật liên quan và bán cho Công ty chăm sóc sức khỏe Hoffman-LaRoche với giá 300 triệu USD vào năm 1991. PCR sử dụng *Taq polymerase* và các polymerase tổng hợp khác có các tính chất tương tự hiện được sử dụng tại các phòng thí nghiệm công nghệ sinh học trên toàn thế giới và là một thị trường lớn: chỉ riêng doanh thu của *Taq polymerase* ở châu Âu năm 1991 đã lên tới 26 triệu USD). Thị trường polymerase ADN hiện được cho là mang lại giá trị 500 triệu USD/năm.

#### *Cá và động vật giáp xác*

Nuôi trồng thủy sản là một thị trường nữa có dữ liệu. Tuy nhiên, rất khó để đánh giá sự đóng góp của công nghệ sinh học biển vào tổng giá trị của thị trường này. Lấy ví dụ về sản xuất cá hồi thương mại, sản lượng cá hồi Đại Tây Dương được nuôi trên toàn thế giới vượt quá 1,4 triệu tấn trong năm 2009 với giá trị thị trường đạt 6,4 tỷ USD (FAO, 2011). Tuy nhiên, mặc dù nuôi trồng thủy sản bằng công nghệ phân tử là một phần quan trọng của hoạt động nuôi trồng thủy sản tại hầu hết các vùng, nhưng đóng góp của công nghệ sinh học biển vào sản xuất và giá trị thị trường vẫn chưa được biết đến. Bên cạnh đó, yếu tố không đánh giá được trong thị trường này là giá trị của công nghệ sinh học biển được sử dụng trong quá trình tạo ra kiểu hình gen của trứng liên quan đến các phương thức nhân giống chọn lọc, sàng lọc dựa vào PCR vì sức khỏe của cá hoặc phát triển vắc-xin.

#### *Thị trường sinh khối*

Thị trường cho các sản phẩm có nguồn gốc sinh khối, trong đó nhiều sản phẩm từ biển, thường trụ vững và cung cấp một số dữ liệu hữu ích. Polysaccharide từ rong biển (bao gồm các loại agar, alginates và carrageenan) có thị trường tương đối ổn định, mang lại sản lượng 86.000 tấn và giá trị 1,018 tỷ USD năm 2010. Các hợp chất và chất dẫn xuất có nguồn gốc từ rong biển được sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau từ thực phẩm chức năng, mỹ phẩm đến chăm sóc sức khỏe. Năm 2005, theo ước tính trong lĩnh vực “chăm sóc vết thương” của polyme sinh học có sử dụng alginate và chitin, mang lại giá trị 800 triệu USD/năm.

Trên toàn cầu, thị trường chitin và chitosan (phần lớn có nguồn gốc từ biển) có giá trị 481 triệu USD và bị thu hẹp bởi thị trường các chất dẫn xuất từ chitin và chitosan (ví dụ glucosamine) được dự báo lần lượt đạt mức 63 tỷ USD và 21,4 tỷ USD vào năm 2015.

Tuy nhiên, ngoài các sản phẩm cụ thể, không dễ làm giảm đóng góp của công nghệ sinh học biển cho các thị trường này trên toàn cầu.

Thị trường sinh khối tảo (tảo được sử dụng trong sản xuất nhiên liệu sinh học) có quy mô nhỏ và chưa lớn mạnh, nhưng dự kiến sẽ phát triển theo cấp số nhân trong 5-10 năm tới do nhu cầu tăng. Quy mô và giá trị của thị trường vẫn chưa được xác định và sẽ phụ thuộc vào các yếu tố bên ngoài như chi phí sản xuất và tốc độ, phân tích vòng đời và các chính sách sử dụng nhiên liệu tái tạo của chính phủ.

Thị trường thực phẩm chức năng và các sản phẩm tự nhiên, bao gồm thực phẩm ăn kiêng, thực phẩm tự nhiên và thực phẩm hữu cơ và đồ uống, các sản phẩm gia dụng và chăm sóc cá nhân có tính chất tự nhiên và hữu cơ, ước tính mang lại giá trị 270 tỷ USD trong năm 2008 và được dự báo sẽ tăng 6% vào năm 2015. Trong một số trường hợp ngoại lệ, rất khó để tách biệt phần được chiết xuất từ tài nguyên sinh vật biển. Thị trường toàn cầu về các thành phần dầu omega-3 từ tảo biển mang lại giá trị khoảng 244 triệu USD năm 2009, được dự báo sẽ đạt 476-664 triệu USD vào năm 2015 (dựa vào tốc độ tăng trưởng ước tính hàng năm từ 10,9%-17,3%).

## **2.2. Đóng góp kinh tế của các đại dương**

Công nghệ sinh học biển đóng góp cho nền kinh tế sinh học bằng cách tạo việc làm trong toàn bộ chuỗi giá trị từ vị trí nghiên cứu đến các vị trí khác trong ngành công nghiệp. Tuy nhiên, công nghệ sinh học biển được dự báo sẽ ảnh hưởng đến nhiều lĩnh vực giá trị gia tăng: dược phẩm, thực phẩm, công nghiệp chế biến, dược phẩm dinh dưỡng... Điều này khiến cho tác động kinh tế toàn diện của nó khó xác định. Một số thông tin hữu ích có thể được thu thập bằng cách xem xét đóng góp kinh tế của các đại dương, nhưng dữ liệu từ các nghiên cứu hiện có cho thấy công nghệ sinh học biển chiếm một phần nhỏ trong số các hoạt động liên quan đến biển, bao gồm dầu khí, du lịch, đóng tàu, vận tải, cảng ...

Tại Vương quốc Anh, trong các năm 2005 và 2006, các hoạt động liên quan trực tiếp đến biển chiếm 4,2% (46 tỷ bảng Anh theo giá cơ sở) tổng sản phẩm quốc nội (GDP) của Anh và các việc làm liên quan đến biển chiếm 2,9% (890.000) tổng số việc làm tại quốc gia này. Điều này tương ứng với tổng đóng góp trực tiếp và gián tiếp cho nền kinh tế Anh dao động từ 6,0% đến 6,8%. Hoạt động NC&PT liên quan đến biển chiếm gần 1% các hoạt động kinh tế này.

Ở Canada, theo ước tính năm 2001, các hoạt động hàng hải đóng góp 1,4% GDP của quốc gia mặc dù tại các tỉnh ven biển của British Columbia và Nova Scotia, tỷ lệ đóng góp lần lượt là 7% và 10%. Gần đây, một báo cáo của Canada về tác động kinh tế

của các hoạt động hàng hải trong các vùng biển được quản lý đề cập đến hoạt động biển theo ước tính đóng góp 16,1% cho GDP và tạo ra 127.000 việc làm. Tại Hoa Kỳ, Chương trình Kinh tế biển quốc gia (NOEP) ước tính năm 2009, nền kinh tế biển của các quốc gia ven biển đạt mức 223 tỷ USD và đã tạo 2,6 triệu việc làm. Giá trị kinh tế bắt nguồn từ “tài nguyên sống” (trại nhân giống cá và nuôi trồng thủy sản, nghề cá, các thị trường hải sản và chế biến thủy sản) ở Hoa Kỳ ước tính năm 2009 là 5,7 tỷ USD và cung cấp 58.000 việc làm. Tuy nhiên, rất khó để tách rời đóng góp của công nghệ sinh học biển trong các thống kê kinh tế này.

Dù có một số thông tin về thành công của thị trường hữu hình và một số dữ liệu kinh tế chính xác của khu vực, nhưng việc định lượng đóng góp của công nghệ sinh học biển cho nền kinh tế sinh học vẫn là thách thức lớn. Tuy nhiên, trong thế giới ngày nay, vấn đề quan trọng hơn là phải xác định tác động của hoạt động đầu tư và tăng tối đa lợi nhuận đầu tư.

### **2.3. Đo lường các yếu tố đầu vào của công nghệ sinh học biển**

Một số người tin rằng công nghệ sinh học biển có tiềm năng tương đương công nghệ sinh học trên đất liền, nhưng lĩnh vực này còn quá non trẻ để được đo bằng các chỉ số về sản lượng kinh tế và cần được đo bằng các chỉ số NC&PT và đổi mới sáng tạo.

Cơ sở dữ liệu về chỉ số khoa học và công nghệ của OECD liệt kê một vài chỉ số đầu vào liên quan đến NC&PT như tổng chi quốc gia cho NC&PT (GERD) và các mô hình tài chính để đo lường kết quả hoạt động khoa học và công nghệ. Đặc biệt, nó hàm chứa ba chỉ số về đổi mới sáng tạo hữu ích trong lĩnh vực này, bao gồm: sáng chế, cán cân thanh toán công nghệ và giao dịch trong các ngành công nghiệp thâm dụng NC&PT. Hầu hết các tính toán cho đến nay đều dựa vào dữ liệu sáng chế.

#### *Dữ liệu sáng chế*

Sáng chế thường là một phần quan trọng trong toàn bộ quá trình thương mại hóa sáng kiến. Đây là trường hợp của các nguồn tài nguyên biển và các sáng kiến liên quan và, vì lý do này, các sáng chế trong chừng mực nhất định có thể được xem là đại diện cho giá trị thương mại của những khám phá. Một số dữ liệu sáng chế về công nghệ sinh học biển có giá trị và sẵn có được xem như là một dấu hiệu của tăng trưởng và tiềm lực kinh tế của lĩnh vực này.

Trong một khảo sát, hoạt động cấp sáng chế đã được nghiên cứu trong khoảng thời gian 10 năm bằng cách sử dụng các thuật ngữ tìm kiếm cơ sở dữ liệu: biển, đại dương, vùng nước sâu và nước biển. Nghiên cứu đã xác định được tổng số 2.241 sáng chế về

công nghệ sinh học biển được cấp trong giai đoạn 1996-2005 trong 9 lĩnh vực khác nhau. Leary et al. (2009) đã xem xét các sáng chế liên quan đến tài nguyên di truyền biển và xác định 135 sáng chế được xin cấp trong giai đoạn 1973-2007. Arrieta et al. (2010) cũng giới hạn phân tích sáng chế trong phạm vi gen của sinh vật. Các dữ liệu có sẵn cho thấy sự gia tăng số lượng sáng chế công nghệ sinh học biển liên quan đến tài nguyên di truyền biển và chứng minh có rất nhiều ứng dụng bắt nguồn từ các sáng chế chỉ trong lĩnh vực công nghệ sinh học biển.

Tuy nhiên, trong lĩnh vực công nghệ sinh học biển cũng như trong nhiều lĩnh vực khác, việc sử dụng sáng chế như một chỉ số về kết quả NC&PT hoặc thể hiện thành công thương mại còn hạn chế. Không phải tất cả các phát minh đã cấp sáng chế đều được thương mại hóa và không phải tất cả các phát minh được thương mại hóa đều đã được cấp sáng chế. Ngoài ra, sự khác biệt trong các phương thức cấp sáng chế giữa nghiên cứu được tài trợ công và tư làm cho vấn đề thêm phức tạp, vì hoạt động cấp sáng chế phổ biến hơn và diễn ra với tốc độ nhanh hơn trong khu vực tư nhân.

#### **2.4. Các chỉ số khác**

Nhóm công tác về công nghệ sinh học biển của Hội đồng biển (Quỹ khoa học châu Âu) đã cố gắng lập bản đồ các chỉ số thành công và nhận thấy hoạt động này rất khó khăn và trong một số trường hợp không thể thu thập những thông tin cần thiết. Nhóm công tác đã đo lường một số thông số chính của năng suất khoa học (scientific output): quỹ và nhân lực dành cho nghiên cứu biển và phát triển công nghệ; ấn phẩm khoa học và tác động của chúng (trích dẫn); Các sáng chế ở châu Âu trong những lĩnh vực khoa học và công nghệ biển; và thông tin về mục tiêu, hiện trạng và kết quả của các sáng kiến và chương trình nghiên cứu và phát triển công nghệ khác nhau ở cả cấp quốc gia và châu Âu. Tuy nhiên, rất khó hoặc mất nhiều chi phí để thu thập thông tin doanh nghiệp và sản lượng kinh tế và việc diễn giải thông tin này cũng không phải dễ.

##### *Nhu cầu về các biện pháp mới*

Việc đo lường những thành công thương mại và tác động kinh tế của việc đầu tư cho khoa học và công nghệ là rất quan trọng. Điều này đặc biệt quan trọng đối với các lĩnh vực mới nổi như công nghệ sinh học biển bị tác động lớn bởi chính sách. Cần phải đánh giá tác động của đầu tư trực tiếp và gián tiếp của chính phủ và các bên liên quan khác và để đo lường sự tiến bộ theo khám phá và khả năng phát triển liên tục.

Đối với công nghệ sinh học biển, một số thông tin có thể được thu thập thông qua xem xét vài chỉ số đề cập ở trên. Tuy nhiên, đây thường là những chỉ số không đầy đủ về thành công thương mại. Điều này đặt ra câu hỏi về cách thức các chính phủ và các bên

liên quan khác có thể theo dõi và đánh giá sự phát triển và đóng góp của lĩnh vực này cho nền kinh tế. Sẽ cần có các biện pháp và chỉ số mới hoặc cần thu thập dữ liệu mới.

Trong một số lĩnh vực, các chỉ số và biện pháp đã được đưa ra. Ví dụ, số lượng lớn các số liệu thống kê liên quan đến đầu vào và đầu ra NC&PT cho ngành công nghiệp dược phẩm. Hơn nữa, ngành công nghiệp này đang tích cực khám phá tiềm năng của các hợp chất có nguồn gốc từ biển để tăng cường hoạt động phát triển thuốc đã sụt giảm trong những năm gần đây. Trong lĩnh vực này, sự gia tăng số lượng sáng chế liên quan đến biển chiếm một phần tổng số sáng chế về bào chế thuốc, có thể được sử dụng như một chỉ số về sự đóng góp ngày càng mạnh mẽ của công nghệ sinh học biển. Đầu ra này liên quan đến đầu vào NC&PT công nghệ sinh học biển, có thể phác họa một phần bức tranh về tác động kinh tế của công nghệ sinh học biển. Tuy nhiên, để có một bức tranh hoàn chỉnh hơn, sẽ cần có sự tham gia của cả lĩnh vực công nghệ sinh học biển và các lĩnh vực khác.

Việc triển khai các biện pháp và chỉ số phù hợp cho các yếu tố đầu vào và sản lượng kinh tế sẽ cần có một định nghĩa chung về công nghệ sinh học biển. Từ đó có thể xem xét các loại hình đầu tư cần thiết và các phương thức đổi mới sản xuất. Công việc này cũng bao gồm phân tích các mô hình kinh doanh được sử dụng bởi một số ngành và một loạt các chỉ số kinh tế - xã hội để mô tả thực trạng và sự phát triển của các hoạt động liên quan đến biển như giá trị kinh tế gia tăng và việc làm trong lĩnh vực nghiên cứu và công nghệ biển.

## **2.5. Giá trị phi thị trường của đại dương**

Để đo lường và hiện thực hóa tiềm năng kinh tế của đại dương và các nguồn tài nguyên sinh vật biển, vấn đề quan trọng là phải xem xét giá trị phi thị trường của đại dương, ví dụ: giá trị môi trường (các dịch vụ hệ sinh thái) và giải trí có thể được khai thác từ đại dương và phải xác định xem các nguồn tài nguyên sinh vật biển bị ảnh hưởng bởi các ứng dụng công nghệ sinh học biển theo hướng tích cực và tiêu cực ra sao.

Trong một nghiên cứu gây tranh cãi và được trích dẫn rộng rãi, Costanza et al. (1997) ước tính giá trị kinh tế của 17 dịch vụ hệ sinh thái cho 16 quần xã sinh vật thông qua một số nghiên cứu đã được công bố và các tính toán ban đầu. Các nhà khoa học đã xem xét giá trị của sản xuất lương thực, xử lý chất thải, điều hòa khí hậu... và ước tính giá trị trung bình trên toàn cầu của các dịch vụ hệ sinh thái được cung cấp bởi môi trường biển (ngoài khơi và các vùng ven biển) mỗi năm là  $20.949 \times 10^9$  USD

Chương trình Kinh tế biển quốc gia (NOEP) của Trung tâm Kinh tế xanh trực thuộc Viện Nghiên cứu quốc tế Monterey cũng đã tính giá trị phi thị trường của đại dương.

Mạng lưới này cung cấp liên kết đến một số nghiên cứu (chủ yếu là ở Hoa Kỳ) về giá trị phi thị trường của các đại dương được sử dụng trong việc đánh giá các đại dương.

Giá trị phi thị trường thường liên quan đến những lợi ích giải trí của môi trường biển và ven biển hoặc các dịch vụ môi trường do các đại dương cung cấp, nhưng những giá trị này cũng vượt ra ngoài mọi lợi ích trực tiếp mà các đại dương và bờ biển mang lại. NOEP cố gắng ước tính giá trị xã hội của những yếu tố như bãi biển nguyên sơ ở California, đời sống hoang dã phong phú ở Florida Keys hoặc các hệ thống đất ngập nước và rừng ngập mặn giúp giảm thiểu thiệt hại do bão ở Gulf Coast. Trong khi giá trị của những “thứ vô hình” này khó ước tính, thì quan trọng là phải tính đến giá trị của chúng khi xác định đóng góp của môi trường biển đối với nền kinh tế.

Giá trị phi thị trường không phải là nhỏ. Chỉ riêng tại Hoa Kỳ, phân tích của NOEP cho thấy tổng giá trị phi thị trường của các nguồn tài nguyên biển và ven biển mỗi năm tối thiểu lên đến hàng chục tỷ đô la và có thể còn cao hơn. Ví dụ, ở Florida, theo ước tính, giá trị phi thị trường của bảy hoạt động rơi vào khoảng 16,5 tỷ USD đến 53 tỷ USD/năm. Việc loại trừ các giá trị phi thị trường này sẽ đánh giá thấp giá trị thực của nền kinh tế biển.

Một giải pháp thay thế để xem xét giá trị phi thị trường của các nguồn tài nguyên biển là dựa vào các giá trị thị trường khi không có các nguồn tài nguyên này. Viện Môi trường Stockholm đưa ra cách tiếp cận đó và xem xét giá trị của các đại dương bị mất đi theo các kịch bản biến đổi khí hậu khác nhau. Ngay cả trong một kịch bản gây tác động khí hậu thấp, thì cũng có thể làm mất đi hơn 1 nghìn tỷ USD giá trị (0,06% GDP) vào năm 2050.

Bất kỳ đánh giá kinh tế nào về các tài nguyên biển cũng cần tính đến giá trị thị trường và phi thị trường để cho phép đưa ra các quyết định sáng suốt về việc sử dụng và phát triển các nguồn tài nguyên biển. Do khó xác định các giá trị phi thị trường và sự cân bằng giữa năng suất đại dương và tính bền vững, nên cần bổ sung các chỉ số môi trường và kinh tế - xã hội về sức khỏe của đại dương.

#### *Chỉ số về sức khỏe của đại dương*

Các chỉ số môi trường có thể góp phần nâng cao hiệu quả của các phương thức quản lý và bảo vệ tài nguyên, bao gồm các chỉ số sinh học, địa chất, hóa học và vật lý mô tả sức khỏe của các vùng nước ven biển, bản chất của các chất ô nhiễm và mối quan hệ của chúng với các hoạt động của con người và sự tập trung của đô thị. Dù đã có một vài chỉ số và thông tin mang tính quốc gia, nhưng chúng thường hạn chế và không thể so sánh giữa các nước. Do đó, cần có nghiên cứu sâu hơn để:

- Xác định và phân tích giá trị chính sách của các chỉ số định lượng có liên quan.
- Xác định các chỉ số khoa học và công nghệ chính hiện có và dữ liệu kinh tế - xã hội trên cơ sở ngành và quốc gia.
- Phân tích giá trị pháp lý (tính hợp lệ) và mức độ liên quan của các chỉ số và dữ liệu này với sự phát triển chính sách, như minh chứng cho các lựa chọn phát triển bền vững phù hợp với các vùng.
- Tổng hợp các chỉ số hiện có nhằm mục tiêu phát triển các chỉ số quốc tế, bao gồm định chuẩn các chỉ số và phương thức.
- Xuất bản và phổ biến các báo cáo thường xuyên về hiện trạng của đại dương và các hoạt động trên biển dựa vào các chỉ số này.

Các dữ liệu này có thể đóng góp cho cơ sở dữ liệu tổng thể về năng lực khoa học, kỹ thuật và kinh tế xã hội liên quan đến quá trình hoạch định chính sách.

Như vậy, Công nghệ sinh học biển có thể đóng góp cho nền kinh tế sinh học thông qua phát triển các sản phẩm và dịch vụ sáng tạo trong các lĩnh vực như thực phẩm, y tế và sản xuất và thông qua tạo việc làm. Phạm vi công nghệ sinh học biển hỗ trợ sử dụng bền vững nguồn tài nguyên sinh vật biển, có thể giúp bảo tồn giá trị phi thị trường của đại dương và các lợi ích kinh tế-xã hội liên quan (ví dụ: giải trí, truyền thống văn hóa và du lịch). Khả năng đo lường đóng góp kinh tế-xã hội của công nghệ sinh học biển là quan trọng vì một số lý do và sẽ củng cố và ảnh hưởng đến sự phát triển của lĩnh vực này trong tương lai.

Giá trị thị trường của một số sản phẩm và dịch vụ công nghệ sinh học biển đã được biết đến, nhưng đối với những yếu tố khác thì quy mô và giá trị thị trường khó ước tính. Khó khăn nảy sinh vừa từ việc theo dõi phạm vi sản phẩm và dịch vụ trên các lĩnh vực khác nhau và phân tách đóng góp của công nghệ sinh học biển từ các yếu tố khác. Sẽ cần tích lũy tri thức hoặc đưa ra định nghĩa chung về công nghệ sinh học biển để xây dựng các chỉ số thích hợp về đầu vào và đầu ra. Dựa vào phạm vi ứng dụng của công nghệ sinh học biển, các chỉ số và biện pháp bước đầu có thể được đưa ra, trong đó chú trọng một số sản phẩm hoặc đầu ra ở một số nước trước khi mở rộng tại các quốc gia và khu vực khác. Mục tiêu lớn hơn là xây dựng các chỉ số kinh tế và hệ đo lường phù hợp cho phân tích so sánh giữa các quốc gia theo thời gian.

Để có được sự cân bằng giữa năng suất đại dương và tính bền vững, cần có các chỉ số cung cấp “đánh giá kinh tế” về các hệ sinh thái khỏe mạnh. Các chỉ số này có thể bao gồm các biện pháp cho đa dạng sinh học và ô nhiễm và cung cấp thông tin về tính khả

dụng của các nguồn tài nguyên sinh vật biển, như là nền tảng của công nghệ sinh học biển và tiếp đến là của tiềm năng kinh tế.

### **III. HẠ TẦNG XÂY DỰNG VÀ CHIA SẺ TRI THỨC CÔNG NGHỆ SINH HỌC BIỂN**

Phạm vi hiện thực hóa các lợi ích của công nghệ sinh học biển sẽ phụ thuộc phần lớn vào khả năng nhận thức và bảo tồn các nguồn tài nguyên sinh vật biển và hệ sinh thái biển. Điều đó cần có kỹ năng thu thập và phân tích dữ liệu khoa học mới và so sánh dữ liệu với tri thức hiện có. Hiện thực hóa toàn bộ tiềm năng của công nghệ sinh học biển cũng sẽ đòi hỏi hạ tầng NC&PT phù hợp.

#### **3.1. Hạ tầng nghiên cứu**

Lợi ích to lớn của công nghệ sinh học biển liên quan đến những tiến bộ gần đây của công nghệ “omics” (ví dụ: genomics, proteomics) và nhận thức mới về các nguồn tài nguyên sinh vật biển. Các công nghệ này là nền tảng cho nhiều hoạt động NC&PT công nghệ sinh học biển và đang tạo ra nhiều dữ liệu di truyền, giúp hiểu rõ hơn về sinh vật biển và tiềm năng phát triển công nghệ sinh học. Công nghệ lập trình tự gen, trước đây gặp khó khăn về kỹ thuật và tài chính, nay đã chín muồi và tạo ra dữ liệu với tốc độ chưa từng có so với cách đây một thập kỷ. Ví dụ, công nghệ HiSeq của công ty Illumina mỗi năm tạo ra khoảng 10 terabits (Tb) dữ liệu lập trình tự gen trên một máy và công suất từ các công nghệ tương lai dự kiến sẽ tăng lên 112Tb/máy vào năm 2015. Trong khi đó, chi phí cho mỗi chuỗi nucleotide giảm xuống nhanh chóng.

Dù có những tiến bộ của công nghệ "omics", nhưng rất ít người biết đến đa dạng sinh học biển và tiềm năng về tài nguyên sinh học. Những gì mà mọi người đã được biết chỉ chiếm 10% các loài sinh vật biển, đây là phần dễ tiếp cận nhất, bao gồm hầu hết là động vật có vú, cá và thực vật lớn hơn và các vi khuẩn phổ biến và dễ nuôi cấy nhất. Phần còn lại chủ yếu là các sinh vật biển rất ít được biết đến.

Metagenomics của các cộng đồng vi khuẩn biển đang mở ra một cánh cửa mới về đa dạng sinh học. Sự ra đời gần đây của công nghệ lập trình tự đơn bào (SCS) sẽ tiếp tục cải thiện khả năng liên kết cấu trúc và các chức năng của các cộng đồng vi sinh vật trong thập kỷ tới. Đầu tư trước đây cho lĩnh vực genomics đã dẫn đến thời kỳ phục hưng của công nghệ sinh học biển, làm nảy sinh thách thức về hạ tầng mới có nguy cơ hạn chế tốc độ đạt được các lợi ích. Việc ứng dụng rộng rãi công nghệ sinh học biển rõ ràng sẽ cần có hạ tầng bổ sung.

### *Các công cụ và quy trình để thu gom, nuôi cấy và phân loại mẫu*

Các công cụ và quy trình thu gom mẫu từ môi trường biển luôn được cải thiện. Tuy nhiên, các hoạt động thăm dò và lấy mẫu còn khó khăn tại các khu vực có môi trường khắc nghiệt, mở ra tiềm năng lớn khám phá các sinh vật có chức năng mới. Rãnh Mariana ở Tây Thái Bình Dương là một ví dụ điển hình. Tại điểm sâu nhất, sâu đến hơn 10 km và cột nước tạo áp suất 15.750 psi, gấp hàng nghìn lần áp suất khí quyển trên mực nước biển. Tính đến giữa năm 2012, bốn cuộc thám hiểm đã được thực hiện dưới đáy rãnh và một số cuộc thám hiểm khác đã được lên kế hoạch, nhưng gặp khó khăn về kỹ thuật, tốn kém và rất nguy hiểm. Việc lấy mẫu bị hạn chế, dù các sinh vật sống đã được thu gom, nhưng việc nuôi cấy và nghiên cứu chúng vẫn là thách thức. Trong các môi trường khắc nghiệt này, cần có các con tàu công nghệ tiên tiến cho hoạt động NC&PT công nghệ sinh học biển.

Nuôi cấy cung cấp một phương tiện để phân tích chuyên sâu các mạng lưới và hệ thống sinh hóa và bảo tồn tài nguyên biển trong ngân hàng sinh học. Tính chất cộng sinh phức tạp của các sinh vật biển có nghĩa là các phương pháp nuôi cấy mới sẽ cần cho nghiên cứu cơ bản (ví dụ: sinh vật mô hình, sàng lọc). Đặc biệt, các phương pháp và phương tiện mới có thể được phát triển nhờ tri thức từ các nghiên cứu trong lĩnh vực metagenomics (và các cộng đồng vi sinh liên quan), cho phép truyền thông hoặc truyền tín hiệu giữa các tế bào, có thể được nuôi cấy như sinh vật “chưa được nuôi cấy” và sinh vật cộng sinh. Các phương pháp nuôi cấy mới dựa vào hoạt động trao đổi chất giữa các cá thể của cộng đồng vi khuẩn, là sự thay đổi triệt để từ cách tiếp cận “phân lập và làm phong phú” thông thường sang nuôi cấy tế bào.

Ở quy mô sản xuất, nuôi cấy có thể là giải pháp xử lý vấn đề khai thác thiếu bền vững và cần cho sản xuất bền vững nhiều hợp chất/phân tử/enzyme mới. Các quy trình mới dao động từ việc tối ưu hóa các nhà máy lọc dầu sinh học để sản xuất nhiên liệu sinh học từ tảo, nuôi cấy các sinh vật biến đổi gen (GMO) để sản xuất dược phẩm cho đến nuôi cấy vi khuẩn và virus trong phòng thí nghiệm phục vụ phát triển các dòng tế bào mới.

Bộ sưu tập mẫu vật sinh học (hoặc các thành phần của chúng) có thể được sử dụng để phân tích và bảo tồn đa dạng sinh học, tạo thuận lợi cho việc trao đổi tài nguyên và phát triển các sinh vật mô hình. Ngân hàng sinh học chứa các mẫu nuôi cấy sống, lưu trữ axit nucleic, thư viện giải nén (như được thu thập từ các công cụ và phương tiện sắc ký mới) và thư viện hợp chất (cho phép nghiên cứu cấu trúc, chức năng và nguồn gốc) có thể thúc đẩy sự phát triển của các phân tử, hợp chất và chất hoạt tính sinh học mới. Việc phát

triển các kỹ thuật và khả năng bảo quản cryo mới cũng có thể hỗ trợ xây dựng ngân hàng sinh học và nuôi cấy ấu trùng và sinh vật biển trên quy mô thương mại.

### *Cơ sở dữ liệu*

Cơ sở dữ liệu là một phần không thể thiếu trong nghiên cứu về các nguồn tài nguyên sinh vật biển và đa dạng sinh học. Hiện đã có một số cơ sở dữ liệu chứa nhiều loại thông tin khác nhau. Cơ sở dữ liệu sinh vật biển (WORMS) được xây dựng như một nỗ lực toàn cầu để lập danh mục tất cả các loài sinh vật biển. Dự án này có sự tham gia của 270 chuyên gia phân loại đến từ 185 tổ chức tại 38 quốc gia và cơ sở dữ liệu mô tả 215.000 loài. WORMS có thể được truy cập trên Internet và được phân chia thành các công cụ cho những nhóm phân loại khác nhau.

Hệ thống Thông tin sinh - địa lý đại dương (OBIS) của UNESCO-IOC/IODE là nguồn cung cấp thông tin lớn nhất về sự phân bố của các loài sinh vật biển và là sự kế thừa dữ liệu của Cuộc điều tra sinh vật biển (COML) kéo dài 10 năm. OBIS chứa 32 triệu bản ghi từ 1.000 bộ dữ liệu và hơn 100.000 loài sinh vật biển. Cơ sở dữ liệu này là một nguồn tài nguyên phong phú để nghiên cứu sinh vật biển và đa dạng sinh học trong môi trường biển.

Cả hai cơ sở dữ liệu đó đều có thể được truy cập công khai và có nền tảng quốc tế. Tuy nhiên, để duy trì các cơ sở dữ liệu này, sẽ cần tiếp cận mạng lưới các trạm, giàn khoan trên biển và đài quan sát. Ngoài ra cũng sẽ cần thu hút một nhóm các chuyên gia phân loại để đảm bảo dữ liệu có chất lượng cao. Công việc này mở ra cơ hội hợp tác. Ví dụ, việc thiết lập các đài quan sát biển sẽ cung cấp cơ hội thu gom các mẫu vật liệu dư thừa và mẫu nước biển để bảo tồn ở trong và ngoài các ngân hàng sinh học phục vụ cho sử dụng về sau và cho các công nghệ trong tương lai. Ngoài ra còn có nhu cầu kết nối thông tin trong các cơ sở dữ liệu với thông tin di truyền, loài và nơi cư trú trong các cơ sở dữ liệu khác. Cuối cùng, việc chuẩn hóa các phương thức thu gom và phân loại mẫu sẽ tạo thuận lợi cho việc đồng bộ hóa công việc của các nhóm nghiên cứu khác, giúp chia sẻ thông tin dễ dàng hơn

### *Nền tảng sàng lọc và phân tích*

Dữ liệu lập trình tự gen (từ toàn bộ dữ liệu bộ gen đến dữ liệu metagenomics) từ môi trường biển chắc chắn là loại thông tin chính được sử dụng trong NC&PT công nghệ sinh học biển. Các dữ liệu được xây dựng nhanh chóng với chi phí ngày càng rẻ và đây là hạ tầng NC&PT hiện tại đầy thách thức.

Có lẽ thách thức trước mắt đối với công nghệ sinh học biển là sự phát triển các công

cụ và nền tảng thúc đẩy sàng lọc thông lượng cao các thông tin liên quan đến “omics”. Kỹ thuật sàng lọc tìm cách so sánh dữ liệu chuỗi với thông tin về các gen đã biết (bao gồm các sản phẩm gen và tài liệu về biểu hiện gen) để suy ra cấu trúc, chức năng hoặc nhận dạng trình tự hoặc sinh vật được quan tâm. Các phương thức sàng lọc trước đây chủ yếu dựa vào so sánh với các chuỗi ADN được chú thích (và thông tin liên quan) trong các cơ sở dữ liệu như Ngân hàng gen hoặc Cổng tin sinh học về gen của sinh vật biển châu Âu (MGE). Tuy nhiên, do thiếu thông tin về tài nguyên sinh vật biển và tốc độ dữ liệu chuỗi mới đang được tạo ra, nên các phương pháp này được chứng minh là không đủ để chú thích chính xác về chuỗi gen cho các sinh vật biển mới. Hạ tầng hiện tại cũng gặp khó khăn do tính đa dạng sinh học và phức tạp của môi trường biển, đòi hỏi phải đưa ra các phương pháp và nền tảng mới để liên kết kiểu gen với kiểu hình từ các tế bào đơn lẻ cho đến các hệ sinh thái.

Các hệ thống mô hình, bao gồm các mô hình silico (Lerman và cộng sự, 2012), đã được phát triển cho nhiều sinh vật nhằm thu hẹp khoảng cách giữa kiểu gen và kiểu hình. Các sinh vật mô hình cung cấp một phương tiện để hiểu rõ hơn về các quá trình sinh hóa và từ đó, xác định các con đường để thay đổi mục tiêu phát triển hoặc sản xuất quy mô lớn hơn. Các mô hình này tồn tại đối với một số loài sinh vật biển có tầm quan trọng về y tế, công nghiệp hoặc thương mại (ví dụ: cá hồi và nhím biển) hoặc cho nghiên cứu tiến hóa hoặc phát triển (ví dụ sâu biển annelid).

Các hệ thống mô hình hỗ trợ cả nghiên cứu cơ bản và phát triển công nghệ sinh học biển tiên tiến và qua đó đẩy mạnh phương pháp tiếp cận dựa vào hệ thống để chú giải bộ gen và làm sáng tỏ các chức năng mới của gen. Trong các giai đoạn phát triển, các hệ thống mô hình có thể được sử dụng để tiếp cận hoặc khai thác các sinh vật hoặc các chất dẫn xuất cần thiết. Sinh học tổng hợp cuối cùng sẽ được ứng dụng trong lĩnh vực này, nhưng cho đến khi đó, các sinh vật mô hình có thể giúp xác định và điều chỉnh các con đường chi phí - hiệu quả để khai thác hoặc sản xuất các hợp chất chức năng hoặc sinh vật có ích. Các hệ thống mô hình sẽ đặc biệt hữu ích cho nghiên cứu các hệ hoặc lớp sinh vật mới và vi khuẩn chịu cực hạn, được coi là một nguồn đồ sộ cung cấp các chức năng mới. Định nghĩa về các hệ thống mô hình sẽ cần được mở rộng để tính đến các hệ sinh thái và các đài quan sát đại dương nhằm đánh giá phản ứng của cộng đồng sinh vật biển đối với sự xáo trộn môi trường.

Khái niệm "bộ gen tối thiểu" cung cấp một phương tiện hữu ích để liên kết các gen với các chức năng và có ích trong việc xác định các con đường chuyển hóa tối thiểu và liên kết các gen với chức năng. Ví dụ, Dufresne et al (2003) đã công bố chuỗi gen của *Prochlorococcus marinus*, một trong những sinh vật biển quang hợp chiếm ưu thế ở đại

duyệt. Đây là một trong những sinh vật quang hợp nhỏ nhất. Sử dụng cả sinh vật mô hình và bộ gen tối thiểu, có thể xác định và gán chức năng cho các gen chưa biết.

Trong những năm gần đây, một số cơ sở dữ liệu đã được xây dựng để thúc đẩy việc phân tích so sánh giữa các loài. Các cơ sở dữ liệu này là nền tảng của công nghệ sinh học biển và chứa dữ liệu phân tử và hệ gen của các cộng đồng vi sinh vật và bộ gen riêng lẻ. Giống như hệ thống Gen vi khuẩn tích hợp (IMG), các cơ sở dữ liệu hoạt động như một nguồn tài nguyên chung để phân tích so sánh và chú thích tất cả các bộ gen được công bố công khai. Chúng được cung cấp miễn phí và công khai.

Sự phức tạp của dữ liệu metagenomic gây khó khăn cho việc chú thích liên kết kiểu gen và kiểu hình. Thách thức này được Chisholm và Cary (2001) nêu rõ: “Hiểu biết về di truyền và sinh hóa của chúng ta về quá trình trao đổi chất và các chức năng khác nhau của tế bào, chủ yếu dựa vào nghiên cứu các con đường hoàn chỉnh trong tế bào. Tuy nhiên, các cộng đồng vi sinh vật là một tập hợp các chức năng gen được phân bố giữa các cá thể, tạo thành các con đường định hướng trao đổi chất và năng lượng bên trong và giữa các vi khuẩn. Không có sinh vật nào chứa tất cả các gen cần thiết để thực hiện các phản ứng địa sinh học đa dạng cấu thành chức năng của cộng đồng sinh thái”. Việc hiện thực hóa vấn đề này có ý nghĩa quan trọng đối với phương thức các chức năng gen được xác định hoặc phân loại trong các nhóm vi sinh vật cộng sinh hoặc có liên quan, thành các đơn vị chọn lọc, sử dụng hoặc bảo tồn có ý nghĩa. Sự phức tạp của các cộng đồng vi sinh vật đang thúc đẩy sự phát triển của làn sóng hạ tầng điện tử mới.

Đặc biệt quan trọng sẽ là sự phát triển của các dịch vụ tương tác cho phép tải thông tin người dùng phục vụ phân tích và trực quan hóa, cũng như cho phép nghiên cứu so sánh genomics và metagenomics. Hạ tầng điện tử cần chú trọng tính đa chiều trong dữ liệu di truyền của sinh vật biển, bao gồm các tính chất vật lý, hóa học và thông tin phân tử để tích hợp siêu dữ liệu với thông tin về trình tự gen trong con đường phân loại và trao đổi chất.

Sự hình thành của các nền tảng quản lý dữ liệu mới và dịch vụ thông tin và sự ra đời của các sản phẩm dữ liệu như phân tích hình ảnh và dịch vụ web, được xem là những cơ hội để phát triển bộ gen của sinh vật biển và công nghệ sinh học. Phát triển hạ tầng cần thiết sẽ là công việc có ý nghĩa về tài chính, cấu trúc và hoạt động. Hoạt động này sẽ liên quan đến việc xem xét các tài nguyên sinh vật biển và có thể được hưởng lợi từ sự chú trọng của chính sách. Trước đây, hợp tác quốc gia hoặc đa phương về hạ tầng nghiên cứu đã được chứng minh ở khía cạnh chia sẻ chi phí hoặc nhu cầu xây dựng các nền kinh tế quy mô.

### 3.2. Hợp tác quốc tế để thúc đẩy đổi mới hạ tầng NC&PT

Chiến lược Đổi mới OECD thừa nhận tác động của các mạng lưới tri thức hoạt động đến hiệu quả của quá trình đổi mới, cả kích thích đổi mới lẫn nâng cao hiệu quả đổi mới bằng cách giảm chi phí giao dịch. Khi công nghệ sinh học biển trở thành trọng tâm của các chiến lược đầu tư và đổi mới sáng tạo, thì điều quan trọng sẽ là phải đảm bảo xây dựng các cơ chế, chia sẻ và mang lại giá trị cho tri thức kích thích đổi mới sáng tạo. Do tính chất toàn cầu của các tài nguyên sinh vật biển, nên cũng sẽ hữu ích khi xem xét các phương pháp tiếp cận quốc tế, xuyên biên giới để đẩy mạnh đổi mới sáng tạo hạ tầng NC&PT. Sự tồn tại của một số chương trình và sáng kiến tài trợ công nghệ sinh học biển cho thấy giá trị của hợp tác quốc tế và đầu tư thúc đẩy phát triển tri thức đã được công nhận.

#### *Sáng kiến chương trình chung EU: Phương thức hợp tác đầu tư trong khu vực*

Trong Liên minh châu Âu (EU), Sáng kiến chương trình chung (JPI) cung cấp một mô hình chia sẻ tài nguyên và đồng sáng tạo tri thức. JPI phát triển từ việc thừa nhận rằng “Châu Âu không chỉ cần đầu tư nhiều hơn cho nghiên cứu, mà còn phải đầu tư hiệu quả hơn nếu muốn đạt được tầm nhìn đã công bố về sự phát triển cân bằng và bền vững”.

Mục đích của JPI Oceans ([www.jpi-oceans.edu](http://www.jpi-oceans.edu)) là nhằm tăng giá trị đầu tư NC&PT quốc gia cho nghiên cứu đại dương trong khuôn khổ Liên minh châu Âu nhằm tránh sự phân khúc và sao chép không cần thiết NC&PT, tìm kiếm sự phối hợp và tạo điều kiện cho các loại hình hợp tác khác nhau đáp ứng các mục tiêu chính sách và những thách thức toàn cầu. Những lợi ích của JPI Oceans bao gồm triển vọng lâu dài (10-15 năm), mức độ cam kết cao và sự tham gia tự nguyện vào nhiều hoạt động khác nhau. JPI Oceans sẽ chú trọng phát triển các sản phẩm sinh học mới để điều trị y tế; công nghệ sinh học áp dụng cho nuôi trồng thủy sản; nhiên liệu sinh học từ tảo biển; sàng lọc đa dạng di truyền biển; phát triển các cảm biến sinh học biển để theo dõi môi trường; và giảm thiểu tác động của con người và biến đổi khí hậu đến đại dương. Sáng kiến này là một dấu hiệu cho thấy cần quan tâm hơn nữa đến hợp tác nghiên cứu quốc tế về các mục tiêu, tri thức và thách thức chung.

ERA-NET của EU (Đề án Mạng lưới nghiên cứu châu Âu) cũng được thiết kế để thúc đẩy hợp tác giữa các chương trình nghiên cứu quốc gia và khu vực. Các hoạt động ERA-NET liên quan đến công nghệ sinh học biển trong khuôn khổ Chương trình Khung lần thứ 7 của EU (FP7) nhằm mục đích hợp tác xuyên quốc gia trong lĩnh vực này.

### *Hợp tác khu vực là trọng tâm*

Ủy ban khoa học Địa Trung Hải (CIESM), được thành lập vào năm 1908, là một ví dụ về lấy hợp tác quốc tế là trọng tâm. Ủy ban bao gồm 22 quốc gia thành viên, hỗ trợ hàng nghìn nhà nghiên cứu biển làm công việc tìm hiểu, theo dõi và bảo vệ Biển Địa Trung Hải đang bị thay đổi với tốc độ nhanh chóng và đầy căng thẳng. CIESM có cách tiếp cận đa ngành và khuyến khích trao đổi các tiêu chuẩn và ý tưởng khoa học và duy trì một cuộc đối thoại mang tính xây dựng xung quanh các lưu vực của biển Địa Trung Hải và Biển Đen. Do đó, khu vực này được hưởng lợi từ sự hợp tác giữa các nhà nghiên cứu và người dân.

### *Trung tâm tài nguyên sinh vật biển châu Âu: Hạ tầng phân tán*

Trung tâm tài nguyên sinh vật biển châu Âu (EMBRC) có sự hợp tác của 12 trạm hàng hải hàng đầu và EMBL (Phòng thí nghiệm sinh học phân tử châu Âu) ứng dụng các công nghệ mới nhất để nghiên cứu sinh vật biển (vi khuẩn, động, thực vật). Thông qua mạng lưới hạ tầng nghiên cứu được phân bố với các cơ sở nghiên cứu và đào tạo tiên tiến, EMBRC cho phép cộng đồng khoa học rộng lớn, bao gồm các trường đại học và ngành công nghiệp truy cập thông tin về sinh vật biển, các cơ sở thủy sinh và các nền tảng chuyên dụng cho hệ gen, cấu trúc và chức năng sinh học, kính hiển vi và tin sinh học. Thông qua mạng lưới, EMBRC đặt mục tiêu cung cấp hỗ trợ toàn diện (bao gồm cả đào tạo liên ngành) để khai thác tài nguyên biển theo hướng thông minh và bền vững.

### *Trung tâm nghiên cứu Biển Đỏ: Hợp tác quốc tế với trọng tâm hướng vào khu vực*

Trung tâm Nghiên cứu Biển Đỏ thuộc trường Đại học Khoa học và Công nghệ King Abdullah (KAUST) là một ví dụ khác về hợp tác quốc tế với trọng tâm hướng vào khu vực. Trung tâm này cùng với các cộng tác viên đến từ Vương quốc Anh, Hoa Kỳ, Hà Lan, Hồng Kông (Trung Quốc) và bán đảo Ả Rập, đang nỗ lực phát triển nền tảng khoa học để duy trì và bảo tồn môi trường rạn san hô dọc bờ Biển Đỏ của Ả Rập Saudi. Nhóm nghiên cứu áp dụng cách tiếp cận đa ngành để tìm hiểu hệ sinh thái rạn san hô và bối cảnh môi trường biển, bao gồm môi trường vật lý, hóa học, sinh học và địa chất và các sức ép từ tự nhiên cũng như con người như đánh bắt quá mức, ô nhiễm, phát triển ven biển và biến đổi khí hậu toàn cầu.

### *BioMarks: Hợp tác quốc tế ở quy mô trung bình*

Trái ngược với các quan hệ hợp tác khác đã được mô tả, BioMarks (Đa dạng sinh học của các sinh vật nhân thực ở biển) là quan hệ hợp tác quốc tế tương đối nhỏ của tám tổ chức nghiên cứu EU tại bốn quốc gia. Mục tiêu hợp tác là nhằm phát triển

"metagenetics" hoặc "metabarcoding"<sup>7</sup> để tạo thuận lợi cho nghiên cứu đa dạng sinh học toàn cầu. Nhóm nghiên cứu đang giải quyết thách thức cụ thể, đó là: sự phát triển của chỉ dấu sinh học (metabarcoding) mô tả sự đa dạng của phân loại, di truyền và trao đổi chất của môi trường tự nhiên. 30 thành viên của nhóm đa ngành này đã nghiên cứu đa dạng sinh học của sinh vật đơn bào ven biển thông qua lập trình tự rDNA được tích hợp vào một mạng lưới phân loại và siêu dữ liệu về kiểu hình và môi trường toàn diện. Nếu thành công, phương pháp metabarcoding và dữ liệu metagenomic có thể được sử dụng để quan trắc sinh học cho các địa điểm bị ảnh hưởng bởi hoạt động của con người, phục vụ tìm hiểu hoạt động của các hệ sinh thái toàn cầu và khắc phục những thay đổi môi trường trước đây. Công trình này cũng sẽ cung cấp nền tảng cho việc chú giải về trình tự gen và metagenomics của sinh vật nhân thực được kiểm soát về phân loại trong tương lai.

Khi các chính phủ xem xét đầu tư và phát triển hạ tầng nghiên cứu công nghệ sinh học biển, thì điều quan trọng là phải tính đến những bài học kinh nghiệm từ sáng kiến này và cả những sáng kiến khác. Sẽ rất hữu ích khi xem xét kết hợp các sáng kiến và phương thức để đạt hiệu quả tốt nhất. Bên cạnh đó, cũng cần xác định phương thức các nước phát triển chia sẻ hạ tầng khoa học và công nghệ với các nền kinh tế mới nổi và các nước đang phát triển. Nếu giải quyết vấn đề một cách ổn thỏa, hạ tầng khoa học và công nghệ chia sẻ có thể thay đổi cách thức và tốc độ tri thức được tạo ra và sử dụng.

#### *Siêu dự án công nghệ sinh học biển*

Trong các lĩnh vực khoa học, kỹ thuật hoặc công nghệ khác, các dự án quốc gia hoặc quốc tế quy mô lớn đã chú trọng về tài chính và chính trị để phát triển hạ tầng cần thiết. Cách tiếp cận này là rất quan trọng để thành công trong các lĩnh vực như Dự án Bộ gen người (HGP). Hơn hai thập kỷ sau khi bắt đầu, dự án HGP thường được sử dụng để minh họa lợi ích của hợp tác quốc tế và phát triển hạ tầng: giảm trùng lặp, chia sẻ dữ liệu dễ hơn, hạ tầng lớn và gắn kết hơn; Từ năm 1990 đến 2003, HGP thu hút đầu tư lớn (3,8 tỷ USD từ chính phủ Hoa Kỳ) và hạ tầng cho nỗ lực xác định trình tự của các cặp base hóa học tạo nên ADN, cũng như xác định và lập bản đồ khoảng từ 20.000 - 25.000 gen của bộ gen người.

Dự án HGP kết thúc vào năm 2003, đã để lại một di sản về hạ tầng gen và tin sinh học, tiếp tục được sử dụng và phát triển bởi cộng đồng nghiên cứu quốc tế trong cả khu vực công và tư. Bản chất bền vững của di sản này tương phản với một số dự án "khoa học

---

<sup>7</sup> Metabarcoding is phương pháp đánh giá đa dạng sinh học bằng cách kết hợp hai công nghệ: công nghệ xác định dựa vào ADN và công nghệ lập trình tự ADN thông lượng cao

lớn" khác có vòng đời hữu hạn như dự án Super Collond Super Collider (11 tỷ USD, ước tính kéo dài 30 năm) và Dự án Kính viễn vọng Không gian Hubble (1,5 tỷ USD, kéo dài khoảng 15-20 năm).

Dự án HGP cũng có sự thay đổi ở chỗ nó minh họa tiềm năng sinh học như một động lực kinh tế. Chính phủ Hoa Kỳ đầu tư cho dự án HGP với tư cách là yếu tố quan trọng để tạo ra sản lượng kinh tế 796 tỷ USD, mang lại lợi tức đầu tư cho nền kinh tế Hoa Kỳ. Chỉ tính riêng trong năm 2010, ngành công nghiệp được thúc đẩy phát triển bởi genomics đã tạo ra hơn 3,7 tỷ USD tiền thuế liên bang và 2,3 tỷ USD thuế tiểu bang và địa phương. Trong vòng một năm, chính phủ đã đạt mức doanh thu gần bằng tổng đầu tư trong 13 năm cho dự án HGP. Cũng trong năm 2010, các dự án lập trình tự bộ gen người và nghiên cứu liên quan, cũng như hoạt động công nghiệp đã tạo ra 310.000 việc làm theo cách trực tiếp và gián tiếp.

Một ví dụ gần đây là Dự án 1.000 bộ gen, nỗ lực nghiên cứu quốc tế để xây dựng danh mục chi tiết về biến đổi di truyền ở người thông qua sắp xếp bộ gen của 1.000 cá thể. Siêu dự án quốc tế này tìm cách tạo ra hơn 8,2 tỷ base mỗi ngày (tương đương với hai bộ gen/ngày), một kỳ tích không thể có được cách đây vài năm. Trong suốt thời gian ba năm, dự án 1000 bộ gen tạo ra được khối lượng dữ liệu về trình tự gen lớn gấp 60 lần dữ liệu đã được lưu trữ trong các cơ sở dữ liệu ADN công khai trong suốt ¼ thế kỷ qua. Dự án này sẽ tạo nên một nguồn tài nguyên tin sinh học và thống kê to lớn cho các nhà nghiên cứu và chắc chắn sẽ thúc đẩy đổi mới trong việc phân tích và giải thích dữ liệu. Những ví dụ này cho thấy các sáng kiến và đầu tư quốc tế trên quy mô lớn có thể tạo ra hạ tầng quan trọng và mang lại lợi tức đầu tư hữu hình và có thể định lượng. Kinh phí và hỗ trợ của chính phủ sẽ góp phần to lớn trong việc phát triển hạ tầng nghiên cứu công nghệ sinh học biển.

Thành công của các siêu dự án về bộ gen người đã mở ra hy vọng các siêu dự án công nghệ sinh học biển cũng có thể thành công. Một trong những dự án đầu tiên này là lập trình tự gen cho cá nóc hổ, được khởi động vào năm 1989 để cung cấp thông tin cho nghiên cứu chức năng bộ gen người. Gần đây, các loài được nuôi trồng thủy sản có giá trị quan trọng về mặt thương mại đã xúc tác cho hoạt động hợp tác quốc tế trên quy mô lớn và dẫn đến việc lập bản đồ hoặc lập trình tự gen của cá hồi và cá tuyết. Vi khuẩn biển cũng là trọng tâm của các sáng kiến quốc tế quan trọng.

Tuy nhiên vẫn còn có những câu hỏi về giá trị và tính khả thi của các dự án công nghệ sinh học biển. "Những yếu tố nào sẽ thúc đẩy các dự án này", "Chi phí và thời gian thực hiện dự án được dự báo ra sao và những rủi ro là gì?", "Hợp tác quốc tế có thể được tổ chức ra sao?", "Những rào cản cho các siêu dự án này hiện có quá lớn hay không do lo ngại về sự phức tạp của môi trường biển hoặc cơ cấu hợp tác quốc tế? "

Một số nội dung cần cân nhắc làm tăng nhu cầu tìm hiểu bản chất của thách thức công

nghe sinh học biển và sẽ gây ảnh hưởng đến phạm vi và trọng tâm của siêu dự án tiềm năng. Thách thức đầu tiên là hiểu rõ hơn về sự phức tạp lớn, chưa được nghiên cứu của các sinh vật biển và hệ sinh thái biển. Gần như không thể hiểu được toàn bộ sinh vật và hệ sinh thái biển. Đồng thời, không thể tập trung vào một sinh vật - đây không phải là dự án “bộ gen người” - vì vậy, sẽ cần phải xem xét loại hình và khối lượng thông tin cần cho một dự án công nghệ sinh học biển. Sau đó, sẽ phải xác định hạ tầng nghiên cứu nào là cần thiết và phương thức phát triển nó, ví dụ cơ sở hạ tầng đang được phát triển trong các lĩnh vực khác hoặc bởi các siêu dự án khác.

Nhiều tổ chức có quyền hạn nhất định trong việc giám sát và quản lý đại dương, trong số đó, một vài tổ chức có nguồn lực và vốn lớn, trong khi số khác lại có rất ít. Tuy nhiên, không một cơ quan thẩm quyền nào có khả năng thu hút sự quan tâm và nguồn lực của các tổ chức và bang tách biệt, thường cạnh tranh để được thực hiện siêu dự án.

Trong trường hợp không có cơ quan thẩm quyền, các bang và các bên liên quan sẽ cần phối hợp để xác định phạm vi của dự án và tập trung nguồn lực. Các siêu dự án thành công đã tập trung tạo ra tri thức ở cấp độ cơ bản (ví dụ lập trình tự bộ gen người, lập bản đồ biến thể di truyền ở người). Đối với một dự án về biển, đa dạng sinh học - cốt lõi của năng suất và tính bền vững - có thể là sự tương đồng phù hợp. Dự án cũng sẽ cần cạnh tranh về nguồn lực và hỗ trợ tài chính với các sáng kiến khác của chính phủ và các siêu dự án quốc tế.

Có thể nói, hiện nay, công nghệ sinh học biển lại được nhiều nước OECD quan tâm là do những tiến bộ khoa học và công nghệ trong thập kỷ qua. Những tiến bộ này cho phép tiếp cận hiệu quả hơn với các sinh vật biển, đặc biệt là các vi sinh vật biển chứa đựng tiềm năng lớn của công nghệ sinh học biển. Thông tin chuỗi ADN liên quan đến các vi sinh vật này có thể được cung cấp với tốc độ nhanh hơn khả năng phân tích thông tin, mà chỉ mất ít chi phí. Nhìn chung, hai thách thức chính đang định hình nhu cầu hạ tầng của lĩnh vực này.

Thách thức đầu tiên liên quan đến số lượng dữ liệu về sinh vật biển gây khó khăn cho việc mô tả hoặc phân loại cấu trúc và chức năng chung. Nếu không có thông tin phân loại hoặc kết hợp dữ liệu di truyền và dữ liệu kiểu hình, thì rất khó để đánh giá tiềm năng của một sinh vật hoặc khía cạnh di truyền của nó. Đối với vi khuẩn vô hình và sinh vật đa bào lớn hơn, nhu cầu về các hệ thống mô hình cho phép nghiên cứu từ trên xuống và từ dưới lên về biểu hiện gen ở cấp độ cá thể, quần thể, cộng đồng và hệ sinh thái. Dữ liệu thu được sẽ cần có cơ sở hạ tầng để kết nối các thông tin di truyền, loài và nơi cư trú. Để đạt hiệu quả cao nhất, cần xây dựng và phân phối hạ tầng dữ liệu và thông tin toàn cầu. Các cơ sở dữ liệu này phải là vĩnh viễn và cung cấp cho tất cả người dùng quyền truy cập mở và miễn phí toàn bộ dữ liệu.

Thách thức thứ hai là thiếu nền tảng phân tích để xử lý dữ liệu một cách hiệu quả và bắt kịp tốc độ hình thành dữ liệu. Khó khăn này cùng với sự phức tạp của các mẫu (ví dụ metagenomes) cần được xử lý, đang làm nảy sinh nhu cầu về hạ tầng điện tử mới (ví dụ các

nền tảng quản lý dữ liệu mới và dịch vụ thông tin, tạo ra các dịch vụ web và phân tích hình ảnh) để phân tích hiệu quả hơn cơ sở dữ liệu, đặc biệt là các cơ sở dữ liệu chứa nhiều loại thông tin khác nhau. Phân tích quy mô lớn này sẽ rất quan trọng để hiểu hơn về đa dạng sinh học của các hệ sinh thái biển. Được kết hợp đúng vào các chiến lược dự báo và theo dõi theo thời gian, phân tích dữ liệu sẽ hữu ích cho việc dự báo phản ứng môi trường trước những xáo trộn tự nhiên và do con người gây ra.

Các nguồn lực này sẽ đòi hỏi những khoản đầu tư lớn và sẽ được hưởng lợi từ hợp tác đa quốc gia và giữa nhiều bên. Dù hợp tác quốc tế giải quyết được một số khía cạnh của công nghệ sinh học biển, nhưng ít sáng kiến quốc tế tập trung vào những thách thức này. nỗ lực hiện nay trong lĩnh vực công nghệ sinh học biển thường được triển khai bởi các nhóm nhỏ hoặc các quốc gia riêng lẻ. Do vậy, cần có sự phối hợp giữa các dự án này để giảm tình trạng sao chép dự án.

Tiến bộ khoa học trong các lĩnh vực khác sẽ giúp phổ biến thông tin công nghệ sinh học biển. Đây là trường hợp của công nghệ lập trình tự gen thế hệ mới bắt nguồn từ việc đầu tư cho dự án Bộ gen người và cũng là trường hợp của những tiến bộ bắt nguồn từ dự án 1.000 bộ gen. Tuy nhiên, một số tính chất độc đáo của công nghệ sinh học biển (quy mô, tính phức tạp và tính đa dạng chưa được khai thác của đa số sinh vật biển) có thể dẫn đến việc triển khai siêu dự án tập trung vào các sinh vật biển. Chi tiết của dự án vẫn cần được xác định nhưng có thể mang lại giá trị lớn cho các chính phủ muốn cải thiện năng suất và tính bền vững của công nghệ sinh học biển.

## KẾT LUẬN

Những tiến bộ về khoa học di truyền và các công nghệ liên quan đã khiến nhiều quốc gia chú ý đến công nghệ sinh học biển. Các sinh vật biển, trước đây khó tiếp cận nhưng giờ có thể được nghiên cứu nhanh chóng và chi tiết chưa từng có. Phân tích bộ gen và metagenomics của sinh vật biển và môi trường biển cho thấy tính phức tạp và đa dạng sinh học của hệ sinh thái biển. Theo tất cả các ước tính, đa dạng sinh học biển cao hơn so với đa dạng sinh học của môi trường trên cạn, nhưng phần lớn vẫn chưa được khai thác. Tuy nhiên, các tài nguyên sinh vật biển có thể là một nguồn to lớn cung cấp các quy trình và nguyên lý sinh học và hóa học mới, từ đó có thể được phân lập, mô hình hóa hoặc sản xuất các hợp chất sinh học mới. Công nghệ sinh học biển ngày càng được thừa nhận là một nguồn đổi mới sáng tạo tiềm năng.

Những tiến bộ về genomics và khoa học máy tính đã làm thay đổi quan điểm trước đây về đại dương. Đại dương không chỉ là một nguồn thức ăn và phương tiện vận chuyển hàng hóa, mà còn là bể chứa lớn tiềm năng di truyền và cũng là một phương thức để thu được nhiều lợi ích kinh tế - xã hội. Việc ứng dụng công nghệ sinh học biển trong một số lĩnh vực cho thấy nó có thể giúp giải quyết những thách thức toàn cầu về sức khỏe dân số, an ninh

lượng thực và nhiên liệu và các quy trình công nghiệp xanh hơn.

Tiềm năng kinh tế của công nghệ sinh học biển xem ra rất lớn và đang gia tăng. Năm 2010, thị trường công nghệ sinh học biển ước tính đạt 2,5 tỷ USD với mức tăng trưởng hàng năm dao động từ 4-12% tùy theo mô hình được sử dụng. Sự phát triển của công nghệ sinh học biển dự kiến sẽ tạo việc làm mới dọc theo chuỗi giá trị từ viện nghiên cứu đến ngành công nghiệp hàng hải và các lĩnh vực như dược phẩm, thực phẩm, chế biến công nghiệp và dinh dưỡng.

Để bảo vệ môi trường biển và khai thác lợi ích kinh tế và xã hội từ công nghệ sinh học biển sẽ đòi hỏi kiến thức chuyên sâu về tài nguyên sinh vật biển và hệ sinh thái của chúng. Ngoài ra cũng cần có hạ tầng NC&PT phù hợp để cho phép tạo ra, phân tích, chia sẻ và phổ biến kiến thức về tài nguyên sinh vật biển. Công nghệ sinh học biển đã được hưởng lợi đáng kể từ đầu tư NC&PT khoa học sự sống trước đây, đặc biệt cho bộ gen người. Việc lập trình tự bộ gen không còn là rào cản như cách đây một thập kỷ và nhận thức của chúng ta về tài nguyên sinh vật biển đã được nâng lên đáng kể. Phân tích metagenomics đang cung cấp một phương tiện để tiếp cận và nghiên cứu sự phức tạp của môi trường biển nhưng nó cũng cho thấy sự thiếu hụt trong việc NC&PT công nghệ sinh học biển, do nhận thức còn hạn chế về tài nguyên sinh vật biển. Việc tiếp cận tài nguyên sinh vật biển đặc biệt nằm sâu dưới đại dương vẫn là một thách thức. Tính phức tạp và mới lạ của các tài nguyên sinh vật biển làm cho việc chú thích dữ liệu trở nên khó khăn. Do đó, cần có cơ sở hạ tầng mới với các mô hình mới, hệ thống nuôi cấy mới và các công cụ dựa vào tin sinh học mới để hình dung và phân tích bộ gen và các loại dữ liệu khác.

Chính phủ và các tổ chức tư nhân trên toàn thế giới nên tập trung vào môi trường biển và nỗ lực khai thác tiềm năng của biển bằng cách sử dụng phương pháp và tri thức về công nghệ sinh học biển. Tuy nhiên, một số đặc trưng của tài nguyên sinh vật biển cần có nghiên cứu chính sách mới để đảm bảo đưa các tiến bộ khoa học và công nghệ mới vào các sản phẩm khả thi thương mại theo cách bền vững về môi trường.

***Thực hiện: ThS. Nguyễn Phương Dung***

## Tài liệu tham khảo

1. OECD 2013, *Marine Biotechnology: ENABLING SOLUTIONS FOR OCEAN PRODUCTIVITY AND SUSTAINABILITY*,
2. Andre, R., N. Tahir, F. Natalio and W. Tremel (2012), *Translating the genetically controlled mechanism of biosilification to the bioinspired synthesis of multifunctiona*
3. Christensen, L. and R. Sims (2011), *Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts*, *Biotechnology Advances* 29:686-702.
4. Anonymous (2005), *Prospects for Marine Biotechnology in the UK*, Vol. 2.
5. European Commission (2012), *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe*  
[http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/201202\\_innovating\\_sustainable\\_growth\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/201202_innovating_sustainable_growth_en.pdf), accessed August 2012.
6. Full title: Joint Programming Initiative, *Healthy and Productive Seas and Oceans*.