



Khám phá sức mạnh của ADN (axit deoxyribonucleic) môi trường trong bảo tồn đa dạng sinh học

ThS. TẠ THỊ KIỀU ANH

Cục Bảo tồn thiên nhiên và Đa dạng sinh học

ADN môi trường là công cụ đột phá trong các lĩnh vực sinh thái học, sinh học bảo tồn và khoa học môi trường. Bằng cách khai thác các dấu vết di truyền do các sinh vật để lại trong môi trường xung quanh, ADN môi trường cho phép các nhà khoa học có được những hiểu biết về đa dạng sinh học, động lực của hệ sinh thái và sự tương tác giữa các loài. Cách tiếp cận sáng tạo này đang định hình lại cách các nhà khoa học giám sát và góp phần bảo vệ thế giới tự nhiên.

NGUỒN GỐC VÀ KHÁI NIỆM CỦA ADN MÔI TRƯỜNG

ADN môi trường bắt nguồn từ lĩnh vực sinh thái vi sinh vật, nơi các nhà nghiên cứu tìm cách hiểu về các quần xã vi sinh vật trong đất và nước mà không dựa vào các phương pháp nuôi cấy truyền thống. Các ứng dụng ban đầu chứng minh rằng các đoạn ADN có thể được phân lập từ các mẫu môi trường, cung cấp thông tin tại một thời điểm nhất định về quần thể vi sinh vật hiện có.

Theo thời gian, các nhà khoa học nhận ra các nguyên tắc tương tự có thể được áp dụng cho các sinh vật lớn hơn, bao gồm thực vật, động vật và nấm. Khả năng trích xuất, khuếch đại và phân tích các đoạn ADN từ các mẫu môi trường đã mở ra những hướng đi mới để nghiên cứu đa dạng sinh học, đặc biệt trong những trường hợp việc quan sát trực tiếp không thực tế hoặc không thể thực hiện được.

Thuật ngữ ADN môi trường lần đầu tiên được phổ biến vào đầu những năm 2000 và kể từ đó đã phát triển thành một công cụ quan trọng cho các nhà nghiên cứu trên toàn thế giới. ADN môi trường là vật liệu di truyền do sinh vật thải ra môi trường của chúng. Vật liệu di truyền này có thể có nguồn gốc từ nhiều nguồn khác nhau: Các chất bài tiết và dịch tiết (Phân, nước tiểu, chất nhầy và nước bọt); Da và tóc (Tế bào bong ra từ da hoặc lông); Vật liệu sinh sản (Phấn hoa, trứng và giao tử); Sinh vật phân hủy (ADN được giải phóng khi sinh vật phân hủy).

Những đoạn ADN này tồn tại trong môi trường trong một thời gian giới hạn, thường dao động từ vài ngày đến vài tuần, tùy thuộc vào điều kiện môi trường. Các yếu tố như tiếp xúc với tia cực tím, nhiệt độ, hoạt động của vi khuẩn và chuyển động của nước ảnh hưởng đến thời gian ADN môi trường có thể phát hiện được. Quá trình phân tích ADN môi trường thường bao gồm bốn bước chính:

Thu thập mẫu: Các mẫu môi trường được thu thập từ đất, nước hoặc không khí. Đối với hệ sinh thái dưới nước, sẽ cần lọc một lượng lớn nước để cô đặc các mảnh ADN.

Chiết xuất ADN: ADN được phân lập từ các mẫu thu thập bằng bộ dụng cụ chiết xuất chuyên dụng. Bước này tách vật liệu di truyền khỏi các chất hữu cơ và vô cơ khác trong mẫu.

Khuếch đại: ADN chiết xuất được khuếch đại bằng kỹ thuật phản ứng chuỗi polymerase (PCR) hoặc PCR định lượng (qPCR). Các phương pháp này nhắm vào các dấu hiệu di truyền (genetic marker) cụ thể, độc nhất đối với loài hoặc nhóm loài quan tâm.

Giải trình tự và phân tích: Các công nghệ giải trình tự thông lượng cao, chẳng hạn như Illumina hoặc Oxford Nanopore, được sử dụng để xác định các đoạn ADN. Các công cụ tin sinh học khớp các trình tự này với cơ sở dữ liệu tham chiếu để xác định loài có trong mẫu.

ỨNG DỤNG CỦA ADN MÔI TRƯỜNG TRONG BẢO TỒN ĐA DẠNG SINH HỌC

ADN môi trường đã cách mạng hóa việc giám sát đa dạng sinh học, cung cấp cho các nhà khoa học một công cụ không xâm lấn và hiệu quả cao để nghiên cứu hệ sinh thái. Ứng dụng của nó rất rộng và đa dạng, từ phát hiện loài đến giám sát sức khỏe hệ sinh thái và hiểu được tác động của biến đổi khí hậu.

Phát hiện và giám sát loài

Các phương pháp truyền thống để phát hiện và giám sát các loài thường liên quan đến các cuộc khảo sát tốn nhiều công sức như bẫy, găng thẻ hoặc quan sát trực tiếp. Các phương pháp này có thể xâm lấn, tốn kém và hạn chế về phạm vi. ADN môi trường cung cấp một giải pháp thay thế mang tính đột phá bằng cách cho phép phát hiện các loài thông qua dấu vết di truyền của chúng. Các ví dụ về việc sử dụng ADN môi trường trong giám sát loài được thể hiện như:

Đối với các loài thủy sinh, ADN môi trường đã được sử dụng để theo dõi các loài thủy sinh khó nắm bắt như kỳ nhông mào lớn (*Triturus cristatus*) ở châu Âu và cá nhám voi (*Rhincodon typus*) ở các đại dương nhiệt đới.

Đối với các loài lưỡng cư có nguy cơ tuyệt chủng, các nghiên cứu đã sử dụng ADN môi trường để theo dõi quần thể loài kỳ nhông Hellbender có nguy cơ tuyệt chủng nghiêm trọng ở Hoa Kỳ, cung cấp dữ liệu quan trọng cho các nỗ lực bảo tồn.

Đối với động vật có vú khó phát hiện, trong hệ sinh thái trên cạn, ADN môi trường từ các mẫu đất và nước đã được sử dụng để phát hiện các loài như báo tuyết (*Panthera uncia*) và thỏ lùn (*Brachylagus idahoensis*).



Quản lý các loài xâm lấn

Các loài xâm lấn là một trong những nguyên nhân hàng đầu gây mất đa dạng sinh học trên toàn thế giới. Phát hiện sớm là điều cần thiết để quản lý sự lây lan của chúng và giảm thiểu thiệt hại sinh thái. ADN môi trường cho phép phát hiện các loài xâm lấn ngay cả ở mật độ quần thể thấp, cho phép phản ứng nhanh chóng.

Cá chép châu Á xâm lấn được biết đến với các tác động phá hoại đối với quần thể cá bản địa, đã được phát hiện ở Ngũ Đại Hồ bằng kỹ thuật ADN môi trường. Hệ thống cảnh báo sớm này đã thông báo các chiến lược quản lý nhằm kiểm soát sự lây lan của loài cá này.

Đánh giá sức khỏe hệ sinh thái

ADN môi trường cung cấp góc nhìn toàn diện về đa dạng sinh học trong một hệ sinh thái. Bằng cách phân tích các mẫu ADN môi trường, các nhà khoa học có thể xác định toàn bộ quần xã sinh vật, cung cấp thông tin chi tiết về cấu trúc, chức năng và khả năng phục hồi của hệ sinh thái.

Ví dụ, trong các hệ thống rạn san hô, ADN môi trường đã được sử dụng để theo dõi đa dạng sinh học của cá, đánh giá tác động của các sự kiện tẩy trắng và theo dõi các quá trình phục hồi. Tương tự như vậy, các hệ sinh thái nước ngọt được hưởng lợi từ khả năng đánh giá sự đa dạng của cá, phát hiện sự nở hoa của tảo có hại và theo dõi côn trùng thủy sinh của ADN môi trường.

Theo dõi tác động của biến đổi khí hậu

Biến đổi khí hậu đang thúc đẩy sự thay đổi trong phân bố loài và làm thay đổi hệ sinh thái trên toàn thế giới. ADN môi trường cung cấp một phương pháp không xâm lấn để theo dõi những thay đổi này theo thời gian. Ở vùng biển Bắc Cực, phân tích ADN môi trường đã tiết lộ sự dịch chuyển về phía Bắc trong phân bố các loài cá, cung cấp bằng chứng về cách nhiệt độ ấm lên đang định hình lại hệ sinh thái biển.

Giám sát bệnh động vật hoang dã

Các bệnh mới nổi gây ra mối đe dọa đáng kể đến đa dạng sinh học. ADN môi trường có thể phát hiện mầm bệnh trong môi trường, cung cấp một cách nhanh chóng và không xâm lấn để theo dõi các đợt bùng phát dịch bệnh. ADN môi trường đã đóng vai trò quan trọng trong việc theo dõi bệnh chytridiomycosis, một loại bệnh nấm tàn phá quần thể lưỡng cư và hội chứng mũi trắng, ảnh hưởng đến loài dơi. Bằng cách xác định các điểm nóng gây bệnh, các nhà bảo tồn có thể thực hiện can thiệp hiệu quả hơn.

ƯU ĐIỂM VÀ HẠN CHẾ CỦA ADN MÔI TRƯỜNG

Sự phát triển của ADN môi trường trong khoa học bảo tồn chủ yếu xuất phát từ những ưu điểm vượt trội so với các phương pháp truyền thống. Thứ nhất, ADN môi trường không xâm lấn, vì quá trình lấy mẫu không yêu cầu bắt hoặc xử lý sinh vật, giúp giảm thiểu căng thẳng cho động vật hoang dã. Thứ hai, phương pháp này tiết kiệm chi phí do giảm nhu cầu khảo sát

tốn kém về công sức và thiết bị. Thứ ba, ADN môi trường có độ nhạy cao, cho phép phát hiện các loài ở mật độ thấp hoặc trong giai đoạn sống ẩn. Cuối cùng, phạm vi ứng dụng của ADN môi trường rất rộng, khi chỉ một mẫu duy nhất cũng có thể cung cấp dữ liệu về nhiều loài trong một hệ sinh thái.

Dù có tiềm năng to lớn, ADN môi trường vẫn đối mặt với nhiều thách thức. Một trong những vấn đề lớn là sự phân hủy, vì ADN bị phân hủy nhanh chóng trong một số môi trường, làm hạn chế thời gian phát hiện. Ngoài ra, các mẫu ADN môi trường dễ bị tạp nhiễm trong quá trình thu thập và phân tích, dẫn đến nguy cơ kết quả dương tính giả. Hơn nữa, cơ sở dữ liệu tham chiếu không đầy đủ có thể cản trở việc xác định chính xác loài, dẫn đến hạn chế trong phân loại và xác định loài. Cuối cùng, nồng độ ADN môi trường không phải lúc nào cũng tương quan với độ phong phú của loài, làm cho việc ước tính quy mô quần thể trở nên khó khăn hơn.

Tương lai của ADN môi trường nằm ở việc giải quyết những hạn chế hiện tại và mở rộng các ứng dụng của nó. Những tiến bộ trong công nghệ, chẳng hạn như thiết bị giải trình tự di động và trí tuệ nhân tạo để phân tích dữ liệu, sẽ giúp nâng cao hiệu quả và khả năng tiếp cận của các phương pháp ADN môi trường.

Mở rộng các thư viện tham chiếu về di truyền, đặc biệt là tại các điểm nóng về đa dạng sinh học, sẽ cải thiện việc xác định loài. Ngoài ra, việc tích hợp ADN môi trường với các kỹ thuật giám sát khác, chẳng hạn như khảo sát âm thanh và hình ảnh vệ tinh, sẽ cung cấp hiểu biết toàn diện hơn về hệ sinh thái.

KẾT LUẬN

ADN môi trường đang cách mạng hóa công tác bảo tồn đa dạng sinh học, cung cấp một công cụ mạnh mẽ để phát hiện loài, giám sát hệ sinh thái và nghiên cứu sinh thái. Ứng dụng của nó trải rộng trên nhiều lĩnh vực, từ quản lý loài xâm lấn đến nghiên cứu biến đổi khí hậu và giám sát bệnh động vật hoang dã.

Khi những tiến bộ về công nghệ và phương pháp tiếp tục, ADN môi trường sẽ đóng vai trò ngày càng quan trọng trong việc giải quyết các thách thức về môi trường toàn cầu. Bằng cách cung cấp thông tin về những bí ẩn của các hệ sinh thái, ADN môi trường mang lại hy vọng cho các chiến lược bảo tồn hiệu quả hơn và hiểu biết sâu sắc hơn về thế giới tự nhiên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Taberlet, P., et al. (2012). *Environmental ADN. Molecular Ecology*, 21(8), 1789-1793.
2. Thomsen, P. F., & Willerslev, E. (2015). *Environmental ADN in Conservation. Biological Conservation*, 183, 4-18.
3. Cristescu, M. E., & Hebert, P. D. N. (2018). *Advances in ADN môi trường Methods. Academic Press*.
4. UNEP (2021). *ADN môi trường Applications in Marine and Freshwater Ecosystems*.
5. USGS (2021). *ADN môi trường in Invasive Species Detection*.