TẠP CHÍ KHOA HỌC ĐẠI HỌC CỬU LONG
https://tapchikhdhcl.edu.vn
https://vjol.info.vn/index.php/dhcl
P-ISSN 3093-3196
E-ISSN 3093-3226

CÔNG NGHỆ OMICS VÀ ỨNG DỤNG TRONG NÔNG NGHIỆP HIỆN ĐẠI

OMICS TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICATIONS IN MODERN AGRICULTURE

Trương Quốc Tất
Trường Đại học Cửu Long
Email: truongquoctat@mku.edu.vn

DOI: https://doi.org/10.65934/mkusj.2026.03-e.1360
Ngày nhận bài: 24/04/2026 *Ngày phản biện: 20/05/2026* *Ngày duyệt bài: 28/09/2026*

TÓM TẮT

Công nghệ omics đã trở thành một trong những nền tảng quan trọng của sinh học hiện đại, cho phép nghiên cứu toàn diện các hệ thống sinh học ở nhiều cấp độ khác nhau, từ hệ gen, phiên mã, protein đến các chất chuyển hóa. Trong lĩnh vực nông nghiệp, việc ứng dụng các công nghệ như genomics, transcriptomics, proteomics và metabolomics đã mở ra những hướng tiếp cận mới trong cải tiến giống cây trồng, nghiên cứu vi sinh vật nông nghiệp, quản lý stress sinh học và phi sinh học, cũng như phát triển nông nghiệp chính xác. Bài báo này tổng quan các nền tảng công nghệ omics, phân tích vai trò và tiềm năng ứng dụng trong nông nghiệp hiện đại, đồng thời thảo luận những thách thức trong việc triển khai như chi phí cao, yêu cầu về hạ tầng tin sinh học và khó khăn trong tích hợp đa omics. Trên cơ sở đó, nghiên cứu cũng đánh giá triển vọng phát triển của công nghệ omics, đặc biệt trong bối cảnh kết hợp với trí tuệ nhân tạo nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất và phát triển nông nghiệp bền vững. Kết quả cho thấy công nghệ omics không chỉ góp phần nâng cao hiểu biết về cơ chế sinh học mà còn đóng vai trò then chốt trong việc chuyển đổi mô hình nông nghiệp truyền thống sang nông nghiệp thông minh và thích ứng với biến đổi khí hậu.

Từ khóa: *omics, đa omics, nông nghiệp chính xác, vi sinh vật, công nghệ sinh học*

ABSTRACT

Omics technologies have become a fundamental pillar of modern biology, allowing for comprehensive investigations of biological systems at various levels, including the genome, transcriptome, proteome, and metabolome. In agriculture, the use of genomics, transcriptomics, proteomics, and metabolomics has opened up new avenues for crop improvement, agricultural microbiology research, management of biotic and abiotic stresses, and the development of precision agriculture. This paper provides a review of the major omics platforms, analyzes their roles and potential applications in modern agriculture, and discusses key challenges in their implementation, such as high costs, the need for advanced bioinformatics infrastructure, and difficulties in integrating multi-omics data. Based on this analysis, the study also evaluates the future prospects of omics technologies, particularly in combination with artificial intelligence, to enhance production efficiency and promote sustainable agricultural development. Overall, omics technologies not only contribute to a deeper understanding of biological mechanisms, but also play a crucial role in transforming traditional agriculture into smart, climate-resilient agricultural systems.

Keywords: *omics, multi-omics, precision agriculture, microorganisms, biotechnology*

MỞ ĐẦU

Trước thực trạng nông nghiệp toàn cầu đang chịu áp lực từ biến đổi khí hậu, suy giảm tài nguyên đất và nhu cầu gia tăng sản lượng lương thực, việc ứng dụng các công nghệ sinh học tiên tiến trở nên cấp thiết. Trong đó, các công nghệ omics như Genomics, Transcriptomics, Proteomics và Metabolomics đã và đang đóng vai trò trung tâm trong việc giải mã các hệ thống sinh học ở mức độ toàn diện. Những công nghệ này cho phép phân tích đồng thời hàng nghìn đến hàng triệu phân tử sinh học, từ đó cung cấp cái nhìn hệ thống về cấu trúc, chức năng và tương tác trong tế bào và hệ sinh thái (Hasin et al., 2017; Joice, 2020).

Sự phát triển của các nền tảng giải trình tự thế hệ mới (Next-Generation Sequencing – NGS) và công nghệ phân tích khối phổ đã thúc đẩy mạnh mẽ các nghiên cứu omics. Các phương

pháp này không chỉ giúp xác định thành phần hệ gen mà còn cho phép phân tích động học biểu hiện gen, chức năng protein và các con đường chuyển hóa trong điều kiện môi trường khác nhau. Đặc biệt, sự kết hợp giữa các lớp dữ liệu này đã hình thành nên cách tiếp cận đa omics, giúp hiểu rõ hơn các mạng lưới sinh học phức tạp và mối liên hệ giữa kiểu gen và kiểu hình (Kumar et al., 2023; Hasin et al., 2017).

Trong lĩnh vực nông nghiệp, công nghệ omics đã mở ra những hướng nghiên cứu mới trong việc khám phá tương tác giữa cây trồng và vi sinh vật. Các nghiên cứu cho thấy hệ vi sinh vật đất và vùng rễ đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện sinh trưởng cây trồng, tăng khả năng hấp thu dinh dưỡng và nâng cao khả năng chống chịu stress sinh học và phi sinh học (Bulgarelli et al., 2013; Rai et al., 2023).

Nhờ các kỹ thuật như metagenomics và metatranscriptomics, các nhà khoa học có thể phân tích cấu trúc và chức năng của quần xã vi sinh vật mà không cần nuôi cấy, từ đó phát hiện các vi sinh vật có lợi phục vụ cho sản xuất nông nghiệp bền vững (Jain et al., 2024).

Bên cạnh đó, công nghệ omics còn góp phần quan trọng trong việc nghiên cứu cơ chế tương tác giữa cây trồng và vi sinh vật. Genomics giúp xác định các gen liên quan đến cố định đạm, kháng bệnh hoặc thích nghi với điều kiện bất lợi; transcriptomics phản ánh sự thay đổi biểu hiện gen dưới tác động của môi trường; proteomics cung cấp thông tin về các protein chức năng; trong khi metabolomics cho thấy các thay đổi trong mạng lưới chuyển hóa nội bào (Wang et al., 2009; Aebersold & Mann, 2016; Fiehn, 2002). Sự tích hợp các dữ liệu này cho phép xây dựng mô hình sinh học hệ thống, góp phần giải thích các quá trình sinh lý phức tạp như cộng sinh nấm rễ, kích thích sinh trưởng thực vật và cơ chế kháng bệnh (Hasin et al., 2017).

Ngoài ra, công nghệ omics còn đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện năng suất và chất lượng cây trồng thông qua chọn giống chính xác. Các nghiên cứu đa omics đã giúp xác định các gen và con đường sinh học liên quan đến khả năng chịu hạn, sử dụng nước hiệu quả và tăng trưởng cây trồng, từ đó hỗ trợ các chương trình chọn giống hiện đại (Varshney et al., 2021; Kumar et al., 2023). Đồng thời, trong quản lý dịch bệnh cây trồng, omics cho phép nhận diện nhanh các tác nhân gây bệnh và cơ chế tương tác ký chủ – mầm bệnh, góp phần phát triển các chiến lược phòng trừ hiệu quả (Ngomle et al., 2025).

Mặc dù mang lại nhiều tiềm năng, việc ứng dụng công nghệ omics vẫn đối mặt với các thách thức như khối lượng dữ liệu lớn, yêu cầu cao về hạ tầng tin sinh học và khó khăn trong việc tích hợp dữ liệu đa chiều. Tuy nhiên, với sự phát triển của trí tuệ nhân tạo và các công cụ phân tích dữ liệu, các rào cản này đang dần được khắc phục, mở ra triển vọng ứng dụng rộng rãi hơn trong nông nghiệp chính xác và bền vững (Hasin et al., 2017; Kumar et al., 2023).

Tóm lại, công nghệ omics không chỉ là công cụ phân tích mạnh mẽ mà còn là nền tảng quan trọng cho việc chuyển đổi nền nông nghiệp truyền thống sang nông nghiệp thông minh, góp phần đảm bảo an ninh lương thực và phát triển bền vững trong tương lai (Rai et al., 2023).

1. Các nền tảng công nghệ omics

Các công nghệ omics được xây dựng dựa trên những tiến bộ vượt bậc trong sinh học phân tử, công nghệ giải trình tự và phân tích dữ liệu lớn. Mỗi lĩnh vực omics cung cấp một lớp thông tin riêng biệt, phản ánh các cấp độ khác nhau của hệ thống sinh học, từ vật chất di truyền đến các sản phẩm chuyển hóa cuối cùng.

Genomics

Genomics là lĩnh vực nghiên cứu toàn bộ hệ gen của sinh vật, bao gồm cấu trúc, chức năng, sự tiến hóa và tương tác của các gen. Sự phát triển của công nghệ giải trình tự thế hệ mới (Next-Generation Sequencing – NGS) đã làm giảm đáng kể chi phí và thời gian giải mã bộ gen, cho phép phân tích quy mô lớn với độ chính xác cao. Genomics đóng vai trò quan trọng trong việc xác định các gen và vùng gen liên quan đến các đặc tính nông học quan trọng như năng suất, khả năng chống chịu hạn, mặn và sâu bệnh (Varshney et al., 2021). Ngoài ra, dữ liệu genomics còn hỗ trợ phát triển các chỉ thị phân tử phục vụ chọn giống chính xác và rút ngắn chu kỳ lai tạo (Kumar et al., 2023).

Transcriptomics

Transcriptomics tập trung vào nghiên cứu toàn bộ RNA được phiên mã từ hệ gen trong một điều kiện cụ thể, phản ánh trực tiếp mức độ hoạt

động của các gen. Công nghệ RNA-Seq hiện nay cho phép định lượng biểu hiện gen với độ phân giải cao, đồng thời phát hiện các biến thể phiên mã và RNA không mã hóa (Wang et al., 2009). Trong nông nghiệp, transcriptomics được ứng dụng để phân tích phản ứng của cây trồng trước các yếu tố stress sinh học và phi sinh học, từ đó xác định các gen điều hòa quan trọng trong cơ chế thích nghi (Rai et al., 2023). Phương pháp này cũng hỗ trợ nghiên cứu tương tác cây trồng – vi sinh vật thông qua việc theo dõi sự thay đổi biểu hiện gen trong vùng rễ.

Proteomics

Proteomics nghiên cứu toàn bộ protein được biểu hiện trong tế bào hoặc mô tại một thời điểm nhất định. Không giống như hệ gen tương đối ổn định, proteome có tính động cao và chịu ảnh hưởng mạnh bởi điều kiện môi trường. Các kỹ thuật phân tích proteomics, đặc biệt là khối phổ (mass spectrometry), cho phép xác định cấu trúc, số lượng và tương tác của protein với độ chính xác cao (Aebersold & Mann, 2016). Trong nghiên cứu nông nghiệp, proteomics được sử dụng để làm rõ các cơ chế sinh lý như phản ứng của cây trồng với stress, quá trình phát triển và tương tác với vi sinh vật có lợi hoặc gây bệnh (Kosová et al., 2011). Điều này giúp xác định các protein mục tiêu phục vụ cải tiến giống và bảo vệ thực vật.

Metabolomics

Metabolomics là lĩnh vực nghiên cứu toàn bộ các chất chuyển hóa nhỏ (metabolites) trong hệ thống sinh học. Đây được xem là cấp độ phản ánh gần nhất trạng thái sinh lý thực tế của tế bào, do các chất chuyển hóa là sản phẩm cuối cùng của các quá trình sinh học. Các kỹ thuật như sắc ký khí ghép khối phổ (GC-MS) và sắc ký lỏng ghép khối phổ (LC-MS) được sử dụng rộng rãi để phân tích metabolome (Fiehn, 2002). Trong nông nghiệp, metabolomics giúp xác định các hợp chất liên quan đến chất lượng nông sản, khả năng chống chịu stress và tương tác sinh học giữa cây trồng và môi trường (Hall, 2011). Ngoài ra, phương pháp này còn hỗ trợ phát hiện các dấu ấn sinh học (biomarkers) phục vụ chẩn đoán và giám sát sức khỏe cây trồng.

Tích hợp đa omics

Mặc dù mỗi công nghệ omics cung cấp thông tin quan trọng, việc nghiên cứu riêng lẻ từng lớp dữ liệu thường không đủ để giải thích đầy đủ các cơ chế sinh học phức tạp. Do đó, cách tiếp cận tích hợp đa omics đã được phát triển nhằm kết hợp dữ liệu từ genomics, transcriptomics, proteomics và metabolomics. Cách tiếp cận này cho phép xây dựng các mô hình sinh học hệ thống, giúp làm rõ mối quan hệ giữa kiểu gen và kiểu hình cũng như các mạng lưới điều hòa sinh học (Hasin et al., 2017). Trong nông nghiệp, đa omics đã được ứng dụng để nghiên cứu tương tác cây trồng – vi sinh vật, tối ưu hóa quá trình sinh trưởng và nâng cao hiệu quả sản xuất (Kumar et al., 2023).

2. Ứng dụng công nghệ omics trong nông nghiệp

Cải tiến giống cây trồng

Công nghệ omics, đặc biệt là genomics và transcriptomics, đã tạo ra bước tiến lớn trong chọn giống cây trồng hiện đại. Thông qua việc giải trình tự toàn bộ hệ gen và phân tích biểu hiện gen, các nhà khoa học có thể xác định chính xác các gen hoặc vùng gen liên quan đến các tính trạng quan trọng như năng suất, khả năng chống chịu hạn, mặn và sâu bệnh (Varshney et al., 2021). Điều này cho phép áp dụng chọn lọc dựa trên chỉ thị phân tử (marker-assisted selection – MAS) và chọn giống dựa trên hệ gen (genomic selection), giúp rút ngắn đáng kể thời gian lai tạo so với phương pháp truyền thống.

Tuy nhiên, việc chỉ dựa vào dữ liệu genomics có thể chưa đủ để giải thích hoàn toàn biểu hiện kiểu hình, do ảnh hưởng của các yếu tố môi trường và điều hòa gen. Do đó, việc tích hợp transcriptomics giúp cung cấp thông tin động về sự biểu hiện gen trong các điều kiện cụ thể (Wang et al., 2009). Phân tích đa omics cho thấy nhiều tính trạng nông học là kết quả của các mạng lưới gen phức tạp thay vì một gen đơn lẻ, đòi hỏi cách tiếp cận hệ thống (Kumar et al., 2023). Nhìn chung, công nghệ omics đã nâng cao độ chính xác trong chọn giống, nhưng vẫn cần kết hợp với các phương pháp thực nghiệm ngoài đồng ruộng để đảm bảo tính ứng dụng thực tiễn.

Ví dụ, trên cây lúa (*Oryza sativa*), việc tích hợp dữ liệu genomics, transcriptomics và metabolomics đã giúp xác định các gen và con đường chuyển hóa liên quan đến khả năng chịu hạn và sử dụng nước hiệu quả. Các nghiên cứu

đa omics cho thấy sự phối hợp giữa các gen điều hòa stress, sự tích lũy các chất chuyển hóa bảo vệ như proline và sự thay đổi biểu hiện protein liên quan đến cân bằng áp suất thẩm thấu góp phần nâng cao khả năng chống chịu của cây trong điều kiện khô hạn. Tương tự, trên cây ngô (*Zea mays*), cách tiếp cận đa omics đã được sử dụng để xác định các chỉ thị sinh học liên quan đến hiệu suất quang hợp và năng suất trong điều kiện nhiệt độ cao, hỗ trợ hiệu quả cho các chương trình chọn giống thích ứng với biến đổi khí hậu.

Nghiên cứu vi sinh vật nông nghiệp

Ứng dụng omics trong nghiên cứu vi sinh vật nông nghiệp, đặc biệt là microbiomics và metagenomics, đã làm thay đổi căn bản cách tiếp cận truyền thống dựa trên nuôi cấy. Các phương pháp này cho phép phân tích trực tiếp DNA của toàn bộ quần xã vi sinh vật trong đất hoặc vùng rễ, từ đó xác định cấu trúc và chức năng của hệ vi sinh mà không cần phân lập (Bulgarelli et al., 2013).

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng hệ vi sinh vật vùng rễ đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy sinh trưởng cây trồng thông qua các cơ chế như cố định đạm, hòa tan lân và sản xuất hormone sinh trưởng (Rai et al., 2023). Nhờ công nghệ omics, nhiều chủng vi sinh vật có lợi như *Bacillus, Pseudomonas* và nấm *Trichoderma* đã được phát hiện và ứng dụng trong sản xuất phân bón sinh học.

Tuy nhiên, một thách thức lớn là sự phức tạp và biến động của hệ vi sinh vật trong điều kiện tự nhiên. Dữ liệu omics thường phản ánh tiềm năng chức năng hơn là hoạt động thực tế của vi sinh vật. Do đó, việc kết hợp metatranscriptomics và metabolomics là cần thiết để đánh giá chính xác vai trò sinh thái của các vi sinh vật này (Jain et al., 2024). Việc hiểu rõ tương tác cây trồng – vi sinh vật sẽ là chìa khóa để phát triển các hệ thống nông nghiệp bền vững.

Một minh chứng điển hình là việc ứng dụng metagenomics kết hợp metatranscriptomics để nghiên cứu hệ vi sinh vật vùng rễ cây lúa và lúa mì. Các nghiên cứu cho thấy sự gia tăng hoạt động của các nhóm vi khuẩn cố định đạm và hòa tan lân dưới điều kiện canh tác hữu cơ, góp phần cải thiện khả năng hấp thu dinh dưỡng của cây trồng. Việc tích hợp các lớp dữ liệu omics đã giúp xác định những loài vi sinh vật chủ chốt có vai trò quan trọng trong việc duy trì chức năng của hệ sinh thái đất nông nghiệp.

Quản lý stress sinh học và phi sinh học

Stress sinh học (sâu bệnh, vi sinh vật gây bệnh) và phi sinh học (hạn, mặn, nhiệt độ) là những yếu tố chính ảnh hưởng đến năng suất cây trồng. Proteomics và metabolomics đã cung cấp những công cụ mạnh mẽ để nghiên cứu cơ chế phản ứng của cây trước các tác nhân này. Proteomics cho phép xác định các protein liên quan đến phản ứng stress, bao gồm protein sốc nhiệt, enzyme chống oxy hóa và protein tín hiệu (Aebersold & Mann, 2016; Kosová et al., 2011).

Trong khi đó, metabolomics cung cấp thông tin về các chất chuyển hóa như proline, flavonoid và các hợp chất chống oxy hóa, đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ tế bào khỏi tổn thương (Fiehn, 2002). Sự kết hợp giữa hai lĩnh vực này giúp làm rõ các con đường sinh học liên quan đến khả năng chống chịu của cây trồng.

Tuy nhiên, một hạn chế là dữ liệu thu được thường rất lớn và phức tạp, gây khó khăn trong việc diễn giải. Ngoài ra, phản ứng stress thường mang tính đặc hiệu loài và phụ thuộc điều kiện môi trường, do đó cần có các nghiên cứu đa địa điểm để xác nhận tính ổn định của các chỉ thị sinh học (Rai et al., 2023). Mặc dù vậy, omics vẫn là công cụ không thể thiếu trong việc phát triển các giống cây trồng thích nghi với biến đổi khí hậu.

Nông nghiệp chính xác

Sự kết hợp giữa công nghệ omics và trí tuệ nhân tạo (AI) đã thúc đẩy sự phát triển của nông nghiệp chính xác (precision agriculture). Dữ liệu từ genomics, proteomics và metabolomics có thể được tích hợp với dữ liệu môi trường (đất, khí hậu) để xây dựng các mô hình dự báo sinh trưởng và năng suất cây trồng (Kumar et al., 2023).

Một ưu điểm nổi bật của cách tiếp cận này là khả năng tối ưu hóa đầu vào nông nghiệp như phân bón, nước tưới và thuốc bảo vệ thực vật, từ đó giảm chi phí và tác động môi trường. Ví dụ, phân tích omics có thể giúp xác định nhu cầu dinh dưỡng cụ thể của cây trồng theo từng giai

đoạn phát triển, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên.

Tuy nhiên, việc triển khai nông nghiệp chính xác dựa trên omics vẫn gặp nhiều thách thức, bao gồm chi phí cao, yêu cầu hạ tầng công nghệ và thiếu nguồn nhân lực có chuyên môn về tin sinh học. Ngoài ra, việc tích hợp và chuẩn hóa dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau vẫn là một vấn đề lớn (Hasin et al., 2017). Do đó, cần có sự phối hợp giữa các nhà khoa học, doanh nghiệp và nhà quản lý để thúc đẩy ứng dụng công nghệ này vào thực tiễn sản xuất.

3. Thách thức và triển vọng của công nghệ omics trong nông nghiệp

Thách thức trong ứng dụng công nghệ omics

Mặc dù công nghệ omics đã chứng minh tiềm năng to lớn trong nghiên cứu và phát triển nông nghiệp hiện đại, việc triển khai rộng rãi trong thực tiễn vẫn đối mặt với nhiều thách thức đáng kể. Một trong những rào cản lớn nhất là chi phí đầu tư ban đầu cho các nền tảng công nghệ như giải trình tự thế hệ mới (NGS), khối phổ và hạ tầng tính toán hiệu năng cao. Dù chi phí giải trình tự đã giảm đáng kể trong những năm gần đây, việc triển khai các nghiên cứu đa omics quy mô lớn vẫn đòi hỏi nguồn lực tài chính đáng kể, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển (Kumar et al., 2023).

Bên cạnh đó, khối lượng dữ liệu khổng lồ được tạo ra từ các nghiên cứu omics đặt ra yêu cầu cao về năng lực lưu trữ, xử lý và phân tích dữ liệu. Việc xử lý dữ liệu omics không chỉ đòi hỏi hạ tầng công nghệ mà còn yêu cầu đội ngũ chuyên gia có kiến thức liên ngành giữa sinh học và tin sinh học. Thực tế cho thấy, sự thiếu hụt nguồn nhân lực có chuyên môn về tin sinh học đang là một hạn chế lớn trong việc khai thác hiệu quả dữ liệu omics (Hasin et al., 2017).

Một thách thức quan trọng khác là vấn đề tích hợp dữ liệu đa omics. Mỗi loại dữ liệu (genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics) có đặc điểm riêng về định dạng, độ phân giải và mức độ nhiễu, gây khó khăn trong việc đồng bộ và phân tích tích hợp. Việc xây dựng các mô hình sinh học hệ thống đòi hỏi các phương pháp tính toán phức tạp và các thuật toán tiên tiến để xử lý dữ liệu đa chiều (Misra et al., 2019). Ngoài ra, sự khác biệt về điều kiện thí nghiệm, môi trường và giống cây trồng cũng làm giảm khả năng so sánh và tái lập kết quả giữa các nghiên cứu.

Từ góc độ ứng dụng thực tiễn, một vấn đề đáng lưu ý là khoảng cách giữa nghiên cứu phòng thí nghiệm và sản xuất nông nghiệp. Nhiều kết quả nghiên cứu omics có giá trị khoa học cao nhưng khó áp dụng trực tiếp ngoài đồng ruộng do ảnh hưởng của các yếu tố môi trường phức tạp. Ví dụ, các chỉ thị sinh học được xác định trong điều kiện kiểm soát có thể không ổn định trong điều kiện thực địa (Rai et al., 2023). Điều này đòi hỏi các nghiên cứu xác nhận trên quy mô lớn và đa điều kiện trước khi ứng dụng.

Triển vọng phát triển

Mặc dù tồn tại nhiều thách thức, triển vọng của công nghệ omics trong nông nghiệp vẫn rất rộng mở, đặc biệt trong bối cảnh chuyển đổi sang nông nghiệp thông minh và bền vững. Một trong những xu hướng nổi bật là sự phát triển của cách tiếp cận đa omics, cho phép tích hợp dữ liệu từ nhiều cấp độ sinh học nhằm cung cấp cái nhìn toàn diện về hệ thống sống. Các nghiên cứu gần đây cho thấy việc tích hợp đa omics có thể cải thiện đáng kể độ chính xác trong dự đoán kiểu hình và xác định các mục tiêu chọn giống (Hasin et al., 2017; Kumar et al., 2023).

Sự kết hợp giữa công nghệ omics và trí tuệ nhân tạo (AI) cũng đang mở ra những hướng đi mới trong phân tích dữ liệu sinh học. Các thuật toán học máy (machine learning) và học sâu (deep learning) có khả năng xử lý và khai thác hiệu quả các tập dữ liệu lớn, từ đó phát hiện các mẫu tiềm ẩn mà các phương pháp truyền thống khó nhận diện (Libbrecht & Noble, 2015). Trong nông nghiệp, AI có thể được sử dụng để dự đoán năng suất, phát hiện stress sớm và tối ưu hóa quản lý canh tác dựa trên dữ liệu omics.

Ngoài ra, sự phát triển của các công nghệ giải trình tự thế hệ mới và thế hệ thứ ba (third-generation sequencing) đang tiếp tục làm giảm chi phí và tăng độ chính xác của dữ liệu genomics. Điều này sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho việc áp dụng rộng rãi omics trong các chương trình chọn giống và nghiên cứu vi sinh vật nông nghiệp (Varshney et al., 2021). Đồng thời, các cơ sở dữ liệu sinh học và nền tảng chia sẻ dữ liệu ngày càng được mở rộng, góp phần

thúc đẩy hợp tác nghiên cứu và tăng khả năng tái sử dụng dữ liệu.

Một triển vọng quan trọng khác là ứng dụng omics trong phát triển nông nghiệp bền vững. Thông qua việc hiểu rõ tương tác giữa cây trồng, vi sinh vật và môi trường, các nhà khoa học có thể thiết kế các hệ thống canh tác tối ưu, giảm phụ thuộc vào phân bón hóa học và thuốc bảo vệ thực vật (Rai et al., 2023). Điều này không chỉ giúp nâng cao năng suất mà còn giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.

Bên cạnh đó, một số xu hướng mới đang thu hút sự quan tâm của cộng đồng khoa học gồm single-cell omics, spatial transcriptomics và digital agriculture. Single-cell omics cho phép phân tích sự khác biệt giữa các loại tế bào riêng lẻ trong mô thực vật, trong khi spatial transcriptomics cung cấp thông tin về sự phân bố không gian của biểu hiện gen. Khi kết hợp với dữ liệu cảm biến, Internet vạn vật (IoT) và nền tảng nông nghiệp số, các công nghệ này được kỳ vọng sẽ tạo ra thế hệ hệ thống giám sát cây trồng thông minh với độ chính xác cao hơn.

4. Khuyến nghị

Cần tăng cường đầu tư vào hạ tầng tin sinh học và đào tạo nguồn nhân lực chuyên sâu về omics. Đồng thời, thúc đẩy nghiên cứu liên ngành và chuyển giao công nghệ nhằm rút ngắn khoảng cách giữa nghiên cứu và ứng dụng thực tiễn trong nông nghiệp.

KẾT LUẬN

Công nghệ omics đang làm thay đổi nghiên cứu nông nghiệp bằng cách cung cấp cái nhìn toàn diện về hệ thống sinh học ở nhiều cấp độ. Việc tích hợp genomics, transcriptomics, proteomics và metabolomics giúp phân tích các tính trạng phức tạp, hỗ trợ chọn giống chính xác và quản lý cây trồng hiệu quả.

Tuy nhiên, việc ứng dụng rộng rãi vẫn bị hạn chế bởi chi phí cao, độ phức tạp kỹ thuật và khó khăn trong tích hợp, phân tích dữ liệu đa omics. Khoảng cách giữa nghiên cứu trong phòng thí nghiệm và thực tiễn sản xuất cũng là một thách thức lớn.

Trong tương lai, sự phát triển của công nghệ giải trình tự, tin sinh học và trí tuệ nhân tạo được kỳ vọng sẽ khắc phục các hạn chế này và mở rộng khả năng ứng dụng. Việc kết hợp omics với nông nghiệp số sẽ giúp nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên, giảm tác động môi trường và tăng năng suất.

Nhìn chung, công nghệ omics sẽ là nền tảng quan trọng cho phát triển nông nghiệp bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Aebersold, R., & Mann, M. (2016). Mass-spectrometric exploration of proteome structure and function. *Nature*, 537, 347–355.

Bulgarelli, D., Schlaeppi, K., Spaepen, S., van Themaat, E. V. L., & Schulze-Lefert, P. (2013). Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 807–838.

Fiehn, O. (2002). Metabolomics—the link between genotypes and phenotypes. *Plant Molecular Biology*, 48, 155–171.

Hall, R. D. (2011). Plant metabolomics in a nutshell: potential and future challenges. Annual Plant Reviews Volume 43: Biology of Plant Metabolomics, 43, 1-24.

Hasin, Y., Seldin, M., & Lusis, A. (2017). Đa omics approaches to disease. *Genome Biology*, 18, 83.

Jain, A., Sarsaiya, S., Singh, R., Gong, Q., Wu, Q., & Shi, J. (2024). Omics approaches in understanding plant–microbe interactions. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1391059.

Joice, R. (2020). Mining the human host metabolome toward an improved understanding of malaria transmission. *Frontiers in Microbiology*, 11, 164.

Kumar, U., Raj, S., Sreenikethanam, A., Maddheshiya, R., Kumari, S., Han, S., ... & Gahlot, D. K. (2023). Đa omics approaches in plant–microbe interactions hold enormous promise for sustainable agriculture. *Agronomy*, *13*(7), 1804.

Kosová, K., Vítámvás, P., Prášil, I. T., & Renaut, J. (2011). Plant proteome changes under abiotic stress—contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *Journal of proteomics*, *74*(8), 1301-1322.

Libbrecht, M. W., & Noble, W. S. (2015). Machine learning applications in genetics and genomics. *Nature Reviews Genetics*, 16, 321–332.

Misra, B. B., Langefeld, C., Olivier, M., & Cox, L. A. (2019). Integrated omics: Tools, advances and future approaches. *Journal of Molecular Endocrinology*, 62, R21–R45.

Ngomle, S., Haokip, S. W., Singh, Y. D., Sheikh, K. A., Singh, S. R., & Katare, M. B. (2025). Omics approaches in plant disease management: An insightful review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 102916.

Rai, S., Omar, A. F., Rehan, M., Al-Turki, A., Sagar, A., Ilyas, N., ... & Hasanuzzaman, M. (2023). Crop microbiome: their role and advances in molecular and omic techniques for the sustenance of agriculture. Planta, 257(2), 27.

Varshney, R. K., Bohra, A., Yu, J., Graner, A., Zhang, Q., & Sorrells, M. E. (2021). Designing future crops: genomics-assisted breeding comes of age. *Trends in plant science*, *26*(6), 631-649.

Wang, Z., Gerstein, M., & Snyder, M. (2009). RNA-Seq: a revolutionary tool for transcriptomics. Nature Reviews Genetics, 10, 57–63.