MỐI QUAN HỆ GIỮA KIỂU GEN, KIỂU HÌNH VÀ MÔI TRƯỜNG TRONG SINH HỌC

PHẠM THÚY NGA
Trường Đại học Hải Dương

Nhận bài ngày 10/9/2026. Sửa chữa xong 10/10/2026. Duyệt đăng 19/10/2026.

Abstract

Genotype, phenotype, and environment are closely interrelated in the formation and development of an organism's characteristics. Genotype carries genetic information and determines the potential expression of traits, while environmental conditions influence growth, development, and gene expression. Phenotype therefore results from the interaction between genotype and environment under specific conditions. This article clarifies the concepts of genotype, phenotype, and environment and analyzes their relationships through practical examples involving humans and plants. It highlights the respective roles of heredity and environmental factors in shaping biological characteristics and explaining phenotypic diversity in nature. The analysis also demonstrates the practical significance of this relationship for improving living conditions, healthcare, and agricultural production.

Keywords: *Biological environment, genotype, heredity, phenotype, relationships.*

1. Đặt vấn đề

Trong sinh học, kiểu gen, kiểu hình và môi trường là những yếu tố có mối quan hệ mật thiết, giữ vai trò quan trọng trong quá trình hình thành, phát triển và biểu hiện các đặc điểm của sinh vật. Kiểu gen mang thông tin di truyền, tạo cơ sở cho sự hình thành các tính trạng, trong khi môi trường tác động đến quá trình sinh trưởng, phát triển và mức độ biểu hiện của các gen. Kiểu hình được hình thành thông qua sự tương tác giữa kiểu gen và các điều kiện môi trường cụ thể. Do đó, những cá thể có kiểu gen giống nhau vẫn có thể biểu hiện kiểu hình khác nhau khi sống trong những điều kiện môi trường khác nhau. Ngược lại, các cá thể có kiểu gen khác nhau cũng có thể biểu hiện một số đặc điểm tương tự nhau khi chịu tác động của những điều kiện nhất định. Việc nghiên cứu mối quan hệ giữa kiểu gen, kiểu hình và môi trường có ý nghĩa quan trọng trong việc làm sáng tỏ cơ chế di truyền và sự biến đổi của các tính trạng ở sinh vật. Đồng thời, những hiểu biết này còn được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực thực tiễn như chọn giống cây trồng, vật nuôi, nâng cao năng suất nông nghiệp và chăm sóc sức khỏe con người. Xuất phát từ cơ sở đó, bài viết tập trung phân tích vai trò của kiểu gen, kiểu hình và môi trường, làm rõ sự tương tác giữa các yếu tố này, đồng thời trình bày một số ví dụ minh họa nhằm khẳng định ý nghĩa của mối quan hệ trên đối với nghiên cứu và ứng dụng sinh học.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Khái niệm kiểu gen, kiểu hình và môi trường

Kiểu gen: Là tập hợp các thông tin di truyền của một cá thể, được lưu trữ chủ yếu trong ADN và truyền từ thế hệ này sang thế hệ khác thông qua quá trình sinh sản. Các gen chứa thông tin cần thiết cho quá trình tổng hợp protein và điều hòa nhiều hoạt động sinh học, từ đó tham gia quy định sự hình thành các đặc điểm của cơ thể. Đối với một gen cụ thể, kiểu gen có thể được mô tả thông qua tổ hợp alen mà cá thể mang, chẳng hạn AA, Aa hoặc aa. Ở mức độ toàn bộ cơ thể, kiểu gen bao gồm hệ thống thông tin di truyền của cá thể và các tương tác giữa những gen khác nhau. Kiểu gen tạo nên cơ sở di

Email: phamthuyngadhdh@gmail.com

truyền cho các tính trạng nhưng mức độ biểu hiện của chúng còn phụ thuộc vào cơ chế điều hòa gen, quá trình phát triển và điều kiện môi trường.

Kiểu hình: Là tập hợp những đặc điểm của sinh vật có thể quan sát, đo lường hoặc xác định bằng các phương pháp phân tích khoa học. Kiểu hình bao gồm các đặc điểm hình thái như chiều cao, màu sắc và hình dạng cơ thể; các đặc điểm sinh lí, sinh hóa như tốc độ trao đổi chất, hoạt động enzyme cũng như một số đặc điểm hành vi. Kiểu hình hình thành trên cơ sở thông tin di truyền và chịu ảnh hưởng của môi trường trong suốt quá trình sinh trưởng, phát triển. Ví dụ, chiều cao của cây, màu sắc hoa, khối lượng cơ thể và năng suất nông sản đều là những biểu hiện của kiểu hình. Một tính trạng có thể chịu ảnh hưởng chủ yếu từ kiểu gen hoặc đồng thời chịu tác động đáng kể của nhiều yếu tố môi trường.

Môi trường: Là tổng hợp các yếu tố bên ngoài cơ thể có khả năng tác động đến sự sống, sinh trưởng, phát triển và biểu hiện tính trạng của sinh vật. Các yếu tố môi trường có thể được chia thành nhóm vô sinh và hữu sinh. Nhóm vô sinh bao gồm nhiệt độ, ánh sáng, nước, độ ẩm, thành phần đất và chất dinh dưỡng; nhóm hữu sinh bao gồm các sinh vật khác và những mối quan hệ giữa chúng, chẳng hạn cạnh tranh, cộng sinh và kí sinh. Ở người, chế độ dinh dưỡng, hoạt động thể chất, điều kiện sinh hoạt và các tác nhân gây bệnh cũng có thể ảnh hưởng đến sự phát triển và sức khỏe. Môi trường có thể tác động đến hoạt động của tế bào, quá trình trao đổi chất và sự điều hòa biểu hiện gen, qua đó làm thay đổi mức độ biểu hiện của một số tính trạng mà không nhất thiết làm thay đổi trình tự ADN.

2.2. Mối quan hệ giữa kiểu gen và kiểu hình

Kiểu gen và kiểu hình có mối quan hệ chặt chẽ trong quá trình hình thành và phát triển các đặc điểm của sinh vật. Kiểu gen chứa thông tin di truyền được lưu trữ trong ADN, tạo cơ sở cho quá trình tổng hợp protein và điều hòa các hoạt động sinh học của tế bào. Thông qua những cơ chế này, các gen tham gia quy định những đặc điểm hình thái, sinh lí, sinh hóa và một số đặc điểm hành vi của sinh vật. Tuy nhiên, mối quan hệ giữa kiểu gen và kiểu hình không phải lúc nào cũng đơn giản theo nguyên tắc một gen quy định một tính trạng. Nhiều tính trạng là kết quả phối hợp hoạt động của nhiều gen, đồng thời chịu ảnh hưởng của điều kiện môi trường và quá trình phát triển. Vì vậy, kiểu gen quy định tiềm năng di truyền nhưng kiểu hình thực tế còn phụ thuộc vào cách thông tin di truyền được biểu hiện trong những điều kiện cụ thể.

Sự khác biệt về kiểu gen có thể dẫn đến sự khác biệt về kiểu hình giữa các cá thể. Chẳng hạn, ở cây đậu Hà Lan, màu sắc hoa và hình dạng hạt là những tính trạng có cơ sở di truyền, được sử dụng trong các nghiên cứu kinh điển của Gregor Mendel để làm sáng tỏ quy luật di truyền. Ở người, các biến thể di truyền tại những gen liên quan đến sắc tố có thể góp phần tạo nên sự khác biệt về màu mắt và màu da. Đối với các tính trạng phức tạp như chiều cao, khối lượng cơ thể hoặc nguy cơ mắc một số bệnh, nhiều biến thể di truyền cùng tham gia tạo nên đặc điểm kiểu hình. Theo Boye và cộng sự (2024), sự biến thiên của các tính trạng ở người có thể liên quan đến tương tác giữa nhiều kiểu gen tại các vị trí khác nhau trong hệ gen và những yếu tố môi trường mà cá thể tiếp xúc trong suốt cuộc đời. Điều này cho thấy việc dự đoán kiểu hình chỉ dựa vào một gen riêng lẻ thường không đầy đủ đối với các tính trạng phức tạp. Bên cạnh ảnh hưởng của kiểu gen, mối quan hệ giữa kiểu gen và kiểu hình còn được thể hiện thông qua khả năng biểu hiện khác nhau của cùng một kiểu gen trong những điều kiện môi trường khác nhau. Ví dụ, những người có tiềm năng di truyền về chiều cao tương đối tốt vẫn có thể không đạt được chiều cao tối đa theo tiềm năng nếu bị thiếu dinh dưỡng kéo dài hoặc gặp vấn đề sức khỏe trong giai đoạn phát triển. Tương tự, cùng một giống cây trồng có thể sinh trưởng tốt và cho năng suất cao khi được cung cấp đủ nước, ánh sáng và chất dinh dưỡng nhưng sinh trưởng kém khi gặp hạn hán hoặc thiếu chất khoáng. Những ví dụ này cho thấy kiểu hình không phải là kết quả bất biến của kiểu gen mà được hình thành thông qua quá trình tương tác giữa thông tin di truyền và điều kiện sống.

Một khía cạnh quan trọng khác là tương tác giữa kiểu gen và môi trường thường được kí hiệu là G×E. Hiện tượng này xảy ra khi ảnh hưởng của kiểu gen lên một tính trạng thay đổi tùy thuộc vào môi trường hoặc khi các kiểu gen khác nhau phản ứng không giống nhau trước cùng một điều kiện ngoại cảnh. Herrera-Luis và cộng sự (2024) nhấn mạnh rằng tương tác gen - môi trường có vai trò quan trọng trong việc giải thích sự khác biệt về các tính trạng phức tạp và nguy cơ bệnh tật ở người. Chẳng hạn, hai

giống cây có thể cho năng suất gần tương đương trong điều kiện canh tác thuận lợi nhưng thể hiện sự khác biệt rõ rệt khi thiếu nước. Giống có khả năng chịu hạn tốt hơn có thể duy trì sinh trưởng và năng suất tương đối ổn định. Do đó, khi nghiên cứu mối quan hệ giữa kiểu gen và kiểu hình cần xem xét đồng thời điều kiện môi trường thay vì chỉ đánh giá đặc điểm di truyền trong một điều kiện duy nhất.

2.3. Ảnh hưởng của môi trường đến sự biểu hiện kiểu hình

Môi trường là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến sự biểu hiện kiểu hình của sinh vật. Mặc dù kiểu gen cung cấp cơ sở di truyền cho sự hình thành các tính trạng nhưng mức độ biểu hiện của những tính trạng này có thể thay đổi tùy thuộc vào điều kiện sống. Các yếu tố như nhiệt độ, ánh sáng, nước, chất dinh dưỡng, độ ẩm và những tác nhân sinh học có thể tác động đến quá trình sinh trưởng, phát triển, trao đổi chất và điều hòa hoạt động của gen. Do đó, kiểu hình được hình thành không chỉ dựa trên thông tin di truyền mà còn phụ thuộc vào môi trường mà sinh vật tiếp xúc trong suốt vòng đời.

2.3.1. Yếu tố dinh dưỡng có ảnh hưởng đáng kể đến sự phát triển và biểu hiện của kiểu hình

Chất dinh dưỡng cung cấp năng lượng và nguyên liệu cần thiết cho quá trình tổng hợp các hợp chất sinh học, hình thành mô và phát triển cơ quan. Ở người, chiều cao trưởng thành là một tính trạng phức tạp chịu ảnh hưởng của nhiều gen cùng với các yếu tố môi trường, đặc biệt là dinh dưỡng và tình trạng sức khỏe trong những giai đoạn phát triển quan trọng. Một cá thể có tiềm năng di truyền về chiều cao tốt nhưng bị thiếu dinh dưỡng kéo dài trong thời thơ ấu có thể không đạt được mức phát triển chiều cao tương ứng với tiềm năng đó. Ngược lại, chế độ dinh dưỡng đầy đủ và cân đối góp phần hỗ trợ quá trình tăng trưởng bình thường. Lui J. C., Palmer và Christian (2024) cho thấy sự phát triển chiều cao chịu ảnh hưởng phối hợp của yếu tố di truyền, dinh dưỡng và điều kiện môi trường trước sinh, sau sinh và trong giai đoạn dậy thì.

2.3.2. Nhiệt độ và ánh sáng cũng ảnh hưởng trực tiếp đến sự biểu hiện kiểu hình đặc biệt ở thực vật

Ánh sáng cung cấp năng lượng cho quá trình quang hợp, đồng thời đóng vai trò là tín hiệu điều hòa sự phát triển của cây. Cường độ, thời gian chiếu sáng và chất lượng ánh sáng có thể ảnh hưởng đến sự nảy mầm, sinh trưởng thân lá, hình thành hoa và tích lũy sinh khối. Trong khi đó, nhiệt độ tác động đến hoạt động của enzyme, tốc độ trao đổi chất và các quá trình sinh lí khác. Khi nhiệt độ vượt quá ngưỡng thích hợp, cây trồng có thể giảm tốc độ quang hợp, rối loạn các quá trình sinh lí và phát triển kém. Chẳng hạn, cây lúa hoặc cây rau sinh trưởng trong điều kiện nhiệt độ quá cao có thể giảm khả năng sinh trưởng, ra hoa hoặc hình thành sản phẩm, từ đó ảnh hưởng đến năng suất. Xu, T. và cộng sự (2025) phân tích vai trò của ánh sáng và nhiệt độ cao trong việc điều hòa các quá trình biểu sinh và biểu hiện gen ở cây *Arabidopsis*, qua đó cho thấy thực vật có thể điều chỉnh các hoạt động phân tử để phản ứng với những thay đổi của môi trường.

2.3.3. Nước, chất khoáng và các điều kiện sinh thái cũng có vai trò quan trọng trong việc hình thành kiểu hình ở thực vật

Nước tham gia vào quá trình quang hợp, vận chuyển chất dinh dưỡng và duy trì sức trương của tế bào; các nguyên tố khoáng cần thiết cho quá trình tổng hợp protein, diệp lục và hoạt động của enzyme. Khi cây trồng thiếu nước hoặc thiếu chất khoáng, các biểu hiện như giảm chiều cao, lá vàng, sinh khối thấp và năng suất giảm có thể xuất hiện. Ngược lại, khi được cung cấp đủ nước và dinh dưỡng phù hợp, cây có điều kiện phát huy tốt hơn tiềm năng di truyền. Tuy nhiên, phản ứng của mỗi giống cây trước cùng một điều kiện môi trường có thể khác nhau. Chẳng hạn, hai giống lúa được trồng trong điều kiện đủ nước có thể cho năng suất tương đương, nhưng khi xảy ra hạn hán, giống có khả năng chịu hạn tốt hơn có thể duy trì sinh trưởng và năng suất cao hơn. Theo Raza và cộng sự (2024), các điều kiện nhiệt độ bất lợi có thể làm thay đổi đặc điểm hình thái, sinh lí và sinh hóa của cây trồng, đồng thời ảnh hưởng đến năng suất và khả năng thích nghi.

2.3.4. Ở cấp độ phân tử, môi trường có thể ảnh hưởng đến kiểu hình thông qua điều hòa biểu hiện gen và các cơ chế biểu sinh

Những tín hiệu từ môi trường có khả năng làm thay đổi mức độ hoạt động của một số gen, qua đó tác động đến quá trình tổng hợp protein và hoạt động của tế bào. Các cơ chế biểu sinh, chẳng hạn như

methyl hóa ADN và biến đổi histone có thể điều chỉnh hoạt động của gen mà không làm thay đổi trình tự ADN. Ví dụ, khi thực vật chịu hạn hoặc nhiệt độ cao, những thay đổi trong cơ chế điều hòa gen có thể góp phần kích hoạt các phản ứng bảo vệ, điều chỉnh trao đổi chất và tăng khả năng chống chịu. Ma, L. và cộng sự (2025) cho thấy các cơ chế biểu sinh tham gia điều hòa phản ứng của thực vật trước những tác nhân bất lợi như hạn hán, nhiệt độ và độ mặn. Một số thay đổi biểu sinh có thể được duy trì sau khi tác nhân môi trường chấm dứt, tuy nhiên khả năng duy trì và truyền qua các thế hệ phụ thuộc vào cơ chế cụ thể. Điều này cho thấy ảnh hưởng của môi trường đến kiểu hình không chỉ thể hiện ở những biến đổi sinh lí bên ngoài mà còn liên quan đến các cơ chế điều hòa phân tử phức tạp.

Ngoài những ảnh hưởng trực tiếp, môi trường còn có thể tương tác với kiểu gen, làm cho các cá thể có kiểu gen khác nhau phản ứng không giống nhau trước cùng một điều kiện ngoại cảnh. Hiện tượng này được gọi là tương tác kiểu gen - môi trường (G×E). Chẳng hạn, một giống cây có thể phát triển tốt trong điều kiện khí hậu mát mẻ nhưng sinh trưởng kém khi nhiệt độ tăng cao, trong khi giống khác có thể duy trì năng suất tốt hơn trong cùng điều kiện. Ở người, các yếu tố như chế độ ăn uống, hoạt động thể chất và những tác nhân môi trường có thể ảnh hưởng khác nhau đến các cá thể tùy thuộc vào đặc điểm di truyền. Herrera-Luis và cộng sự (2024) nhấn mạnh rằng sự tương tác giữa yếu tố di truyền và môi trường có ý nghĩa quan trọng trong việc giải thích các tính trạng phức tạp và nguy cơ mắc bệnh ở người. Vì vậy, không thể đánh giá đầy đủ tiềm năng của một kiểu gen nếu chỉ xem xét kiểu hình trong một môi trường duy nhất.

2.4. Kiểu hình là kết quả tương tác giữa kiểu gen và môi trường

Kiểu hình là kết quả của quá trình tương tác giữa kiểu gen và môi trường trong suốt quá trình sinh trưởng, phát triển của sinh vật. Kiểu gen cung cấp cơ sở di truyền cho sự hình thành các tính trạng, trong khi môi trường tạo ra những điều kiện có thể thúc đẩy hoặc hạn chế sự biểu hiện của các tính trạng đó. Vì vậy, kiểu hình không chỉ phụ thuộc vào thông tin di truyền mà còn chịu ảnh hưởng của các yếu tố ngoại cảnh và quá trình phát triển của cơ thể. Có thể khái quát mối quan hệ này bằng biểu thức: Kiểu hình = f (kiểu gen, môi trường, tương tác kiểu gen - môi trường). Đây là mô hình khái niệm nhằm thể hiện sự phối hợp giữa các yếu tố chứ không phải một công thức định lượng áp dụng trực tiếp cho mọi tính trạng. Theo Boye và cộng sự (2024), sự tương tác giữa kiểu gen và môi trường là một cơ chế quan trọng góp phần tạo nên sự khác biệt về biểu hiện gen và các tính trạng phức tạp ở người. Điều này cho thấy việc giải thích kiểu hình cần xem xét đồng thời cơ sở di truyền và điều kiện môi trường thay vì chỉ dựa vào một yếu tố riêng lẻ. Biểu hiện rõ ràng của mối quan hệ này là cùng một kiểu gen có thể tạo ra những kiểu hình khác nhau khi sinh vật sống trong các điều kiện môi trường khác nhau. Hiện tượng này được gọi là tính mềm dẻo kiểu hình (phenotypic plasticity). Tính mềm dẻo kiểu hình cho phép sinh vật điều chỉnh một số đặc điểm hình thái, sinh lí hoặc sinh hóa để phản ứng trước sự thay đổi của môi trường. Chẳng hạn, cây trồng được cung cấp đủ nước, ánh sáng và chất dinh dưỡng thường sinh trưởng tốt hơn so với cây cùng giống được trồng trong điều kiện thiếu nước hoặc nghèo dinh dưỡng. Khi gặp hạn hán, một số giống cây có thể điều chỉnh hoạt động trao đổi chất, sự phát triển của hệ rễ và quá trình đóng mở khí khổng nhằm hạn chế mất nước. Những phản ứng này góp phần làm thay đổi kiểu hình sinh lí và hình thái của cây mà không nhất thiết làm thay đổi trình tự ADN. Theo Alseekh, S. và cộng sự (2025), tính mềm dẻo kiểu hình và khả năng duy trì đặc điểm ổn định trước biến động môi trường đều có ý nghĩa quan trọng đối với khả năng thích nghi của cây trồng và sự ổn định nguồn cung lương thực. Bên cạnh đó, những cá thể có kiểu gen khác nhau có thể biểu hiện kiểu hình khác nhau ngay cả khi được nuôi trồng trong cùng một môi trường. Nguyên nhân là các kiểu gen có thể mang những biến thể di truyền khác nhau, dẫn đến sự khác biệt về khả năng sinh trưởng, trao đổi chất, chống chịu và phát triển. Ví dụ, khi hai giống lúa được gieo trồng trên cùng loại đất và áp dụng chế độ chăm sóc tương tự, chúng vẫn có thể khác nhau về chiều cao, thời gian trổ bông, số hạt trên bông và năng suất. Những khác biệt này phản ánh cơ sở di truyền của các tính trạng. Tuy nhiên, mức độ khác biệt giữa các giống có thể thay đổi tùy theo điều kiện canh tác. Một giống có thể đạt năng suất cao trong điều kiện thuận lợi nhưng không duy trì được ưu thế khi gặp hạn hán hoặc nhiệt độ cao. Ngược lại, giống có khả năng chống

chịu tốt có thể sinh trưởng ổn định hơn trong điều kiện bất lợi. Vì vậy, đánh giá kiểu gen cần gắn với môi trường cụ thể mà sinh vật sinh sống hoặc được sản xuất.

Sự khác biệt trong phản ứng của các kiểu gen trước cùng một điều kiện môi trường được gọi là tương tác kiểu gen - môi trường, thường được kí hiệu là G×E. Tương tác này có thể làm thay đổi mức độ biểu hiện của một tính trạng hoặc thay đổi thứ hạng của các kiểu gen giữa những môi trường khác nhau. Ví dụ, giống ngô A có thể cho năng suất cao hơn giống B trong điều kiện đủ nước và dinh dưỡng nhưng giống B có thể đạt năng suất cao hơn trong điều kiện hạn hán nhờ khả năng thích nghi tốt hơn. Ozair, M. và cộng sự (2025), trong nghiên cứu về tính mềm dẻo kiểu hình của năng suất hạt ngô đã phân tích sự thay đổi năng suất theo các gradient môi trường và nhấn mạnh tầm quan trọng của tương tác kiểu gen - môi trường trong đánh giá đặc điểm nông học. Kết quả nghiên cứu theo hướng này cho thấy việc lựa chọn giống không nên chỉ căn cứ vào năng suất thu được tại một địa điểm hoặc trong một vụ sản xuất mà cần xem xét hiệu quả của giống ở nhiều điều kiện khác nhau.

Mối quan hệ giữa kiểu gen, môi trường và kiểu hình còn thể hiện qua khả năng ổn định hoặc biến đổi của các tính trạng trước những tác động ngoại cảnh. Một số tính trạng có khả năng duy trì tương đối ổn định khi môi trường thay đổi nhẹ, trong khi những tính trạng khác rất nhạy cảm với điều kiện sống. Chẳng hạn, năng suất cây trồng có thể biến động đáng kể theo lượng mưa, nhiệt độ, độ phì của đất và biện pháp canh tác; ngược lại, một số đặc điểm có cơ sở di truyền mạnh có thể ít biến đổi hơn trong phạm vi điều kiện thông thường.

Ở người, kiểu hình cũng được hình thành từ sự phối hợp giữa nhiều yếu tố di truyền và môi trường. Chẳng hạn, chiều cao cơ thể chịu ảnh hưởng của nhiều gen, đồng thời liên quan đến dinh dưỡng, tình trạng sức khỏe và điều kiện phát triển trong các giai đoạn khác nhau của cuộc đời. Tương tự, nguy cơ mắc một số bệnh phức tạp có thể phụ thuộc đồng thời vào yếu tố di truyền và các tác nhân môi trường như chế độ ăn uống, hút thuốc, hoạt động thể chất hoặc mức độ tiếp xúc với chất ô nhiễm. Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng của mỗi yếu tố không giống nhau đối với mọi tính trạng; do đó, không thể khái quát rằng môi trường luôn lấn át di truyền hoặc ngược lại.

2.5. Ý nghĩa thực tiễn của mối quan hệ giữa kiểu gen, kiểu hình và môi trường

Việc nghiên cứu mối quan hệ giữa kiểu gen, kiểu hình và môi trường có ý nghĩa quan trọng trong cả nghiên cứu khoa học và đời sống thực tiễn. Hiểu rõ cơ chế tương tác giữa các yếu tố này giúp giải thích nguyên nhân hình thành sự khác biệt về đặc điểm giữa các cá thể, đồng thời tạo cơ sở khoa học để lựa chọn giống, cải thiện điều kiện sinh trưởng và nâng cao hiệu quả sản xuất. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu, suy giảm tài nguyên và nhu cầu lương thực ngày càng tăng, việc kết hợp hiểu biết về đặc điểm di truyền với điều kiện môi trường phù hợp đang trở thành một hướng tiếp cận quan trọng nhằm nâng cao khả năng thích nghi và phát triển bền vững của sinh vật.

Trong lĩnh vực nông nghiệp và chọn giống cây trồng, vật nuôi, kiến thức về mối quan hệ giữa kiểu gen, kiểu hình và môi trường giúp lựa chọn những giống có đặc điểm di truyền phù hợp với điều kiện sản xuất cụ thể. Thông qua việc đánh giá các tính trạng như năng suất, chất lượng sản phẩm, khả năng chống chịu sâu bệnh và thích nghi với điều kiện bất lợi, các nhà chọn giống có thể xác định những kiểu gen có giá trị để sử dụng trong các chương trình lai tạo. Ví dụ, khi lựa chọn giống lúa cho vùng thường xuyên xảy ra hạn hán, ngoài việc xem xét năng suất trong điều kiện thuận lợi cần đánh giá khả năng duy trì sinh trưởng và hình thành hạt khi thiếu nước. Tương tự, các giống cây trồng có khả năng chịu nhiệt hoặc thích nghi với đất mặn có thể được ưu tiên tại những khu vực thường xuyên chịu tác động của các điều kiện bất lợi này. Bên cạnh lựa chọn giống, hiểu biết về tác động của môi trường còn giúp xây dựng các biện pháp canh tác phù hợp để phát huy tiềm năng di truyền của cây trồng. Cùng một giống cây có thể cho năng suất khác nhau tùy thuộc vào chế độ tưới nước, lượng phân bón, mật độ gieo trồng, nhiệt độ và điều kiện đất đai. Chẳng hạn, một giống ngô có tiềm năng năng suất cao vẫn có thể cho sản lượng thấp nếu được trồng trong điều kiện thiếu nước hoặc thiếu chất dinh dưỡng. Ngược lại, việc lựa chọn thời vụ phù hợp, cung cấp nước hợp lí và quản lí dinh dưỡng hiệu quả có thể giúp cây sinh trưởng tốt hơn. Như vậy, nâng cao năng suất không chỉ dựa vào việc cải tiến giống mà còn đòi hỏi sự phối hợp giữa đặc điểm di truyền và điều kiện sản xuất.

Trong y học và chăm sóc sức khỏe con người, mối quan hệ giữa kiểu gen, kiểu hình và môi trường góp phần giải thích sự khác biệt về đặc điểm thể chất, khả năng đáp ứng với các yếu tố ngoại cảnh và nguy cơ mắc một số bệnh giữa các cá thể. Nhiều đặc điểm sức khỏe chịu ảnh hưởng đồng thời của nhiều gen và các yếu tố môi trường như chế độ dinh dưỡng, hoạt động thể chất, hút thuốc và mức độ tiếp xúc với chất ô nhiễm. Ví dụ, nguy cơ mắc bệnh đái tháo đường type 2 có thể liên quan đến yếu tố di truyền nhưng cũng chịu ảnh hưởng của chế độ ăn uống, tình trạng cân nặng và mức độ vận động. Vì vậy, một người có yếu tố nguy cơ di truyền không nhất thiết sẽ mắc bệnh, trong khi các biện pháp điều chỉnh lối sống có thể giúp giảm một số nguy cơ có thể thay đổi.

Trong nghiên cứu sinh học và công nghệ sinh học hiện đại, việc kết hợp dữ liệu kiểu gen, kiểu hình và môi trường giúp nâng cao khả năng xác định cơ sở di truyền của các tính trạng và dự đoán phản ứng của sinh vật trước những điều kiện khác nhau. Các công nghệ giải trình tự ADN, phân tích biểu hiện gen, phân tích dữ liệu sinh học quy mô lớn và trí tuệ nhân tạo đang hỗ trợ các nhà khoa học tìm hiểu mối liên hệ giữa biến thể di truyền và đặc điểm biểu hiện. Ví dụ, trong chọn giống cây trồng, dữ liệu di truyền có thể được kết hợp với thông tin về nhiệt độ, lượng mưa, đặc điểm đất và kết quả đo năng suất tại nhiều địa điểm để dự đoán giống nào phù hợp nhất với từng vùng sản xuất. Ngoài ra, hiểu biết về mối quan hệ giữa kiểu gen, kiểu hình và môi trường còn có ý nghĩa trong bảo tồn đa dạng sinh học và thích ứng với biến đổi khí hậu. Các quần thể sinh vật có sự đa dạng di truyền thường có những khác biệt về khả năng chịu nhiệt, chống chịu bệnh và thích nghi với điều kiện sống. Việc bảo tồn nguồn gen và môi trường sống giúp duy trì tiềm năng thích nghi của các quần thể trước những thay đổi của ngoại cảnh. Trong nông nghiệp, phát triển các giống cây có khả năng chống chịu đồng thời với hạn hán và nhiệt độ cao góp phần giảm thiểu rủi ro mất mùa.

3. Kết luận

Mối quan hệ giữa kiểu gen, kiểu hình và môi trường là một nội dung cơ bản, có ý nghĩa quan trọng trong di truyền học và sinh học hiện đại. Kiểu gen cung cấp cơ sở di truyền, quy định tiềm năng phát triển và khả năng biểu hiện các tính trạng của sinh vật. Tuy nhiên, kiểu hình không chỉ phụ thuộc vào kiểu gen mà còn chịu ảnh hưởng của các yếu tố môi trường như nhiệt độ, ánh sáng, nước, chất dinh dưỡng và điều kiện sống. Sự tương tác giữa kiểu gen và môi trường góp phần tạo nên sự đa dạng về đặc điểm hình thái, sinh lí và khả năng thích nghi của các cá thể. Mức độ ảnh hưởng của mỗi yếu tố khác nhau tùy thuộc vào bản chất của từng tính trạng và đặc điểm di truyền của sinh vật. Việc hiểu rõ mối quan hệ này có ý nghĩa thiết thực trong nghiên cứu khoa học và đời sống. Trong nông nghiệp, kiến thức về kiểu gen và môi trường giúp lựa chọn giống phù hợp, xây dựng điều kiện canh tác tối ưu và nâng cao năng suất, chất lượng sản phẩm. Trong y học, việc xem xét đồng thời yếu tố di truyền và môi trường góp phần giải thích sự khác biệt về sức khỏe cũng như nguy cơ mắc một số bệnh ở người. Như vậy, nghiên cứu mối quan hệ giữa kiểu gen, kiểu hình và môi trường không chỉ giúp làm sáng tỏ cơ chế hình thành tính trạng mà còn tạo cơ sở khoa học cho việc khai thác tiềm năng di truyền, cải thiện điều kiện sống và nâng cao hiệu quả ứng dụng sinh học trong thực tiễn.

Tài liệu tham khảo

Alseekh, S., Klemmer, A., Yan, J., Guo, T., & Fernie, A. R. (2025). Embracing plant plasticity or robustness as a means of ensuring food security. *Nature Communications, 16*, Article 461. https://doi.org/10.1038/s41467-025-55872-4.

Boye, C., Nirmalan, S., Ranjbaran, A., và cộng sự. (2024). Genotype × environment interactions in gene regulation and complex traits. *Nature Genetics, 56*, 1057-1068. https://doi.org/10.1038/s41588-024-01776-w.

Herrera-Luis, E., Benke, K., Volk, H., và cộng sự. (2024). Geneenvironment interactions in human health. *Nature Reviews Genetics, 25*, 768-784. https://doi.org/10.1038/s41576-024-00731-z.

Lui, J. C., Palmer, A. C., & Christian, P. (2024). Nutrition, other environmental influences, and genetics in the determination of human stature. *Annual Review of Nutrition, 44*, 205-229. https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-061121-091112.

Ma, L., Xing, L., Jiang, D., & cộng sự. (2025). Epigenetic control of plant abiotic stress responses. *Journal of Genetics and Genomics, 52*(2), 129-144. https://doi.org/10.1016/j.jgg.2024.09.008.

Ozair, M., et al. (2025). Phenotypic plasticity in maize grain yield: Genetic and environmental insights of response to environmental gradients. *The Plant Genome, 18*(3), e70078. https://doi.org/10.1002/tpg2.70078.

Xu, T., Patitaki, E., Zioutopoulou, A., & Kaiserli, E. (2025). Light and high temperatures control epigenomic and epitranscriptomic events in *Arabidopsis*. *Current Opinion in Plant Biology, 83*, 102668. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2024.102668.