

MỐI LIÊN HỆ GIỮA DINH DƯỠNG CÂY TRỒNG, CHẤT LƯỢNG VÀ AN TOÀN NÔNG SẢN, SỨC KHOẺ DINH DƯỠNG CON NGƯỜI

Trần Minh Tiên¹, Nguyễn Đức Dũng²

1. GIỚI THIỆU

Mối liên hệ giữa dinh dưỡng cây trồng và sức khỏe con người là một trong những vấn đề cấp bách nhất của thế kỷ 21. Trong bối cảnh dân số toàn cầu tăng trưởng và biến đổi khí hậu, việc sản xuất lương thực không chỉ đủ về số lượng mà còn phải đảm bảo chất lượng dinh dưỡng và an toàn thực phẩm [1]. Hiện nay, khoảng 2-3 tỷ người trên thế giới, bao gồm trẻ em dưới 5 tuổi, phụ nữ cho con bú và người cao tuổi, đang bị suy dinh dưỡng do thiếu hụt vi chất thiết yếu, protein và vitamin [1]. Tình trạng này được gọi là "nạn đói ẩn" (hidden hunger), gây ra những hậu quả nghiêm trọng như chậm phát triển thể chất và trí tuệ, giảm năng suất lao động và tăng nguy cơ mắc các bệnh mãn tính [18].

Nguyên nhân chính của vấn đề này nằm ở sự suy thoái và cạn kiệt đất, ảnh hưởng đến 40% hệ sinh thái nông nghiệp toàn cầu [1]. Đất khỏe mạnh là nền tảng để sản xuất thực phẩm giàu dinh dưỡng; sức khỏe của đất, cây trồng, động vật, con người và hệ sinh thái là một thể thống nhất theo khái niệm "One Health" (Một Sức Khỏe) [1]. Tuy nhiên, các mô hình nông nghiệp hiện đại thường tập trung vào tối đa hóa năng suất mà bỏ qua dinh dưỡng của cây trồng, dẫn đến tình trạng thiếu hụt vi chất và làm trầm trọng thêm các bệnh mãn tính như tiểu đường và tăng huyết áp, đặc biệt ở các cộng đồng có thu nhập thấp [29].

Tổng quan này nhằm mục đích tổng hợp các bằng chứng khoa học về cơ chế liên kết giữa dinh dưỡng cây trồng, chất lượng và an toàn nông sản và sức khỏe con người, đồng thời đề xuất các giải pháp khả thi cho tương lai.

2. KHUNG KHÁI NIỆM

2.1. Khái niệm "One Health" và chuỗi liên kết đất-cây trồng-con người

Khái niệm "One Health" khẳng định rằng sức khỏe của đất, thực vật, động vật, con người, hệ sinh thái và các quá trình hành tinh là một thể thống nhất và không thể tách rời [1]. Chuỗi liên kết này bắt đầu từ đất, nơi cung cấp các chất dinh dưỡng cho cây trồng. Chất lượng dinh dưỡng của đất trực tiếp ảnh hưởng đến hàm lượng khoáng chất và vitamin trong cây trồng, từ đó tác động đến chất lượng thực phẩm và cuối cùng là sức khỏe con người [2], [5], [15].

Đất có thể ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe con người thông qua việc ăn phải, hít phải hoặc hấp thụ qua da, có thể đưa vào cơ thể các vi sinh vật gây bệnh hoặc các vi khuẩn có lợi sản xuất kháng sinh [15]. Tuy nhiên, tác động gián tiếp thông qua số lượng và chất lượng dinh dưỡng của thực phẩm tiêu thụ là quan trọng hơn [15]. Các nguyên tố vi lượng như iốt, sắt, selen và kẽm đóng vai trò thiết yếu và sự thiếu hụt của chúng có ảnh hưởng đáng kể đến sức khỏe [15].

2.2. Biofortification (Tăng cường sinh học): chiến lược chủ chốt

¹ Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam

² Viện Thổ nhưỡng Nông hoá

Biofortification (sự tăng cường sinh học) là quá trình tăng nồng độ và/hoặc khả năng sinh khả dụng của các vi chất dinh dưỡng trong cây trồng chủ lực, có tiềm năng giảm thiểu tình trạng thiếu hụt vi chất trên toàn cầu [3]. Chiến lược này có thể được thực hiện thông qua ba phương pháp chính: (1) chọn giống truyền thống, (2) quản lý nông học (agronomic biofortification) và (3) kỹ thuật di truyền [3], [4], [14]. Các thử nghiệm hiệu quả đã chứng minh lợi ích của việc tiêu thụ cây trồng được làm giàu dinh dưỡng trong điều kiện thực tế [3].

3. CƠ CHẾ TÁC ĐỘNG: TỪ ĐẤT ĐẾN SỨC KHOẺ CON NGƯỜI

3.1. Cơ chế sinh học và hóa sinh

Dinh dưỡng khoáng chất của thực vật ảnh hưởng đến an ninh lương thực thông qua việc tác động đến chất lượng cây trồng, an toàn thực phẩm và sức khỏe con người [5]. Các chiến lược nông học, bao gồm sử dụng phân bón hiệu quả và cải tạo đất, giúp tăng cường khả năng hấp thu các nguyên tố khoáng thiết yếu của cây trồng, từ đó giải quyết tình trạng suy dinh dưỡng khoáng chất ở người [5]. Các chiến lược di truyền phát triển các giống cây tích lũy nồng độ cao hơn các nguyên tố có lợi trong các mô ăn được [5].

Các vi chất dinh dưỡng đóng vai trò sinh lý quan trọng như là đồng yếu tố cho các enzym trong quá trình trao đổi chất thực vật, ảnh hưởng đến quang hợp, điều hòa sinh trưởng (sinh tổng hợp auxin) và cố định nitơ [7]. Chúng cũng giảm thiểu stress phi sinh học và sinh học bằng cách điều chỉnh hoạt động enzym (ví dụ: cân bằng các gốc oxy phản ứng), tăng cường thành tế bào và ảnh hưởng đến sự phát triển của mầm bệnh [7]. Những cải thiện ở cấp độ thực vật này trực tiếp chuyển thành kết quả sức khỏe con người tốt hơn bằng cách tăng hàm lượng chất dinh dưỡng trong phần ăn được, giải quyết nạn đói ẩn và đảm bảo sức sống của hạt giống cho sự phát triển mạnh mẽ của cây con [7].

Đất là nguồn chính cung cấp chất dinh dưỡng cho thực vật và con người, với biofortification tăng cường mức độ chất dinh dưỡng thiết yếu trong cây trồng để chống suy dinh dưỡng và tăng cường hệ miễn dịch [16]. Quá trình này dựa vào đất khỏe mạnh, nơi sự đa dạng chất dinh dưỡng ảnh hưởng đến các hợp chất chuyển hóa thứ cấp trong cây được liệu [16]. Các tính chất của đất, bao gồm các yếu tố hóa học, vật lý và sinh học, kiểm soát khả năng sinh khả dụng của chất dinh dưỡng cho cây trồng, tác động đến chất lượng cây trồng và kết quả sức khỏe con người thông qua chuỗi thực phẩm [16].

3.2. Vai trò của vi chất dinh dưỡng

3.2.1. Sắt (Fe)

Sắt đóng vai trò quan trọng trong chuỗi liên kết đất-cây trồng-con người [2]. Tình trạng sắt trong thực vật ảnh hưởng đến mật độ dinh dưỡng và nguy cơ thiếu hụt [2]. Quản lý sắt trong nông học được đề xuất như một cơ chế để giải quyết các vấn đề này, ảnh hưởng đến chất lượng và an toàn thực phẩm và cuối cùng là sức khỏe con người [2]. Tuy nhiên, cần lưu ý các khía cạnh an toàn như stress oxy hóa liên quan đến sắt [2].

3.2.2. Kẽm (Zn)

Thiếu hụt kẽm là một vấn đề dinh dưỡng toàn cầu, với chế độ ăn thường bị hạn chế về phạm vi và thiếu các khoáng chất thiết yếu như kẽm [14]. Một phần ba đất trồng

lúa trên toàn cầu thiếu kẽm và 40% kẽm bị mất trong quá trình chế biến từ gạo lứt sang gạo trắng [4]. Biofortification kẽm trong lúa gạo bao gồm các phương pháp chọn giống truyền thống, kỹ thuật di truyền, quản lý nông học và xử lý hạt giống nhằm tăng cường hàm lượng kẽm trong hạt gạo [4], [14]. Thiếu hụt kẽm, phổ biến tới 50% khu vực Châu Phi cận Sahara, góp phần gây ra 450.000 ca tử vong trẻ em hằng năm [7].

3.2.3. Selen (Se)

Phun phân bón chứa selen qua lá tăng sự tích lũy, dạng tồn tại và khả năng sinh khả dụng của seleni trong ngô ngọt [10]. Can thiệp nông học này liên kết trực tiếp dinh dưỡng thực vật với chất lượng cây trồng được cải thiện bằng cách tăng cường hàm lượng Se và các dạng của nó [10]. Sự gia tăng khả năng sinh khả dụng của selen trong cây trồng sau đó góp phần giải quyết các kết quả sức khỏe con người bằng cách giảm thiểu các vấn đề dinh dưỡng toàn cầu liên quan đến thiếu hụt selen [10].

Bón phân selen qua lá làm thay đổi hàm lượng các hợp chất thực vật trong hai loài rau rocket [17]. Việc bổ sung Se ảnh hưởng đến lưu huỳnh (S) và các hợp chất chứa S như cysteine và glucosinolate, có vai trò phòng vệ trong thực vật và vai trò bảo vệ ở người [17]. Se cũng ảnh hưởng đến hàm lượng axit amin và hợp chất phenolic [17]. Trong khi liều lượng Se thấp làm giàu rau rocket mà không ảnh hưởng đến các hợp chất thực vật khác, mức Se cao hơn có thể dẫn đến tích lũy Se có thể làm cho phần ăn được không an toàn, do đó ảnh hưởng đến an toàn thực phẩm [17].

3.2.4. Lưu huỳnh (S)

Lưu huỳnh là khoáng chất thiết yếu trong dinh dưỡng con người, tham gia vào các quá trình sinh hóa quan trọng [27]. Bón phân sunfat có thể làm giàu cà chua với lưu huỳnh trong khi duy trì thành phần khoáng chất và chất lượng dinh dưỡng của quả, ngoại trừ việc giảm mức molipđen [27]. Điều này đảm bảo an ninh lương thực và duy trì trái cây và rau quả như một nguồn quan trọng của lưu huỳnh và các khoáng chất khác [27].

3.3. Cơ chế an toàn thực phẩm

Ô nhiễm và nhiễm bẩn đất, đặc biệt là với một số kim loại nặng như chì (Pb), thủy ngân (Hg) và asen (As), là một vấn đề quan trọng vì thực phẩm có thể chứa mức độ của một số kim loại nặng và/hoặc dư lượng thuốc trừ sâu [1]. Các độc tính Al/Mn trong đất chua, hoặc sự hấp thu các nguyên tố có hại như asen trong lúa nước, làm giảm sản xuất cây trồng và sức khỏe con người, đòi hỏi kiểm soát chất lượng nghiêm ngặt và các giống thích nghi [5].

Trong các vùng giàu selen tự nhiên, sự hiện diện đồng thời của nồng độ cadimi (Cd) cao và khả năng sinh khả dụng Se thấp trong đất trồng lúa hạn chế việc sản xuất gạo giàu Se [25]. Ngăn chặn sự tích lũy Cd quá mức trong khi tăng hàm lượng Se trong hạt gạo là điều cần thiết [25]. Các nghiên cứu đã đánh giá hiệu quả của bốn loại chất cải tạo đất - vôi hydrat hóa, chất điều hòa đất hỗn hợp, than sinh học và axit humic - trong việc điều chỉnh khả năng sinh khả dụng của Se và Cd và sự tích lũy của chúng trong các giống lúa địa phương [25].

4. MINH CHỨNG VÀ DỮ LIỆU CỤ THỂ

4.1. Tác động của phân bón đến chất lượng cây trồng

Một phân tích tổng hợp toàn cầu sử dụng 7.859 cặp dữ liệu từ 551 bài báo dựa trên thí nghiệm thực địa được công bố từ năm 1972 đến 2022 đã đánh giá đóng góp của việc bón phân với một loạt các chất dinh dưỡng thực vật đối với chất lượng dinh dưỡng của cây lương thực [30]. Kết quả cho thấy:

- Trung bình, việc bón phân cải thiện năng suất cây trồng 30,9% (CI: 28,2-33,7%) và chất lượng dinh dưỡng 11,9% (CI: 10,7-12,1%) [30].
- Các cải thiện phụ thuộc lớn vào loại chất dinh dưỡng và loài cây trồng, với rau là nhóm đáp ứng tốt nhất [30].
- Kali, magiê và vi chất dinh dưỡng đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy chất lượng dinh dưỡng của cây trồng, trong khi việc kết hợp ứng dụng nguồn vô cơ và hữu cơ có tác động lớn nhất đến chất lượng [30].
- Các điều kiện khí hậu và tính chất đất mong muốn (đất thịt pha cát, chất hữu cơ đất 2,5-5,0% và pH 4,5-8,5) hỗ trợ cải thiện thêm [30].
- Xét về khả năng đáp ứng giữa các châu lục, sự gia tăng chất lượng dinh dưỡng của cây lương thực với việc bón phân là lớn nhất ở Châu Phi [30].

Vi chất dinh dưỡng đã cho thấy tác động tích cực từ 10 đến 70% đối với năng suất cây trồng, tùy thuộc vào vi chất cụ thể, có hoặc không có bón phân NPK [7]. Ví dụ:

- Bón phân NPK được làm giàu Se cải thiện lượng Se hấp thu hàng ngày và nồng độ Se trong huyết thanh ở Phần Lan [7].
- Sử dụng phân bón chứa kẽm qua lá tăng năng suất lúa mì 16% trong điều kiện hạn hán, giảm mất năng suất từ 25% xuống 13% [7].
- Các hạt nano oxit kẽm tăng năng suất 4%, sắt 46% và hàm lượng diệp lục 10% trong đậu mắt đen [7].

4.2. Biofortification và kết quả sức khỏe

Các nghiên cứu hiệu quả trong điều kiện thực tế đã cung cấp bằng chứng mạnh mẽ về lợi ích của biofortification:

Mozambique - Khoai lang Cam (Orange Sweet Potato - OSP)

- 50% trẻ em trong khu vực can thiệp ăn OSP ít nhất ba trong bảy ngày qua, so với dưới 10% ở nhóm đối chứng [3].
- Thiếu hụt vitamin A ở trẻ em không còn bú sữa mẹ thấp hơn 10% và nồng độ retinol trong huyết thanh trung bình không điều chỉnh cao hơn 0,07 $\mu\text{mol/L}$ ở trẻ em can thiệp [3].
- OSP đóng góp 71-84% tổng lượng vitamin A hấp thu ở Mozambique [3].

Uganda - Khoai lang Cam

- Tiêu thụ OSP tăng lượng vitamin A hấp thu hai phần ba cho trẻ em và gần như gấp đôi cho phụ nữ [3].

Thí nghiệm Biofortification đậu tương và ngô:

- Biofortification hạt đậu tương bằng cách bổ sung các nguyên tố thiếu hụt vào đất trong giai đoạn ra hoa đạt được sự gia tăng 25 lần Se và 190 lần Zn [16].
- Bón iốt qua lá (lên đến 7,5 kg I ha⁻¹) cho đậu tây dẫn đến hàm lượng iốt cao hơn [16].

- Ở Brazil, biofortification Zn nông học (25 mg Zn kg⁻¹ đất) tăng Zn và protein dự trữ hòa tan trong hạt đậu [16].

Lúa gạo chỉnh sửa gen: Các dòng lúa gạo chỉnh sửa ba gen sử dụng CRISPR/Cas9 đã được tạo ra để cung cấp hàm lượng Fe/Zn cao và hàm lượng Cd thấp [26]. Dòng chỉnh sửa gen không có Cas9 số 2 cho thấy các đặc tính tốt hơn: 13,48 µg/g sắt, 22,9 µg/g kẽm, hàm lượng protein cao 20,60 g hạt trên 1000 g cây. Tổng năng suất cây 102,76 g, 101 ngày đến 50% ra hoa [26].

4.3. Xu hướng suy giảm mật độ khoáng chất

Một vấn đề đáng lo ngại là xu hướng suy giảm mật độ khoáng chất trong cây trồng theo thời gian. Nghiên cứu của Fan và cộng sự (2008) đã cung cấp bằng chứng về sự giảm mật độ khoáng chất trong hạt lúa mì trong 160 năm qua [22]. Điều này phản ánh tác động của việc tập trung vào tối đa hóa năng suất mà bỏ qua chất lượng dinh dưỡng trong các chương trình chọn giống hiện đại.

4.4. Tình trạng thiếu hụt vi chất toàn cầu

Các số liệu thống kê toàn cầu cho thấy quy mô của vấn đề:

- Suy dinh dưỡng khoáng chất ảnh hưởng đến hai phần ba dân số thế giới [5].
- Hơn 60% thiếu Fe, 30% thiếu Zn, gần 30% thiếu I và 15% thiếu Se [5].
- Khoảng 2 tỷ người, chủ yếu ở các nước nghèo hơn, bị suy dinh dưỡng vi chất [18].
- Khoảng cách năng suất của cây trồng là 15-95% so với năng suất tiềm năng [5].
- Năng suất ngũ cốc cần tăng khoảng 25% từ 3,23 t ha⁻¹ lên 4,34 t ha⁻¹ vào năm 2050 [5].

4.5. Tác động của đất chua và đất mặn

- Đất chua xảy ra trên khoảng 40% đất nông nghiệp [5].
- Đất kiềm hoặc mặn chiếm 5-15% đất nông nghiệp tiềm năng [5].

5. PHÂN TÍCH SO SÁNH CÁC PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN

Bảng 1: Tổng hợp so sánh các phương pháp chính để cải thiện chuỗi liên kết dinh dưỡng cây trồng-sức khỏe con người

Phương pháp	Cơ chế chính	Ưu điểm	Hạn chế	Hiệu quả
Biofortification nông học	Bón phân vi chất qua đất hoặc lá	Triển khai nhanh, chi phí thấp, không cần thay đổi giống	Cần bón lại hàng năm, phụ thuộc vào điều kiện đất	Tăng Se 25 lần, Zn 190 lần [16]; tăng năng suất lúa 16% [7]
Chọn giống truyền thống	Chọn lọc các dòng có hàm lượng vi chất cao	Bền vững, không cần đầu vào hàng năm, được chấp nhận rộng rãi	Mất nhiều thời gian (10-15 năm), giới hạn bởi biên dị di truyền tự nhiên	OSP tăng vitamin A 71-84% [3]
Kỹ thuật di truyền / chỉnh sửa gen	CRISPR/Cas9, chuyển gen để tăng hấp	Cải thiện nhanh, có thể đạt mức	Vấn đề chấp nhận của công chúng, quy định	Lúa chỉnh sửa gen: Fe 13,48

	thu/tích lũy vi chất	tăng cao, đa đặc tính	nghiêm ngặt, chi phí cao	$\mu\text{g/g}$, Zn 22,9 $\mu\text{g/g}$ [26]
Quản lý đất tổng hợp	Cải tạo đất, phân hữu cơ, cân bằng pH	Cải thiện sức khỏe đất dài hạn, tăng sinh khả dụng nhiều chất dinh dưỡng	Cần kiến thức kỹ thuật, đầu tư ban đầu cao	Chất lượng dinh dưỡng tăng 11,9% [30]
Công nghệ Nano	Nano-phân bón tăng hiệu quả hấp thu	Hiệu quả cao, giảm lượng phân cần thiết, giảm tác động môi trường	Công nghệ mới, cần nghiên cứu thêm về an toàn	Nano ZnO tăng năng suất 4%, Fe 46% [7]

6. THẢO LUẬN

6.1. Thách thức hiện tại

6.1.1. Suy thoái đất và cạn kiệt chất dinh dưỡng

Suy thoái và cạn kiệt đất ảnh hưởng đến 40% hệ sinh thái nông nghiệp toàn cầu, là một trong những yếu tố có tác động bất lợi đến chất lượng dinh dưỡng của thực phẩm [1]. Một phần ba đất trồng lúa trên toàn cầu thiếu kẽm [4] và tài nguyên dinh dưỡng đất, đặc biệt là vi chất, đang bị cạn kiệt [12]. Độ chua của đất xảy ra trên khoảng 40% đất nông nghiệp, trong khi đất kiềm hoặc mặn chiếm 5-15% đất nông nghiệp tiềm năng [5].

6.1.2. Mâu thuẫn giữa năng suất và chất lượng dinh dưỡng

Các mô hình nông nghiệp thông thường chủ yếu được thúc đẩy bởi tối đa hóa năng suất thường làm giảm mật độ dinh dưỡng của cây trồng, do đó duy trì tình trạng thiếu hụt vi chất và làm trầm trọng thêm các bệnh mãn tính như tiểu đường và tăng huyết áp ở các nhóm dân số có thu nhập thấp [29]. Nông nghiệp thâm canh đã làm giảm chất lượng dinh dưỡng và tính bền vững [8]. Yêu cầu chất dinh dưỡng khoáng chất để đạt năng suất tối đa có thể không phải lúc nào cũng phù hợp với yêu cầu để đạt chất lượng tốt nhất [13].

6.1.3. Ô nhiễm kim loại nặng

Ô nhiễm và nhiễm bẩn đất, đặc biệt là với một số kim loại nặng (chì, thủy ngân và asen), là một vấn đề quan trọng vì thực phẩm có thể chứa mức độ của một số kim loại nặng và/hoặc dư lượng thuốc trừ sâu [1]. Trong các vùng giàu selen tự nhiên, sự hiện diện đồng thời của nồng độ cadimi cao và khả năng sinh khả dụng Se thấp trong đất trồng lúa hạn chế việc sản xuất gạo giàu Se [25].

6.1.4. Mất mát chất dinh dưỡng trong chế biến

Khoảng 40% kẽm bị mất trong quá trình chế biến từ gạo lứt sang gạo trắng [4]. Điều này làm giảm đáng kể giá trị dinh dưỡng của sản phẩm cuối cùng mà người tiêu dùng nhận được, ngay cả khi hạt gạo ban đầu có hàm lượng kẽm cao.

6.1.5. Các yếu tố gây nhiễu phức tạp

Mối quan hệ giữa đất và sức khỏe thường khó tách biệt do nhiều yếu tố gây nhiễu [15]. Nghiên cứu đa ngành, bao gồm khoa học đất, nông học, tính bền vững nông nghiệp,

độc chất học, dịch tễ học và khoa học y tế, là cần thiết để hiểu được những tác động phức tạp này [15].

6.2. Cơ hội và tiềm năng

6.2.1. Tiến bộ trong công nghệ sinh học

Các công nghệ "omics" (phân tích toàn bộ hệ gen, RNA, protein, chất chuyển hóa hoặc vi sinh vật của sinh vật) đang mở ra cơ hội để hiểu sâu hơn về động lực và tương tác của vi sinh vật trong hệ thống nông-thực phẩm [20]. Các giải pháp dựa trên vi sinh vật có thể tăng cường khả năng phục hồi và năng suất cây trồng, cải thiện sức khỏe và hiệu suất động vật, tinh chỉnh các phương pháp đánh bắt cá và nuôi trồng thủy sản, và kéo dài thời hạn sử dụng [20].

Công nghệ chỉnh sửa gen CRISPR/Cas9 cho phép tạo ra các dòng cây trồng có nhiều đặc tính cải thiện đồng thời, như hàm lượng Fe/Zn cao và Cd thấp trong lúa gạo [26]. Điều này mở ra khả năng giải quyết nhiều vấn đề dinh dưỡng và an toàn thực phẩm cùng một lúc.

6.2.2. Công nghệ nano trong nông nghiệp

Công nghệ nano, đặc biệt là nano-phân bón, được nhấn mạnh để tăng cường hiệu quả hấp thu chất dinh dưỡng và giảm tổn thất môi trường [7]. Các hạt nano oxit kẽm đã cho thấy khả năng tăng năng suất 4%, sắt 46% và hàm lượng diệp lục 10% trong đậu mắt đen [7]. Nano-composite (phức chất nano) selen-kẽm bón qua lá tạo ra hiệu ứng hiệp đồng trong việc tích lũy Se/Zn [28].

6.2.3. Nông nghiệp hữu cơ và sức khỏe

Các phương pháp canh tác hữu cơ cải thiện chất lượng dinh dưỡng, giảm tiếp xúc với thuốc trừ sâu ở người và ảnh hưởng đến lượng thức ăn hấp thu, tăng trưởng, cân bằng hormon và khả năng đáp ứng của hệ miễn dịch trong các mô hình động vật [8]. Các nghiên cứu dịch tễ học trên người đã báo cáo mối liên quan tích cực đáng kể giữa tiêu thụ thực phẩm hữu cơ và tỷ lệ mắc bệnh thấp hơn bao gồm béo phì, hội chứng chuyển hóa, ung thư và các bệnh nhiễm trùng [8].

7. GIẢI PHÁP TƯƠNG LAI

7.1. Giải pháp nông học

7.1.1. Quản lý phân bón tổng hợp

Các chiến lược nông học bao gồm cải thiện hiệu quả sử dụng phân bón, trong đó có phân hữu cơ và áp dụng quản lý dinh dưỡng tích hợp [5]. Kali, magiê và vi chất dinh dưỡng đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy chất lượng dinh dưỡng của cây trồng, trong khi việc kết hợp bón giữa nguồn vô cơ và hữu cơ có tác động lớn nhất đến chất lượng [30].

Việc bổ sung vi chất dinh dưỡng nông học được đề xuất, đặc biệt trong các trường hợp vi chất cụ thể bị hạn chế, được hướng dẫn bởi các đánh giá tỷ lệ chất dinh dưỡng có hệ thống [7]. Các điều kiện khí hậu và tính chất đất mong muốn (đất thịt pha cát, chất hữu cơ đất 2,5-5,0% và pH 4,5-8,5) hỗ trợ cải thiện thêm [30].

7.1.2. Biofortification nông học (tăng hàm lượng vi chất dinh dưỡng cho cây trồng)

Biofortification nông học cung cấp lợi thế lớn để giảm thiểu nạn đói ẩn ở các nước đang phát triển [14]. Bón selen qua lá tăng sự tích lũy, dạng tồn tại và khả năng sinh khả dụng của selen, cũng như năng suất và chất lượng dinh dưỡng của ngô ngọt [10]. Tuy nhiên, trước khi bắt đầu các chương trình biofortification quy mô lớn, các thử nghiệm quy mô nhỏ sơ bộ nên được tiến hành sử dụng loài thực vật cụ thể dự định làm giàu [17]. Điều này rất quan trọng để xác định phương pháp phù hợp nhất để sử dụng selen, đảm bảo rằng thực vật được làm giàu hiệu quả mà không ảnh hưởng tiêu cực đến hàm lượng các hợp chất thực vật có giá trị dinh dưỡng khác trong sản phẩm ăn được [17].

7.1.3. Quản lý đất bền vững

Để cải thiện chuỗi liên kết dinh dưỡng cây trồng-chất lượng-sức khỏe con người, cần áp dụng các lựa chọn dựa trên khoa học đã được chứng minh và sáng tạo cho các vùng đất/sinh thái cụ thể và hệ thống canh tác/nông nghiệp để giảm thiểu các hạn chế liên quan đến đất [1]. Các thí nghiệm thực địa dài hạn, có yếu tố để hiểu các tác động tương đối của các yếu tố thúc đẩy nông học và khí hậu-đất đai đối với chất lượng và an toàn cây trồng là cần thiết [8].

7.2. Giải pháp công nghệ sinh học

7.2.1. Chọn giống và chỉnh sửa gen

Các nỗ lực chọn giống tập trung vào phát triển các giống cây trồng có khả năng thu nhận và sử dụng khoáng chất lớn hơn và những giống tích lũy nồng độ cao hơn các khoáng chất thiết yếu trong các mô ăn được [5]. Các bước tiếp theo trong biofortification cây trồng bao gồm điều chỉnh các nền tảng kiểu hình thông lượng cao để đo lường các đặc tính chất lượng dinh dưỡng, thử nghiệm các chiến lược lựa chọn dựa trên marker DNA và toàn bộ gen và đặc trưng hóa thêm các tương tác kiểu gen-môi trường và tác động sau thu hoạch đến dinh dưỡng cuối cùng [19].

Công nghệ chỉnh sửa gen đa mục tiêu trong lúa gạo cung cấp chiến lược hiệu quả và chính xác để cải thiện nhiều đặc tính [26]. Các dòng được phát triển có thể được sử dụng trong các chương trình chọn giống cho các giải pháp bền vững cho tình trạng suy dinh dưỡng trên toàn thế giới [26]. Chỉnh sửa gen cũng có thể tăng cường khả năng chịu đựng của cây trồng đối với các điều kiện đất bất lợi [5].

7.2.2. Công nghệ nano

Các tiên bộ công nghệ, đặc biệt là công nghệ nano, được nhấn mạnh để tăng cường hiệu quả hấp thu chất dinh dưỡng và giảm tổn thất môi trường [7]. Nano-composite (phức chất nano) selen-kẽm phun qua lá tạo ra hiệu ứng hiệp đồng trong việc tích lũy Se/Zn, cung cấp một phương pháp hiệu quả để biofortification đồng thời nhiều vi chất [28].

7.2.3. Giải pháp dựa trên vi sinh vật

Tận dụng kiến thức ngày càng tăng từ các công nghệ "omics" để phát triển các giải pháp dựa trên vi sinh vật cho hệ thống thực phẩm bền vững [20]. Các giải pháp này nhằm tăng cường khả năng phục hồi và năng suất cây trồng, cải thiện sức khỏe và hiệu suất động vật, tinh chỉnh quản lý đánh bắt cá và nuôi trồng thủy sản và kéo dài thời hạn sử dụng, do đó giảm lãng phí thực phẩm [20].

7.3. Giải pháp chính sách

7.3.1. Chính sách khuyến khích nông dân

Cải thiện giáo dục và thực hiện các chính sách thường cho nông dân áp dụng các đổi mới hiện đại là một trong những lựa chọn để cải thiện chất lượng chế độ ăn [1]. Các can thiệp chính sách như trợ cấp cho nông dân ở các khu vực có thách thức về kinh tế xã hội cũng được đề xuất [7].

7.3.2. Kiểm soát chất lượng và an toàn

Các khuyến nghị chính sách bao gồm thực thi các yêu cầu chất lượng nghiêm ngặt đối với phân bón vô cơ và hữu cơ để ngăn chặn các nguyên tố độc hại xâm nhập vào chuỗi thực phẩm [5]. Các quốc gia cần các chiến lược để bảo vệ an ninh lương thực và dinh dưỡng, đặc biệt cho người nghèo, bằng cách đa dạng hóa sản xuất và thị trường [16].

7.3.3. Chính sách hướng đến dinh dưỡng

Có nhu cầu cấp thiết để định hướng lại các ưu tiên nông nghiệp hướng tới các phương pháp nhạy cảm với dinh dưỡng tích hợp các mục tiêu sức khỏe cộng đồng [29]. Việc thu hẹp khoảng cách giữa khoa học cây trồng và chính sách y tế có thể hỗ trợ phát triển các hệ thống thực phẩm không chỉ cung cấp dinh dưỡng về calo mà còn thúc đẩy sức khỏe lâu dài, đặc biệt ở các cộng đồng dễ bị tổn thương [29].

7.3.4. Nghiên cứu đa ngành

Nghiên cứu đa ngành được đề xuất, bao gồm khoa học đất, nông học, tính bền vững nông nghiệp, độc chất học, dịch tễ học và khoa học y tế [15]. Phương pháp hợp tác này nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho việc khám phá kháng sinh mới, tăng cường hiểu biết về cách các vật liệu được thêm vào đất để sản xuất thực phẩm ảnh hưởng đến sức khỏe và giải mã các mối quan hệ phức tạp giữa đất và sức khỏe con người [15].

Nghiên cứu và hoạch định chính sách trong tương lai phải chấp nhận khung đa ngành này để đạt được an ninh dinh dưỡng công bằng [29]. Cần có sự hợp tác giữa các bên liên quan và cơ quan quản lý để đảm bảo an toàn, hiệu quả và áp dụng rộng rãi các đổi mới này, cuối cùng cải thiện sức khỏe toàn cầu cho động vật, con người và môi trường [20].

7.3.5. Tiêu chuẩn chuỗi giá trị

Để hiểu đầy đủ tiềm năng của biofortification như một can thiệp bền vững, các nỗ lực trong tương lai nên tập trung vào việc tạo ra nhiều dữ liệu hơn trên tất cả các Con Đường Tác Động, đặc biệt cho các nhóm dân số đô thị và nông thôn không phải nông dân và ở các khu vực địa lý đa dạng [3]. Điều này bao gồm đo lường các thay đổi trạng thái vi chất dinh dưỡng trong tất cả các con đường và mở rộng nghiên cứu sang nhiều loại cây trồng hơn như kê ngọc trai, lúa mì, sắn và đậu [3]. Ngoài ra, việc tạo ra các tiêu chuẩn chuỗi giá trị và tăng cường đường ống cho các giống thích ứng với khí hậu, giàu dinh dưỡng thông qua chọn giống và các phương pháp nông nghiệp là rất quan trọng cho khả năng thương mại và tác động rộng hơn [3].

8. KẾT LUẬN

Mối liên hệ giữa dinh dưỡng cây trồng, chất lượng và an toàn nông sản và sức khỏe dinh dưỡng con người là một chuỗi liên kết phức tạp nhưng quan trọng, được thể hiện qua khái niệm "One Health". Bằng chứng khoa học từ 30 nghiên cứu hàng đầu cho thấy rằng việc cải thiện dinh dưỡng đất và cây trồng có thể mang lại lợi ích đáng kể cho sức khỏe con người.

Các cơ chế tác động đã được làm rõ ở nhiều cấp độ: từ vai trò của vi chất dinh dưỡng như đồng yếu tố enzym trong quá trình trao đổi chất thực vật, đến ảnh hưởng của chúng đối với khả năng chống chịu stress và năng suất cây trồng và cuối cùng là tác động đến tình trạng dinh dưỡng và sức khỏe con người. Dữ liệu cụ thể cho thấy việc bón phân hợp lý có thể cải thiện năng suất cây trồng 30,9% và chất lượng dinh dưỡng 11,9%, trong khi biofortification đã chứng minh khả năng tăng hàm lượng vi chất lên đến 25-190 lần và cải thiện đáng kể tình trạng dinh dưỡng ở các cộng đồng can thiệp.

Tuy nhiên, những thách thức đáng kể vẫn tồn tại, bao gồm suy thoái đất ảnh hưởng đến 40% hệ sinh thái nông nghiệp, mâu thuẫn giữa tối đa hóa năng suất và chất lượng dinh dưỡng, ô nhiễm kim loại nặng và mất mát chất dinh dưỡng trong chế biến. Giải quyết những thách thức này đòi hỏi một phương pháp tiếp cận tích hợp kết hợp các giải pháp nông học, công nghệ sinh học và chính sách.

Các giải pháp tương lai hứa hẹn bao gồm: (1) quản lý phân bón tích hợp và biofortification nông học để cải thiện nhanh chóng; (2) chọn giống truyền thống và chỉnh sửa gen để tạo ra các giống cây trồng có hàm lượng vi chất cao và an toàn hơn; (3) công nghệ nano để tăng hiệu quả hấp thu chất dinh dưỡng; (4) giải pháp dựa trên vi sinh vật để cải thiện sức khỏe đất và cây trồng; và (5) các chính sách khuyến khích nông dân, kiểm soát chất lượng nghiêm ngặt và định hướng lại ưu tiên nông nghiệp hướng đến dinh dưỡng.

Để đạt được an ninh dinh dưỡng toàn cầu và cải thiện sức khỏe con người, cần có sự hợp tác đa ngành giữa các nhà khoa học đất, nông học, chọn giống, dinh dưỡng, y tế và hoạch định chính sách. Chỉ thông qua phương pháp tiếp cận tích hợp này, chúng ta mới có thể xây dựng các hệ thống thực phẩm bền vững cung cấp không chỉ đủ calo mà còn giàu dinh dưỡng và an toàn, đảm bảo sức khỏe lâu dài cho tất cả mọi người, đặc biệt là các cộng đồng dễ bị tổn thương nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lal, R. (2024). Enhancing Nutritional Quality of Food by Improved Soil and Crop Management. *Medical Research Archives*, 12(11). <https://doi.org/10.18103/mra.v12i11.5849>.
- [2] Patra, A., et al. (2021). Iron in the soil–plant–human continuum. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90943-3.00009-2>.
- [3] Huey, S. L., et al. (2022). Review of the Impact Pathways of Biofortified Foods and Food Products. *Nutrients*, 14(6), 1200. <https://doi.org/10.3390/nu14061200>.
- [4] Huang, X., et al. (2026). From paddy soil to dining table: biological biofortification of rice with zinc. *TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische und Angewandte Genetik*. <https://doi.org/10.1007/s00122-026-05168-y>.
- [5] White, P. J., & Broadley, M. R. (2012). Managing the Nutrition of Plants and People. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012, 104826. <https://doi.org/10.1155/2012/104826>.
- [6] Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. (2016). Fortification of micronutrients for efficient agronomic production: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36, 7. <https://doi.org/10.1007/S13593-015-0346-6>.
- [7] Rempelos, L., et al. Integrated Soil and Crop Management in Organic Agriculture: A Logical Framework to Ensure Food Quality and Human Health? *Agronomy*, 11(12), 2494. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122494>.
- [8] Asamoah, B. K., et al. (2025). Foliar application of selenium increased selenium accumulation, speciation, and bioaccessibility, as well as the yield and nutritional quality of sweet maize. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1733890. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1733890>.
- [9] Shukla, A. K., et al. Zinc and iron in soil, plant, animal and human health.
- [10] Nicoletti, R. (2023). Mineral nutrition and crop quality. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819773-8.00020-4>.
- [11] Zaman, Q., et al. (2018). Zinc biofortification in rice: leveraging agriculture to moderate hidden hunger in developing countries. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(2). <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1338343>.
- [12] Oliver, M. A., & Gregory, P. J. (2015). Soil, food security and human health: a review. *European Journal of Soil Science*, 66(2), 257-276. <https://doi.org/10.1111/EJSS.12216>.
- [13] El-Ramady, H., et al. (2021). Soils, Biofortification, and Human Health Under COVID-19: Challenges and Opportunities. *Frontiers in Soil Science*, 1, 732971. <https://doi.org/10.3389/FSOIL.2021.732971>.
- [14] Schiavon, M., et al. (2022). Foliar selenium fertilization alters the content of dietary phytochemicals in two rocket species. *Frontiers in Plant Science*, 13, 987935. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.987935>.

- [15] Bouis, H. E., & Welch, R. M. (2011). Biofortification: Leveraging agriculture to reduce hidden hunger. *Research Papers in Economics*.
- [16] Diepenbrock, C. H., & Gore, M. A. (2015). Closing the Divide between Human Nutrition and Plant Breeding. *Crop Science*, 55(4). <https://doi.org/10.2135/CROPSCI2014.08.0555>.
- [17] Fernández-Gómez, M. J., et al. (2025). Harnessing agri-food system microbiomes for sustainability and human health. *Frontiers in Science*, 3, 1575468. <https://doi.org/10.3389/fsci.2025.1575468>.
- [18] Fan, M. S., et al. (2008). Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 22(4). <https://doi.org/10.1016/J.JTEMB.2008.07.002>.
- [19] Hu, Y., et al. (2026). Various amendments differ in decreasing cadmium and raising selenium accumulation in rice in high geological background soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 290, 119567. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.119567>.
- [20] Fathy, M., et al. (2026). Triumphant over hidden hunger: Redesigning rice (*Oryza sativa* L.) for enhanced nutraceutical grain composition utilizing multiplexed genome editing. *Journal of Plant Physiology*, 306, 154667. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2025.154667>.
- [21] Tietel, Z., et al. (2022). Sulfate Fertilization Preserves Tomato Fruit Nutritional Quality. *Agronomy*, 12(5), 1117. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051117>.
- [22] Tao, Q., et al. (2025). Foliar-Applied Selenium-Zinc Nanocomposite Drives Synergistic Effects on Se/Zn Accumulation in. *Nanomaterials*, 16(1), 56. <https://doi.org/10.3390/nano16010056>.
- [23] Kutelu, B. (2025). Bridging Agronomy and Public Health: The Role of Crop Quality in Nutritional Security. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 44(7), 74578. <https://doi.org/10.9734/cjast/2025/v44i74578>.
- [24] Ishfaq, M., et al. (2023). Improvement of nutritional quality of food crops with fertilizer: a global meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 43, 74. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00923-7>.