

# Than sinh học: Một công cụ đầy triển vọng cho sức khỏe đất và hiệu quả sử dụng chất dinh dưỡng trong nông nghiệp bền vững

Xiaoping Xin, Gustavo A. Roa, Jaya Nepal, Eduardo Gutierrez, Haseeba Maryam, and Tommy Ferguson  
*Cao Thị Hải Yến biên dịch*



*Than sinh học đã nổi lên như một chất cải tạo đất đầy triển vọng, giúp cải thiện sức khỏe đất và nâng cao hiệu quả sử dụng dinh dưỡng. Nguồn: Adobe Stock/Phoebe.*

Nông nghiệp hiện đại đang đối mặt với một thách thức ngày càng lớn: Gia tăng sản lượng lương thực trong khi vẫn bảo vệ tài nguyên đất và nước để duy trì sản xuất nông nghiệp. Khi dân số toàn cầu tiếp tục gia tăng, sản lượng lương thực được dự báo cần tăng gần 50% vào năm 2050. Tuy nhiên, mục tiêu này không thể đạt được bằng cách đánh đổi các nguồn tài nguyên thiên nhiên mà nền nông nghiệp phụ thuộc vào (FAO, 2026).

Để bảo tồn nguồn tài nguyên quan trọng nhất của nông nghiệp là đất, chúng ta phải ngăn chặn tình trạng xói mòn và suy thoái đất – vốn đang trở thành một vấn đề nghiêm trọng trên phạm vi toàn cầu. Hiện nay, gần một phần ba diện tích đất trên thế giới đã bị suy thoái từ mức trung bình đến nghiêm trọng do xói mòn, suy giảm dinh dưỡng và các biện pháp quản lý chưa phù hợp, đe dọa năng suất nông nghiệp lâu dài.

Bên cạnh sự suy giảm tài nguyên đất, quản lý dinh dưỡng cũng làm gia tăng mức độ phức tạp của thách thức này. Mặc dù phân bón rất cần thiết cho sản xuất cây trồng nhưng lượng phân bón được bổ sung thường không đáp ứng đủ với khả năng hấp thu của cây. Chẳng hạn, nhiều loại cây trồng chỉ hấp thu khoảng 30–50% lượng đạm (N) được bón vào và lượng N còn lại bị thất thoát thông qua các quá trình vi sinh vật, bay hơi, rửa trôi và dòng chảy bề mặt. Tương tự, lân (P) và kali (K) cũng gặp những hạn chế tương tự, thường trở nên không có sẵn trong đất.

Trong bối cảnh đó, thất thoát phân bón những hậu quả nghiêm trọng: Các chất dinh dưỡng thoát ra khỏi đồng ruộng có thể gây ô nhiễm nguồn nước, thúc đẩy sự phát triển của tảo có hại và làm suy giảm hệ sinh thái thủy sinh; đồng thời, sự thất thoát N vào khí quyển còn góp phần phát thải khí nitơ oxit ( $N_2O$ ) – một loại khí nhà kính có tiềm năng gây nóng lên toàn cầu rất mạnh. Mặt khác, nông dân vẫn phải chi trả cho lượng vật tư đầu vào chưa được cây trồng sử dụng hiệu quả, làm giảm hiệu quả kinh tế và lợi nhuận sản xuất.

Những thách thức có mối liên hệ chặt chẽ này cho thấy nhu cầu cấp thiết về các chiến lược quản lý đất và dinh dưỡng theo hướng bền vững và hiệu quả hơn. Các giải pháp như nông nghiệp bảo tồn, cải thiện quản lý đất, tưới tiêu hiệu quả và tái chế dinh dưỡng có thể góp phần giải quyết những vấn đề trên. Trong số đó, ngày càng có nhiều sự quan tâm dành cho các biện pháp giúp tái tạo chất hữu cơ trong đất và tăng khả năng lưu giữ dinh dưỡng. Than sinh học đã nổi lên như một chất cải tạo đất đầy triển vọng, có khả năng cải thiện sức khỏe đất và nâng cao hiệu quả sử dụng dinh dưỡng, đồng thời góp phần giảm phát thải khí nhà kính và cải thiện chất lượng đất cũng như môi trường. Trong bài viết này, chúng ta sẽ tập trung vào các khía cạnh về dinh dưỡng và sức khỏe của đất, nơi than sinh học có thể đóng góp thông qua các cơ chế như cải thiện cấu trúc đất, tăng khả năng giữ nước, hạn chế thất thoát dinh dưỡng và hướng tới xây dựng các hệ thống nông nghiệp bền vững và có khả năng chống chịu cao hơn.

## Than sinh học là gì?

### Định nghĩa về than sinh học

Than sinh học là một vật liệu giàu carbon và có độ ổn định cao, được tạo ra từ quá trình đốt sinh khối hữu cơ trong điều kiện thiếu hoặc không có oxy, được gọi là quá trình “nhiệt phân” (pyrolysis). Trong quá trình nhiệt phân, các vật liệu hữu cơ bị phân hủy dưới tác động của nhiệt, tạo thành một chất dạng than có cấu trúc xốp. Khác với than củi được sử dụng làm nhiên liệu, than sinh học chủ yếu được bổ sung vào đất như một chất cải tạo nhằm nâng cao sức khỏe đất và tính bền vững môi trường.

### Nguồn nguyên liệu

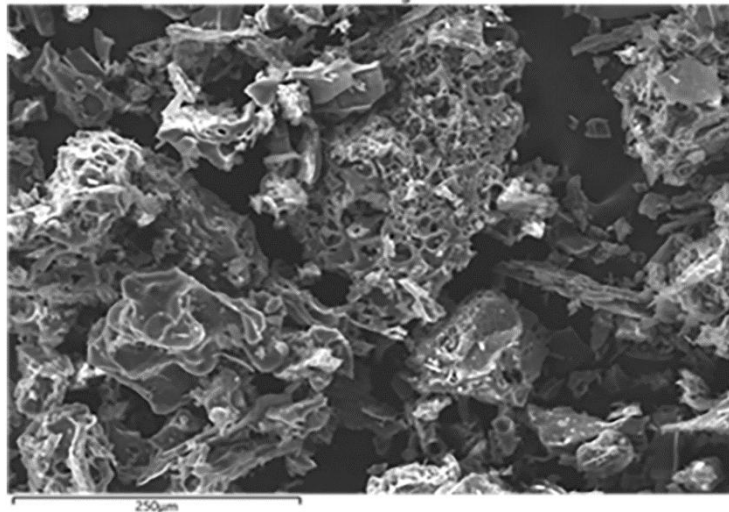
Các nguồn nguyên liệu phổ biến để sản xuất than sinh học bao gồm phụ phẩm cây trồng như trấu (Hình 1), rơm lúa mì, thân cây ngô, bã mía,... vốn sẵn có sau quá trình thu hoạch và chế biến nông sản. Các vật liệu từ gỗ như mùn cưa, dăm gỗ và phế phụ phẩm lâm nghiệp cũng được sử dụng rộng rãi nhờ hàm lượng cacbon cao. Bên cạnh đó, phân chuồng từ gia cầm, bò và heo có thể được chuyển hóa thành than sinh học giàu dinh dưỡng. Ngoài ra, nhiều phụ phẩm nông nghiệp khác như vỏ hạt, vỏ trái cây và phế phẩm từ chế biến thực phẩm (ví dụ: bã táo hoặc bã nho) cũng là nguồn nguyên liệu phù hợp. Việc tận dụng các loại chất thải này để sản xuất than sinh học không chỉ góp phần chuyển hóa sinh khối thành vật liệu cải tạo đất có giá trị, mà còn giúp giảm thiểu lượng chất thải nông nghiệp và ô nhiễm môi trường, qua đó thúc đẩy phát triển nền kinh tế tuần hoàn.



**Hình 1.** Vỏ trấu (trái) và phế phẩm gỗ rừng (phải) được chuyển hóa thành than sinh học bằng thiết bị khí hóa quy mô nhỏ tại một trang trại ở Colombia. Nguồn: Gustavo Roa và Jaya Nepal.

### **Các đặc tính quan trọng của than sinh học**

Than sinh học là một vật liệu giàu cacbon có nguồn gốc từ phụ phẩm thực vật, có tiềm năng cải thiện chất lượng đất và góp phần hướng tới nền nông nghiệp bền vững. Nhờ cấu trúc xốp cùng diện tích bề mặt lớn (Hình 2), than sinh học giúp tăng khả năng giữ nước và hấp phụ dinh dưỡng của đất, qua đó hạn chế thất thoát và nâng cao hiệu quả sinh trưởng của cây trồng. Đồng thời, than sinh học còn ra không gian an toàn, bảo vệ cho các vi sinh vật có ích trong đất, đóng vai trò quan trọng trong quá trình tuần hoàn dinh dưỡng và sức khỏe của đất.



**Hình 2.** Ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) của than sinh học cho thấy cấu trúc xốp cao và hình thái bề mặt không đều. Sự hiện diện của các lỗ rỗng liên kết và các hốc bề mặt làm nổi bật diện tích bề mặt lớn của than sinh học, góp phần vào khả năng giữ nước và hấp phụ chất dinh dưỡng của nó. Nguồn: Gutierrez & Hettiarachchi, 2026.

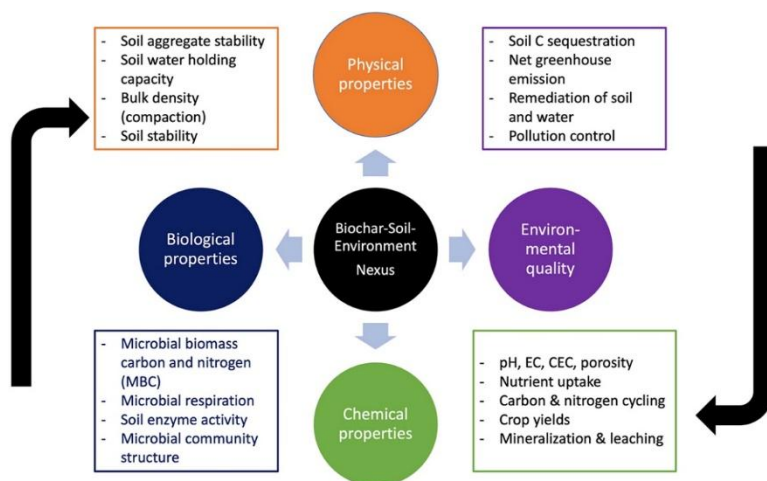
Điều làm cho than sinh học trở nên đặc biệt nổi bật chính là tính ổn định cao của nó. Than sinh học có thể tồn lưu trong đất trong nhiều thập kỷ, thậm chí hàng thế kỷ, qua đó cố định lượng carbon mà lẽ ra sẽ quay trở lại khí quyển. Nhờ những đặc tính đó, than sinh học được xem là một giải pháp đầy tiềm năng trong việc cải thiện sức khỏe đất, cải thiện năng suất cây trồng và góp phần giảm thiểu biến đổi khí hậu (Bảng 1).

**Bảng 1.** Các đặc tính chính của than sinh học và vai trò của nó trong mối tương quan giữa đất và môi trường.

Đặc tính	Mô tả	Khoảng điển hình	Chức năng của đất	Lợi ích môi trường
<b>Hàm lượng cacbon</b>	Chất hữu cơ trong đất giàu cacbon và có tính ổn định cao	50–90% C tùy theo nguyên liệu và nhiệt độ	Nguồn dự trữ chất hữu cơ lâu dài; điều hòa tỷ lệ C:N	Tích lũy cacbon lâu dài; giảm phát thải khí nhà kính
<b>Độ xốp</b>	Cấu trúc xốp cao	30–80% tổng thể tích lỗ rỗng	Tăng khả năng giữ nước và dinh dưỡng; cải thiện độ thoáng khí	Giảm rửa trôi; tạo môi trường sống cho vi sinh vật
<b>Diện tích bề mặt</b>	Diện tích bề mặt riêng rất cao	100-300 m <sup>2</sup> /g	Hấp phụ dinh dưỡng/chất ô nhiễm; hỗ trợ vi sinh vật	Cố định chất ô nhiễm
<b>Tính ổn định</b>	Cacbon kháng phân hủy sinh hóa	Tồn lưu trong nhiều thập kỷ/thế kỷ	Duy trì cấu trúc đất; chất cải tạo đất có tác dụng lâu dài	Lưu trữ cacbon lâu dài
<b>Môi trường sống của vi sinh vật</b>	Tạo ra các vi môi trường bảo vệ cho vi sinh vật	Chưa được hiểu đầy đủ	Thúc đẩy hoạt động của vi sinh vật có lợi	Hỗ trợ đa dạng sinh học và chu trình dinh dưỡng

## Ảnh hưởng của than sinh học đến các chỉ tiêu sức khỏe đất

Than sinh học ngày càng thu hút được nhiều sự quan tâm như một chất cải tạo bền vững cho hệ thống nông nghiệp nhờ tiềm năng cải thiện sức khỏe đất. Than sinh học có thể làm thay đổi các đặc tính lý hóa quan trọng của đất, qua đó nâng cao chất lượng đất tổng thể và tạo điều kiện thuận lợi cho sự sinh trưởng, phát triển của cây trồng (Hình 3).



**Hình 3.** Vai trò của than sinh học trong các tính chất lý hóa của đất và các ứng dụng môi trường (Nepal và cộng sự, 2023).

## **Cải thiện tính chất vật lý**

Than sinh học đã được ghi nhận rộng rãi nhờ khả năng cải thiện các tính chất vật lý quan trọng của đất. Cấu trúc xốp cùng khối lượng riêng thấp của nó góp phần tăng cường sự kết tụ đất và làm giảm dung trọng đất, từ đó tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của bộ rễ và cải thiện khả năng thông khí của đất. Ngoài ra, than sinh học còn có thể làm gia tăng đáng kể khả năng giữ nước của đất, đặc biệt đối với các loại đất có thành phần cơ giới nhẹ, thông qua việc tăng độ rỗng và khả năng giữ nước ở mức ẩm đồng ruộng.

Tương tự, việc bổ sung than sinh học đã được chứng minh có khả năng làm gia tăng hàm lượng cacbon hữu cơ trong đất (SOC) thông qua việc cung cấp trực tiếp nguồn cacbon bền vững, khó bị phân hủy bởi các quá trình vật lý và sinh hóa. Các nghiên cứu thực địa cho thấy hàm lượng SOC tăng ổn định sau khi bón than sinh học, khoảng 1,43 lần so với đối chứng sau chín năm áp dụng; trong đó cả hình thức bón một lần và bón lặp lại đều cho thấy hiệu quả đáng kể. Điều này cho thấy tiềm năng của than sinh học như một giải pháp hiệu quả nhằm cải thiện sức khỏe đất và tăng cường khả năng cô lập cacbon trong các hệ thống quản lý khác nhau. Nhìn chung, việc bổ sung than sinh học vào đất góp phần hình thành cấu trúc đất ổn định hơn và cải thiện các điều kiện vật lý thuận lợi cho sự sinh trưởng, phát triển của cây trồng.

## **Cải thiện tính chất hóa học**

Các tính chất hóa học của than sinh học phụ thuộc chủ yếu vào nguồn nguyên liệu đầu vào và điều kiện sản xuất. Ví dụ, pH của than sinh học chịu ảnh hưởng lớn bởi phương pháp sản xuất và loại nguyên liệu sử dụng. Than sinh học được sản xuất ở nhiệt độ cao (600–700°C) thường có tính kiềm mạnh hơn, trong khi than sinh học tạo thành ở nhiệt độ thấp hơn (300–400°C) thường có pH thấp hơn.

Nguồn nguyên liệu đầu vào cũng đóng vai trò quan trọng, khi than sinh học sản xuất từ phân chuồng hoặc các vật liệu giàu dinh dưỡng thường có tính kiềm cao hơn so với than sinh học sản xuất từ gỗ hoặc phụ phẩm cây trồng. Do đó, việc lựa chọn loại than sinh học phù hợp cần dựa trên cả điều kiện sản xuất và nhu cầu cụ thể của đất canh tác.

Việc bổ sung than sinh học vào đất có thể làm tăng khả năng trao đổi cation (CEC) và cải thiện khả năng giữ dinh dưỡng của đất. Điều này chủ yếu nhờ vào diện tích bề mặt lớn cùng sự hiện diện của các nhóm chức có khả năng hấp phụ và trao đổi các nguyên tố dinh dưỡng như Ca, Mg, P và K. Nhờ vậy, than sinh học giúp giảm thất thoát dinh dưỡng do rửa trôi và tăng khả năng cung cấp dinh dưỡng cho cây trồng theo thời gian. Những lợi ích này đặc biệt quan trọng đối với các loại đất nghèo dinh dưỡng hoặc đất cát, nơi khả năng giữ dinh dưỡng thường bị hạn chế.

## **Cải thiện tính chất sinh học**

Một trong những vấn đề được quan tâm nhiều liên quan đến việc sử dụng than sinh học là tác động của nó đối với quần thể vi sinh vật đất, đặc biệt trong điều kiện áp dụng lâu dài. Một số nghiên cứu ghi nhận các ảnh hưởng tích cực của than sinh học như gia tăng hoạt

động của vi sinh vật, tăng mật độ vi sinh vật cố định đạm và cải thiện môi trường sống cho các vi sinh vật có lợi. Tuy nhiên, cũng có những nghiên cứu cho thấy phản ứng trung tính hoặc tiêu cực, bao gồm việc không thay đổi hoặc thậm chí làm giảm sinh khối vi sinh vật và mật độ nấm rễ cộng sinh.

Những kết quả trái chiều này cho thấy ảnh hưởng của than sinh học đối với quần thể vi sinh vật đất có tính biến động cao và phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại đất, đặc tính của than sinh học và biện pháp quản lý canh tác. Vì vậy, dựa trên các bằng chứng hiện tại, tác động tổng thể của than sinh học lên hệ vi sinh vật đất vẫn chưa được làm sáng tỏ hoàn toàn và cần được tiếp tục nghiên cứu chuyên sâu và lâu dài hơn nữa.

## **Than sinh học và quản lý dinh dưỡng**

Than sinh học và phân bón nên được xem là các yếu tố hỗ trợ cho nhau hơn là cạnh tranh lẫn nhau. Phân bón vẫn là nguồn cung cấp dinh dưỡng chủ yếu cho cây trồng, trong khi than sinh học có khả năng ảnh hưởng đến quá trình giữ lại, giải phóng và thất thoát dinh dưỡng sau khi được bón vào đất. Vì vậy, giá trị của than sinh học không nằm chủ yếu ở vai trò cung cấp trực tiếp dinh dưỡng mà ở khả năng giúp đất sử dụng nguồn dinh dưỡng được bổ sung một cách hiệu quả hơn.

### **Đạm: Giúp giữ N trong đất canh tác**

Đạm là một trong những nguyên tố dinh dưỡng có chi phí cao và dễ thất thoát nhất trong sản xuất cây trồng. Một phần lớn lượng đạm được bón có thể bị mất thông qua quá trình rửa trôi, bay hơi hoặc phát thải khí trước khi cây trồng sử dụng, và biochar có khả năng tác động đến một số bước trong quá trình này.

- Giảm thiểu sự rửa trôi nitrat: Nhờ cải thiện khả năng giữ nước và làm chậm sự di chuyển của nước trong đất, than sinh học có thể giúp hạn chế hiện tượng rửa trôi nitrate và duy trì lượng đạm nhiều hơn trong vùng rễ cây. Tác động này đặc biệt quan trọng đối với đất cát, điều kiện mưa lớn hoặc tưới nhiều, nơi nitrat dễ di chuyển xuống tầng rễ.
- Giữ ammonium: Than sinh học thường có bề mặt mang điện tích, có thể hấp phụ tạm thời ammonium, làm giảm sự thất thoát nhanh sau khi bón phân. Khả năng giữ ammonium này chủ yếu phụ thuộc vào tính điện và độ pH đất; trong đó than sinh học được sản xuất ở nhiệt độ thấp thường cho thấy khả năng hấp phụ ammonium mạnh hơn trong điều kiện pH gần trung tính.
- Ảnh hưởng đến các quá trình chuyển hóa N: Than sinh học cũng có thể làm thay đổi pH đất, độ thông khí và hoạt động của vi sinh vật đất, từ đó tác động đến các quá trình nitrat hóa và khử nitrat. Trong một số hệ thống canh tác, điều này có liên quan đến việc giảm phát thải khí oxit nitơ ( $N_2O$ ) và làm chậm quá trình chuyển hóa nitơ từ phân bón sang các dạng dễ thất thoát hơn, đặc biệt trong điều kiện đất ẩm hoặc kém thông thoáng.

## **Phốt pho: Giữ P trong đất nhưng không làm giảm tính hữu dụng**

Phốt pho đặt ra một thách thức khác so với đạm. Không giống như N, P ít bị thất thoát hơn nhưng có thể bị cố định trong đất hoặc bị cuốn theo dòng chảy mặt, từ đó làm giảm hiệu quả sử dụng phân bón và ảnh hưởng đến chất lượng nguồn nước. Than sinh học có khả năng tác động đến cả quá trình giữ P và khả năng hấp thụ của P trong đất, tuy nhiên hiệu quả này phụ thuộc mạnh vào đặc tính của than sinh học và loại đất. Phân tích tổng hợp của Glaser & Lehr (2019) cho thấy than sinh học nhìn chung làm tăng hàm lượng P dễ tiêu trong đất nông nghiệp, với hiệu quả rõ rệt hơn ở đất chua, đất trung tính và khi sử dụng than sinh học sản xuất ở nhiệt độ thấp với liều lượng cao.

- Cải thiện khả năng giữ P: Than sinh học có thể hỗ trợ giữ phosphat trên bề mặt đất và bề mặt than sinh học, từ đó góp phần giảm thất thoát P qua dòng chảy mặt hoặc nước rỉ, đặc biệt ở những loại đất có nguy cơ cao xảy ra hiện tượng thất thoát P ra ngoài đồng ruộng.
- Thay đổi khả năng hấp thụ của P: Trong nhiều loại đất chua, than sinh học làm tăng pH đất và có thể làm giảm sự cố định P bởi nhôm (Al) và sắt (Fe), qua đó tăng khả năng cung cấp P cho cây trồng. Một số loại than sinh học sản xuất từ phân chuồng cũng có thể bổ sung trực tiếp P. Tuy nhiên, trong một số trường hợp khác, than sinh học có thể tạm thời làm giảm lượng P dễ tiêu, đặc biệt khi khả năng hấp thụ P cao hoặc khi than sinh học làm tăng pH đất quá mức. Vì vậy, than sinh học không nên được xem là giải pháp thay thế hoàn toàn cho phân lân.

## **Các chất dinh dưỡng khác và khả năng đệm chất dinh dưỡng**

Ngoài N và P, than sinh học còn có thể ảnh hưởng đến khả năng giữ lại các nguyên tố dinh dưỡng khác trong đất như K, Ca và Mg. Điều này đặc biệt hữu ích đối với các loại đất cát hoặc đất có hàm lượng chất hữu cơ thấp, nơi khả năng giữ dinh dưỡng thường bị hạn chế. Trong một số trường hợp, than sinh học còn có thể trực tiếp bổ sung K, Ca và Mg cho đất thông qua phần tro khoáng còn lại sau quá trình nhiệt phân.

Nhìn chung, những tác động này góp phần nâng cao khả năng giữ dinh dưỡng và duy trì độ phì nhiêu của đất, mặc dù mức độ hiệu quả có thể khác nhau đáng kể tùy thuộc vào loại than sinh học và điều kiện đất đai. Than sinh học cũng có thể giúp điều chỉnh lượng chất dinh dưỡng sẵn có trong điều kiện độ ẩm đất biến động, tuy nhiên tác động này không nhất quán và không nên mặc định xảy ra trong mọi hệ thống canh tác. Các bằng chứng tổng quan từ nhiều nghiên cứu cho thấy than sinh học thường phát huy hiệu quả rõ rệt hơn trên các loại đất chua và đất bị suy thoái so với đất kiềm hoặc đất đá vôi. Trong thực tiễn, một số loại than sinh học có thể cung cấp lượng dinh dưỡng đáng kể cho cây trồng, trong khi nhiều loại khác chủ yếu đóng vai trò cải thiện khả năng giữ dinh dưỡng hơn là cung cấp trực tiếp các nguyên tố dinh dưỡng.

## Chiến lược quản lý than sinh học - phân bón

Đây là nội dung liên kết trực tiếp việc sử dụng than sinh học với các quyết định quản lý phân bón trong sản xuất. Bảng 2 tổng hợp các phương thức chủ yếu để tích hợp than sinh học với phân bón và các tình huống mà mỗi chiến lược có khả năng mang lại hiệu quả nhất.

**Bảng 2.** Các cách kết hợp than sinh học với phân bón.

Chiến lược	Nội dung	Lợi ích về dinh dưỡng	Khi nào nên áp dụng
<b>Bón kết hợp với phân NPK khoáng</b>	Bón than sinh học riêng biệt nhưng đồng thời với lượng phân NPK thông thường	Tăng khả năng giữ lại N, P và K, thường giúp nâng cao hiệu quả sử dụng dinh dưỡng và ổn định năng suất	Là bước khởi đầu thực tế để thử nghiệm tại đồng ruộng, đặc biệt trên đất thoái hóa, đất cát hoặc đất chua
<b>Phân bón chứa hoặc được phủ than sinh học</b>	Hạt phân bón được phối trộn với than sinh học hoặc được phủ một lớp than sinh học.	Giải phóng N chậm hơn, giảm rửa trôi, tăng khả năng hấp thu N của cây và trong một số trường hợp làm giảm thất thoát N dạng khí	Phù hợp cho cây trồng có giá trị kinh tế cao, khu vực có lượng mưa lớn hoặc đất cát – nơi thất thoát dinh dưỡng là vấn đề đáng quan tâm.
<b>Than sinh học làm giàu dinh dưỡng</b>	Than sinh học được nạp trước các nguồn dinh dưỡng như phân chuồng, phân compost hoặc dung dịch phân bón trước khi đưa vào đất.	Giảm hiện tượng cố định dinh dưỡng trong ngắn hạn và giúp dinh dưỡng được giải phóng từ từ hơn.	Organic and mixed systems using manures or composts, especially where nutrient stabilization is desired
<b>Thay thế một phần phân bón</b>	Sử dụng than sinh học kết hợp với việc giảm lượng phân bón thông thường.	Trong một số hệ thống canh tác, có thể duy trì năng suất với lượng phân bón đầu vào thấp hơn, mặc dù hiệu quả phản ứng còn biến động tùy điều kiện.	Phù hợp cho các chương trình sức khỏe đất dài hạn hoặc những khu vực có chi phí phân bón cao hay bị hạn chế bởi môi trường; chỉ áp dụng sau khi thử nghiệm tại địa phương

Nhìn chung, than sinh học được xem là một giải pháp bổ trợ trong các chiến lược quản lý phân bón, với tiềm năng lớn trong việc nâng cao khả năng lưu giữ dinh dưỡng trong đất và hiệu quả sử dụng dinh dưỡng của cây trồng, đặc biệt dưới những điều kiện đất đai và quản lý phù hợp. Trong thực tế, cách tiếp cận đáng tin cậy nhất là áp dụng than sinh học

kết hợp với phân bón ở mức liều lượng phù hợp với điều kiện canh tác thực tế, đồng thời theo dõi phản ứng của cây trồng và đất tại địa phương và chỉ xem xét thay thế một phần phân bón khi đã được kiểm chứng bằng các kết quả thực nghiệm đáng tin cậy.

### **Lợi ích và hạn chế của than sinh học trong quản lý dinh dưỡng**

Các bằng chứng mạnh mẽ và nhất quán nhất của than sinh học thường đạt được khi sử dụng kết hợp với phân bón, thay vì chỉ dựa vào than sinh học. Những phản ứng tích cực phổ biến nhất ở các loại đất chua, đất thoái hoá hoặc đất dễ bị rửa trôi, trong khi lợi ích thường nhỏ hơn hoặc ít nhất quán ở những cánh đồng vốn đã màu mỡ và được quản lý tốt. Ngoài ra còn có giới hạn rõ ràng. Bón than sinh học với liều lượng quá cao có thể gây ra hiện tượng cố định dinh dưỡng trong thời gian ngắn, làm tăng pH đất quá mức hoặc làm giảm sinh trưởng ban đầu của cây trồng. Bên cạnh đó, đặc tính của than sinh học có sự khác biệt đáng kể tùy thuộc vào nguồn nguyên liệu đầu vào, điều kiện nhiệt phân và kích thước hạt, do đó kết quả từ một vật liệu hoặc địa điểm này có thể không chuyển trực tiếp sang vật liệu hoặc địa điểm khác. Vì vậy, những quy định rộng rãi như giảm lượng phân bón theo một tỷ lệ cố định khi bổ sung than sinh học thường không bảo đảm tính chính xác và độ tin cậy.

Khía cạnh hiệu quả kinh tế cũng là một yếu tố cần được xem xét. Việc sản xuất, vận chuyển và bón than sinh học làm phát sinh thêm chi phí, trong khi lợi ích từ việc nâng cao hiệu quả quản lý dinh dưỡng có thể chưa đủ để bù đắp khoản đầu tư này. Trong nhiều trường hợp, việc ứng dụng than sinh học được nâng cao khi các lợi ích về tăng hiệu quả sử dụng dinh dưỡng được kết hợp với những giá trị bổ sung khác, như cải thiện chức năng đất, khả năng lưu trữ cacbon, hoặc giảm thất thoát dinh dưỡng.

### **Than sinh học trong hệ thống canh tác**

Than sinh học không phải là giải pháp thần kỳ, nhưng nó có thể là một công cụ hữu ích khi được lựa chọn cẩn thận phù hợp với đất, khí hậu và hệ thống canh tác. Điều quan trọng là phải coi than sinh học như một chất hấp thụ chất dinh dưỡng lâu dài và công cụ quản lý sức khỏe đất, chứ không phải là một chất cải tạo đất hoặc phân bón độc lập.

### **Liều lượng và tần suất sử dụng?**

Hầu hết các nghiên cứu thực địa báo cáo lợi ích nông học nhất quán đều sử dụng liều lượng than sinh học vừa phải, thường dao động từ 5 đến 15 tấn/ha, thay vì liều lượng rất cao đôi khi được sử dụng trong các thí nghiệm nghiên cứu. Với liều lượng thực tế này, than sinh học thường làm giảm khối lượng riêng của đất, tăng độ rỗng và khả năng giữ nước, đồng thời cải thiện khả năng giữ chất dinh dưỡng, đặc biệt là ở đất có hành phần cơ giới nhẹ hoặc bị thoái hóa. Vì cacbon trong than sinh học có tính ổn định cao và có thể tồn tại trong đất trong nhiều thập kỷ hoặc lâu hơn, nên không cần phải bón hàng năm; một lần bón đúng thời điểm có thể dần dần cải thiện các đặc tính của đất qua nhiều chu kỳ luân canh. Trên thực tế, nhiều chương trình và thử nghiệm thực địa đang hướng tới một phương pháp trong đó bón một lần với lượng khoảng 10–15 tấn/ha và sau đó được

đánh giá lại sau vài năm dựa trên kết quả phân tích đất và phản ứng của cây trồng, thay vì theo một lịch trình cố định.

### **Cách sử dụng than sinh học?**



*Hình 4. Biochar được bón theo hàng cây như một chất cải tạo đất trong canh tác ngô trên đất cát tại Fort Pierce, bang Florida, Hoa Kỳ. Nguồn: Jaya Nepal.*

Rải đều than sinh học kết hợp với việc cày xới vẫn là phương pháp phổ biến nhất trong hệ thống canh tác theo hàng vì nó phân bố than sinh học đồng đều khắp vùng rãnh và giảm bụi cũng như thất thoát do gió. Ở những nơi hạn chế cày xới, việc bón than sinh học theo dải hoặc theo hàng cây sẽ tập trung vào nơi rãnh hoạt động mạnh nhất và có thể làm giảm tổng lượng than sinh học cần thiết trên mỗi hecta (Hình 4). Trộn than sinh học với phân chuồng hoặc phân compost trước khi bón có thể đặc biệt hiệu quả. Trong các thử nghiệm quy mô nhỏ với hệ thống luân canh ngô – đậu tương, hỗn hợp phân chuồng và than sinh học đã được chứng minh là làm tăng chất hữu cơ trong đất và N, P, và K đồng thời giảm thất thoát chất dinh dưỡng trong nước rỉ so với chỉ sử dụng phân chuồng. Than sinh học được ủ hoặc làm giàu bằng phân chuồng cũng có xu hướng có hàm lượng dinh dưỡng cao hơn và có thể cải thiện hoạt động enzyme trong đất và các quá trình vi sinh vật tốt hơn so với than sinh học nguyên liệu chưa qua xử lý.

### **Loại đất và loại cây trồng nào phù hợp với than sinh học?**

Than sinh học luôn cho hiệu quả tốt nhất ở những vùng đất nghèo dinh dưỡng – ví dụ như đất cát, đất chua, đất mặn hoặc đất ít chất hữu cơ. Trên đất có thành phần cơ giới nhẹ, CEC thấp, việc bổ sung 5-10 tấn than sinh học trên mỗi hecta vào vùng rãnh có thể cải thiện

đáng kể khả năng giữ nước, giảm sự rửa trôi nitrat và tăng CEC, từ đó giúp các loại cây trồng như ngô và đậu tương sử dụng tốt hơn các chất dinh dưỡng N, P, K, Ca và Mg được bón.

Trên đất chua, bị phong hóa mạnh, than sinh học được sản xuất từ phân chuồng hoặc phụ phẩm cây trồng ở nhiệt độ trung bình đến cao có thể làm tăng độ pH, giảm lượng nhôm hòa tan và cải thiện khả năng hấp thụ P, điều này đã dẫn đến năng suất ngô và lúa mì cao hơn trong các thử nghiệm thực địa dài hạn. Trên đất phù sa hoặc đất sét ôn đới màu mỡ, mức tăng năng suất ít ổn định hơn; ở đây, lý do chính thường là hiệu quả sử dụng chất dinh dưỡng, kiểm soát xói mòn hoặc hấp thụ cacbon hơn là sự gia tăng năng suất đột biến.

### **Than sinh học kết hợp với phân bón như thế nào?**

Than sinh học và phân bón nên được quản lý như những công cụ bổ sung cho nhau. Trong khi than sinh học cung cấp thêm các vị trí lưu trữ chất dinh dưỡng và nước trong đất, thì phân bón khoáng và các chất cải tạo hữu cơ cung cấp chính các chất dinh dưỡng đó. Các nghiên cứu kết hợp than sinh học với phân chuồng hoặc phân khoáng chứa N và P cho thấy than sinh học có thể làm giảm sự rửa trôi nitrat, hấp thụ amoni và điều hòa các quá trình như nitrat hóa và khử nitrat, thường làm giảm lượng khí nitơ oxit thải ra và cải thiện khả năng thu hồi N của cây trồng. Đối với P, một số loại than sinh học (đặc biệt là những loại giàu Ca, Mg hoặc Fe) có thể làm tăng khả năng giữ P nhưng vẫn duy trì khả năng hấp thụ của cây trồng, điều này rất hữu ích trong các lưu vực dễ bị thiếu P. Trên thực tế, điều này có nghĩa là nông dân thường có thể duy trì hoặc giảm nhẹ lượng phân bón trong khi vẫn cải thiện hiệu quả sử dụng chất dinh dưỡng, thay vì kỳ vọng than sinh học sẽ thay thế hoàn toàn phân bón.

Khuyến nghị thực tiễn cho nông dân:

- **Lựa chọn loại than sinh học phù hợp với mục tiêu và loại đất.** Than sinh học được sản xuất từ phân chuồng hoặc phân compost có hàm lượng dinh dưỡng cao thích hợp cho đất nghèo dinh dưỡng hoặc đất chua, trong khi than sinh học giàu cacbon từ gỗ hoặc phụ phẩm cây trồng phù hợp hơn để tăng lượng cacbon trong đất và khả năng giữ nước.
- **Bắt đầu với liều lượng vừa phải.** Đối với hầu hết các trường hợp canh tác, mức bón khoảng 5-10 tấn/ha trên các ô hoặc cánh đồng thử nghiệm là điểm khởi đầu hợp lý, lý tưởng nhất là kết hợp với phân chuồng, phân compost hoặc các chương trình phân bón hiện có thay vì bón riêng lẻ.
- **Sử dụng kết quả phân tích đất để quyết định việc bổ sung lại than sinh học.** Vì than sinh học có tính bền vững, bất kỳ việc bón lại nào cũng nên dựa trên sự thay đổi về độ pH, CEC, hàm lượng chất hữu cơ và phản ứng của cây trồng qua nhiều năm, chứ không phải theo lịch trình hàng năm.
- **Ưu tiên áp dụng trên những cánh đồng mang lại hiệu quả cao nhất.** Lợi ích nông học và môi trường tốt nhất có thể đạt được trên đất cát hoặc đất kém chất

lượng, những cánh đồng thường xuyên xảy ra thất thoát chất dinh dưỡng kéo dài và các hệ thống mà bạn đã đầu tư vào các biện pháp như cây che phủ và giảm cày xới để bảo vệ cấu trúc đất.

## Các cơ hội ứng dụng khác

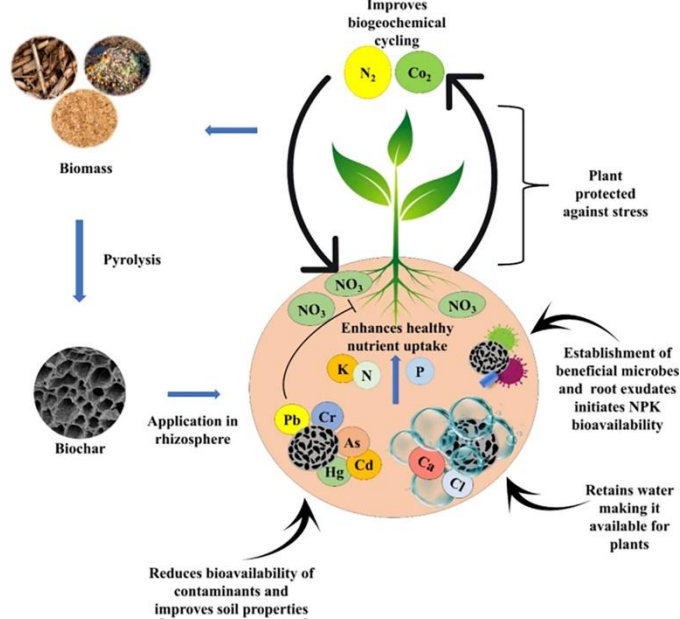
Khi ngành nông nghiệp đối mặt với áp lực ngày càng tăng để nâng cao năng suất đồng thời giảm thiểu tác động đến môi trường, than sinh học được xem là một giải pháp có nhiều tiềm năng để thúc đẩy quản lý đất và môi trường. Nghiên cứu nổi bật mới đây cho thấy tiềm năng của nó không chỉ hoạt động như một chất cải tạo đất, mà còn có thể được sử dụng như một công cụ tích hợp hoạt động cộng hưởng với các chiến lược quản lý đất sinh học, hóa học và vật lý.

### Sự cộng hưởng giữa than sinh học và vi sinh vật

Một hướng đi đầy triển vọng là tích hợp than sinh học với các chế phẩm vi sinh vật có ích. Than sinh học có thể đóng vai trò là chất mang hiệu quả cho các vi sinh vật có lợi, tạo ra môi trường bảo vệ giúp nâng cao khả năng tồn tại và hoạt động của vi sinh vật trong đất. Sự thiết lập vi sinh vật được cải thiện này có thể thúc đẩy quá trình tuần hoàn dinh dưỡng, tăng khả năng hấp thụ chất dinh dưỡng của cây trồng và góp phần nâng cao sinh trưởng cũng như khả năng chống chịu của cây trước các điều kiện bất lợi. Nghiên cứu nhấn mạnh rằng cấu trúc lỗ rỗng phức tạp của than sinh học cung cấp môi trường vi mô giúp vi sinh vật đối phó tốt hơn với các điều kiện stress môi trường, do đó kích thích sự sinh trưởng và sống sót của vi sinh vật (Graziano, 2025). Các cộng đồng vi sinh vật này đóng vai trò quan trọng trong việc điều tiết chất dinh dưỡng trong đất. Ví dụ, các nghiên cứu trong canh tác cà chua đã chỉ ra rằng than sinh học có thể tăng cường quá trình chuyển hóa nitơ thông qua việc điều chỉnh các vi sinh vật liên quan đến chu trình nitơ, dẫn đến tăng khả năng hấp thụ nitơ vô cơ trong rễ cây, thất thoát nitơ do rửa trôi được giảm thiểu và tăng hiệu quả hấp thụ nitơ.

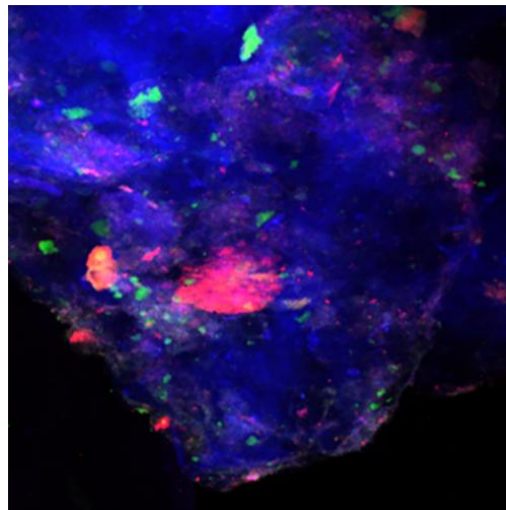
### Than sinh học để hấp thụ và lưu trữ cacbon

Than sinh học đang thu hút sự chú ý như một công cụ mạnh mẽ để hấp thụ cacbon, cung cấp một cách đơn giản nhưng hiệu quả để lưu trữ cacbon trong đất trong thời gian dài. Được sản xuất từ vật liệu thực vật, than sinh học chuyển đổi carbon hữu cơ thành một dạng có độ bền cao, khó bị phân hủy sinh học, cho phép nó tồn tại trong đất hàng chục năm hoặc thậm chí hàng thế kỷ. Thay vì nhanh chóng trở lại khí quyển dưới dạng cacbon dioxide, lượng cacbon này được lưu giữ ổn định trong đất, giúp giảm phát thải khí nhà kính. Ngoài vai trò trực tiếp trong việc lưu trữ cacbon, than sinh học còn cải thiện các đặc tính đất (cấu trúc được tăng cường, khả năng giữ nước và hoạt động của vi sinh vật), điều này có thể hỗ trợ thêm cho sự tích lũy cacbon hữu cơ trong đất. Theo Shyam và cộng sự (2025), những lợi ích kết hợp này làm cho than sinh học không chỉ là một chất cải tạo đất (Hình 5); nó đại diện cho một giải pháp đầy hứa hẹn, dựa trên tự nhiên, kết nối sức khỏe của đất với khả năng thích ứng trước biến đổi khí hậu và quản lý cacbon dài hạn.



**Hình 5.** Than sinh học như một chất cải tạo đất thông minh thích ứng với biến đổi khí hậu: Các con đường để hấp thụ cacbon và cải thiện sức khỏe của đất. Nguồn: Shyam và cộng sự (2025).

### Than sinh học dùng để cố định kim loại nặng



**Hình 6.** Bản đồ huỳnh quang tia X vi mô ( $\mu$ -XRF) thể hiện sự phân bố không gian của Pb (màu đỏ), Fe (màu xanh lá cây) và Zn (màu xanh lam) trong một hạt than sinh học thu thập từ đất ruộng ba tháng sau khi bón. Bản đồ ( $1 \times 1$  mm) được thu được từ các mảnh than sinh học nguyên vẹn. Cường độ màu sắc mang tính tương đối trong bản đồ. Dữ liệu được thu thập tại đường truyền tia X vi mô (13-ID-E) của Liên minh GeoSoilEnviro về các nguồn bức xạ tiên tiến (GSECARS) tại Advanced Photon Source, Argonne National Laboratory. Ảnh: Gutierrez & Hettiarachchi (2026).

Than sinh học ngày càng được công nhận là chất cải tạo đất hiệu quả trong việc cố định kim loại nặng và giảm thiểu rủi ro môi trường liên quan. Diện tích bề mặt lớn, cấu trúc xốp và sự phong phú của các nhóm chức (ví dụ: carboxyl, hydroxyl) cho phép hấp phụ và tạo phức mạnh mẽ với các ion kim loại như cadmium (Cd), chì (Pb) và đồng (Cu). Ngoài ra, than sinh học có thể làm tăng độ pH và khả năng trao đổi cation của đất, thúc đẩy quá trình kết tủa và ổn định kim loại nặng thành các dạng ít khả dụng sinh học hơn. Ví dụ, trong nghiên cứu được thực hiện trên đất đô thị bị ô nhiễm chì (Pb) với tổng hàm lượng Pb khoảng 860 mg/kg, than sinh học cho thấy sự giảm lượng Pb có thể giải hấp khoảng 54% so với đối chứng (Hình 6). Ngược lại, bùn thải chủ yếu thúc đẩy sự tạo phức hữu cơ

và hấp phụ bề mặt thông qua carbon hữu cơ ổn định và các vị trí liên kết phản ứng giữ lại Pb (Gutierrez & Hettiarachchi, 2026).

## **Kết luận**

Than sinh học không chỉ là chất cải tạo đất, mà còn là công cụ đa chức năng có thể tăng cường hiệu quả sử dụng chất dinh dưỡng, hỗ trợ vi sinh vật có lợi, cải thiện khả năng giữ nước và góp phần lưu trữ cacbon lâu dài. Khi được tích hợp chiến lược với phân bón và chế phẩm sinh học, than sinh học có thể đóng vai trò quan trọng trong việc xây dựng các hệ thống nông nghiệp thích ứng với biến đổi khí hậu và có khả năng chống chịu cao trước các điều kiện bất lợi.

Trong tương lai, việc tích hợp than sinh học vào nông nghiệp thích ứng với biến đổi khí hậu sẽ phụ thuộc vào nghiên cứu liên ngành liên tục, xác thực trên quy mô thực địa và phát triển các biện pháp quản lý cụ thể theo từng vùng. Bằng cách kết nối sức khỏe đất, hiệu quả sử dụng chất dinh dưỡng và tính bền vững môi trường, than sinh học hứa hẹn là một công nghệ nền tảng quan trọng trong phát triển các hệ thống nông nghiệp bền vững và có khả năng chống chịu cao trong tương lai.

*Theo Sciencesocieties.org*