

# ẢNH HƯỞNG CỦA THAN SINH HỌC TỪ VỎ QUẢ CÀ PHÊ ĐẾN SINH TRƯỞNG VÀ PHÁT TRIỂN CÂY CÀ PHÊ VỎI (*COFFEA CANEPHORA PIERRE VAR. ROBUSTA*) GIAI ĐOẠN KINH DOANH

Đỗ Thị Kiều An<sup>1</sup>, Trịnh Công Huyền Vy<sup>1</sup>, Phạm Thị Quỳnh Hoa<sup>2</sup>

Ngày nhận bài: 14/02/2023; Ngày phản biện thông qua: 23/3/2023; Ngày duyệt đăng: 30/7/2023

## TÓM TẮT

Than sinh học (TSH) là một vật liệu hữu cơ giàu carbon được biết đến là một vật liệu có khả năng cải thiện sức khỏe của đất canh tác, sinh trưởng, phát triển, năng suất và chất lượng của nhiều loại cây trồng. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định ảnh hưởng của lượng TSH sản xuất từ vỏ quả cà phê đến tính chất lý, hóa và sinh học của đất trồng cà phê vối cũng như đến sinh trưởng, phát triển, năng suất và chất lượng của cà phê nhân. Một thí nghiệm gồm 4 công thức (CT1: đối chứng, không bón TSH + 100% lượng phân NPK vô cơ theo Quy trình Tái canh cây cà phê vối; CT2: bón 1 tấn TSH + 80% lượng phân NPK vô cơ; CT3: bón 2 tấn TSH/ha + 80% lượng phân NPK vô cơ; CT4: bón 3 tấn TSH/ha + 80% lượng phân NPK vô cơ), 3 lần lặp lại được bố trí theo kiểu khối đầy đủ ngẫu nhiên đã được thực hiện trong vườn cà phê vối năm thứ tư trồng trên đất đỏ bazan tại Đắk Lắk. Kết quả sau 5 tháng xử lý cho thấy, mặc dù đã giảm 20% lượng phân NPK vô cơ theo Quy trình nhưng công thức bón TSH sản xuất từ vỏ quả cà phê vối lượng 2 - 3 tấn/ha (CT3 và CT4) đã có ảnh hưởng tốt nhất đến các chỉ tiêu lý tính (độ xốp tăng 7,5 - 13,1%, độ ẩm tăng 6,6 - 12,3%), hóa tính (pH<sub>KCl</sub> tăng 1,05 - 1,17 đơn vị, SOM% tăng 16,9 - 21,4%, CEC tăng 25,0 - 30,5%, N<sub>ts</sub> tăng 8,7 - 12,5%, P<sub>2</sub>O<sub>5dt</sub> tăng 15,9 - 17,1%, K<sub>2</sub>O<sub>dt</sub> tăng 3,6 - 3,7%) và sinh tính đất (mật độ tuyến trùng *Pratylenchus* sp. ký sinh trong rễ giảm 61,5 - 73,1%, mật độ nấm bệnh *Fusarium* spp. giảm 23,6 - 32,1%), làm tăng sinh trưởng, phát triển của cây cà phê, góp phần làm tăng năng suất cà phê nhân 17,2 - 24,5% so với ở công thức đối chứng. Trong thời gian tới, cần thử nghiệm TSH ở các mức bón cao hơn và đánh giá tác động lâu dài của TSH đến sức khỏe của đất trồng cây cà phê cũng như sinh trưởng, phát triển, năng suất và chất lượng của cà phê nhân.

**Từ khóa:** cà phê vối, năng suất, tính chất đất, than sinh học từ vỏ quả cà phê.

## 1. MỞ ĐẦU

Than sinh học là một vật liệu hữu cơ giàu carbon được tạo ra nhờ quá trình nhiệt phân các vật liệu hữu cơ (gỗ vụn, tàn dư cây trồng, chất thải động vật, ...) trong điều kiện nhiệt độ cao (300 - 1.250°C) và không có oxy hoàn toàn hoặc gần như hoàn toàn để không xảy ra phản ứng cháy (Jyoti *et al.*, 2019; Shreya *et al.*, 2021). Theo Kocsis *et al.* (2022), chất lượng của TSH phụ thuộc vào các điều kiện nhiệt phân và nguyên liệu thô dùng để sản xuất TSH. TSH được đặc trưng bởi tính bền vững, bản chất xốp, có nhiều lỗ rỗng nhỏ, diện tích bề mặt lớn, pH cao, chứa nhiều chất dinh dưỡng và chất hữu cơ (Sohi *et al.*, 2010; Jyoti *et al.*, 2019). Do vậy, TSH đã được áp dụng để cải tạo sức khỏe của đất và đã được chứng minh có khả năng đặc biệt trong việc cải thiện lý tính đất như độ xốp, sa cấu đất và khả năng giữ nước của đất được nâng cao đến mức tối ưu, giúp tăng khả năng xâm nhập của rễ và giảm xói mòn (Chang *et al.*, 2021). Các tính chất hóa học của đất cũng được cải thiện, chẳng hạn như tăng độ pH, khả năng trao đổi cation (CEC) và hàm lượng carbon hữu cơ, hàm

lượng các chất dinh dưỡng, đồng thời làm giảm quá trình rửa trôi nitơ, giúp giảm nhu cầu sử dụng phân bón và vôi để duy trì độ phì của đất (Ginebra *et al.*, 2021). Ngoài ra, TSH còn có khả năng hấp thụ thuốc bảo vệ thực vật, ngăn chặn sự di chuyển của các hóa chất độc hại này vào nguồn nước mặt hoặc nước ngầm, hạn chế ô nhiễm đất và nước gây ra bởi các hoạt động nông nghiệp (Shreya *et al.*, 2021). Những thay đổi về tính chất vật lý và hóa học của đất này cũng ảnh hưởng đến đặc tính sinh học của đất, tăng cường sự phong phú, đa dạng và hoạt động của vi sinh vật trong đất (Nguyen, 2020). Do đó, việc sử dụng TSH để cải thiện chất lượng đất canh tác, nâng cao sức sản xuất và năng suất của cây trồng đã được nhiều nơi trên thế giới cũng như Việt Nam xem như một giải pháp tiềm năng và bền vững.

Hiệu quả của TSH đối với sinh trưởng, phát triển và năng suất của nhiều loại cây trồng đã được nhiều tác giả tổng hợp (Vijay *et al.*, 2021; Gunarathne *et al.*, 2022). Sau khi áp dụng 20 tấn TSH/ha, năng suất ngô đã tăng 28 - 140% ở các năm thứ 2 - 4 (Major *et al.*, 2010). Năng suất đậu

<sup>1</sup>Khoa Nông Lâm nghiệp, Trường Đại học Tây Nguyên;

<sup>2</sup>Lớp Khoa học cây trồng K2017, Trường Đại học Tây Nguyên;

Tác giả liên hệ: Đỗ Thị Kiều An; ĐT: 0855955955; Email: dtkan@ttn.edu.vn.

cà phê tăng 46% khi áp dụng TSH với tỷ lệ 90 g/kg đất (Rondon et al., 2007). Năng suất cà phê tăng 151% khi bón bổ sung TSH từ vỏ trấu với tỷ lệ 20 g/kg đất (Bình và cs., 2019). Bón TSH với lượng 1 tấn/ha đã giảm được 25% lượng phân bón hóa học và làm năng suất hạt tiêu khô tăng 3,32% nhưng không khác biệt có ý nghĩa thống kê so với đối chứng (Thành và cs., 2020). Phần lớn các kết quả nghiên cứu đều cho thấy TSH làm tăng sinh trưởng và năng suất cây trồng. Tuy nhiên, cũng có một số trường hợp TSH làm giảm sinh trưởng của cây (Mikan & Abrams, 1995). Điều này là do hiệu quả của TSH phụ thuộc vào loại TSH, phương pháp sản xuất và áp dụng TSH, bao gồm loại đất áp dụng và lượng TSH được bón vào đất (Bình và cs., 2019; Oladapo & Alaba, 2020).

Việt Nam là một trong những nước xuất khẩu cà phê lớn nhất thế giới, với diện tích cà phê năm 2022 ước đạt khoảng 710,66 nghìn ha và sản lượng đạt hơn 1,84 triệu tấn. Trong đó, Đắk Lắk là tỉnh có diện tích trồng (212.650 ha) và sản lượng cà phê (540.938 tấn) lớn nhất cả nước, chiếm khoảng 30% của cả nước (Lê Văn Đức, 2023). Do đó, lượng vỏ quả cà phê thải ra hàng năm tại đây khoảng 270.000 tấn. Đây là một trong những nguồn nguyên liệu phục vụ việc sấy nông sản và sản xuất TSH ứng dụng trong canh tác bền vững tại địa phương. Tại Đắk Lắk, Công ty TNHH Viết Hiên (Buôn Ma Thuột) và Hợp tác xã Bình Minh (Cư M'gar) đã ứng dụng công nghệ đốt Flox (nhiệt phân trong điều kiện nhiệt độ 850 - 950°C và không cung cấp oxy), tận dụng nguồn sinh khối và phế phẩm nông nghiệp đa dạng và dồi dào tại địa phương (trong đó có vỏ cà phê) để tạo ra nguồn nhiên liệu sinh học phục vụ việc sấy nông sản. Vỏ cà phê sau khi cháy hết trở thành sản phẩm TSH chứa 8,49% chất hữu cơ; 1,12% N<sub>is</sub>; 1,131% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hữu hiệu; 4,6% K<sub>2</sub>O hữu hiệu; 0,593% Ca; 0,923% Mg; 8,03 mg/kg Cu; 39,9 mg/kg Zn và tỷ lệ C/N: 3,45.

Trong những năm qua, nhiều tiến bộ khoa học kỹ thuật đã được áp dụng trong sản xuất nhằm tăng năng suất và chất lượng cà phê. Tuy nhiên, ngành hàng cà phê Việt Nam hiện vẫn đang phải đối mặt với nhiều vấn đề, trong đó có việc thoái hóa đất canh tác do việc lạm dụng phân hóa học (Byrareddy et al., 2019). Việc lạm dụng phân hóa học trong thời gian dài còn làm tăng chi phí sản xuất, giảm lợi nhuận, đồng thời gây phát thải khí N<sub>2</sub>O càng nhiều, ô nhiễm môi trường đất, nước và ảnh hưởng đến sức khỏe con người (Stoltzfus et al., 1997; Byrareddy et al., 2019; Nikita & Chauhan, 2020).

Trước những thực trạng trên, nghiên cứu này

được thực hiện nhằm đánh giá khả năng ứng dụng của TSH từ vỏ quả cà phê trong việc cải tạo tính chất đất trồng và sinh trưởng, phát triển của cây cà phê, đồng thời, giảm lượng phân bón vô cơ để ứng dụng trong canh tác cà phê bền vững.

## 2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Nội dung nghiên cứu

- Ảnh hưởng của lượng TSH sản xuất từ vỏ quả cà phê đến tính chất đất trồng cây cà phê vối;

- Ảnh hưởng của lượng TSH sản xuất từ vỏ quả cà phê đến sinh trưởng, phát triển của cây cà phê vối.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

a. Thời gian nghiên cứu: Tháng 6 - 12/2022.

b. Địa điểm nghiên cứu: vườn cà phê vối tọa lạc tại vị trí (12°37'9" B; 108°3'9" Đ) tại xã Ea Kao, thành phố Buôn Ma Thuột, tỉnh Đắk Lắk.

c. Đối tượng nghiên cứu

- Vườn cà phê vối năm thứ 4 trồng trên đất đỏ bazan;

- TSH sản xuất từ vỏ quả cà phê bởi HTX Bình Minh (huyện Cư M'gar, tỉnh Đắk Lắk).

d. Phương pháp bố trí thí nghiệm: Thí nghiệm được tiến hành trên vườn cà phê vối năm thứ 4 trồng trên đất đỏ bazan. Thí nghiệm gồm 4 nghiệm thức với 3 lần lặp lại được bố trí theo kiểu khối đầy đủ ngẫu nhiên. Mỗi ô cơ sở gồm 12 cây bố trí theo dạng hình chữ nhật (3 hàng x 4 cây). Tổng số ô cơ sở: 4 công thức x 3 lần lặp lại = 12 ô cơ sở. Diện tích ô cơ sở: 108 m<sup>2</sup>. Giữa các ô cơ sở có dải phân cách là 1 hàng cà phê. Ngoài yếu tố thí nghiệm, các cây cà phê trong lô thí nghiệm được chăm sóc và lượng phân NPK vô cơ theo quy trình Tái canh cây cà phê vối của Bộ NN&PTNT (2016a). Các công thức thí nghiệm như sau:

- CT1: không bón TSH + 100% lượng phân NPK vô cơ.

- CT2: bón 1 tấn TSH/ha + 80% lượng phân NPK vô cơ.

- CT3: bón 2 tấn TSH/ha + 80% lượng phân NPK vô cơ.

- CT4: bón 3 tấn TSH/ha + 80% lượng phân NPK vô cơ.

e. Các chỉ tiêu theo dõi:

- Các chỉ tiêu tính chất đất: độ ẩm (TCVN 4048:2011), độ xốp (TCVN 11399:2016), pH<sub>KCL</sub> (TCVN 5979:2007) N<sub>is</sub> (TCVN 10791:2015), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dễ tiêu (TCVN 8661:2011), K<sub>2</sub>O dễ tiêu (TCVN 8662:2011), khả năng trao đổi cation (CEC) (TCVN 8569:2010), hàm lượng hữu cơ trong đất

(SOM) (TCVN 6642:2000), mật độ tuyến trùng Pratylenchus sp. trong đất (con/ 50 g đất) và rễ (con/5 g đất) (Bezooijen, 2006), mật độ nấm Fusarium spp. trong đất (cfu/g đất) (Saremi & Saremi, 2013). Lấy mẫu phân tích ở 2 thời điểm: SXL). Mỗi ô cơ sở, lấy 5 mẫu đất theo đường chéo góc ở độ sâu 0 - 30 cm. Mẫu sau khi lấy được trộn đều theo từng công thức thí nghiệm và lấy khoảng 1 kg cho vào từng túi riêng biệt theo TCVN 7538-2: 2005 (ISO 10381-2:2002) để phân tích.

- Các chỉ tiêu sinh trưởng, phát triển của cây cà phê: Theo dõi ở 2 thời điểm: TXL và SXL. Mỗi công thức, theo dõi 3 cây cố định các chỉ tiêu sau: chiều dài cành dự trữ (cm): đo từ chùy quả cuối cùng của cành đến nút cành; số đốt/cành dự trữ; số quả/chùm. Mỗi cây, đánh dấu cố định để theo dõi 4 cành, phân bố theo 4 hướng ở tầng giữa. Trên mỗi cành, theo dõi cố định 3 chùy quả/cành.

- Các chỉ tiêu năng suất và chất lượng cà phê: Theo dõi tại thời điểm thu hoạch: năng suất quả tươi (tấn/ha), tỷ lệ quả tươi: nhân; năng suất cà phê nhân (tấn/ha); tỷ lệ hạt cà phê nhân xuất khẩu (TCVN 4193 - 2005).

*g. Phương pháp phân tích số liệu*

Số liệu sau khi thu thập được tính toán giá trị trung bình, độ lệch chuẩn SD, tỉ lệ phần trăm, phân tích phương sai một nhân tố, kiểm định sự sai khác giữa các nghiệm thức bằng kiểm định Fisher test và vẽ đồ thị sử dụng phần mềm Microsoft Excel 2016 và MiniTab 16.

**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

**3.1. Ảnh hưởng của lượng TSH sản xuất từ vỏ**

**Bảng 1. Ảnh hưởng của lượng TSH đến lý tính đất trồng cây cà phê với**

Công thức thí nghiệm	Độ xốp (%)		Độ ẩm (%)	
	TXL	SXL	TXL	SXL
CT1	53,67±3,20	58,25±2,05 <sup>c</sup>	23,37±0,61	24,10±0,78 <sup>c</sup>
CT2	54,56±2,26	61,33±0,12 <sup>bc</sup>	23,30±0,20	25,17±0,31 <sup>bc</sup>
CT3	53,06±2,26	62,64±2,66 <sup>ab</sup>	23,43±0,72	25,70±0,56 <sup>b</sup>
CT4	53,82±1,55	65,86±1,21 <sup>a</sup>	23,37±0,68	27,07±0,75 <sup>a</sup>
F-test	ns	**	ns	**

*Ghi chú: Các giá trị trung bình (theo cột) theo sau bởi cùng ký tự thể hiện sự khác nhau không có ý nghĩa thống kê; ns: khác biệt không có ý nghĩa; \*\*: khác biệt rất có ý nghĩa (p < 0,01).*

Kết quả phân tích hóa tính đất được trình bày trong bảng 2 cho thấy TXL, các chỉ tiêu pH<sub>KCl</sub>, SOM% và CEC ở các công thức thí nghiệm không có sự khác biệt có ý nghĩa. Tuy nhiên, SXL, các chỉ tiêu pH<sub>KCl</sub>, SOM% và CEC ở các công thức có bón TSH đều cao hơn và khác biệt có ý nghĩa so với ở công thức đối chứng. Điều này chứng tỏ TSH đã có tác động tích cực làm tăng pH đất, tăng hàm lượng hữu cơ trong đất và tăng khả năng trao đổi cation. Hóa tính đất

**quả cà phê đến tính chất đất trồng cây cà phê với**

Kết quả phân tích lý tính đất được trình bày trong bảng 1 cho thấy, tại thời điểm TXL, không có sự khác biệt có ý nghĩa giữa các công thức thí nghiệm về chỉ tiêu độ ẩm và độ xốp đất. Sau 5 tháng, độ ẩm và độ xốp đất trồng cà phê ở các công thức thí nghiệm đã có sự khác biệt rất có ý nghĩa ở mức p < 0,01. Điều này chứng tỏ lượng TSH áp dụng đã có tác dụng làm thay đổi độ ẩm và độ xốp của đất. Kết quả này phù hợp với các kết quả nghiên cứu của Jyoti et al. (2019); Lương Hữu Thành và cs. (2020); Safari et al. (2021). Có được kết quả này là do đất được bón TSH có khả năng lưu trữ nước tốt hơn nhờ các cấu trúc rỗng của TSH (Downie et al., 2009; Shackley et al., 2010; Beusch, 2021).

Kết quả trình bày trong bảng 1 cũng cho thấy lượng TSH bón càng nhiều, độ ẩm và độ xốp đất càng cao. Tuy độ ẩm và độ xốp đất ở CT2 (1 tấn TSH/ha) đều cao hơn so với ở CT1 (đối chứng) nhưng đều khác biệt không có ý nghĩa thống kê. Điều này chứng tỏ, bón TSH ở mức 1 tấn/ha chưa có tác dụng làm tăng độ ẩm và độ xốp của đất trồng cà phê trong thời gian thí nghiệm. Độ ẩm đất tăng 6,6% và 12,3%, độ xốp đất tăng 7,5% và 13,1% so với ở công thức đối chứng khi bón TSH với lượng 2 tấn/ha (CT3) và 3 tấn/ha (CT4), một cách tương ứng. Như vậy, bón TSH vừa có khả năng nâng cao độ xốp, vừa có khả năng giữ ẩm cho đất, giúp cây cà phê có thể chịu hạn và tiết kiệm lượng nước tưới cho cây. Trong số các công thức thí nghiệm, CT4 (3 tấn TSH/ha) có ảnh hưởng tốt nhất đến độ ẩm và độ xốp đất trồng cà phê với.

được cải thiện tốt hơn sau khi được bón TSH là do trong TSH có tính kiềm, chứa chất hữu cơ và nhiều chất dinh dưỡng, vì vậy, việc bổ sung TSH vào đất đã làm tăng độ pH của đất, tăng hàm lượng hữu cơ và tăng khả năng trao đổi cation của đất (Dume et al., 2016). Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu của Dume et al. (2016) ở Tây Nam Ethiopia và với kết quả nghiên cứu của Alling et al. (2014) trên đất chua vùng nhiệt đới ở Zambia và Indonesia.

**Bảng 2. Ảnh hưởng của lượng TSH đến hóa tính đất trồng cà phê**

Công thức	pH <sub>KCl</sub>		SOM (%)		CEC (lđl/100g đất)	
	TXL	SXL	TXL	SXL	TXL	SXL
CT1	3,53±0,07	3,19±0,03 <sup>b</sup>	5,01±0,14	4,44±0,22 <sup>b</sup>	17,87±0,59	18,02±0,58 <sup>c</sup>
CT2	3,54±0,10	4,05±0,17 <sup>a</sup>	4,64±0,31	5,03±0,31 <sup>ab</sup>	17,39±0,15	20,74±0,50 <sup>b</sup>
CT3	3,59±0,08	4,36±0,29 <sup>a</sup>	4,69±0,26	5,19±0,29 <sup>a</sup>	18,11±0,38	22,53±0,65 <sup>ab</sup>
CT4	3,52±0,08	4,24±0,34 <sup>a</sup>	4,80±0,21	5,39±0,21 <sup>a</sup>	18,22±0,87	23,52±1,50 <sup>a</sup>
<b>F-test</b>	ns	*	ns	**	ns	**

Ghi chú: Các giá trị trung bình (theo cột) theo sau bởi cùng ký tự thể hiện sự khác nhau không có ý nghĩa thống kê; ns: khác biệt không có ý nghĩa; \*: khác biệt có ý nghĩa ( $p < 0,05$ ); \*\*: khác biệt rất có ý nghĩa ( $p < 0,01$ ).

Đáng chú ý, tại thời điểm SXL, chỉ duy nhất công thức đối chứng (CT1) có pH<sub>KCl</sub> < 4,0, là ngưỡng pH có thể gây ảnh hưởng xấu đến sinh trưởng và phát triển của cây cà phê vối (Bộ NN&PTNT, 2016b). So với đối chứng (CT1), pH<sub>KCl</sub> ở các công thức bón TSH đã tăng 0,85 - 1,17 đơn vị. So với thời điểm TXL, pH<sub>KCl</sub> ở các công thức bón TSH đã tăng 0,51 - 0,77 đơn vị trong khi ở công thức đối chứng (CT1) lại giảm 0,34 đơn vị. Mặc dù vậy, pH<sub>KCl</sub> ở các công thức bón TSH vẫn chưa đạt đến ngưỡng phù hợp cho cây cà phê là 4,5 - 5,5 (Bộ NN&PTNT, 2016b). Tương tự, hàm lượng chất hữu cơ SOM% và CEC ở các công thức bón TSH tại thời điểm sau thu hoạch đều cao hơn so với ở thời điểm TXL. Tuy lượng TSH bón càng nhiều, độ pH<sub>KCl</sub> và SOM% càng cao nhưng sự khác biệt này không có ý nghĩa thống kê giữa các mức bón TSH 1 tấn/ha, 2 tấn/ha và 3 tấn/ha. So với ở công thức đối chứng CT1, CEC ở các công thức CT2, CT3 và CT4 lần lượt cao hơn 2,72; 4,51 và 5,50 lđl/100g đất, tương ứng 15,1%; 25,0% và 30,5%. Tuy nhiên, sự khác biệt của chỉ tiêu CEC giữa mức bón 2 tấn/ha (CT3) và 3 tấn/ha (CT4) không có ý nghĩa thống kê.

Kết quả phân tích hàm lượng ba nguyên tố dinh dưỡng đa lượng trong đất trồng cà phê vối được trình bày trong bảng 3 cho thấy tuy lượng phân hóa học ở các công thức bón TSH ít hơn 20% so với ở công thức đối chứng CT1 nhưng tại thời điểm sau thu

hoạch, hàm lượng N<sub>ts</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5dt</sub> và K<sub>2</sub>O<sub>dt</sub> trong đất trồng cà phê ở các công thức có bón TSH đều cao hơn so với ở công thức đối chứng CT1 và đều tăng cao hơn so với ở thời điểm TXL. Điều này chứng tỏ việc bón TSH đã có tác dụng tích cực làm tăng hàm lượng các chất dinh dưỡng đa lượng trong đất trồng cà phê. Kết quả này phù hợp với nhiều kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước, chẳng hạn như kết quả nghiên cứu của Lương Hữu Thành và cs. (2020) khi bón TSH sản xuất từ vỏ cà phê cho đất đỏ bazan trồng cây hồ tiêu tại Đắk Lắk (Việt Nam) và kết quả nghiên cứu Laird *et al.* (2010) tại Midwestern (Mỹ). Theo Jyoti *et al.* (2019), TSH giúp cải thiện độ màu mỡ của đất thông qua hai cơ chế: (i) bổ sung chất dinh dưỡng cho đất do bản thân TSH cũng chứa nhiều chất dinh dưỡng và (ii) giữ lại chất dinh dưỡng được bổ sung cho đất từ việc bón phân. Ưu điểm chính của TSH là hấp thụ và giải phóng từ từ chất dinh dưỡng cho cây trồng sử dụng (Deluca *et al.*, 2015). Trong hầu hết các trường hợp, việc bổ sung TSH chỉ có tác động tích cực đến sinh trưởng, phát triển của cây trồng nếu chất dinh dưỡng được bổ sung cho đất từ các nguồn khác, chẳng hạn như phân bón vô cơ hay hữu cơ. Ngoài ra, TSH còn giúp ngăn chặn khả năng phân bón bị thất thoát do chảy tràn hoặc thấm xuống tầng đất sâu. Điều này cho phép sử dụng ít phân bón hơn và giảm ô nhiễm hóa chất nông nghiệp đến môi trường xung quanh (Cao *et al.*, 2018).

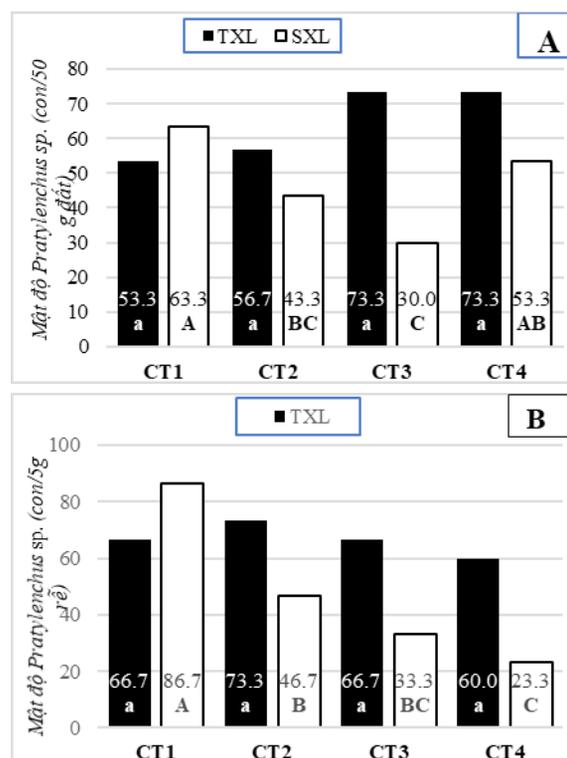
**Bảng 3. Ảnh hưởng của TSH đến hàm lượng các chất dinh dưỡng đa lượng trong đất**

Công thức	N <sub>ts</sub> (%)		P <sub>2</sub> O <sub>5dt</sub> (mg/100 g đất)		K <sub>2</sub> O <sub>dt</sub> (mg/100 g đất)	
	TXL	SXL	TXL	SXL	TXL	SXL
CT1	0,184±0,002	0,184±0,001 <sup>c</sup>	17,61±0,46	17,83±0,25 <sup>b</sup>	20,30±0,29	20,55±0,31
CT2	0,187±0,002	0,196±0,001 <sup>b</sup>	17,51±0,40	20,34±0,83 <sup>a</sup>	20,08±0,29	21,03±0,22
CT3	0,185±0,002	0,200±0,004 <sup>ab</sup>	17,69±0,34	20,88±0,66 <sup>a</sup>	20,05±0,30	21,29±0,41
CT4	0,188±0,001	0,207±0,006 <sup>a</sup>	17,34±0,36	20,67±0,38 <sup>a</sup>	19,98±0,07	21,32±0,11
<b>F-test</b>	ns	*	ns	**	ns	ns

Ghi chú: Các giá trị trung bình (theo cột) theo sau bởi cùng ký tự thể hiện sự khác nhau không có ý nghĩa thống kê; ns: khác biệt không có ý nghĩa; \*: khác biệt có ý nghĩa ( $p < 0,05$ ); \*\*: khác biệt rất có ý nghĩa ( $p < 0,01$ ).

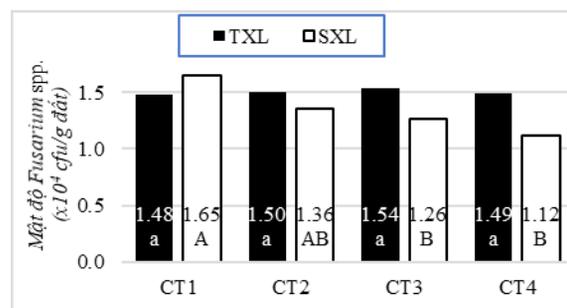
Bảng 3 cũng cho thấy, lượng TSH bón càng nhiều, hàm lượng  $N_{ts}$  (%),  $P_2O_{5dt}$  và  $K_2O_{dt}$  trong đất càng cao. So với TXL, khi bón TSH với lượng 1 tấn/ha, 2 tấn/ha và 3 tấn/ha, hàm lượng  $N_{ts}$  đã tăng 4,8%, 8,1% và 10,1%; hàm lượng  $P_2O_{5dt}$  tăng 16,2%, 18,0% và 19,2%; hàm lượng  $K_2O_{dt}$  tăng 4,7%, 6,2% và 6,7%, một cách tương ứng. Tuy nhiên, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về hàm lượng  $N_{ts}$ ,  $P_2O_{5dt}$  và  $K_2O_{dt}$  giữa mức bón 2 tấn/ha (CT3) và 3 tấn/ha (CT4).

TSH có cấu trúc xốp, diện tích bề mặt cao và khả năng hấp thụ chất hữu cơ hòa tan, chất khí và chất dinh dưỡng vô cơ cao nên có khả năng cung cấp một môi trường sống rất phù hợp cho nhiều loại vi sinh vật và tuyến trùng cư trú (Thies & Rillig, 2009). Do đó, việc bón TSH có thể ảnh hưởng đến mật độ tuyến trùng ký sinh *Pratylenchus* sp. và nấm bệnh *Fusarium* spp., hai tác nhân ký sinh quan trọng gây bệnh vàng lá thối rễ làm ảnh hưởng nghiêm trọng đến sinh trưởng và phát triển của cây cà phê vối. Chính vì thế, mật độ của 2 tác nhân này đã được theo dõi và ghi nhận trong các biểu đồ 1 và 2. Kết quả trình bày trong các biểu đồ 1 và 2 cho thấy so với thời điểm TXL, mật độ tuyến trùng *Pratylenchus* sp. và nấm *Fusarium* spp. đều tăng ở công thức đối chứng nhưng lại đều giảm ở các công thức có bón TSH. So với TXL, mật độ tuyến trùng *Pratylenchus* sp. trong đất đã lần lượt giảm 23,5%, 59,1% và 27,3%, mật độ tuyến trùng *Pratylenchus* sp. trong rễ đã lần lượt giảm 36,4%, 50,0% và 61,1% ở các công thức bón TSH ở mức 1 tấn/ha (CT2), 2 tấn/ha (CT3) và 3 tấn/ha (CT4). Đáng chú ý, mật độ tuyến trùng *Pratylenchus* sp. trong rễ ở CT4 tại thời điểm sau thu hoạch chỉ bằng khoảng ¼ so với ở công thức đối chứng CT1, nhưng không khác biệt có ý nghĩa thống kê so với ở CT3. Kết quả thí nghiệm 5 năm của Liu *et al.* (2020) cho thấy giá trị phong phú tương đối của tuyến trùng *Pratylenchus* sp. ở đất có áp dụng TSH đã giảm hơn một nửa so với ở công thức đối chứng không bón TSH, giảm từ 28,74% xuống còn 13,98%. Kết quả nghiên cứu này cũng tương đồng với kết quả nghiên cứu trong thời gian 3 năm của Oladele *et al.* (2021) về ảnh hưởng của TSH đến tuyến trùng *Pratylenchus* sp. trong đất trồng lúa nước ở Tây Phi.



**Biểu đồ 1. Ảnh hưởng của lượng TSH đến mật độ tuyến trùng *Pratylenchus* sp. trong đất (A) và trong rễ (B) cây cà phê vối**

*Ghi chú: giá trị trung bình của các cột có cùng ký tự thường (cột màu đen) hoặc ký tự in hoa (cột màu trắng) thể hiện sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê.*



**Biểu đồ 2. Ảnh hưởng của lượng TSH đến mật độ nấm *Fusarium* spp. trong đất trồng cà phê vối**

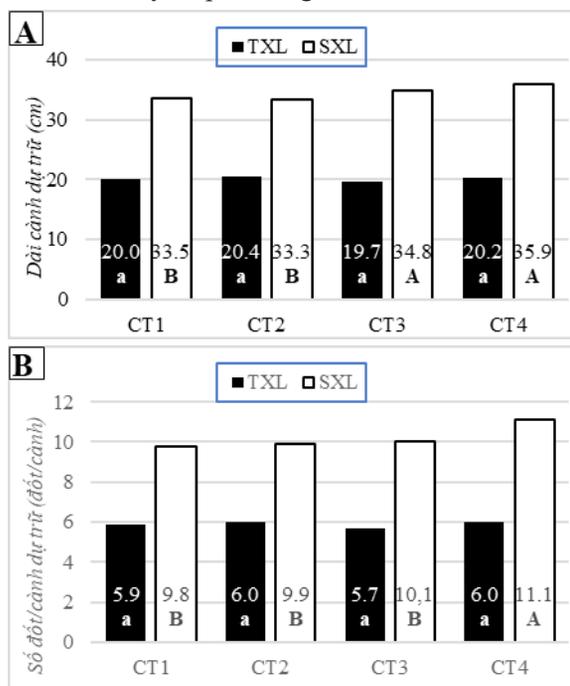
*Ghi chú: giá trị trung bình của các cột có cùng ký tự thường (cột màu đen) hoặc ký tự in hoa (cột màu trắng) thể hiện sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê.*

So với TXL, mật độ nấm bệnh *Fusarium* spp. ở các công thức CT2, CT3 và CT4 cũng lần lượt giảm 9,3%, 18,2% và 24,8%. Mật độ nấm bệnh *Fusarium* spp. có xu hướng giảm dần khi lượng TSH bón vào đất tăng dần. Tuy nhiên, kết quả xử lý thống kê cho thấy, mật độ nấm *Fusarium* spp. trong đất ở các công thức bón TSH ở các mức khác nhau không khác biệt có ý nghĩa thống kê và chỉ

khi bón TSH với lượng 2 - 3 tấn/ha, mật độ nấm bệnh *Fusarium* spp. trong đất mới thấp hơn và khác biệt có ý nghĩa so với ở công thức đối chứng.

### 3.2. Ảnh hưởng của TSH sản xuất từ vỏ quả cà phê đến sinh trưởng của cây cà phê vối

Kết quả theo dõi 2 chỉ tiêu sinh trưởng của cây cà phê vối giai đoạn kinh doanh trình bày trong biểu đồ 3 cho thấy tuy giảm 20% lượng phân bón hóa học so với công thức đối chứng, việc bón TSH đã làm tăng chiều dài cành dự trữ và số đốt/cành dự trữ của cây cà phê vối giai đoạn kinh doanh.



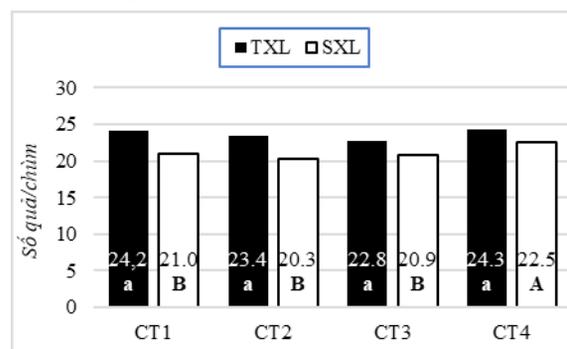
**Biểu đồ 3. Ảnh hưởng của lượng TSH đến dài cành dự trữ (A) và số đốt trên cành dự trữ (B) của cây cà phê vối giai đoạn kinh doanh**

Ghi chú: giá trị trung bình của các cột có cùng ký tự thường (cột màu đen) hoặc ký tự in hoa (cột màu trắng) thể hiện sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê.

Tuy dài cành dự trữ và số đốt/cành dự trữ của cây cà phê vối tăng tỷ lệ thuận với lượng TSH được áp dụng, 2 chỉ tiêu này chỉ khác biệt có ý nghĩa so với ở công thức đối chứng khi TSH được bón với lượng 2 - 3 tấn/ha. So với ở công thức đối chứng, chiều dài cành dự trữ và số đốt/cành dự trữ ở công

thức CT4 đã tăng tương ứng là 7,2% và 13,3%. Khả năng cải tạo lý hóa tính của đất, làm tăng hàm lượng các chất dinh dưỡng trong đất của TSH, từ đó giúp cây tăng khả năng hấp thu dinh dưỡng có thể là nguyên nhân của hiện tượng này. Đoạn cành dự trữ dài và khỏe mạnh là cơ sở để cây cà phê cho năng suất cao ở năm sau do cây cà phê vối có đặc điểm là hoa chỉ phát triển một lần trên các cành tơ được hình thành từ năm trước. Sự sinh trưởng của đoạn cành dự trữ phụ thuộc rất lớn vào chế độ chăm sóc, đặc biệt là lượng phân bón cho cây năm trước để tạo và nuôi một lượng cành dự trữ nhất định.

Theo dõi số quả cà phê trên chùm quả cho thấy các mức bón TSH khác nhau đã ảnh hưởng đến chỉ tiêu này, thể hiện ở số quả/chùm trung bình ở công thức bón 3 tấn TSH/ha (CT4) cao hơn 7,14% và khác biệt có ý nghĩa ( $p < 0,05$ ) so với ở công thức đối chứng (CT1) và 2 công thức bón TSH  $\leq 2$  tấn/ha (Biểu đồ 4). Số quả/chùm ở công thức bón TSH  $\leq 2$  tấn/ha (CT2 và CT3) không khác biệt có ý nghĩa so với ở công thức không bón TSH (CT1). Tăng số quả/chùm là tiền đề để tăng năng suất thu hoạch được. Khả năng làm tăng số quả/chùm của cây cà phê vối giai đoạn kinh doanh của TSH trong nghiên cứu này cũng tương tự như vai trò của TSH đối với số hạt/bông lúa mỳ trong nghiên cứu của Solaiman et al. (2010).



**Biểu đồ 4. Ảnh hưởng của lượng TSH đến số quả/chùm của cây cà phê vối**

Ghi chú: giá trị trung bình của các cột có cùng ký tự thường (cột màu đen) hoặc ký tự in hoa (cột màu trắng) thể hiện sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê.

**Bảng 4. Ảnh hưởng của lượng TSH đến năng suất và chất lượng cà phê vối**

Công thức thí nghiệm	Năng suất quả tươi (tấn/ha)	Tỷ lệ tươi/nhân	Năng suất cà phê nhân (tấn nhân/ha)	Tỷ lệ nhân trên sàng 16 (%)
CT1	14,89 <sup>c</sup>	4,24	3,518 <sup>c</sup>	70,2
CT2	15,99 <sup>bc</sup>	4,20	3,808 <sup>bc</sup>	72,8
CT3	17,31 <sup>ab</sup>	4,20	4,123 <sup>ab</sup>	73,6
CT4	18,31 <sup>a</sup>	4,18	4,380 <sup>a</sup>	75,2
F-test	*	ns	*	ns

Kết quả trình bày trong bảng 3 cho thấy việc bón TSH đã ảnh hưởng tích cực đến năng suất cà phê, với năng suất cà phê tươi trung bình ở các công thức bón TSH đã tăng 7,4 - 23,0%, năng suất cà phê nhân tăng 8,2 - 24,5% so với ở công thức đối chứng tuy lượng phân hóa học áp dụng ít hơn 20%. Mặc dù năng suất cà phê với tăng tỷ lệ thuận với lượng TSH được bón vào đất, sự khác biệt về năng suất cà phê giữa công thức bón 1 tấn TSH/ha với công thức đối chứng là không có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ). Ngoài ra, năng suất cà phê ở công thức bón 2 tấn TSH/ha (CT3) và ở công thức bón 3 tấn TSH/ha (CT4) cũng khác biệt không có ý nghĩa thống kê, lần lượt đạt 17,31 và 18,31 tấn quả tươi/ha và 4,123 và 4,380 tấn nhân/ha. Tuy nhiên, năng suất cà phê nhân đạt được ở các công thức bón TSH trong nghiên cứu này còn cao hơn so với năng suất đạt được khi bón phân theo quy trình Quy trình tái canh cà phê vối (Bộ NN&PTNT, 2013), với lượng phân đạm, lân và kali bón cho cây cà phê vối giai đoạn kinh doanh trên đất bazan là: 260 kg N + 95 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 240 kg K<sub>2</sub>O (ha/năm) (Nguyễn Văn Minh, 2014).

Tỷ lệ tươi/nhân của cà phê cũng chịu sự ảnh hưởng của chế độ dinh dưỡng. Tỷ lệ này càng thấp, năng suất cà phê nhân càng cao và ngược lại. Tuy lượng phân bón ở các công thức có bón TSH giảm 20% so với ở công thức đối chứng không bón TSH, tỷ lệ tươi/nhân ở các công thức bón TSH lại thấp hơn nhưng khác biệt không có ý nghĩa so với ở công thức đối chứng (Bảng 3). Trong khi tỷ lệ tươi/nhân ở công thức đối chứng là 4,24 thì ở các công thức có bón TSH, tỷ lệ này cao nhất chỉ ở mức 4,20. Tỷ lệ tươi/nhân trong nghiên cứu này thấp hơn một chút so với khi bón cà phê bằng phân hóa học ở mức cao (320 kg N + 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 300 kg K<sub>2</sub>O)/ha/năm (Nguyễn Tiến Sĩ, 2009), với

tỷ lệ tươi/nhân là 4,4. Kích cỡ nhân hạt cà phê trên sàng là một trong những chỉ tiêu rất quan trọng ảnh hưởng đến chất lượng cà phê, góp phần nâng cao giá trị cà phê xuất khẩu, do đó, ảnh hưởng đến giá bán của sản phẩm. Kết quả đánh giá tỷ lệ hạt cà phê nhân trên sàng S16 (hạng 1), cho thấy tuy tỷ lệ nhân trên sàng 16 ở các công thức có bón TSH đều cao hơn so với ở công thức đối chứng và lượng TSH bón càng nhiều, tỷ lệ nhân trên sàng 16 càng cao nhưng sự khác biệt này không có ý nghĩa thống kê giữa các công thức thí nghiệm.

#### 4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu bước đầu cho thấy việc bón TSH từ vỏ quả cà phê vào đất trồng cây cà phê vối giai đoạn kinh doanh đã có tác dụng cải thiện lý, hóa và sinh tính đất, làm tăng hàm lượng dinh dưỡng trong đất, do đó, đã có ảnh hưởng tích cực đến sinh trưởng, phát triển và năng suất cây cà phê vối trồng trên đất đỏ Bazan giai đoạn kinh doanh. Bón 80% lượng phân vô cơ NPK theo quy trình Tái canh cây cà phê vối kết hợp 2 - 3 tấn TSH sản xuất từ vỏ quả cà phê đã làm độ xốp đất tăng 7,5 - 13,1%, độ ẩm đất tăng 6,6 - 12,3%, pH<sub>KCl</sub> tăng 1,05 - 1,17 đơn vị, SOM% tăng 16,9 - 21,4%, CEC tăng 25,0 - 30,5%, N<sub>ts</sub> tăng 8,7 - 12,5%, P<sub>2</sub>O<sub>5dt</sub> tăng 15,9 - 17,1%, K<sub>2</sub>O<sub>dt</sub> tăng 3,6 - 3,7%, mật độ tuyến trùng *Pratylenchus* sp. ký sinh trong rễ giảm 61,5 - 73,1%, mật độ nấm bệnh *Fusarium* spp. trong đất giảm 23,6 - 32,1% so với ở công thức đối chứng bón 100% lượng phân vô cơ theo quy trình nhưng không bón TSH. Năng suất cà phê nhân do đó cũng tăng 17,2 - 24,5% so với ở công thức đối chứng. Trong thời gian tới, cần thử nghiệm TSH ở các mức bón cao hơn và đánh giá tác động lâu dài của TSH đến sức khỏe của đất trồng cây cà phê cũng như sinh trưởng, phát triển, năng suất và chất lượng của cà phê nhân.

## EFFECTS OF COFFEE-HUSK BIOCHAR ON THE GROWTH AND YIELDS OF ROBUSTA COFFEE (*COFFEA CANEPHORA* PIERRE VAR. ROBUSTA)

Do Thi Kieu An<sup>1</sup>, Trinh Cong Huyen Vy<sup>1</sup>, Pham Thi Quynh Hoa<sup>2</sup>

Received Date: 14/02/2023; Revised Date: 23/3/2023; Accepted for Publication: 30/7/2023

### ABSTRACT

Biochar is a carbon-rich organic material known to have the ability to improve the health of cultivated soil, growth, development, yield, and quality of various crop plants. This study was conducted to determine the effects of different dosage of coffee-husk biochar on the physical, chemical, and biological properties of soil for cultivating robusta coffee as well as on the growth, development, yield, and quality of coffee beans. An experiment consisted of 4 treatments (CT1: control, no biochar + 100% inorganic NPK fertilizer following the re-cultivation process for robusta coffee plants; CT2: 1 tons of biochar/ha + 80% inorganic NPK fertilizer; CT3: 2 tons of biochar/ha + 80% inorganic NPK fertilizer; CT4: 3 tons of biochar/ha + 80% NPK inorganic NPK fertilizer), with 3 replications, carried out in a completely randomized block design in a fourth-year robusta coffee plantation on basaltic red soil in Dak Lak province. The results showed that after 5 months of treatment, although the amount of inorganic NPK fertilizer was reduced by 20%, the treatments which applied 2 - 3 tons of coffee-husk biochar (CT3 and CT4) following the process showed the best effects on soil physical properties (porosity increased by 7.5 - 13.1%, moisture increased by 6.6 - 12.3%), soil chemical properties (pH<sub>KCl</sub> increased by 1.05-1.17, SOM% increased by 16.9-21.4%, CEC increased by 25.0 - 30, 5%, N<sub>is</sub> increased by 8.7 - 12.5%, P<sub>2</sub>O<sub>5dt</sub> increased by 15.9 - 17.1%, K<sub>2</sub>O<sub>dt</sub> increased by 3.6 - 3.7%) and soil biological properties (density of *Pratylenchus* sp. in coffee roots reduced by 61.5 - 73.1%, density of the pathogen *Fusarium* spp. reduced by 23.6 - 32.1%), contributed to enhancing the growth and development of coffee plants, leading to a yield increase of coffee beans by 17.2 - 24.5% compared to the control treatment. In the future, further studies are needed to evaluate the efficiency of higher doses of biochar and the long-term impact of coffee-husk biochar on the health of coffee crop cultivation soil as well as the growth, development, yield, and quality of coffee beans.

**Keywords:** *Robusta coffee, yield, soil properties, coffee-husk biochar.*

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

#### Tài liệu tiếng Việt

- Lê Văn Đức (2023). Đức, L.V. (2023). Báo cáo đề dẫn về cà phê chất lượng cao của Việt Nam, Kỳ yếu Hội thảo Xây dựng chuỗi ngành hàng cà phê Việt Nam chất lượng cao gắn với tăng trưởng xanh và phát triển bền vững, Buôn Ma Thuột, Đắk Lắk, tr. 5-26.
- Huỳnh Phan Khánh Bình, Trần Mỹ Viên, Nguyễn Xuân Lộc và Trương Thị Nga (2019). Bình, H.P.K., Viên, T.M., Lộc, N.X. & Nga, T.T. (2019). Ảnh hưởng của loại và lượng than sinh học đến sinh trưởng và năng suất cà phê trên đất cát, *Tạp chí Khoa học & Công nghệ Nông nghiệp*, 3(3): 1431-1438.
- Bộ NN&PTNT (2013). Quy trình Tái canh Cà phê vối.
- Bộ NN&PTNT (2016a). Quy trình Tái canh Cà phê vối.
- Bộ NN&PTNT (2016b). Bộ tài liệu Hướng dẫn sản xuất cà phê bền vững. Hà Nội: Nhà xuất bản Nông nghiệp.
- Nguyễn Văn Minh (2014). Minh, N.V. (2014). Nghiên cứu một số biện pháp kỹ thuật bón phân cho cà phê vối (*Coffea canephora* Pierre) giai đoạn kinh doanh trên đất bazan tại Đắk Lắk, Luận án Tiến sĩ Nông nghiệp, Đại học Huế.
- Nguyễn Tiến Sĩ (2009). Sĩ, N.T. (2009). Nghiên cứu một số tính chất cơ bản của đất phát triển trên đá bazan phục vụ thâm canh cà phê tỉnh Đắk Nông, Luận án Tiến sĩ Nông nghiệp, Trường Đại học Nông nghiệp, Hà Nội.

<sup>1</sup>Faculty of Forestry Agriculture, Tay Nguyen University;

<sup>2</sup>Class of Crop Sciences K2017, Tay Nguyen University;

Corresponding author: Do Thi Kieu An; Tel: 0855955955; Email: dtkan@ttn.edu.vn.

Lương Hữu Thành, Vũ Thuý Nga, Đàm Trọng Anh, Ngô Thị Hà, Nguyễn Ngọc Quỳnh, Hứa Thị Sơn và Nguyễn Kiều Băng Tâm (2020). Thành, L.H., Nga, V.T., Anh, Đ.T., Hà, N.T., Quỳnh, N.N., Sơn, H.T. & Tâm, N.K.B. (2020). Ảnh hưởng của than sinh học sản xuất từ vỏ quả cà phê đến chất lượng đất và năng suất cây hồ tiêu, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*, 5(114): 39-43.

Bộ Khoa học và Công nghệ (2005). TCVN 7538-2: 2005 (ISO 10381-2:2002). Tiêu chuẩn Việt Nam về chất lượng đất - Lấy mẫu - Phần 2: Hướng dẫn kỹ thuật lấy mẫu.

### Tài liệu tiếng nước ngoài

- Alling, V., Hale, S., Martinsen, V., Mulder, J., Smebye, A., Breedveld, G. and Cornelissen, G. (2014). The role of biochar in retaining nutrients in amended tropical soils, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(5): 671–680.
- Beusch, C. (2021). Biochar as a soil ameliorant: How biochar properties benefit soil fertility - A review, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 09(10): 28-46.
- Bezooijen, J. V. (2006). *Methods and Techniques for Nematology*. Wageningen.
- Byrareddy, V., Kouadio, L., Mushtaq, S. and Stone, R. (2019). Sustainable production of robusta coffee under a changing climate: A 10-year monitoring of fertilizer management in coffee farms in Vietnam and Indonesia, *Agronomy*, 9(9): 499-517.
- Cao, Y., Gao, Y., Qi, Y. and Li, J. (2018). Biochar-enhanced composts reduce the potential leaching of nutrients and heavy metals and suppress plant-parasitic nematodes in excessively fertilized cucumber soils, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8): 7589-7599.
- Chang, Y., Rossi, L., Zotarelli, L., Gao, B., Shahid, M. and Sarkhosh, A. (2021). Biochar improves soil physical characteristics and strengthens root architecture in Muscadine grape (*Vitis rotundifolia* L.), *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8: 7-17.
- Deluca, T., Gundale, M. J., Mackenzie, M. D. and Jones, D. (2015). Biochar effects on soil nutrient transformations. In: Lehmann, J. and Joseph, S. (eds.) 2<sup>nd</sup> ed. *Biochar for environmental management: Science and technology* (pp. 421-454). Routledge.
- Downie, A., Crosky, A. and Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. In: Lehmann, J. and Joseph, S. (eds.). *Biochar for environmental management: Science and technology* (pp. 13–32). London: Earthscan.
- Dume, B., Mosissa, T. and Nebiyu, A. (2016). Effect of biochar on soil properties and lead (Pb) availability in a military camp in South West Ethiopia, *African Journal of Environmental Science and Technology*, 10(3): 77-85.
- Gunarathne, V., Bandara, T., Ramanayaka, S. and Vithanage, M. (2022). Benefits of biochar addition in a sustainable agriculture practice: Soil nutrients dynamics, enzyme activities and plant growth, *Current Scientia*, 25(1): 9-25.
- Ginebra, M., Muñoz, C., Calvelo Pereira, R., Doussoulin, M. and Zagal, E. (2021). Biochar impacts on soil chemical properties, greenhouse gas emissions and forage productivity: A field experiment, *Science of The Total Environment*, 806: 150465.
- Jyoti, R., Jyoti, S. and Pankaj, S. (2019). Biochar: A sustainable approach for improving plant growth and soil properties. In: Vikas, A. and Peeyush, S. (eds.). *Biochar - An imperative amendment for soil and the environment*. Rijeka: IntechOpen.
- Kocsis, T., Ringer, M. and Biró, B. (2022). Characteristics and applications of biochar in soil–plant systems: A short review of benefits and potential drawbacks, *Applied Sciences*, 12(8): 4051.
- Laird, D. A., Fleming, P., Davis, D. D., Horton, R., Wang, B. and Karlen, D. L. (2010). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil, *Geoderma*, 158(3-4): 443-449.
- Liu, X., Zhang, D., Li, H., Qi, X., Gao, Y., Zhang, Y., Han, Y., Jiang, Y. and Li, H. (2020). Soil nematode community and crop productivity in response to 5-year biochar and manure addition to yellow cinnamon soil, *BMC Ecology*, 20(1): 39-51.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. and Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol, *Plant and Soil*, 333: 117-128.
- Mikan, C. and Abrams, M. (1995). Altered forest composition and soil properties of historic charcoal

- hearths in Southeastern Pennsylvania, *Canadian Journal of Forest Research*, 25: 687-696.
- Nikita, B. and Chauhan, P. S. (2020). Excessive and disproportionate use of chemicals cause soil contamination and nutritional stress. In: Marcelo, L. L. and Sonia, S. (eds.). *Soil contamination*. Rijeka: IntechOpen.
- Nguyen, H. (2020). Biochar for maintaining soil health. In: Giri, B. and Varma, A. (eds.). *Soil health* (pp. 21-46). Springer.
- Oladele, S., Adeyemo, A., Awodun, M., Adegaye, A. and Ingold, M. (2021). Impact of biochar amendment on soil nematode communities in a West African rain-fed rice cropland, *Nematology*, 24(2): 1-12.
- Rondon, M., Ramirez Orozco, J., Hurtado, M. D. and Lehmann, J. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions, *Biology and Fertility of Soils*, 43: 699-708.
- Saffari, N., Hajabbasi, M., Shirani, H., Mosaddeghi, M. R. and Owens, G. (2021). Influence of corn residue biochar on water retention and penetration resistance in a calcareous sandy loam soil, *Geoderma*, 383: 114734.
- Saremi, H. and Saremi, H. (2013). Isolation of the most common *Fusarium* species and the effect of soil solarisation on main pathogenic species in different climatic zones of Iran, *European Journal of Plant Pathology*, 137(3): 585-596.
- Shackley, S., Sohi, S., Brownsort, P., Carter, S., Cook, J., Cunningham, C., Gaunt, J., Hammond, J., Ibarrola, R. and Mašek, O. (2010). *An assessment of the benefits and issues associated with the application of biochar to soil*. London: Defra.
- Shreya, D., Samanyita, M., Gayatri, S., Mausami, R. and Kiran, P. (2021). Biochar: A sustainable approach for improving soil health and environment. In: António, V. and Silvio Carlos, R. (eds.). *Soil erosion*. Rijeka: IntechOpen.
- Solaiman, Z., Blackwell, P., Abbott, L. and Storer, P. (2010). Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal root colonisation, growth and nutrition of wheat, *Aust Journal of Soil Research*, 48(6): 546–554.
- Stoltzfus, J., So, R., Malarvithi, P., Ladha, J. and De Bruijn, F. (1997). Isolation of endophytic bacteria from rice and assessment of their potential for supplying rice with biologically fixed nitrogen, *Plant and Soil*, 194(1): 25-36.
- Thies, J. and Rillig, M. (2009). Characteristics of biochar: biological properties. In: Lehmann, M. and Joseph, S. (eds.). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (pp. 85-105). London: Earthscan.
- Vijay, V., Shreedhar, S., Adlak, K., Payyanad, S., Sreedharan, V., Gopi, G., Sophia van der Voort, T., Malarvizhi, P., Yi, S., Gebert, J. and Aravind, P. (2021). Review of large-scale biochar field-trials for soil amendment and the observed influences on crop yield variations, *Front. Energy Res.*, 9: 710766.