

Lượng carbon hữu cơ tích lũy trong đất dưới mô hình nông - lâm kết hợp tại xã Chiềng Mai, tỉnh Sơn La

Nguyễn Huy Thuấn¹, Phạm Văn Điển², Phùng Khắc Minh², Nguyễn Minh Thanh^{2*}

¹Trung tâm Khuyến nông TW - Bộ Nông nghiệp & Môi trường

²Trường Đại học Lâm nghiệp

Soil organic carbon accumulation in agroforestry models in Chieng Mai commune, Son La province

Nguyen Huy Thuan¹, Pham Van Dien², Phung Dak Minh², Nguyen Minh Thanh^{2*}

¹National agriculture extension center - Ministry of Agriculture and Environment

²Vietnam National University of Forestry

*Corresponding author: thanhnm@vnuf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.5.2025.060-068>

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 03/07/2025

Ngày phản biện: 06/08/2025

Ngày quyết định đăng: 04/09/2025

Từ khóa:

Cà phê, carbon hữu cơ trong đất, canh tác bền vững, nông lâm kết hợp, Sơn La.

Keywords:

Agroforestry, coffee, soil organic carbon, Son La, sustainable farming.

TÓM TẮT

Nghiên cứu đánh giá khả năng tích lũy carbon hữu cơ trong đất (SOC) của sáu mô hình nông – lâm kết hợp trồng cà phê tại xã Chiềng Mai, tỉnh Sơn La. Năm mô hình trồng xen cà phê với các loài cây Mận tam hoa, nhãn, Dổi găng, Macadamia và Keo dậu, được so sánh với mô hình cà phê Arabica thuần (đối chứng). Mẫu đất được thu thập tại hai tầng sâu (0 -20 cm và 21- 40 cm) để phân tích các chỉ tiêu hóa lý cơ bản nhằm đánh giá đặc tính của đất. Kết quả cho thấy các mô hình trồng xen cải thiện đáng kể độ ẩm, hàm lượng dinh dưỡng dễ tiêu và tích lũy SOC cao hơn so với mô hình thuần. Cụ thể, mô hình Dổi găng + Cà phê đạt lượng SOC cao nhất (17,23 tấn/ha), cao hơn nhiều so với mô hình cà phê thuần (4,29 tấn/ha). Các mô hình trồng xen còn có dung trọng đất thấp hơn và hàm lượng chất hữu cơ cao hơn, góp phần cải thiện cấu trúc đất và tiềm năng lưu trữ carbon. Nghiên cứu khẳng định tiềm năng của hệ thống nông – lâm kết hợp trong việc tăng cường lưu trữ carbon, góp phần vào phát triển nông nghiệp bền vững và giảm phát thải khí nhà kính tại vùng đất dốc miền núi phía Bắc Việt Nam.

ABSTRACT

This research aimed to study and assess the soil organic carbon (SOC) accumulation potential of six coffee agroforestry models in Chieng Mai commune, Son La province. Five intercropping models (coffee with Tam Hoa plum, longan, Manglietia fordiana, Macadamia, and Leucaena leucocephala) were compared against a monoculture Arabica coffee model. Soil samples were collected at two depths (0-20 cm and 21-40 cm), and analyzed for basic physicochemical properties. The results showed that all intercropping models significantly improved soil moisture, available nutrient content, and especially SOC accumulation compared to the monoculture. The Manglietia fordiana + coffee model had the highest SOC content (at 17.23 tons/ha), while the coffee monoculture model had the lowest (at 4.29 tons/ha). Furthermore, Intercropping models had lower soil bulk density and higher organic matter content, which improved soil structure and carbon storage. These findings confirm the ecological benefits of agroforestry systems for sustainable agricultural development and greenhouse gas mitigation in the Northern mountainous region of Vietnam.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu và suy thoái đất đang đặt ra thách thức lớn đối với sản xuất nông nghiệp bền vững tại Việt Nam. Một trong những giải pháp hiệu quả nhằm giảm phát thải khí nhà kính và cải thiện độ phì nhiêu của đất là tăng cường tích lũy carbon hữu cơ trong đất (Soil Organic Carbon - SOC) thông qua các hệ thống canh tác bền vững, trong đó có mô hình nông lâm kết hợp [1, 2]. Carbon hữu cơ đất là thành phần quan trọng đối với cấu trúc đất, điều tiết nước, giữ dinh dưỡng, thúc đẩy hoạt động vi sinh vật và hấp thụ CO₂ từ khí quyển [3, 4]. Các nghiên cứu cho thấy mô hình nông lâm kết hợp có khả năng tích lũy nhiều carbon hơn so với hệ thống nông nghiệp thuần, nhờ sinh khối đa dạng, rễ cây lâu năm và khả năng giảm xói mòn [5-7]. Tuy nhiên, hiệu quả tích lũy SOC phụ thuộc vào loại cây trồng, mật độ, thời gian canh tác và điều kiện sinh thái địa phương [6].

Tại xã Chiềng Mai, tỉnh Sơn La, cà phê hiện nay là một trong những cây trồng chủ lực được canh tác lâu năm. Trước áp lực biến đổi khí hậu, suy thoái đất và biến động thị trường, nhiều nông hộ đã chuyển sang mô hình nông - lâm kết hợp với các cây như Mận tam hoa (*Prunus salicina* Lindl), Nhãn (*Dimocarpus longan* Lour.), Macca (*Macadamia integrifolia*), Dổi găng (*Paramichelia baillonii* Pierre), Keo dậu (*Leucaena leucocephala* Lam.)... Tuy nhiên, đến nay chưa có nghiên cứu cụ thể nào đánh giá hàm lượng SOC và lượng carbon tích lũy trong đất dưới các mô hình này trong điều kiện sản xuất thực tế. Do đó, nghiên cứu này nhằm: (i) Đánh giá lượng carbon hữu cơ tích lũy trong đất (tấn/ha) dưới các mô hình nông - lâm kết hợp tại xã Chiềng Mai; (ii) So sánh với mô hình cà phê thuần (đối chứng), nhằm xác định mô hình có hiệu quả tích lũy SOC cao hơn, phục vụ định hướng canh tác bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và địa điểm nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là đất feralit đỏ vàng phát triển trên đá phiến sét (sau khi loại bỏ rễ > 2 mm, kết von và đá lẫn) dưới tán các mô hình nông lâm kết hợp tại xã Chiềng Mai, Sơn La. Nông - lâm kết hợp (agroforestry) được hiểu là hệ thống sử dụng đất bền vững, tích hợp cây thân gỗ lâu năm với cây nông nghiệp nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất, đa dạng sinh kế và gia tăng lợi ích môi trường, đặc biệt là tích lũy carbon [1, 8]. Trong nghiên cứu này, ngoài các loài cây lâm nghiệp (Dổi găng, Macadamia, Keo dậu), các cây ăn quả lâu năm (Mận Tam hoa, Nhãn) cũng được coi là thành phần cây thân gỗ trong hệ thống, bởi có tán che, hệ rễ và vai trò sinh thái tương tự, góp phần cải thiện đất và hấp thụ carbon [9]. Các mô hình gồm: (i) Mận Tam hoa + Cà phê Arabica; (ii) Nhãn + Cà phê Arabica; (iii) Dổi găng + Cà phê Arabica; (iv) Macadamia + Cà phê Arabica; (v) Keo dậu + Cà phê Arabica; (vi) Cà phê Arabica thuần loài (đối chứng).

Các mô hình có diện tích từ 0,5-0,7 ha, độ dốc từ 10-20 độ, do hộ gia đình quản lý. Các mô hình được trồng trên 10 năm.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- *Lập ô tiêu chuẩn (OTC)*: Mỗi mô hình lập 03 OTC ngẫu nhiên tại 3 vị trí khác nhau, diện tích ô tiêu chuẩn 500 m² (20 m x 25 m) đo chỉ tiêu sinh trưởng của các loài cây Keo dậu, Mận tam hoa, Macadima, Nhãn, Dổi găng và trong các ô loại 500 m², lập ô diện tích 100 m²/ô để xác định đường kính cách gốc 10 cm của Cà phê. Tổng số OTC đo tầng cây cao là 15 ô, OTC đo cây Cà phê là 18 ô.

- *Điều tra trong OTC*: Trong mỗi OTC tiến hành điều tra một số đặc điểm: Độ cao tuyệt đối, độ dốc xác định bằng máy GPS & địa bàn cầm tay. Độ tàn che tầng cây cao xác định bằng phần mềm Gap light Analysis Mobile App trên điện thoại, mỗi OTC xác định 10 điểm, lấy giá trị trung bình đại diện cho OTC. Trong các OTC,

chu vi thân ngang ngực (CV, cm) của từng cây được đo bằng thước dây với độ chính xác 0,1 cm; sau đó quy đổi ra D(cm). Chỉ tiêu H được đo bằng thước đo cao Blume leise. Khối lượng vật rơi rụng xác định trên ô dạng bản 1 m², thu gom toàn bộ cành khô lá rụng, hoa quả khô và cân bằng cân móc treo loại 2 kg (mỗi ô tiêu chuẩn lập 10 ô dạng bản chia đều trên diện tích ô sau đó lấy giá trị trung bình) (Hình 1a). Đếm toàn bộ các cây Cà phê trong OTC, số thân/gốc,

đo đường kính thân cây tại vị trí cách mặt đất 10 cm, đo chiều cao cây bằng thước gỗ loại 2 m.

- *Lấy mẫu và phân tích đất*: Trên mỗi ô tiêu chuẩn tiến hành lấy 01 mẫu đất theo phương pháp tổng hợp từ 5 điểm đơn lẻ ở 2 độ sâu 0 - 20 cm và 21 - 40 cm (Hình 1b): 01 điểm ở chính giữa ô, 4 điểm phụ lấy tại 4 góc. Mẫu đất được đựng trong túi nilon loại 1 kg, có ghi nhãn và bảo quản theo đúng quy định.



Hình 1. Thu gom vật rơi rụng (a) và lấy mẫu đất (b) ở khu vực nghiên cứu

Mẫu đất được xử lý và phân tích theo các phương pháp phổ dụng:

+ Dung trọng đất được lấy bằng ống dung trọng thể tích 100 cm³, cân, sấy.

+ NH₄⁺, P₂O₅, K₂O dễ tiêu - TCVN 6640:2000, 8941:2011, 6648:2000.

+ Hàm lượng chất hữu cơ tổng số (OM%) xác định theo TCVN8726: 2012;

- *Phương pháp xử lý số liệu*:

+ Sử dụng phương pháp thống kê toán học và một số phần mềm tính toán (Excel, SPSS...)

+ Carbon trong đất được xác định dựa vào hàm lượng chất hữu cơ, dung trọng và tỉ trọng theo công thức:

$$SOC = hcm \times D_{\text{đất}} \times OM \% \times 0,58 \times 100 \quad (1)$$

Trong đó:

SOC: carbon trong đất (tấn/ha);

D: dung trọng đất (g/cm³);

h: chiều sâu lớp đất tính toán (cm);

OM: hàm lượng CHC (%).

+ Để so sánh chất lượng đất giữa 6 mô hình nghiên cứu, đã xây dựng biểu đồ radar. Sáu chỉ tiêu đất được chuẩn hóa theo thang điểm 1-3 (thấp - trung bình - cao) nhằm tổng hợp và trực quan hóa mức độ cải thiện đất. Phương pháp này dựa trên cách tiếp cận đánh giá độ phì và chất lượng đất trong các tài liệu của CIAT, Nguyễn Văn Bộ và FAO (2015) [11-13]. Biểu đồ được thực hiện bằng phần mềm Excel 2025 và để tăng tính trực quan biểu đồ thể hiện điểm từ 0,5-3.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Một số đặc điểm mô hình nông - lâm kết hợp tại khu vực nghiên cứu

Tại xã Chiềng Mai hiện nay, mô hình nông - lâm kết hợp đã được triển khai theo quy mô hộ

gia đình nhằm tận dụng lợi thế sinh thái và nâng cao hiệu quả sử dụng đất. Nó có thể ảnh hưởng gián tiếp đến lượng carbon tích lũy trong đất.

Dưới đây là đặc điểm chính của mô hình đã được xây dựng và áp dụng tại địa phương được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Một số đặc điểm mô hình nông lâm kết hợp tại khu vực nghiên cứu

Mô hình	Loài cây	Chiều cao trung bình (m)	Đường kính $D_{1.3}/D_{0.1}$ (cm)	Mật độ (cây/ha)	Độ tàn che	Khối lượng vật rơi rụng (tấn/ha)
Mận tam hoa + Cà phê Arabica	Mận tam hoa	3,40	6,65	300	0,25	16
	Cà phê	1,70	4,27	4.500		
Nhãn + Cà phê Arabica	Nhãn	3,37	9,41	300	0,3	18
	Cà phê	1,59	3,58	4.500		
Dổi găng + Cà phê Arabica	Dổi găng	9,10	16,77	80	0,2	14
	Cà phê	2,26	4,23	4.500		
Macadiam + Cà phê Arabica	Macadiama	6,19	10,5	100	0,2	13
	Cà phê	1,62	2,71	4.500		
Keo dậu + Cà phê Arabica	Keo dậu	8,09	15,96	150	0,4	5
	Cà phê	1,81	3,79	4.500		
Cà phê thuần		1,84	4,12	5.000	0	3

Nguồn: Số liệu điều tra năm 2025.

Dữ liệu Bảng 1 cho thấy các mô hình nông lâm - kết hợp tại xã Chiềng Mai có sự khác biệt rõ nét về cấu trúc thảm thực vật, đặc biệt là tầng tán cây, mật độ, khối lượng vật rơi rụng và độ tàn che, các yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng tích lũy carbon hữu cơ trong đất. Mô hình Nhãn + Cà phê và Mận tam hoa + Cà phê có mật độ cây tầng trên là 300 cây/ha, độ che phủ từ 0,25-0,3 khối lượng vật rơi rụng lớn 16–18 tấn/ha, tạo điều kiện thuận lợi cho tích lũy vật liệu hữu cơ và ổn định vi khí hậu đất. Trong khi đó, mô hình Dổi găng + Cà phê có cấu trúc phân tầng rõ rệt, cây gỗ cao > 9 m nhưng mật độ thấp, vẫn cung cấp lượng vật rơi rụng đáng kể nhờ sinh khối tán phát triển. Mô hình Keo dậu + Cà phê dù có độ tàn che cao nhất (0,4) nhưng khối lượng vật rơi rụng lại thấp (5 tấn/ha), phản ánh đặc điểm sinh học của loài cây và chu kỳ rụng lá ảnh hưởng đến lượng hữu cơ tích lũy. So với mô hình cà phê thuần không có tán che và khối lượng vật rơi rụng rất thấp, các mô hình nông - lâm tỏ ra ưu thế hơn rõ rệt trong tích lũy hữu cơ đất. Kết quả này phù hợp

với các nghiên cứu của Hairiah và cộng sự; Jose [1, 14] và đặc biệt là phân tích tổng hợp gần đây của Teixeira năm 2025 [15], cho thấy hệ thống nông - lâm kết hợp đa loài giúp cải thiện tích lũy carbon hữu cơ trong đất, điều hòa vi khí hậu, tăng hiệu quả sinh thái và khả năng thích ứng biến đổi khí hậu. Nhiều nghiên cứu gần đây tại Tây Nguyên và Tây Bắc cho thấy mô hình Cà phê có cây che bóng không chỉ giúp duy trì hoặc tăng năng suất, mà còn góp phần cải thiện độ phì đất, giảm rủi ro do biến động thời tiết và nâng cao thu nhập cho nông hộ. Cụ thể, nghiên cứu của Nguyễn Quân Anh và ICRAF tại Sơn La và Điện Biên cho thấy các vườn Cà phê xen cây ăn trái và cây che bóng cung cấp dịch vụ sinh thái tốt hơn so với vườn Cà phê thuần [16, 17]. Báo cáo của ICRAF năm 2019 cũng chỉ ra rằng mô hình cà phê xen cây phân xanh như *Leucaena* có khả năng tích trữ carbon cao gấp đôi so với hệ thống canh tác đơn [9]. Các kết quả phân tích thống kê cho thấy sự khác biệt giữa các mô hình về lượng vật rơi rụng vì giá trị $p < 0,05$.



Hình 2. Mô hình Dối găng + Cà phê (a); mô hình Keo đậu + Cà phê (b); mô hình mận Tam Hoa + Cà phê (c); mô hình Maca + Cà phê (d)

3.2. Một số tính chất của đất tại khu vực

Kết quả nghiên cứu tính chất đất được tổng hợp ở Bảng 2.

Bảng 2. Một số tính chất của đất tại khu vực nghiên cứu
(số liệu trung bình của 3 ô nghiên cứu)

Mô hình	Độ sâu tầng đất (cm)	pH H ₂ O	Độ ẩm tuyệt đối (%)	Chất dễ tiêu (mld/100 g đất)			Thành phần cơ giới đất (%)		
				NH ₄ ⁺	P ₂ O ₅	K ₂ O	<0.002 mm	0.02-0,002 mm	2,0-0.02 mm
Mận Tam Hoa + Cà phê Arabica	0-20	5,5	7,78	3,319	1,423	11,025	35,11	47,28	15,97
	21-40	5,00	8,10	3,156	1,274	10,563	36,650	48,40	16,59
Nhãn + Cà phê Arabica	0-20	5,6	5,12	2,71	1,456	4,018	35,78	46,87	16,32
	21-40	5,20	5,98	2,569	1,182	3,898	36,242	47,37	17,42
Dối găng + Cà phê Arabica	0 -20	5,5	5,17	2,314	0,725	3,837	32,15	49,65	17,23
	21- 40	5,30	5,49	1,900	0,855	4,063	32,818	50,20	17,95
Macadiam + Cà phê Arabica	0-20	6,00	6,51	2,548	2,349	5,513	33,09	44,89	19,86
	21-40	5,60	7,36	2,264	1,929	5,181	34,064	46,39	21,71
Keo đậu + Cà phê Arabica	0-20	5,6	5,21	2,345	1,526	5,423	37,85	43,09	18,16
	21-40	5,40	5,87	1,877	1,112	5,131	38,392	43,54	18,97
Cà phê Arabica thuần	0-20	5,5	2,15	2,235	1,149	3,916	37,13	43,87	19,15
	21-40	5,10	3,20	1,871	0,905	3,784	36,302	43,36	20,19

Nguồn: Số liệu điều tra năm 2025.

Kết quả phân tích các chỉ tiêu lý – hóa học đất tại các mô hình canh tác cà phê cho thấy sự khác biệt đáng kể giữa mô hình trồng đơn canh (cà phê thuần) và các mô hình trồng xen với cây ăn quả hoặc cây lâm nghiệp:

***pH và độ ẩm đất**

pH đất dao động từ 5,0 đến 6,0, phản ánh môi trường đất có tính axit nhẹ đến trung bình – phù hợp với khoảng pH tối ưu cho cây Cà phê sinh trưởng (5,5-6,5) [12]. Mô hình Macadamia + Cà phê có pH cao nhất ở tầng mặt (6,0), cho thấy khả năng cải thiện độ chua đất thông qua sinh khối hữu cơ và hoạt động rễ. Ngược lại, tầng đất sâu của mô hình mật Tam hoa + Cà phê có pH thấp nhất (5,0), điều này có thể làm chậm quá trình phân giải chất hữu cơ và hạn chế khả năng hấp thu dinh dưỡng của cây. Độ pH thấp thường làm giảm hoạt động của vi sinh vật đất và khả năng khoáng hóa, đồng thời làm tăng tính hòa tan của một số ion độc (như Al^{3+} , Fe^{3+}), từ đó ảnh hưởng bất lợi đến quá trình sinh trưởng của cây trồng [12].

Về độ ẩm tuyệt đối, các mô hình trồng xen đều có độ ẩm cao hơn rõ rệt so với cà phê thuần, đặc biệt ở tầng mặt. Mô hình mật Tam Hoa + Cà phê đạt giá trị cao nhất (7,78%), trong khi Cà phê thuần chỉ đạt 2,15%. Điều này phản ánh vai trò của cây trồng che phủ trong việc hạn chế thoát hơi nước và giữ ẩm cho đất.

***Hàm lượng dinh dưỡng dễ tiêu**

NH_4^+ (amoni): Hàm lượng NH_4^+ cao nhất ghi nhận ở mô hình mật Tam hoa + Cà phê (3,319 mdl/100 g), đạt mức giàu đạm khoáng [11]. Trong khi đó, hàm lượng NH_4^+ ở Cà phê thuần và Dổi găng + Cà phê chỉ dao động quanh ngưỡng 1,9–2,3 mdl/100 g.

P_2O_5 (lân dễ tiêu): Mô hình Macadamia + Cà phê nổi bật với hàm lượng lân dễ tiêu cao nhất (2,349 mdl/100 g), trong khi cà phê thuần và Dổi găng đạt giá trị thấp hơn 1,2 mdl/100 g. Sự gia tăng lân có thể liên quan đến hoạt động rễ, hệ vi sinh vật đất và quá trình cố định đạm sinh học của một số loài cây trồng xen.

K_2O (kali dễ tiêu): Hàm lượng kali dễ tiêu tăng đáng kể ở các mô hình trồng xen, đặc biệt

là mật Tam Hoa + Cà phê với giá trị lên đến 11,025 mdl/100 g – gấp gần 3 lần so với cà phê thuần (3,916 mdl/100 g). Đây là yếu tố quan trọng đối với quá trình ra hoa, nuôi quả và khả năng chống chịu của cây Cà phê trong điều kiện bất lợi.

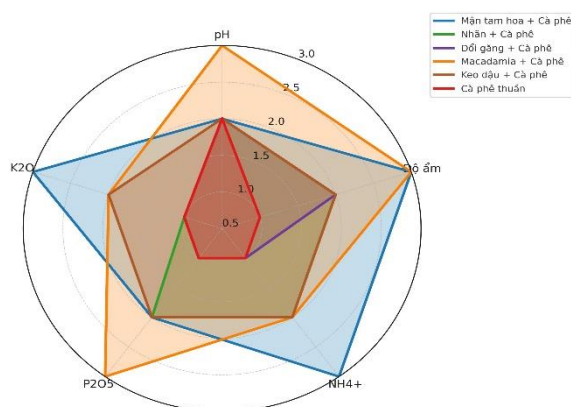
Nhìn chung, các mô hình trồng xen thể hiện hiệu quả rõ rệt trong việc cải thiện khả năng cung cấp dinh dưỡng của đất, đặc biệt với các nguyên tố thiết yếu như đạm, lân và kali. Kết quả này phù hợp với khuyến nghị của FAO năm 2015 về vai trò của hệ thống nông – lâm kết hợp trong duy trì và cải tạo độ phì đất [13].

***Thành phần cơ giới đất**

Thành phần cơ giới đất giữa các mô hình cà phê khác nhau rõ rệt theo loại cây trồng xen. Mô hình Keo dậu + Cà phê có hàm lượng sét cao nhất (37,85–38,30%), giúp đất giữ ẩm, giữ dinh dưỡng tốt. Mô hình Dổi găng + Cà phê nổi bật với limon cao (~49,9%), cải thiện trao đổi cation và ổn định cấu trúc đất [18, 19]. Các mô hình mật Tam Hoa và Nhãn + Cà phê có cơ giới cân đối, giúp tăng độ tơi xốp và giữ nước. Ngược lại, mô hình Macadamia + Cà phê và Cà phê thuần có tỷ lệ cát cao hơn (20–21%), dễ gây rửa trôi dinh dưỡng trong mùa mưa [20]. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Lê Văn Khoa (2011), khẳng định mô hình trồng xen giúp tăng hạt mịn và cải thiện độ phì đất, trong khi cà phê thuần dễ suy giảm cấu trúc do thiếu tán che và thảm thực vật [21].

Đánh giá tổng hợp theo biểu đồ radar

Biểu đồ radar (Hình 1) cho thấy: Macadamia + Cà phê và Mật tam hoa + Cà phê đạt chất lượng đất cao nhất, với hình bao lớn và cân đối ở hầu hết các chỉ tiêu. Nhãn + Cà phê và Dổi găng + Cà phê xếp thứ 3 và 4, với độ ẩm và lân ở mức khá nhưng kali và mùn còn hạn chế. Cà phê thuần có chất lượng đất thấp nhất, hình bao nhỏ, lõm sâu ở độ ẩm và kali. Điều này cho thấy khả năng cải thiện đất giữa các mô hình có sự khác biệt rõ rệt. Mô hình nông - lâm kết hợp tỏ ra ưu thế hơn về cân bằng dinh dưỡng và duy trì độ phì đất so với canh tác đơn thuần.



Hình 1. Biểu đồ radar so sánh tổng hợp chất lượng đất giữa các mô hình canh tác

Như vậy, các mô hình trồng xen, đặc biệt với cây ăn quả (Macadamia, Mận Tam hoa), không chỉ giúp cải thiện độ phì và độ ẩm đất mà còn góp phần cân bằng cấu trúc cơ giới. Đây là cơ sở khoa học quan trọng để khuyến nghị áp dụng mô hình canh tác nông - lâm kết hợp tại vùng chuyên canh Cà phê nhằm hướng đến

phát triển bền vững.

3.3. Hàm lượng chất hữu cơ, dung trọng và lượng carbon tích lũy tại khu vực nghiên cứu

Kết quả nghiên cứu hàm lượng chất hữu cơ, dung trọng và lượng carbon tích lũy tại khu vực nghiên cứu được tổng hợp ở Bảng 3.

Bảng 3. Hàm lượng chất hữu cơ, dung trọng và lượng carbon tích lũy tại khu vực nghiên cứu (số liệu trung bình của 3 ô nghiên cứu)

Mô hình	Độ sâu tầng đất (cm)	Dung trọng (g/m ³)	Chất hữu cơ (%)	Lượng C tích lũy (tấn/ha)	Tổng carbon tích lũy (tấn/ha)
Mận tam hoa + Cà phê Arabica	0-20	1,36	5,1	8,05	15,95
	21-40	1,52	4,72	7,91	
Nhãn + Cà phê Arabica	0-20	1,31	4,98	7,57	15,02
	21-40	1,61	4,2	7,45	
Dổi găng + Cà phê Arabica	0 -20	1,26	5,98	8,74	17,23
	21- 40	1,44	5,35	8,49	
Macadiam + Cà phê Arabica	0-20	1,12	4,06	5,27	10,71
	21-40	1,34	3,68	5,43	
Keo dậu + Cà phê Arabica	0-20	1,18	4,93	6,75	12,45
	21-40	1,44	3,59	5,70	
Cà phê Arabica thuần	0-20	1,39	1,63	2,63	4,29
	21-40	1,55	0,97	1,66	

Nguồn: Số liệu điều tra 2025.

Kết quả phân tích cho thấy sự khác biệt rõ rệt về tính chất vật lý và hóa học đất giữa các mô hình canh tác cà phê, đặc biệt khi so sánh giữa cà phê thuần và các mô hình trồng xen. Ba

chỉ tiêu được lựa chọn để so sánh bao gồm: dung trọng, hàm lượng chất hữu cơ (%OC) và lượng carbon tích lũy trong đất (SOC).

**Dung trọng đất:*

Dung trọng tầng đất mặt dao động từ 1,12 đến 1,39 g/cm³. Các mô hình trồng xen như Macadamia, Keo dậu và Dổi găng cho thấy dung trọng thấp hơn so với cà phê thuần, phản ánh sự cải thiện trong cấu trúc và độ tơi xốp của đất. Theo IPCC năm 2006, dung trọng đất canh tác ở mức lý tưởng dao động trong khoảng 1,1–1,3 g/cm³ [18].

**Hàm lượng chất hữu cơ (%):*

Hàm lượng OC ở tầng đất mặt dao động từ 1,63% (ở Cà phê thuần) đến 5,98% (ở Dổi găng + Cà phê). Tất cả các mô hình trồng xen đều vượt ngưỡng OC = 3,5%, một giá trị được xem là giới hạn của đất giàu hữu cơ [13]. Mô hình Dổi găng + Cà phê cho thấy tiềm năng cao nhất trong bổ sung sinh khối hữu cơ và cải thiện độ phì.

**Carbon hữu cơ tích lũy (SOC):*

Tổng lượng carbon hữu cơ trong đất (SOC) là chỉ tiêu phản ánh tổng hợp khả năng tích lũy và duy trì chất hữu cơ trong hệ thống đất canh tác. SOC ở các mô hình trồng xen dao động từ 10,71 đến 17,23 tấn/ha, cao gấp 2,5- 4 lần so với mô hình cà phê thuần (4,29 tấn/ha). Mô hình Dổi găng + Cà phê có tổng SOC cao nhất (17,23 tấn/ha), phản ánh hiệu quả tích lũy carbon vượt trội. Điều này có thể liên quan đến khả năng cung cấp sinh khối từ lá rụng, rễ cây lâu năm, cũng như hoạt động cố định đạm sinh học và cải tạo đất của loài cây Dổi găng. Mô hình mật Tam Hoa + Cà phê và Nhãn + Cà phê cũng cho thấy khả năng tích lũy SOC cao và ổn định (trên 15 tấn/ha).

Ngược lại, mô hình cà phê thuần có lượng SOC thấp nhất, chủ yếu do mật độ che phủ thấp, ít sinh khối bổ sung và hoạt động canh tác đơn canh kéo dài. Sự suy giảm SOC ở cà phê thuần không chỉ là chỉ báo về sự suy thoái hữu cơ mà còn là nguy cơ đối với độ phì đất, cấu trúc đất và khả năng giữ ẩm. Theo Lal (2004), gia tăng SOC không chỉ góp phần nâng cao độ phì và năng suất mà còn đóng vai trò như một chiến lược giảm thiểu biến đổi khí hậu thông qua cô lập carbon lâu dài trong đất [3].

So sánh ba chỉ tiêu cho thấy rằng các mô hình trồng xen, đặc biệt là Dổi găng + Cà phê và Mật Tam hoa + Cà phê, mang lại hiệu quả cải thiện đất đồng bộ cả về vật lý và hóa học. Trong khi đó, mô hình Cà phê thuần cho thấy sự suy giảm rõ rệt về tất cả các chỉ tiêu, có thể thấy rõ nguy cơ thoái hóa đất nếu không áp dụng biện pháp cải tạo.

4. THẢO LUẬN

Kết quả nghiên cứu phù hợp với nhiều công trình trước đó về vai trò của hệ thống nông – lâm kết hợp trong tăng tích lũy carbon hữu cơ [1, 7, 15]. Các mô hình sử dụng loài cây có tầng tán phát triển, khả năng rụng lá cao như Dổi găng, Mật Tam hoa có xu hướng cải thiện mạnh mẽ SOC nhờ tăng sinh khối rơi rụng và cải tạo hệ sinh thái đất. Điều này cho thấy rằng chọn loài cây trồng xen phù hợp là yếu tố then chốt.

Ngoài ra, dung trọng đất giảm và độ ẩm tăng trong các mô hình trồng xen là những dấu hiệu tích cực đối với cấu trúc đất, khả năng giữ nước và chống xói mòn [14]. Tuy nhiên, mô hình Macadamia cho SOC thấp hơn dù có độ tán tốt, có thể do tốc độ phân hủy vật rơi rụng thấp hoặc đặc tính rễ. Để làm rõ điều này cần có nghiên cứu sâu hơn về động học phân hủy và ảnh hưởng đến vi sinh vật đất.

Cuối cùng, cần xem xét thêm hiệu quả kinh tế – xã hội của mô hình nông – lâm để có thể đưa ra khuyến nghị áp dụng quy mô lớn tại các vùng đất dốc [22].

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã làm rõ hiệu quả của các mô hình nông – lâm kết hợp trong việc gia tăng tích lũy carbon hữu cơ trong đất và cải thiện chất lượng đất tại xã Chiềng Mai, tỉnh Sơn La. Trong đó, mô hình Dổi găng + Cà phê đạt lượng SOC cao nhất (17,23 tấn/ha), tiếp theo là mật Tam Hoa và Nhãn + Cà phê.

Các mô hình trồng xen thể hiện ưu thế rõ rệt so với cà phê thuần trong việc tăng độ phì đất, cải thiện độ ẩm, ổn định cấu trúc đất và góp phần hấp thu carbon – qua đó vừa nâng cao năng suất bền vững vừa góp phần giảm nhẹ biến đổi khí hậu.

Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học quan trọng để khuyến nghị mở rộng các mô hình nông - lâm kết hợp trong vùng chuyên canh cà phê Tây Bắc, hướng tới nông nghiệp sinh thái, thích ứng và phát thải thấp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Jose S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*. 76: 1–10.
- [2]. FAO (2020). *Agroforestry and Carbon Sequestration – Guiding Principles*. Rome: FAO.
- [3]. Lal R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*. 123(1-2): 1-22.
- [4]. Batjes N.H. (2014). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*. 65(1): 10-21.
- [5]. Montagnini F. & Nair P.K.R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*. 61-62(1): 281-295.
- [6]. Nair P.K.R., Kumar B.M. & Nair V.D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 172(1): 10-23.
- [7]. Cardinael R., Chevallier T., Barthes B.G., Saby N., Parent T. & Dupraz C. (2018). Soil organic carbon stocks in agroforestry systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 265: 64-79.
- [8]. Nair P.K.R. (1993). *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 499.
- [9]. ICRAF (2019). *Agroforestry and Sustainable Development*. Nairobi, Kenya: ICRAF.
- [10]. IPCC (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use*. IGES, Japan.
- [11]. CIAT (2001). *Manual for Soil Fertility Management in Tropical Systems*. Cali, Colombia: CIAT.
- [12]. Nguyễn Văn Bộ (2003). *Đất và dinh dưỡng cây trồng*. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội.
- [13]. FAO (2015). *Agroforestry for Soil Management*. Rome: FAO.
- [14]. Hairiah K., van Noordwijk M. & Rahayu S. (2001). *Carbon Stock and Biomass in Agroforestry Systems*. Bogor, Indonesia: ICRAF Southeast Asia.
- [15]. Teixeira A.G.S., Marin F.R. & Martinez C.A. (2025). Impacts of agroforestry systems on soil organic carbon in coffee plantations: A global meta-analysis. *Agronomy*, 15(2): 480. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4395/15/2/480>.
- [16]. Nguyễn Quân Anh, Sarmiento J.P., Phạm Tuấn Vũ, Nguyễn Thị Thu & Roshetko J.M. (2020). Kiến thức bản địa về dịch vụ hệ sinh thái trong hệ thống nông - lâm kết hợp cà phê vùng Tây Bắc Việt Nam. Trong: Catacutan D., Ordonez J.C. & Tinsley J. (chủ biên). *Hệ thống nông lâm kết hợp ở Việt Nam*. CABI Publishing.
- [17]. ICRAF Việt Nam (2019). *Khả năng tích lũy carbon của hệ thống cà phê nông lâm kết hợp tại Tây Nguyên và Tây Bắc Việt Nam*. Báo cáo kỹ thuật. World Agroforestry, Hà Nội.
- [18]. FAO (2006). *Guidelines for Soil Description*. 4th ed. Rome: FAO.
- [19]. Lal R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*. 12(6): 519-539.
- [20]. Brady N.C. & Weil R.R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. 14th ed. Pearson Prentice Hall.
- [21]. Lê Văn Khoa (2011). Nghiên cứu ảnh hưởng của các mô hình nông lâm kết hợp đến tính chất đất và năng suất cây trồng tại Tây Nguyên. *Tạp chí Khoa học Đất*. 37: 45-52.
- [22]. Trần Hồng Thái, Nguyễn Hữu Thọ, Sarmiento J.P. & Roshetko J.M. (2024). *Ứng phó của hệ thống nông lâm kết hợp trước 20 năm mở rộng nông nghiệp tại Tây Nguyên, Việt Nam*. CIFOR-ICRAF, Hà Nội.