

# NÔNG LÂM KẾT HỢP VÀ VAI TRÒ TRONG BẢO VỆ ĐẤT, LƯU TRỮ CARBON HỮU CƠ Ở TỈNH SƠN LA

Nguyễn Huy Thuần<sup>1</sup>, Phạm Văn Điền<sup>2</sup>, Lê Hùng Chiên<sup>2</sup>, Nguyễn Minh Thanh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Trung tâm Khuyến nông Quốc gia - Bộ Nông nghiệp & Môi trường

<sup>2</sup>Trường Đại học Lâm nghiệp

## TÓM TẮT

Mục tiêu nghiên cứu là phân tích đặc điểm đất và khả năng tích lũy carbon hữu cơ (SOC) trong các mô hình nông lâm kết hợp (NLKH) so với canh tác thuần tại Sơn La. Nghiên cứu được thực hiện ở ba xã Chiềng Mai, Mường É và Nậm Lâu trên 10 mô hình NLKH và 2 mô hình đối chứng. Tổng số 66 mẫu đất được thu thập ở hai tầng (0 - 20 cm và 20 - 40 cm) để phân tích pH, độ ẩm, thành phần cơ giới, chất hữu cơ (OM); SOC được tính theo hướng dẫn IPCC (2006) và so sánh bằng ANOVA, Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Kết quả cho thấy các mô hình NLKH có đặc điểm đất tốt hơn: pH cao hơn ( $\approx 5,4 - 5,6$ ), OM lớn gấp 2 - 3 lần, độ ẩm > 30%, và SOC tích lũy 8,07 - 17,23 tấn/ha, cao gấp 2 - 4 lần so với mô hình cà phê hoặc chè thuần. Các mô hình Giôi găng + cà phê, Mận tam hoa + cà phê và Giôi xanh + chè đạt giá trị SOC cao nhất. Kết quả khẳng định NLKH có tiềm năng nâng cao độ phì, duy trì cấu trúc đất và tăng lưu trữ carbon, góp phần phát triển nông nghiệp sinh thái, thích ứng biến đổi khí hậu và thực hiện mục tiêu Net Zero vào năm 2050.

**Từ khóa:** Carbon hữu cơ trong đất, nông lâm kết hợp, tính chất đất, tích lũy carbon, tỉnh Sơn La

## AGROFORESTRY AND ITS ROLE IN SOIL PROTECTION AND SOIL ORGANIC CARBON SEQUESTRATION IN SON LA PROVINCE, VIETNAM

Nguyen Huy Thuan<sup>1</sup>, Pham Van Dien<sup>2</sup>, Le Hung Chien<sup>2</sup>, Nguyen Minh Thanh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>National Agriculture Extension Center - Ministry of Agriculture and Environment

<sup>2</sup>Vietnam National University of Forestry

\*Corresponding author: [thanhnm@vnuf.edu.vn](mailto:thanhnm@vnuf.edu.vn)

## ABSTRACT

This study aimed to analyze soil characteristics and soil organic carbon (SOC) sequestration in agroforestry systems (AFS) compared with monoculture farming in Son La province, Vietnam. The research was conducted in three communes - Chieng Mai, Muong E, and Nam Lau - covering 10 agroforestry models and two monoculture control models. A total of 66 soil samples were collected from two soil layers (0 - 20 cm and 20 - 40 cm) to analyze pH, soil moisture, soil texture, and organic matter (OM). Soil organic carbon stocks were estimated following the IPCC (2006) guidelines and statistically compared using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test ( $\alpha = 0.05$ ). The results showed that agroforestry systems exhibited superior soil properties, including higher pH values (approximately 5.4 - 5.6), organic matter contents two to three times greater, soil moisture exceeding 30%, and SOC stocks ranging from 8.07 to 17.23 t ha<sup>-1</sup>-two to four times higher than those of monoculture coffee or tea systems. The highest SOC stocks were observed in the *Michelia balansae* + coffee, *Prunus salicina* + coffee, and *Michelia mediocris* + tea models. These findings confirm that agroforestry systems have strong potential to enhance soil fertility, maintain soil structure, and increase carbon sequestration, thereby contributing to ecological agriculture development, climate change adaptation, and the achievement of Vietnam's Net Zero target by 2050.

**Keywords:** Agroforestry, carbon sequestration, soil properties, soil organic carbon, Son La province

**I. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Biến đổi khí hậu và suy thoái tài nguyên đất đang đặt ra thách thức lớn đối với nông nghiệp Việt Nam, đặc biệt tại các vùng đất dốc, nơi canh tác đơn điệu làm gia tăng xói mòn và suy giảm hàm lượng chất hữu cơ trong đất. Phát triển nông nghiệp bền vững, phát thải thấp gắn với mục tiêu phát thải ròng bằng “0” (Net Zero) vào năm 2050 vì vậy đã trở thành yêu cầu cấp thiết.

Nông lâm kết hợp (NLKH) là hệ thống canh tác tích hợp cây nông nghiệp và lâm nghiệp, có khả năng cải thiện cấu trúc đất, giảm xói mòn và tăng cường tích lũy carbon hữu cơ trong đất (Soil Organic Carbon - SOC). Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã khẳng định NLKH giúp gia tăng đáng kể trữ lượng carbon trong đất và sinh khối, đồng thời góp phần giảm phát thải khí nhà kính (Nair, 2012; Jose, 2009; Cardinael *et al.*, 2017). Tại Việt Nam, các nghiên cứu gần đây cũng ghi nhận các mô hình NLKH có khả năng cải thiện tính chất đất và tăng tích lũy carbon hữu cơ, đặc biệt tại khu vực miền núi phía Bắc (Nguyễn Huy Thuán *et al.*, 2025).

Son La là tỉnh miền núi có diện tích đất dốc lớn, điều kiện sinh thái phù hợp để phát triển các mô hình NLKH. Tuy nhiên, các nghiên cứu định lượng về tính chất đất và khả năng tích lũy carbon hữu cơ dưới các mô hình NLKH tại địa phương còn hạn chế, đặc biệt là các nghiên cứu so sánh giữa các mô hình canh tác khác nhau. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm

đánh giá một số tính chất đất và khả năng tích lũy carbon hữu cơ trong các mô hình NLKH điển hình tại tỉnh Sơn La, qua đó cung cấp cơ sở khoa học cho phát triển hệ thống canh tác bền vững và đóng góp vào mục tiêu phát thải ròng bằng “0” của Việt Nam.

**II. ĐỊA ĐIỂM VÀ ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU**

Nghiên cứu được thực hiện tại ba xã Chiềng Mai, Mường É và Nậm Lầu, tỉnh Sơn La, đại diện cho các dạng địa hình đặc trưng của khu vực miền núi: đồi núi thấp (Chiềng Mai), núi cao chia cắt mạnh (Nậm Lầu) và núi cao đá vôi, địa hình hiểm trở (Mường É).

Đối tượng nghiên cứu gồm 10 mô hình NLKH và 2 mô hình trồng thuần loài (đối chứng), quy mô hộ gia đình. Các mô hình được hình thành tự phát, không có thiết kế kỹ thuật chuẩn và không thuộc dự án đầu tư tập trung.

Trước khi chuyển đổi, diện tích nghiên cứu là đất nương rẫy được canh tác liên tục trên 7 năm. Các mô hình được lựa chọn trên cơ sở tương đồng về loại đất (chủ yếu là đất feralit đỏ vàng), độ dốc phổ biến 15 - 20°, quy mô diện tích ≥ 0,5 ha và chế độ chăm sóc giai đoạn đầu tương đối thống nhất (bón 100 g NPK (5:10:3)/gốc/năm, phát cỏ 3 lần/năm). Sự tương đồng về điều kiện nền tạo cơ sở để xem xét vai trò của hệ thống NLKH đối với bảo vệ đất và lưu trữ carbon hữu cơ trong các bối cảnh địa hình khác nhau của tỉnh Sơn La.

**Bảng 1.** Các mô hình nghiên cứu

Đại điểm	Mô hình nông lâm kết hợp (NLKH)	Mô hình đối chứng
Chiềng Mai	Mận Tam hoa + cà phê; Nhãn + cà phê; Giỏi gừng + cà phê; Mắc ca + cà phê; Keo dậu + cà phê	Cà phê thuần loài
Mường É	Giỏi xanh + chè; Mắc khén + cà phê; Mắc ca + chè; Mắc khén + chè	Chè thuần loài
Nậm Lầu	Trám đen + cà phê	

**III. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

**3.1. Cách tiếp cận nghiên cứu**

Do các mô hình NLKH tại địa bàn nghiên cứu được hình thành tự phát và có sự khác biệt về tổ hợp loài, mật độ và tuổi mô hình, nghiên cứu được thực hiện theo hướng **so sánh quan sát**, không phải thí nghiệm kiểm soát nhân tố độc lập.

Việc so sánh không thực hiện ở cấp độ tên mô hình hay loài cây cụ thể, mà dựa trên các nhóm

biến có ý nghĩa sinh thái, bao gồm: (i) **Nhóm cấu trúc thảm thực vật:** mật độ, đường kính ngang ngực ( $D_{1,3}$ ), chiều cao vút ngọn ( $H_{vn}$ ), độ tàn che và khối lượng vật rơi rụng; (ii) **Nhóm tính chất đất:** dung trọng (BD), hàm lượng chất hữu cơ (OM%), pH, dinh dưỡng dễ tiêu và trữ lượng carbon hữu cơ (SOC).

Cách tiếp cận này cho phép đánh giá vai trò của đặc điểm cấu trúc hệ thống NLKH đối với chức năng bảo vệ đất và lưu trữ carbon hữu cơ trong các điều kiện địa hình khác nhau của tỉnh Sơn La.

### 3.2. Phương pháp thu thập số liệu

- *Bố trí ô tiêu chuẩn:* Đối với mỗi mô hình nghiên cứu:

+ Lập 03 ô tiêu chuẩn tầng cây gỗ/cây lâu năm ( $20 \times 25$  m; diện tích  $500 \text{ m}^2/\text{ô}$ );

+ Lập 03 ô điều tra tầng cây dưới (chè, cà phê;  $10 \times 10$  m;  $100 \text{ m}^2/\text{ô}$ ).

Các ô được bố trí tại vị trí có điều kiện địa hình tương đối đồng nhất trong cùng mô hình, tránh rìa lô và khu vực chịu tác động cơ học mạnh.

- *Chỉ tiêu điều tra*

+ Tầng cây gỗ, cây ăn quả: Đo  $D_{1,3}$  (cm),  $H_{vn}$  (m), xác định mật độ (cây/ha); Xác định độ tàn che tại 10 điểm/ô bằng phần mềm Gap Light Analysis; Thu thập vật rơi rụng tại 10 ô dạng bản ( $1 \text{ m}^2/\text{ô}$ ), tính giá trị trung bình cho mỗi ô tiêu chuẩn. Các ô được bố trí phân bố đều trong OTC và tránh các vị trí bất thường như sát gốc cây lớn, đường đi hoặc nơi xói tụ.

+ Tầng cây dưới (chè, cà phê): Đo chiều cao (m), đường kính gốc tại vị trí 0,05 m ( $D_{0,05}$ , cm) và mật độ (cây/ha); Chiều cao được đo bằng thước đo cao chuyên dụng; đường kính đo bằng thước kẹp.

### 3.3. Lấy mẫu và phân tích đất

- Lấy mẫu: Mỗi ô tiêu chuẩn lấy 01 mẫu đất hỗn hợp từ 5 điểm theo đường chéo ô, trộn đều và lấy mẫu đại diện. Mẫu được thu tại hai tầng sâu: 0 - 20 cm và 20 - 40 cm.

- Phân tích các chỉ tiêu:

+ Dung trọng (BD,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ): xác định bằng phương pháp vòng thép (FAO, 2015).

+ Hàm lượng chất hữu cơ (OM, %): theo TCVN 8726:2012.

+ pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ): theo TCVN 7377:2004.

+  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  dễ tiêu: theo các TCVN tương ứng (6640:2000; 8941:2011; 6648:2000).

+ Thành phần cơ giới: theo TCVN 5294:2008.

+ Xác định trữ lượng carbon hữu cơ: Trữ lượng SOC (tấn/ha) được tính theo công thức của IPCC (2006):  $\text{SOC} = h \times D \times \text{OM} \times 0,58 \times 100$

*Trong đó:* h - chiều sâu lớp đất (cm); D - dung trọng ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); OM - hàm lượng chất hữu cơ (%); 0,58 - hệ số chuyển đổi OM sang carbon hữu cơ.

### 3.4. Phương pháp xử lý số liệu

Dữ liệu được xử lý bằng phần mềm SPSS 26.0. Các tham số được trình bày dưới dạng Mean  $\pm$  SD. Phân tích mối quan hệ giữa SOC và một số yếu tố cấu trúc thảm thực vật (OM%, vật rơi rụng...) bằng tương quan Pearson.

Để so sánh tổng hợp các chỉ tiêu tính chất đất giữa các mô hình NLKH, nghiên cứu sử dụng biểu đồ Heatmap nhằm trực quan hóa sự khác biệt về giá trị các biến số. Dữ liệu các chỉ tiêu đất (pH, độ ẩm,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  dễ tiêu, hàm lượng sét) được chuẩn hóa theo thang giá trị tương đối trước khi biểu diễn. Biểu đồ Heatmap được xây dựng bằng phần mềm R với gói pheatmap, trong đó màu sắc biểu thị mức độ giá trị của từng chỉ tiêu (màu đậm biểu thị giá trị cao, màu nhạt biểu thị giá trị thấp). Phương pháp này giúp nhận diện nhanh các mô hình có điều kiện đất thuận lợi hoặc hạn chế thông qua sự phân bố tương đối của các chỉ tiêu trong cùng một ma trận dữ liệu.

## IV. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### 4.1. Đặc điểm sinh trưởng của mô hình NLKH tại khu vực

Kết quả dưới đây phản ánh đặc điểm sinh trưởng trung bình của tầng cây cao và tầng cây dưới trong từng mô hình, dựa trên số liệu trung bình của 3 ô tiêu chuẩn (OTC)

**Bảng 2.** Một số đặc điểm mô hình nông lâm kết hợp tại nghiên cứu

Mô hình	Loài cây	Chiều cao trung bình (m)	Đường kính $D_{1,3}/D_{0,05}$ (cm)	Mật độ (cây/ha)	Độ tàn che	Khối lượng vật rơi rụng (tấn/ha)
Mận tam hoa + cà phê	Mận tam hoa	3,4 ± 0,2	6,65 ± 0,33	300 ± 15	0,25 ± 0,01	16 ± 0,10
	Cà phê	1,7 ± 0,1	4,27 ± 0,21	4.300 ± 215		
Nhãn + cà phê	Nhãn	3,4 ± 0,2	9,41 ± 0,47	300 ± 15	0,3 ± 0,02	18 ± 0,15
	Cà phê	1,6 ± 0,1	3,58 ± 0,18	4.300 ± 215		
Giổi găng + cà phê	Giổi găng	9,1 ± 0,5	16,77 ± 0,84	80 ± 4	0,2 ± 0,01	14 ± 0,25
	Cà phê	2,3 ± 0,1	4,23 ± 0,21	4.300 ± 215		
Mắc ca + cà phê	Mắc ca	6,2 ± 0,3	10,5 ± 0,5	100 ± 5	0,2 ± 0,01	13 ± 0,30
	Cà phê	1,6 ± 0,1	2,71 ± 0,14	4.500 ± 225		
Keo dậu + cà phê	Keo dậu	8,1 ± 0,4	15,96 ± 0,80	150 ± 8	0,4 ± 0,02	5 ± 0,10
	Cà phê	1,8 ± 0,1	3,79 ± 0,19	4.250 ± 213		
Giổi xanh + chè	Giổi xanh	9,4 ± 0,5	13,49 ± 0,67	100 ± 5	0,22 ± 0,01	8,0 ± 0,20
	Chè	0,43 ± 0,02	2,85 ± 0,14	14.500 ± 276		
Mắc khén + cà phê	Mắc khén	6,8 ± 0,3	8,2 ± 0,4	100 ± 5	0,22 ± 0,01	11,5 ± 0,15
	Cà phê	1,2 ± 0,1	2,31 ± 0,12	4.250 ± 213		
Mắc ca + chè	Mắc ca	3,8 ± 0,2	3,85 ± 0,19	120 ± 6	0,20 ± 0,01	7,0 ± 0,12
	Chè	0,45 ± 0,02	3,43 ± 0,17	14.300 ± 378		
Mắc khén + chè	Mắc khén	9,5 ± 0,5	15,29 ± 0,76	100 ± 5	0,20 ± 0,01	7,0 ± 0,25
	Chè	0,35 ± 0,02	5,41 ± 0,27	14.350 ± 324		
Trám đen + cà phê	Trám đen	7,0 ± 0,4	13,38 ± 0,67	120 ± 6	0,22 ± 0,01	12,0 ± 0,20
	Cà phê	2,3 ± 0,1	3,8 ± 0,2	4.250 ± 213		
Cà phê trồng thuần		1,75 ± 0,09	4,22 ± 0,21	4.800 ± 240	0	3,0 ± 0,15
Chè trồng thuần		0,46 ± 0,02	3,35 ± 0,17	14.500 ± 215	0	2,8 ± 0,10

Kết quả cho thấy: Tầng cây cao trong các mô hình NLKH tại Sơn La có chiều cao dao động 3,37 - 9,50 m và đường kính  $D_{1,3}$  từ 3,85 - 16,77 cm. Giổi găng (9,10 m; 16,77 cm) và Giổi xanh (9,39 m; 13,49 cm) đạt kích thước lớn nhất. Các loài cây ăn quả như Mận tam hoa và nhãn có chiều cao trung bình (3,37 - 3,40 m) và đường kính 6,65 - 9,41 cm. Mắc ca đạt 6,19 m; 10,5 cm khi trồng với cà phê và 3,75 m; 3,85 cm khi trồng với chè. Mắc khén đạt 6,78 m; 8,2 cm trong tổ hợp với cà phê và 9,5 m; 15,29 cm trong tổ hợp với chè. Kết quả cho thấy sự khác biệt về sinh trưởng giữa các tổ hợp, phản ánh ảnh hưởng của cấu trúc tầng và điều kiện tàn che.

Tầng cây dưới gồm cà phê và chè. Cà phê trong các mô hình NLKH có chiều cao 1,20 - 2,26 m và đường kính 2,31- 4,27 cm, tương đương hoặc

thấp hơn so với cà phê thuần (1,75 m; 4,22 cm). Chè dưới tán có chiều cao 0,35 - 0,45 m và đường kính 2,85 - 5,41 cm, tương đương hoặc cao hơn chè thuần (0,46 m; 3,35 cm), cho thấy khả năng thích nghi tương đối tốt trong điều kiện tán che thấp - trung bình.

Mật độ tầng cây cao hiện tại dao động 80 - 300 cây/ha; mật độ cà phê 4.250 - 4.800 cây/ha; mật độ chè 14.300 - 14.500 cây/ha. Độ tàn che biến động trong khoảng 0,20 - 0,40 ở hầu hết các mô hình NLKH. Theo khuyến cáo kỹ thuật của FAO & CIRAD (2017), trong các hệ thống cà phê NLKH, mật độ cây gỗ che bóng thường được duy trì trong khoảng 70 - 150 cây/ha, với độ tàn che tối ưu từ 30 - 50% nhằm đảm bảo cân bằng giữa sinh trưởng cây trồng và chức năng sinh thái của hệ thống. Theo Viện Khoa học

Lâm nghiệp Việt Nam (2020), các mô hình NLKH vùng miền núi có mật độ cây gỗ phổ biến 100 - 200 cây/ha và độ tán che 0,2 - 0,4. So sánh với kết quả nghiên cứu (80 - 300 cây/ha; tán che 0,20 - 0,40) cho thấy phần lớn mô hình đạt hoặc tiệm cận ngưỡng khuyến cáo. Tuy nhiên, các mô hình có mật độ 80 cây/ha và tán che < 0,25 chưa đảm bảo yêu cầu che bóng theo FAO & CIRAD (2017), trong khi các mô hình có mật độ 300 cây/ha vượt ngưỡng khuyến cáo, tiềm ẩn cạnh tranh ánh sáng và dinh dưỡng. Do đó, cần điều chỉnh thông qua quản lý tán và mật độ nhằm tối ưu cấu trúc hệ thống.

Khối lượng vật rơi rụng của các mô hình NLKH dao động 5 - 18 tấn/ha/năm, cao hơn rõ rệt so với mô hình thuần (cà phê thuần: 3,0 ± 0,15 tấn/ha/năm; chè thuần: 2,8 ± 0,10 tấn/ha/năm).

Mô hình Nhãn + cà phê đạt giá trị cao nhất (18 ± 0,15 tấn/ha/năm), tiếp đến là Mận tam hoa + cà phê (16 ± 0,10 tấn/ha/năm) và Giổi găng + cà phê (14 ± 0,25 tấn/ha/năm). Sự gia tăng lượng thảm mục ở các mô hình đa tầng là nguồn bổ sung hữu cơ quan trọng cho đất, tạo cơ sở để xem xét mối liên hệ với trữ lượng carbon hữu cơ trong các phần tiếp theo.

Tổng hợp theo tiêu chuẩn kỹ thuật cho thấy một số mô hình đạt hoặc tiệm cận khuyến cáo và có thể duy trì bằng quản lý tán hợp lý; một số mô hình có mật độ tầng cao thấp hơn chuẩn, có thể hạn chế khả năng che phủ lâu dài; trong khi một số mô hình sát ngưỡng trên cần kiểm soát tán che để tránh cạnh tranh ánh sáng khi cây trưởng thành. Kết quả được tổng hợp theo bảng 3.

**Bảng 3.** Mức độ phù hợp của các mô hình NLKH với tiêu chuẩn kỹ thuật

Mô hình	So với tiêu chuẩn	Định hướng điều chỉnh
Giổi găng + cà phê	Thấp hơn chuẩn mật độ cây gỗ	Bổ sung cây gỗ hoặc điều chỉnh phân bố
Mắc ca + cà phê	Đạt chuẩn	Duy trì, quản lý tán hợp lý
Mắc khén + cà phê	Đạt chuẩn	Duy trì, quản lý tán hợp lý
Trám đen + cà phê	Đạt chuẩn	Theo dõi tán che khi cây lớn
Mận tam hoa + cà phê	Sát ngưỡng tối đa	Giảm mật độ hoặc tỉa cành khi tán che tăng
Nhãn + cà phê	Sát ngưỡng tối đa	Giảm mật độ hoặc tỉa cành khi tán che tăng
Keo dậu + cà phê	Đạt mật độ, tán che cao	Tỉa cành thường xuyên
Chè + Giổi xanh, Mắc khén, Mắc ca	Tầng dưới đạt chuẩn, tầng cao biến động	Kiểm soát chiều cao tầng cao, duy trì đốn ngọn chè

Khối lượng vật rơi rụng giữa các mô hình khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ), cho thấy cấu trúc và mức độ che phủ thảm thực vật là yếu tố quan trọng chi phối lượng sinh khối hữu cơ bổ sung cho đất.

**4.2. Một số tính chất đất ở khu vực**

Bảng 4 tổng hợp kết quả phân tích một số tính chất của đất dưới các mô hình nghiên cứu tại khu vực.

**Bảng 4.** 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 <sub>2</sub> O	Độ ẩm tuyệt đối (%)	Chất dễ tiêu (meq/100 g đất)			Thành phần cơ giới đất (%)		
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	< 0,002 mm	0,02-0,002 mm	2,0-0,02 mm
Mận tam hoa + cà phê	0-20	5,50 ± 0,28	7,78 ± 0,39	3,32 ± 0,17	1,423 ± 0,071	11,025 ± 0,551	35,11 ± 1,76	47,28 ± 2,36	15,97 ± 0,80
	20-40	5,00 ± 0,25	8,10 ± 0,41	3,16 ± 0,16	1,274 ± 0,064	10,563 ± 0,528	36,65 ± 1,83	48,40 ± 2,42	16,59 ± 0,83
Nhãn + cà phê	0-20	5,60 ± 0,28	5,12 ± 0,26	2,71 ± 0,14	1,456 ± 0,073	4,018 ± 0,201	35,78 ± 1,79	46,87 ± 2,34	16,32 ± 0,82
	20-40	5,20 ± 0,26	5,98 ± 0,30	2,57 ± 0,13	1,182 ± 0,059	3,898 ± 0,195	36,24 ± 1,81	47,37 ± 2,37	17,42 ± 0,87
Giổi găng + cà phê	0-20	5,50 ± 0,28	5,17 ± 0,26	2,31 ± 0,12	0,725 ± 0,036	3,837 ± 0,192	32,15 ± 1,61	49,65 ± 2,48	17,23 ± 0,86
	20-40	5,30 ± 0,27	5,49 ± 0,27	1,90 ± 0,10	0,855 ± 0,043	4,063 ± 0,203	32,82 ± 1,64	50,20 ± 2,51	17,95 ± 0,90

Mô hình	Độ sâu tầng đất (cm)	pH H <sub>2</sub> O	Độ ẩm tuyệt đối (%)	Chất dễ tiêu (meq/100 g đất)			Thành phần cơ giới đất (%)		
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	< 0,002 mm	0,02-0,002 mm	2,0-0,02 mm
Mắc ca + cà phê	0 - 20	6,00 ± 0,30	6,51 ± 0,33	2,55 ± 0,13	2,349 ± 0,117	5,513 ± 0,276	33,09 ± 1,65	44,89 ± 2,24	19,86 ± 0,99
	20-40	5,60 ± 0,28	7,36 ± 0,37	2,26 ± 0,11	1,929 ± 0,096	5,181 ± 0,259	34,06 ± 1,70	46,39 ± 2,32	21,71 ± 1,09
Keo dậu + cà phê	0-20	5,60 ± 0,28	5,21 ± 0,26	2,35 ± 0,12	1,526 ± 0,076	5,423 ± 0,271	37,85 ± 1,89	43,09 ± 2,15	18,16 ± 0,91
	20 - 40	5,40 ± 0,27	5,87 ± 0,29	1,88 ± 0,09	1,112 ± 0,056	5,131 ± 0,257	38,39 ± 1,92	43,54 ± 2,18	18,97 ± 0,95
Giới xanh + chè	0 - 20	5,40 ± 0,27	2,83 ± 0,14	3,12 ± 0,16	0,910 ± 0,046	4,150 ± 0,208	28,91 ± 1,45	47,51 ± 2,38	23,58 ± 1,18
	20 - 40	5,20 ± 0,26	2,94 ± 0,15	2,76 ± 0,14	0,770 ± 0,039	3,860 ± 0,193	29,15 ± 1,46	47,65 ± 2,38	23,20 ± 1,16
Mắc khén + cà phê	0 - 20	5,40 ± 0,27	8,23 ± 0,41	2,55 ± 0,13	1,620 ± 0,081	4,520 ± 0,226	33,37 ± 1,67	52,45 ± 2,62	14,18 ± 0,71
	20-40	5,20 ± 0,26	8,64 ± 0,43	2,05 ± 0,10	1,230 ± 0,062	3,860 ± 0,193	33,89 ± 1,69	52,19 ± 2,61	13,92 ± 0,70
Mắc ca + chè	0 - 20	5,40 ± 0,27	4,67 ± 0,23	3,12 ± 0,16	0,920 ± 0,046	4,130 ± 0,207	32,51 ± 1,63	46,32 ± 2,32	21,17 ± 1,06
	20 - 40	5,10 ± 0,26	5,14 ± 0,26	2,17 ± 0,11	0,680 ± 0,034	3,850 ± 0,193	33,27 ± 1,66	46,45 ± 2,32	20,28 ± 1,01
Mắc khén + chè	0 - 20	5,50 ± 0,28	4,54 ± 0,23	2,37 ± 0,12	0,910 ± 0,046	5,530 ± 0,277	32,85 ± 1,64	53,91 ± 2,70	13,24 ± 0,66
	20 - 40	5,10 ± 0,26	4,98 ± 0,25	1,95 ± 0,10	0,780 ± 0,039	4,850 ± 0,243	33,18 ± 1,66	53,78 ± 2,69	13,04 ± 0,65
Trám đen + cà phê	0 - 20	5,30 ± 0,27	7,18 ± 0,36	2,35 ± 0,12	1,310 ± 0,066	4,820 ± 0,241	32,45 ± 1,62	54,36 ± 2,72	13,19 ± 0,66
	20 - 40	5,10 ± 0,26	7,95 ± 0,40	2,17 ± 0,11	1,150 ± 0,058	3,890 ± 0,195	32,85 ± 1,64	54,24 ± 2,71	12,91 ± 0,65
Cà phê trồng thuần	0 - 20	5,30 ± 0,27	1,97 ± 0,10	2,13 ± 0,11	1,040 ± 0,052	3,340 ± 0,167	35,28 ± 1,76	44,36 ± 2,22	20,36 ± 1,02
	20 - 40	5,10 ± 0,26	2,91 ± 0,15	1,57 ± 0,08	0,710 ± 0,036	3,170 ± 0,159	34,28 ± 1,71	45,19 ± 2,26	20,53 ± 1,03
Chè trồng thuần	0 - 20	4,70 ± 0,24	1,48 ± 0,07	1,98 ± 0,10	1,010 ± 0,051	2,860 ± 0,143	32,28 ± 1,61	45,76 ± 2,29	21,96 ± 1,10
	20 - 40	4,30 ± 0,22	1,87 ± 0,09	1,62 ± 0,08	0,690 ± 0,035	2,430 ± 0,122	31,66 ± 1,58	44,38 ± 2,22	23,96 ± 1,20

Từ kết quả tại bảng 4 đã cho thấy:

Giá trị pH(H<sub>2</sub>O) của đất trong các mô hình dao động khoảng 4,3 - 6,0, phản ánh đặc trưng đất chua đến chua nhẹ phổ biến của nhóm đất feralit vùng núi Sơn La. Trong đó, các mô hình Mắc ca + cà phê, Mận tam hoa + cà phê, Keo dậu + cà phê và Giới găng + cà phê có giá trị pH cao hơn (khoảng 5,4 - 6,0), trong khi mô hình chè thuần loài có pH thấp nhất (khoảng 4,3 - 4,7). Sự khác biệt này cho thấy các hệ thống có tầng cây gỗ hoặc cấu trúc thảm thực vật đa dạng có thể góp phần điều hòa phản ứng đất thông qua quá trình tích lũy và phân giải vật rơi rụng, từ đó bổ sung chất hữu cơ và thúc đẩy quá trình tuần hoàn dinh dưỡng trong đất (FAO, 2006).

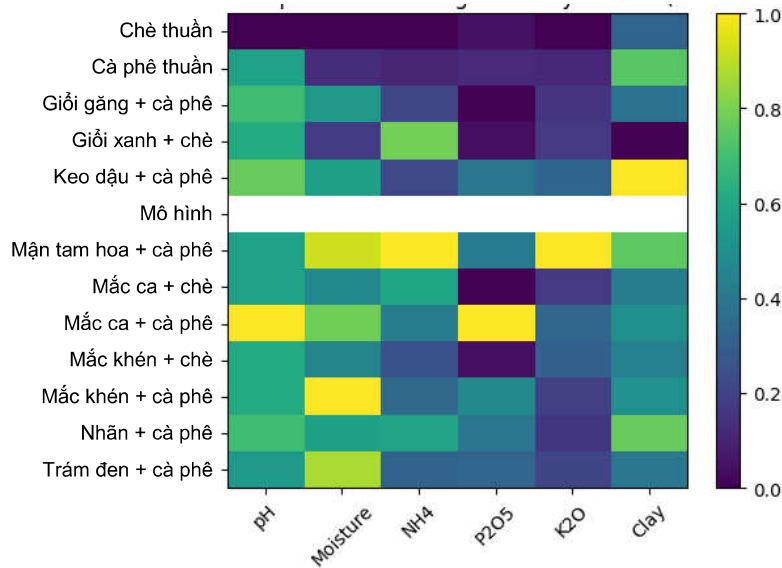
Độ ẩm đất giữa các mô hình dao động từ 1,48 - 8,64%, trong đó một số mô hình NLKH như Mắc khén + cà phê và Mận + cà phê có giá trị cao hơn so với các mô hình còn lại. Điều này cho thấy vai trò của lớp che phủ thảm thực vật và vật rơi rụng trong việc hạn chế bốc hơi nước, góp phần duy trì ẩm độ đất.

Hàm lượng NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dễ tiêu trong đất biến động trong khoảng 1,57 - 3,32 mg/100 g đất, phản

ánh khả năng cung cấp đạm của đất ở mức trung bình. Một số mô hình NLKH như Mận tam hoa + cà phê và Giới xanh + chè có giá trị NH<sub>4</sub><sup>+</sup> cao hơn, cho thấy ảnh hưởng của tàn dư hữu cơ và quá trình khoáng hóa đạm trong đất dưới các hệ thống thảm thực vật khác nhau.

Hàm lượng P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dễ tiêu dao động từ 0,68 - 2,35 mg/100 g đất, trong khi K<sub>2</sub>O dễ tiêu biến động từ 2,43 - 11,025 mg/100 g đất, cho thấy sự khác biệt nhất định về khả năng cung cấp dinh dưỡng giữa các mô hình. Các mô hình có thảm thực vật đa tầng và lượng vật rơi rụng lớn có xu hướng duy trì hàm lượng dinh dưỡng đất ổn định hơn thông qua quá trình phân giải chất hữu cơ và tái tuần hoàn dinh dưỡng trong đất (Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam, 2012).

Về thành phần cơ giới, đất tại khu vực nghiên cứu chủ yếu thuộc nhóm đất thịt đến thịt sét, với hàm lượng sét dao động khoảng 28,91 - 38,39%, cho thấy đất có khả năng giữ nước và giữ dinh dưỡng tương đối tốt, tạo điều kiện thuận lợi cho sinh trưởng của cây trồng trong các mô hình NLKH. Kết quả so sánh tổng hợp các chỉ tiêu đất được thể hiện ở hình 1.



**Hình 1.** Biểu đồ so sánh tính chất đất giữa các mô hình NLKH (Heatmap)

Biểu đồ Heatmap cho phép trực quan hóa sự khác biệt tương đối về các chỉ tiêu tính chất đất giữa các mô hình nghiên cứu. Giá trị pH của đất dao động từ 4,3 đến 6,0, trong đó mô hình Mắc ca + cà phê có pH cao nhất, trong khi Chè thuần có pH thấp hơn. Độ ẩm đất có xu hướng cao hơn ở các mô hình NLKH như Mắc khén + cà phê và Mận + cà phê, phản ánh vai trò của tầng tán cây và vật rơi rụng trong duy trì ẩm độ đất. Hàm lượng K<sub>2</sub>O dễ tiêu cao nhất ở mô hình Mận + cà phê, trong khi P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dễ tiêu cao ở mô hình Mắc ca + cà phê. Về thành phần cơ giới, đất tại các mô hình chủ yếu thuộc nhóm đất thịt đến thịt sét, với tỷ lệ sét dao động khoảng 28,9 - 38,4%, cao nhất ở mô hình Keo dậu + cà phê. Những khác biệt này cho thấy các

hệ thống NLKH có thể góp phần cải thiện một số tính chất đất thông qua quá trình tích lũy vật rơi rụng và tuần hoàn dinh dưỡng.

Ngoài ra, kết quả phân tích cũng cho thấy mối liên hệ chặt chẽ giữa hàm lượng carbon hữu cơ, chất hữu cơ và dung trọng đất, cho thấy vai trò quan trọng của vật rơi rụng và quá trình tích lũy hữu cơ trong cải thiện chất lượng đất. Xu hướng này cũng đã được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu về đất trong hệ thống NLKH (Six *et al.*, 2002; Cardinael *et al.*, 2017).

**4.3. Hàm lượng chất hữu cơ, dung trọng và lượng carbon tích lũy tại khu vực**

Kết quả phân tích được tổng hợp ở bảng 5.

**Bảng 5.** 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/cm <sup>3</sup> )	Chất hữu cơ (%)	Lượng carbon tích lũy (tấn/ha)	Tổng carbon tích lũy (tấn/ha)
Mận tam hoa + cà phê	0-20	1,36 ± 0,07	5,1 ± 0,26	8,05 ± 0,40	15,96 ± 0,7
	20-40	1,52 ± 0,08	4,5 ± 0,23	7,91 ± 0,40	
Nhãn + cà phê	0-20	1,31 ± 0,07	4,98 ± 0,25	7,57 ± 0,38	15,02 ± 0,75
	20-40	1,53 ± 0,05	4,2 ± 0,21	7,45 ± 0,37	
Giổi găng + cà phê	0-20	1,26 ± 0,06	5,98 ± 0,30	8,74 ± 0,44	17,23 ± 0,86
	20-40	1,44 ± 0,07	5,08 ± 0,25	8,49 ± 0,42	
Mắc ca + cà phê	0-20	1,12 ± 0,06	4,06 ± 0,20	5,27 ± 0,26	10,69 ± 0,53
	20-40	1,34 ± 0,04	3,49 ± 0,17	5,42 ± 0,27	

Mô hình	Độ sâu tầng đất (cm)	Dung trọng (g/cm <sup>3</sup> )	Chất hữu cơ (%)	Lượng carbon tích lũy (tấn/ha)	Tổng carbon tích lũy (tấn/ha)
Keo dậu + cà phê	0-20	1,18 ± 0,06	4,93 ± 0,25	6,75 ± 0,34	12,43± 0,62
	20-40	1,44 ± 0,07	3,4 ± 0,17	5,68 ± 0,28	
Giổi xanh + chè	0-20	1,34 ± 0,07	4,67 ± 0,23	7,26 ± 0,36	14,11± 0,71
	20-40	1,40 ± 0,05	4,22 ± 0,21	6,85 ± 0,34	
Mắc khén + cà phê	0-20	1,22 ± 0,06	4,68 ± 0,23	6,62 ± 0,33	12,79± 0,64
	20-40	1,35 ± 0,07	3,94 ± 0,20	6,17 ± 0,31	
Mắc ca + chè	0 -20	1,30 ± 0,04	4,18 ± 0,21	6,30 ± 0,32	11,64± 0,58
	20- 40	1,34 ± 0,05	3,43 ± 0,17	5,33 ± 0,27	
Mắc khén + chè	0-20	1,32 ± 0,05	2,81 ± 0,14	4,30 ± 0,22	8,07± 0,40
	20-40	1,40 ± 0,04	2,32 ± 0,12	3,77 ± 0,19	
Trám đen + cà phê	0-20	1,21 ± 0,06	4,58 ± 0,23	6,43 ± 0,32	12,45± 0,62
	20-40	1,32 ± 0,03	3,93 ± 0,20	6,02 ± 0,30	
Cà phê trồng thuần	0-20	1,40 ± 0,04	1,58 ± 0,08	2,57 ± 0,13	4,17± 0,21
	20-40	1,45 ± 0,03	0,95 ± 0,05	1,60 ± 0,08	
Chè trồng thuần	0-20	1,45 ± 0,05	1,42 ± 0,07	2,39 ± 0,12	3,91± 0,20
	20-40	1,52 ± 0,08	0,86 ± 0,04	1,52 ± 0,08	

Kết quả từ bảng 5 đã thể hiện:

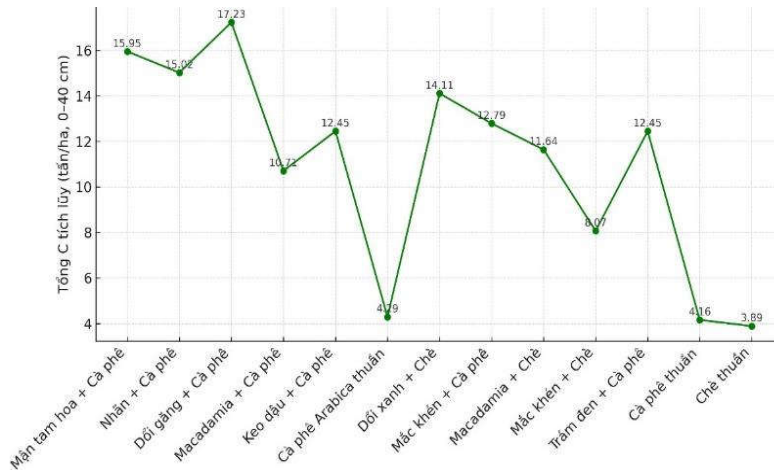
- Dung trọng đất: Dung trọng tầng mặt (0 - 20 cm) trong các mô hình NLKH dao động từ 1,12 - 1,45 g/cm<sup>3</sup>, nhìn chung thấp hơn so với cà phê thuần (1,40 g/cm<sup>3</sup>) và chè thuần (1,45 g/cm<sup>3</sup>). Dung trọng thấp phản ánh cấu trúc đất tơi xốp, thuận lợi cho rễ và vi sinh vật, là đặc trưng tích cực của hệ thống NLKH (FAO, 2017). Một số mô hình như Mắc ca + cà phê (1,12 g/cm<sup>3</sup>) và Giổi găng + cà phê (1,26 g/cm<sup>3</sup>) minh họa hiệu quả cải thiện độ tơi xốp rõ rệt.

- Hàm lượng chất hữu cơ (OM): Hàm lượng OM tầng mặt ở hầu hết mô hình NLKH (> 4,0%) cao hơn nhiều so với mô hình cây thuần (chè thuần 1,47%; cà phê thuần 1,58%). Đặc biệt, Giổi găng + cà phê đạt 5,98%, Mận tam hoa + cà phê 5,10%, làm rõ vai trò của thảm mục, tán che và chu trình dinh dưỡng khép kín trong NLKH (Palm *et al.*, 2005).

- Lượng carbon tích lũy (SOC): Hàm lượng SOC ở tầng đất mặt dao động từ 4,30 - 8,74 tấn/ha; tổng lượng carbon tích lũy trong tầng đất 0 - 40 cm của các mô hình NLKH đạt 8,07 - 17,23 tấn/ha, cao gấp khoảng 2 - 4 lần so với mô hình cây trồng thuần. Trong đó, mô hình Giổi găng + cà phê có lượng SOC tích lũy cao

nhất (17,23 tấn/ha), tiếp đến là mô hình Mận tam hoa + cà phê (15,95 tấn/ha) và Giổi xanh + chè (14,11 tấn/ha). Kết quả này cho thấy các hệ thống NLKH không chỉ góp phần duy trì và cải thiện độ phì đất mà còn có tiềm năng tăng cường tích lũy carbon trong đất, qua đó góp phần giảm phát thải và thích ứng với biến đổi khí hậu. Hàm lượng carbon hữu cơ trong đất chịu ảnh hưởng mạnh bởi lượng vật rơi rụng và quá trình phân giải chất hữu cơ trong hệ sinh thái đất; các hệ thống có độ che phủ cao và nguồn bổ sung hữu cơ thường xuyên thường có xu hướng tích lũy carbon đất cao hơn (FAO, 2017).

Kết quả nghiên cứu cũng khẳng định NLKH cải thiện cấu trúc (dung trọng thấp), nâng cao hàm lượng OM và khả năng tích lũy SOC so với mô hình cây thuần. Sự khác biệt này phản ánh ảnh hưởng của đa tầng tán, mật độ cây hợp lý và lượng vật rơi rụng cao, giúp bảo vệ đất và giảm xói mòn. Những phát hiện này có ý nghĩa thực tiễn lớn trong quản lý bền vững đất nông nghiệp miền núi và triển khai các chính sách giảm phát thải khí nhà kính trong nông nghiệp. Kết quả nghiên cứu được cụ thể hóa ở biểu đồ hình 2.



**Hình 2.** Biểu đồ tổng lượng carbon hữu cơ tích lũy trong đất của các mô hình

Kết quả từ biểu đồ khẳng định tổng lượng carbon hữu cơ tích lũy (0 - 40 cm) ở các mô hình NLKH dao động 8,07 - 17,23 tấn/ha, cao hơn đáng kể so với mô hình cây thuần (cà phê thuần: 4,16 tấn/ha; chè thuần: 3,89 tấn/ha). Mô hình Giổi găng + cà phê đạt giá trị cao nhất (17,23 tấn/ha), tiếp theo Mận tam hoa + cà phê (15,95 tấn/ha) và Giổi xanh + chè (14,11 tấn/ha), phản ánh tác động tích cực của tán che đa tầng và lượng vật rơi rụng tới tích lũy carbon. Ngược lại, Mắc ca + cà phê và Mắc khén + chè có giá trị thấp hơn (10,71 và 8,07 tấn/ha), cho thấy mật độ, cấu trúc tán và chu kỳ sinh trưởng ảnh hưởng đáng kể đến SOC.

Kết quả này phù hợp với nhận định của Nair và đồng tác giả (2009) đã cho rằng hệ thống NLKH thường tích lũy carbon hữu cơ trong đất cao hơn 1,5 - 3 lần so với canh tác thuần, nhờ giảm xói mòn, tăng bổ sung hữu cơ và cải thiện điều kiện vi sinh vật. Điều này cũng phù hợp với nghiên cứu của Palm và đồng tác giả (2005) khi nhấn

mạnh vai trò của che phủ và thảm mục trong duy trì và gia tăng SOC ở vùng nhiệt đới.

Như vậy, các mô hình NLKH có tổng SOC cao gấp 2 - 4 lần so với mô hình cây thuần, chứng minh vai trò quan trọng trong chiến lược nông nghiệp phát thải thấp và mục tiêu Net Zero vào năm 2050 của Việt Nam.

Để làm rõ mối quan hệ giữa SOC và các yếu tố cấu trúc thảm thực vật cũng như tính chất đất, nghiên cứu tiến hành phân tích tương quan Pearson. Kết quả cho thấy SOC có tương quan rất chặt với hàm lượng chất hữu cơ trong đất (OM%) ( $r = 0,90$ ;  $p < 0,001$ ) và khối lượng vật rơi rụng ( $r = 0,81$ ;  $p < 0,001$ ). Các chỉ tiêu cấu trúc cây gỗ như chiều cao ( $H_{vn}$ ) và đường kính ( $D_{1,3}$ ) có tương quan ở mức trung bình với SOC ( $r \approx 0,56$ ;  $p < 0,05$ ). Điều này cho thấy nguồn bổ sung vật rơi rụng và hàm lượng hữu cơ đất là những yếu tố quan trọng chi phối quá trình tích lũy carbon hữu cơ trong đất của các mô hình NLKH.

**Bảng 6.** Hệ số tương quan Pearson giữa SOC và một số yếu tố liên quan

Chỉ tiêu	SOC	OM	Vật rơi rụng	$H_{vn}$	$D_{1,3}$
SOC	1				
OM	0,90***	1			
Vật rơi rụng	0,81***		1		
$H_{vn}$	0,56*			1	
$D_{1,3}$	0,57*				1

Ghi chú: \*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

## V. KẾT LUẬN

Các mô hình NLKH tại Sơn La có đặc điểm đất và khả năng tích lũy carbon hữu cơ vượt trội so với mô hình cây trồng thuần. pH, độ ẩm, hàm lượng chất hữu cơ (OM) và tổng SOC (0 - 40 cm) đều cao hơn rõ rệt, với giá trị SOC 8,07 - 17,23 tấn/ha, gấp 2 - 4 lần so với cà phê hoặc chè thuần. Các tổ hợp Giới gừng + cà phê, Mật tam hoa + cà phê và Giới xanh + chè cho thấy tiềm năng tích lũy carbon nổi bật nhờ thảm

mục dồi dào và tán che đa tầng. Kết quả này khẳng định NLKH không chỉ là hệ thống canh tác phù hợp cho vùng núi phía Bắc, góp phần bảo vệ đất dốc và nâng cao dịch vụ hệ sinh thái, mà còn là giải pháp thúc đẩy kinh tế xanh và kinh tế tuần hoàn trong nông nghiệp. Do đó, việc nhân rộng các mô hình NLKH có ý nghĩa quan trọng trong phát triển nông nghiệp phát thải thấp, hướng tới thực hiện cam kết Net Zero của Việt Nam.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nair, P.K.R., 2012. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: A reality-check. *Agroforestry Systems*, 86(2): 243 - 253.
2. Jose, S., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76(1): 1 - 10.
3. Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B.G., Dupraz, C., Chenu, C., 2017. Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon: A case study in a Mediterranean context. *Geoderma*, 289: 10 - 19.
4. Nguyễn Huy Thuán, Phạm Văn Điền, Phùng Đức Minh, Nguyễn Minh Thanh, 2025. Lượng carbon hữu cơ tích lũy trong đất dưới mô hình nông lâm kết hợp tại xã Chiềng Mai, tỉnh Sơn La. *Tap chí Khoa học Lâm nghiệp*, 14(5): 060 - 068. DOI: 10.55250/jo.vnuf.14.5.2025.060-068.
5. IPCC, 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories: Agriculture, forestry and other land use (AFOLU), Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
6. Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam, 2020. Kỹ thuật trồng một số mô hình nông lâm kết hợp vùng núi phía Bắc. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
7. Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam, 2012. Hướng dẫn phân tích đất, nước, phân bón, cây trồng. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
8. FAO, 2006. Guidelines for soil description (4th edition). FAO, Rome.
9. FAO, 2015. Soil bulk density determination: Core method. FAO, Rome.
10. FAO, 2017. Soil Organic Carbon: The Hidden Potential. FAO, Rome.
11. FAO & CIRAD, 2017. Agroforestry systems for coffee and tea in Vietnam - Technical guidelines. FAO & CIRAD, Hanoi.
12. 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.
13. Palm, C.A., Alegre, J., Arevalo, L., Mutuo, P.K., Mosier, A., Coe, R., Cerri, C.C., 2005. Nitrogen cycling in tropical agroforestry systems: Myths and realities. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61: 197 - 207.
14. Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., Paustian, K., 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for carbon saturation of soils. *Plant and Soil*, 241: 155 - 176.

**Email tác giả liên hệ:** thanhnm@vnuf.edu.vn

**Ngày nhận bài:** 03/02/2026

**Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa:** 23/02/2026; 25/02/2026

**Ngày duyệt đăng:** 26/03/2026