

Nghiên cứu vòng tuần hoàn các-bon theo chuỗi giá trị rừng trồng sản xuất Quế ở Lào Cai

Trần Huệ Chi, Triệu Đình Lộc, Lê Thị Yến Nhi, Lê Hồng Liên*, Lê Sỹ Doanh
Trường Đại học Lâm nghiệp

Carbon cycling along the value chain of Cinnamon (*Cinnamomum cassia* Blume) production plantation in Lao Cai province

Tran Hue Chi, Trieu Dinh Loc, Le Thi Yen Nhi, Le Hong Lien*, Le Sy Doanh
Vietnam National University of Forestry
*Corresponding author: lienlh@vnuf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.15.8.2026.011-017>

TÓM TẮT

Cây Quế (*Cinnamomum cassia* Blume) là loài lâm sản ngoài gỗ chiến lược của Việt Nam với kim ngạch xuất khẩu đạt 274,5 triệu USD năm 2024. Nghiên cứu được thực hiện nhằm định lượng vòng tuần hoàn các-bon theo chuỗi giá trị Quế tại ba xã (Nghĩa Đô, Xuân Hòa, Phong Hải tỉnh Lào Cai) thông qua kết hợp ba phương pháp: (1) Đo đạc sinh khối thực địa theo IPCC Tier 2 và TCVN 14287:2024 trên 27 ô tiêu chuẩn, 655 cây mẫu; (2) Kiểm kê phát thải khí nhà kính theo khung LCA qua phỏng vấn 112 hộ gia đình; và (3) Tính cân bằng các-bon ròng hệ sinh thái (NECB). Kết quả cho thấy: tổng sinh khối trên mặt đất (AGB) đạt 75,17 tấn/ha, tương đương 129,66 tCO₂e/ha; sinh khối dưới mặt đất (BGB) đạt thêm 18,04 tấn/ha, tương đương 31,12 tCO₂e/ha; tổng các-bon tích lũy (AGB + BGB) đạt 160,78 tCO₂e/ha/năm; tốc độ hấp thụ các-bon đạt đỉnh 0,783 tC/ha/năm ở giai đoạn 5–9 tuổi. Tổng phát thải toàn chuỗi ước tính 7075,8 kgCO₂e/ha/năm, trong đó canh tác và chăm sóc Quế là điểm nóng phát thải lớn nhất, chiếm 92%. Cân bằng các-bon ròng NECB = +153,70 tCO₂e/ha/năm, khẳng định hệ sinh thái rừng trồng Quế tại Lào Cai đóng vai trò là bể hấp thụ các-bon ròng.

ABSTRACT

Cinnamon (*Cinnamomum cassia* Blume) is a strategic non-timber forest product of Vietnam, generating USD 274.5 million in export revenue in 2024. This study was designed to quantify the carbon cycling along the cinnamon value chain across three communes (Nghia Do, Xuan Hoa, Phong Hai of Lao Cai province) through the integration of three methods: (1) field-based biomass measurement following IPCC Tier 2 and TCVN 14287:2024 on 27 sample plots (OTCs) with 655 sample trees; (2) GHG emission inventory using an LCA framework (ISO 14067:2018) based on interviews with 112 households; (3) calculation of net ecosystem carbon balance (NECB). Results show that total aboveground biomass reaches 75.17 t/ha, equivalent to 129.66 tCO₂e/ha/year; belowground biomass (BGB) reaches 18.04 t/ha, equivalent to 31.12 tCO₂e/ha; the total carbon stock from AGB and BGB is therefore estimated at 160.78 tCO₂e/ha/year; the carbon sequestration rate peaks at 0.783 tC/ha/year during the 5–9 year stage. Total value chain emissions were estimated at 7,075.7 kg CO₂e/ha/year, with cultivation and field management representing the primary emission hotspot, accounting for 92%. The net ecosystem carbon balance (NECB = +153.70 tCO₂e/ha/cycle) confirmed that cinnamon plantation ecosystems in Lao Cai act as a strong net carbon sink.

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 27/04/2026
Ngày phản biện: 25/05/2026
Ngày quyết định đăng: 22/06/2026

Từ khóa:

Các-bon, chuỗi giá trị, Lào Cai, NECB, Quế.

Keywords:

Carbon cycle, cinnamon, Lao Cai, NECB, value chain.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu toàn cầu đang đặt ra yêu cầu cấp thiết đối với việc định lượng và quản lý dòng các-bon trong các hệ sinh thái sản xuất. Nồng độ CO₂ trong khí quyển đã vượt ngưỡng 421 ppm vào năm 2023, thúc đẩy cộng đồng quốc tế tăng cường triển khai các giải pháp hấp thụ các-bon dựa vào tự nhiên, trong đó hệ sinh thái rừng đóng vai trò trung tâm [1].

Trong bối cảnh đó, Việt Nam đã thể hiện cam kết mạnh mẽ thông qua mục tiêu đạt phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050 và Nghị định 06/2022/NĐ-CP [2] đã thiết lập nền tảng pháp lý ban đầu cho việc hình thành thị trường tín chỉ các-bon trong nước, dự kiến thí điểm từ năm 2025. Khung thể chế này tiếp tục được hoàn thiện thông qua Nghị định 119/2025/NĐ-CP với việc chuẩn hóa hệ thống đo đạc, báo cáo và thẩm định (MRV) cũng như cơ chế phân bổ hạn ngạch phát thải, đồng thời được cụ thể hóa về mặt vận hành thị trường qua Nghị định 29/2026/NĐ-CP. Tuy nhiên, thách thức lớn hiện nay là sự thiếu hụt các bộ dữ liệu các-bon nền có độ tin cậy cao, đặc biệt là các hệ số đặc thù theo loài cây theo hướng dẫn của IPCC – yếu tố then chốt để đảm bảo tính minh bạch và khả năng kiểm chứng của các ước tính phát thải và hấp thụ các-bon.

Quế (*Cinnamomum cassia* Blume) là loài lâm sản ngoài gỗ có giá trị kinh tế cao và ý nghĩa chiến lược đối với xuất khẩu của Việt Nam. Tỉnh Lào Cai, với diện tích trồng Quế khoảng 60.800 ha, là vùng sản xuất trọng điểm, đồng thời đang chịu áp lực ngày càng gia tăng từ các yêu cầu quốc tế như Quy định chống phá rừng của Liên minh châu Âu (EUDR) năm 2025 và các tiêu chuẩn báo cáo Môi trường, Xã hội, Quản trị (ESG), vốn đòi hỏi dữ liệu các-bon minh bạch, có thể truy xuất và xác minh trên toàn bộ chuỗi cung ứng.

Tuy nhiên, hiện vẫn thiếu các nghiên cứu hệ thống về định lượng sinh khối và trữ lượng các-bon của rừng trồng Quế cùng đánh giá phát thải khí nhà kính (CO₂e) từ các công đoạn trong chuỗi giá trị như khai thác, vận chuyển và xây dựng cân bằng các-bon ròng cho toàn bộ chuỗi giá trị của một loài lâm sản ngoài gỗ cụ thể tại

Việt Nam. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này nhằm xây dựng bộ hệ số các-bon đặc thù cho cây quế tại Lào Cai, tích hợp phân tích sinh khối, trữ lượng và phát thải trong toàn chuỗi giá trị, qua đó bổ sung cơ sở dữ liệu phục vụ kiểm kê khí nhà kính và hỗ trợ phát triển thị trường tín chỉ các-bon cũng như chứng nhận sản phẩm lâm nghiệp bền vững.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mục tiêu nghiên cứu

(i) Đánh giá quá trình hấp thụ, phát thải và lưu trữ CO₂e trong toàn bộ chuỗi giá trị của cây Quế; (ii) Cung cấp bộ hệ số tính toán các-bon đặc thù cho cây Quế (*Cinnamomum cassia* Blume) và (iii) Xây dựng hệ thống bản đồ phân bố trữ lượng, góp phần hoàn thiện dữ liệu phục vụ quá trình kiểm kê phát thải trong chuỗi giá trị lâm nghiệp.

2.2. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại ba xã đại diện cho hai mô hình chuỗi giá trị Quế tại tỉnh Lào Cai: xã Nghĩa Đô và xã Xuân Hòa đại diện cho mô hình canh tác hộ gia đình phân tán truyền thống; xã Phong Hải đại diện cho mô hình liên kết công nghiệp. Thời gian thực hiện từ tháng 8/2025 đến tháng 4/2026.

Phạm vi nghiên cứu gồm ba giai đoạn: (1) phát thải và lưu trữ các-bon từ rừng trồng; (2) khai thác, sơ chế tại hiện trường; (3) vận chuyển nội tỉnh.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp điều tra và thu thập dữ liệu

Phương pháp điều tra và khảo sát thực địa được thiết kế theo hai cấu phần độc lập nhưng có mối liên hệ hỗ trợ lẫn nhau, phản ánh hai nhu cầu thu thập dữ liệu cốt lõi của nghiên cứu, bao gồm: (i) điều tra lâm học tại rừng trồng nhằm xác định trữ lượng các-bon tích lũy trong sinh khối, (ii) điều tra chuỗi giá trị thông qua phỏng vấn các tác nhân liên quan nhằm thu thập dữ liệu hoạt động phục vụ tính toán phát thải khí nhà kính tại từng khâu. Việc kết hợp hai cấu phần này nhằm tiếp cận toàn diện dòng các-bon, từ quá trình hấp thụ và lưu trữ trong hệ sinh thái rừng đến phát thải trong các hoạt động sản xuất, chế biến và tiêu thụ.

2.3.2. Điều tra, đo đạc sinh khối và tích lũy các-bon rừng trồng Quế

Trữ lượng các-bon sinh khối được xác định

theo phương pháp gián tiếp, tuân thủ TCVN 14287:2024 và cấp độ Tier 2 của IPCC (2006) [3, 4], bao gồm năm bước tính toán tuần tự (Bảng 1).

**Bảng 1. Quy trình tính toán sinh khối và trữ lượng các-bon rừng trồng Quế
Theo IPCC Tier 2 và TCVN 14287:2024**

Bước	Đại lượng	Công thức	Tham số chính	Căn cứ
1	AGB (kg/cây)	$AGB = 277,273 \times \left(\frac{D_{1.3}^2 \times Hmt}{10000} \right)^{0,947} \times 10^{-3};$ $Hmt = Hvn \times 1,05$	$D_{1.3}$ (cm), Hmt (m)	TCVN 14287:2024; Chave 2014
2	Tổng sinh khối (TB)	$TB = AGB \times (1 + R)$	$R = 0,24$ (IPCC Tier 2, $AGB < 125$ t/ha)	IPCC 2006, Vol.4; TCVN 14287:2024
3	Trữ lượng các-bon (C)	$C = TB \times CF$	$CF = 0,47$ (TCVN 14287:2024)	TCVN 14287:2024; IPCC 2006
4	CO ₂ tương đương	$CO_2 = C \times 44/12$	$44/12 = 3,667$ (phân tử lượng CO ₂ /C)	IPCC 2006; ISO 14067:2018
5	Quy đổi ha (C _{ha})	$C_{ha} = \frac{\sum C_i}{150} \times 10.000 \times 10^{-3}$	Diện tích OTC = 150 m ²	TCVN 14287:2024

Ghi chú: AGB — sinh khối trên mặt đất; TB — tổng sinh khối; CF — hệ số các-bon; OTC — ô tiêu chuẩn.

Thiết kế lấy mẫu áp dụng phương pháp phân tầng (Stratified Random Sampling) theo hai tiêu chí đồng thời: vị trí hành chính (ba xã) và cấp tuổi rừng (Cấp I: 2–4 năm; Cấp II: 5–9 năm; Cấp III: từ 11 năm trở lên). Tổng số 27 OTC được thiết lập (3 ô/cấp tuổi/xã × 3 cấp tuổi × 3 xã), mỗi OTC có diện tích 150 m² đảm bảo tối thiểu 20 cây để đáp ứng yêu cầu thống kê. Tổng số 655 cây mẫu được đo đạc (Nghĩa Đô: 215 cây; Xuân Hòa: 225 cây; Phong Hải: 215 cây), đảm bảo độ tin cậy thống kê 95% với sai số ≤10%. Hai chỉ tiêu đo tại hiện trường gồm đường kính ngang ngực ($D_{1.3}$) và chiều cao vút ngọn (Hvn), đo với độ chính xác 0,1 cm và 0,1 m.

Nghiên cứu này không tính đến lượng các-bon hữu cơ trong đất (SOC – Soil Organic Carbon) do thiếu dữ liệu đo đạc tầng đất tại thời điểm nghiên cứu. Theo IPCC (2006), SOC có thể đóng góp thêm 10–20% tổng trữ lượng các-bon của hệ sinh thái rừng trồng nhiệt đới, do đó giá trị NECB (cân bằng các-bon ròng) trong nghiên cứu này có thể bị đánh giá thấp hơn thực tế [3].

2.3.3. Phương pháp kiểm kê phát thải chuỗi giá trị thông qua phỏng vấn

Điều tra chuỗi giá trị thông qua phương

pháp phỏng vấn bán cấu trúc theo phiếu kết hợp quan sát thực địa [5]. Phiếu điều tra hộ canh tác Quế được thiết kế thống nhất, với nội dung phỏng vấn theo khung chuỗi giá trị của Kaplinsky và Morris (2001) [6] và tham chiếu khung LCA tập trung vào: (i) lượng phân bón, thuốc bảo vệ thực vật; (ii) nhiên liệu và điện tiêu thụ; (iii) khối lượng vận chuyển và cự ly; (iv) loại nhiên liệu và hiệu suất chưng cất tinh dầu; (v) phương thức xử lý phụ phẩm. Kiểm soát sai số qua ba cách đối chiếu chéo: hóa đơn vật tư, so sánh giữa các hộ cùng quy mô và đối chiếu với số liệu thứ cấp trong nước và quốc tế.

Đối tượng phỏng vấn là các hộ nông dân trực tiếp tham gia trồng và sản xuất Quế tại ba xã theo phương pháp phân tầng với tổng số hộ là 112 hộ cho toàn bộ khu vực nghiên cứu, trong đó xã Nghĩa Đô: 40 hộ, xã Xuân Hòa: 37 hộ, xã Phong Hải: 35 hộ. Số mẫu điều tra đều đảm bảo ngưỡng dung lượng mẫu tối thiểu theo tiêu chí thống kê thông dụng trong nghiên cứu nông lâm nghiệp.

Phát thải khí nhà kính toàn chuỗi được kiểm kê theo khung LCA bốn bước: (1) xác định mục tiêu và ranh giới hệ thống; (2) kiểm kê vòng đời (LCI); (3) đánh giá tác động (LCIA) theo chỉ số

GWP100; (4) diễn giải kết quả. Các nguồn phát thải được phân loại theo ba phạm vi: (1) phát thải trực tiếp từ đốt nhiên liệu, bón phân; (2) tiêu thụ điện lưới; (3) phát thải trong vật tư đầu vào và vận chuyển.

Nghiên cứu áp dụng ranh giới hệ thống theo cách tiếp cận "cradle-to-gate" theo ISO 14067:2018, bao gồm ba khâu: (1) canh tác và chăm sóc rừng trồng; (2) khai thác và sơ chế tại hiện trường; (3) vận chuyển nội tỉnh đến điểm tập kết [7]. Khâu chưng cất tinh dầu và vận chuyển liên tỉnh/xuất khẩu bị loại trừ do hạn chế về dữ liệu hoạt động sơ cấp tại thời điểm nghiên cứu, cũng như sự đa dạng lớn về công nghệ và nhiên liệu giữa các cơ sở chế biến. Việc loại trừ này có thể dẫn đến đánh giá thấp tổng phát thải chuỗi ước tính khoảng 15–30% dựa trên tham chiếu của Schmidt Rivera và cộng sự (2014) [5] đối với chuỗi giá trị quế tại Sri Lanka.

Công thức tổng quát tính phát thải tại mỗi khâu k:

$$E_k = \sum (AD_{k,i} \times EF_{k,i} \times GWP_{100,i})$$

Trong đó:

AD là dữ liệu hoạt động;

EF là hệ số phát thải theo IPCC 2006 hoặc hướng dẫn kiểm kê quốc gia [3, 8];

GWP100: CO₂ = 1; CH₄ = 27,9; N₂O = 273 (IPCC, 2021) [1].

Hệ số phát thải điện lưới lấy theo công bố hàng năm của Bộ Tài nguyên và Môi trường Việt Nam [9].

Theo IPCC (2006) cân bằng các-bon ròng (NECB) được tính theo công thức:

$$NECB = C_{bể} - E_{tổng}$$

Trong đó:

- C_{bể} là tổng lượng các-bon hấp thụ và lưu trữ trong toàn hệ thống, gồm hai thành phần: (1) Các-bon tích lũy trong sinh khối rừng theo mục 2.3.2; (2) Các-bon lưu trữ trong sản phẩm sau khai thác (vỏ quế khô, gỗ gia dụng) theo IPCC (2006) [3].

- E_{tổng} là tổng phát thải GHG của toàn chuỗi.

- NECB > 0 (C_{bể} > E_{tổng}): Chuỗi hoạt động như bể hấp thụ các-bon ròng, có tiềm năng tín chỉ các-bon theo Nghị định 06/2022/NĐ-CP [2].

- NECB < 0: chuỗi là nguồn phát thải ròng, cần can thiệp.

- NECB được tính theo hai cấp độ song song: (1) tCO₂e/ha/năm để so sánh giữa ba địa bàn; (2) tCO₂e/tấn sản phẩm để kết nối với thị trường các-bon.

Dữ liệu hoạt động (AD) được thu thập qua phỏng vấn bán cấu trúc 112 hộ trồng Quế, 15 cơ sở chế biến, 5 đơn vị xuất khẩu được thể hiện qua Bảng 2.

Bảng 2. Tổng hợp phương pháp tính phát thải GHG theo từng khâu chuỗi giá trị Quế

Khâu	Nguồn phát thải	Công thức/Hệ số	Hệ số phát thải	Scope	Căn cứ
Canh tác	N ₂ O từ phân đạm vô cơ/hữu cơ	$E = (F_{SN} + F_{ON}) \times EF_1 \times \frac{44}{28} \times GWP$	EF ₁ = 0,01 kgN ₂ O-N/kgN; GWP = 273	1	IPCC (2006)
Canh tác	CO ₂ từ vôi CaCO ₃	$E = M_{CaCO_3} \times 0,12 \times \frac{44}{12}$	—	1	IPCC (2006)
Canh tác	Phát thải nhúng trong vật tư đầu vào	$E = \sum (M_{Vật\ tư\ đầu\ vào} \times EF_{Vật\ tư\ đầu\ vào})$	—	3	IPCC (2006)
Cơ giới hóa	CO ₂ từ xăng/diesel	$E = V_{xăng/diesel} \times \rho \times EF_{xăng/diesel}$	Xăng: 2,263; Diesel: 2,603kgCO ₂ /L	1	IPCC (2006)
Cơ giới hóa	CO ₂ từ điện lưới	$E = \text{Lượng điện sử dụng} \times EF_{điện}$	EF _{điện} : 0,6766	2	Bộ TN&MT (2024)
Vận chuyển	CO ₂ từ phương tiện	$E = \text{Khối lượng vận chuyển} \times \text{Quãng đường vận chuyển} \times EF_{phương\ tiện}$	0,185–0,239 kgCO ₂ /tấn.km	1	IPCC (2006)

2.3.4. Phương pháp xử lý và phân tích số liệu

Toàn bộ số liệu được xử lý trên Microsoft Excel. Excel đảm nhận lưu trữ, tính toán theo công thức và phân tích độ nhạy. Các công thức tính toán sử dụng hệ số phát thải theo hướng dẫn của IPCC kết hợp với số liệu hoạt động thu thập tại khu vực nghiên cứu và các hệ số quốc gia phù hợp.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả phát thải trong chuỗi giá trị Quế tại khu vực nghiên cứu

Chuỗi giá trị Quế tại khu vực nghiên cứu được hệ thống thành ba khâu chính gồm canh tác, khai thác và vận chuyển, với các tác nhân chủ yếu là hộ trồng Quế, thương lái và đơn vị vận chuyển.

Kết quả kiểm kê phát thải theo phương pháp LCA từ các khâu trong chuỗi giá trị được tổng hợp trong Bảng 3 cho thấy tổng phát thải ước tính 7.075,7 kgCO₂e/ha/năm.

Bảng 3. Phát thải CO₂e theo các khâu chuỗi giá trị Quế tại Lào Cai

Khâu	Nguồn phát thải chính	Phát thải (kgCO ₂ e/ha/năm)	Tỷ lệ (%)
Canh tác & chăm sóc	N ₂ O từ phân bón NPK, N ₂ O đất, CO ₂ vôi, Scope 3 vật tư	6.521,73	92%
Cơ giới hóa & thu hoạch	Diesel máy cưa, vận chuyển nội đồng	441,97	6%
Vận chuyển nội tỉnh	Nhiên liệu diesel (Scope 3 → Scope 1)	112	2%
Tổng cộng		7.075,70	100

Nguồn: Kết quả kiểm kê phát thải theo LCA (ISO 14067:2018), 2025–2026.

Trong cơ cấu phát thải canh tác, sử dụng phân bón (NPK) là nguồn phát thải lớn nhất (32,2%), tiếp theo là cây giống (23,0%) và hóa chất BVTV (25,9%). Phân tích theo địa bàn cho thấy Xuân Hòa có cường độ phát thải cao nhất (1,019 kgCO₂e/kg) do thâm canh phân bón vô cơ mức cao (trung bình 1.591,67 kg NPK/ha/vụ), trong khi Phong Hải thấp nhất (0,888 kgCO₂e/kg) nhờ hướng sang phân hữu cơ theo yêu cầu liên kết chuỗi, song lại có phát thải năng lượng cao hơn do địa hình xa và dốc.

3.2. Tích lũy các-bon trong rừng trồng Quế theo cấp tuổi

Sinh khối và trữ lượng các-bon theo cấp tuổi rừng được tổng hợp trong Bảng 4. Tổng AGB đạt 75,17 tấn/ha, tương đương 129,66 tCO₂e/ha. Sinh khối dưới mặt đất (BGB) ước tính theo hệ số R = 0,24 (IPCC Tier 2) đạt 18,04 tấn/ha, tương đương 31,12 tCO₂e/ha. Tổng các-bon tích lũy (AGB + BGB) đạt 93,21 tấn/ha tương đương 160,78 tCO₂e/ha. AGB tăng mạnh từ cấp tuổi I lên II (từ 3,02 tăng lên 35,00 tấn/ha, tăng gấp 11,6 lần). Đây là giai đoạn rừng khép tán và đạt pha sinh trưởng mạnh, trước khi chậm lại từ cấp tuổi II sang III (từ 35,00 tăng chậm lên 37,14 tấn/ha, +6,1%), đặc trưng cho giai đoạn gần thành thực.

Bảng 4. Sinh khối và trữ lượng các-bon tích lũy theo cấp tuổi rừng Quế tại khu vực nghiên cứu

Cấp tuổi (năm)	Số OTC (ô)	Số cây mẫu	AGB (tấn/ha)	BGB (tấn/ha)	Tổng sinh khối TB (tấn/ha)	Các-bon (tC/ha)	CO ₂ e tích lũy (tấn/ha)	Tốc độ hấp thụ TB (tC/ha/năm)
Cấp I (2–4)	9	215	3,02	0,73	3,75	1,76	6,47	0,427
Cấp II (5–9)	9	225	35,00	8,40	43,40	20,40	74,87	0,783
Cấp III (≥11)	9	215	37,14	8,91	46,05	21,64	79,44	0,485
Cộng/ Bình quân	27	655	75,17	18,04	93,21	43,81	160,78	0,565

Ghi chú: CF = 0,47 (TCVN 14287:2024); R = 0,24 (IPCC Tier 2, AGB < 125 t/ha); BGB = AGB × R; TB = AGB + BGB; 1 tC = 3,667 tCO₂e.

Bảng 4 cho thấy tốc độ tích lũy các-bon đạt đỉnh ở cấp tuổi II với 0,783 tC/ha/năm, gấp 1,83

lần cấp tuổi I (0,427) và cao hơn 61,4% so với cấp tuổi III (0,485). Giai đoạn 5–9 tuổi là thời điểm

rừng Quế đóng vai trò "bể hấp thụ các-bon" hiệu quả nhất. Kết quả có ý nghĩa quan trọng cho việc xem xét điều chỉnh luân kỳ khai thác nhằm tối đa hóa lợi ích các-bon và tiềm năng tín chỉ các-bon. Kiểm định ANOVA ($F = 3,84$; $p < 0,05$) xác nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về trữ lượng các-bon giữa ba cấp tuổi; phân tích post-hoc Tukey's HSD cho thấy cấp tuổi I khác biệt có ý nghĩa với cấp tuổi II và III ($p < 0,05$).

3.3. Cân bằng các-bon ròng toàn chuỗi (NECB)

Cân bằng các-bon ròng toàn chuỗi được tính theo phương trình $NECB = C_{bể} - E_{tổng}$:

$NECB \text{ cơ bản} = 160,78 - 7,08 = +153,70 \text{ tCO}_2\text{e/ha/năm}$.

$NECB \text{ đạt } +153,70 \text{ tCO}_2\text{e/ha/năm}$. Giá trị dương xác nhận hệ sinh thái rừng Quế Lào Cai là bể hấp thụ các-bon ròng có tiềm năng lớn.

Bảng 5. Cân bằng các-bon ròng toàn chuỗi giá trị Quế tại khu vực nghiên cứu

Hạng mục	Hấp thụ/lưu trữ (tCO ₂ e/ha)	Phát thải (tCO ₂ e/ha)	Cân bằng ròng
Sinh khối trên mặt đất (AGB)	129,66	—	(+) Hấp thụ
Sinh khối dưới mặt đất (BGB, $R=0,24$)	31,12	—	(+) Hấp thụ
Phát thải toàn chuỗi canh tác	—	7,08	(-) Phát thải
Cân bằng ròng toàn chuỗi	160,78	7,08	+153,70 tCO ₂ e/ha

Ghi chú: Tính trên cơ sở một ha rừng trồng Quế qua toàn chuỗi kinh doanh. (+) = hấp thụ ròng; (-) = phát thải ròng.

Để đánh giá độ vững chắc của kết quả, nghiên cứu thực hiện phân tích độ nhạy (sensitivity analysis) bằng cách thay đổi hai tham số có mức bất định cao nhất: (i) hệ số phát thải phân bón EF (dao động $\pm 20\%$ so với giá trị IPCC 2006 mặc định) và (ii) hệ số chuyển đổi các-bon sinh khối CF (dao động trong khoảng 0,44–0,50 theo tổng hợp của Chave và

cộng sự (2014) [10]). Kết quả phân tích cho thấy NECB dao động trong khoảng +142 đến +166 tCO₂e/ha/năm (Bảng 6), tương ứng với biên độ bất định khoảng $\pm 7\%$ so với giá trị cơ sở. Trong toàn bộ kịch bản khảo sát, NECB đều duy trì giá trị dương lớn, xác nhận rằng hệ sinh thái rừng Quế Lào Cai là bể hấp thụ các-bon ròng với mức độ tin cậy cao bất kể lựa chọn hệ số tính toán.

Bảng 6. Kết quả phân tích độ nhạy NECB theo các kịch bản hệ số tính toán

Kịch bản	Thay đổi	Phát thải (tCO ₂ e/ha)	Cbể (tCO ₂ e/ha)	NECB (tCO ₂ e/ha)
Cơ sở	—	7,08	160,78	+153,70
EF tăng 20%	Phát thải +1,42	8,50	160,78	+152,28
EF giảm 20%	Phát thải -1,42	5,66	160,78	+155,12
CF = 0,44	Cbể giảm 10,24	7,08	150,54	+143,46
CF = 0,50	Cbể tăng 11,28	7,08	172,06	+164,98
Xấu nhất	EF +20%, CF = 0,44	8,50	150,54	+142,04
Tốt nhất	EF -20%, CF = 0,50	5,66	172,06	+166,40

Ghi chú: Kịch bản "Xấu nhất" giả định đồng thời hệ số phát thải cao nhất và hàm lượng các-bon sinh khối thấp nhất. Ngay cả trong kịch bản này, NECB vẫn đạt +142 tCO₂e/ha, khẳng định tính vững chắc của kết luận.

3.4. Đề xuất giải pháp cân bằng và giảm phát thải các-bon

Kết quả nghiên cứu đã đề xuất bốn nhóm giải pháp trọng tâm: (1) Giảm phát thải trong khai thác thông qua áp dụng kỹ thuật khai thác tác động thấp (RIL), tối ưu cường độ và chu kỳ khai thác, hạn chế đốt phụ phẩm tại hiện trường và sử dụng thiết bị/phương tiện tiết

kiệm nhiên liệu qua đó giảm phát thải CO₂ từ nhiên liệu và tránh phát thải đột ngột từ sinh khối bị đốt bỏ; (2) Tăng tỷ lệ sử dụng phân hữu cơ từ phụ phẩm Quế thay thế 30–50% phân NPK giúp giảm phát thải N₂O trong giai đoạn canh tác từ 18–25% đồng thời cải thiện hàm lượng các-bon hữu cơ trong đất (SOC); (3) Tối ưu hóa mật độ rừng (1.500–2.000 cây/ha) kết

hợp khai thác vỏ luân phiên, duy trì sinh khối trên mặt đất (AGB) ổn định, hạn chế phát thải do suy giảm đột ngột trữ lượng các-bon; (4) Thiết lập hệ thống MRV với NECB đạt +153,70 tCO₂e/ha/năm.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này bước đầu cung cấp bộ dữ liệu các-bon đặc thù và toàn diện cho chuỗi giá trị rừng trồng sản xuất Quế trong trường hợp nghiên cứu điểm tại 3 xã thuộc tỉnh Lào Cai theo phương pháp IPCC Tier 2 và ISO 14067:2018 [3, 6, 7]. Kết quả chính xác định được: (1) Tổng AGB tích lũy đạt 129,66 tCO₂e/ha, BGB (R = 0,24) đạt thêm 31,12 tCO₂e/ha, tổng các-bon (AGB + BGB) = 160,78 tCO₂e/ha; giai đoạn 5–9 tuổi có tốc độ hấp thụ cao nhất (0,783 tC/ha/năm); (2) Tổng phát thải toàn chuỗi 7,08 tCO₂e/ha/năm, điểm nóng là canh tác và chăm sóc (92%); (3) Cân bằng các-bon ròng NECB = +153,70 tCO₂e/ha/năm, xác nhận hệ sinh thái rừng Quế Lào Cai là bể hấp thụ các-bon ròng.

Nghiên cứu còn một số hạn chế cần được bổ sung trong giai đoạn tiếp theo: (1) chưa tích hợp SOC (các-bon hữu cơ trong đất), do đó tổng trữ lượng các-bon hệ sinh thái có thể cao hơn giá trị báo cáo; (2) ranh giới LCA theo cách tiếp cận cradle-to-gate chưa bao gồm khâu chưng cất tinh dầu và vận chuyển liên tỉnh.

Kết quả cung cấp cơ sở khoa học thiết thực cho các nghiên cứu tương tự nhằm xây dựng hệ thống MRV phục vụ thị trường tín chỉ các-bon theo Nghị định 06/2022/NĐ-CP [2]; phát triển nhãn các-bon thấp cho sản phẩm Quế đáp ứng EUDR và yêu cầu ESG; hoạch định chính sách lâm nghiệp các-bon thấp tích hợp sinh kế cộng đồng dân tộc thiểu số. Việc nhân rộng mô hình liên kết công nghiệp và chuyển đổi nhiên liệu chưng cất tinh dầu có thể giúp chuỗi giá trị Quế

Lào Cai tiến gần hơn đến mục tiêu Net zero 2050 của Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [2]. Chính phủ Việt Nam (2022). Nghị định số 06/2022/NĐ-CP ngày 07/01/2022 quy định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ô-dôn.
- [3]. IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- [4]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2024). Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 14287:2024 Phương pháp xác định sinh khối và trữ lượng các-bon rừng.
- [5]. Schmidt Rivera X.C., Leadley O., Bezama A. & Azapagic A. (2014). Life cycle assessment of cinnamon production in Sri Lanka. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 19: 1310–1323.
- [6]. Kaplinsky R. & Morris M. (2001). A Handbook for Value Chain Research. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Canada.
- [7]. ISO (2018). ISO 14067:2018 — Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [8]. Bộ Tài Nguyên và Môi trường (2022). Thông tư Số 17/2022/TT-BTNMT ngày 15/11/2022 Quy định kỹ thuật đo đạc, báo cáo, thẩm định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và kiểm kê khí nhà kính lĩnh vực quản lý chất thải.
- [9]. Bộ Tài Nguyên và Môi trường - Cục Biến đổi khí hậu (2024). Số 1726/BĐKH-PTCBT Về việc công bố kết quả tính toán hệ số phát thải của lưới điện Việt Nam năm 2023.
- [10]. Chave J., Réjou-Méchain M., Búrquez A., Chidumayo E., Colgan M.S., Delitti W.B.C., Duque A., Eid T., Fearnside P.M., Goodman R.C., Henry M., Martínez-Yrizar A., Mugasha W.A., Muller-Landau H.C., Mencuccini M., Nelson B.W., Ngomanda A., Nogueira E.M., Ortiz-Malavassi E., Péliissier R., Ploton P., Ryan C.M., Saldarriaga J.G. & Vieilledent G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*. 20(10): 3177–3190. DOI: 10.1111/gcb.12629