Đánh giá thực trạng cân bằng các-bon trong chuỗi giá trị Keo lai (*Acacia hybrid*) tại xã Lương Sơn, tỉnh Phú Thọ

Nguyễn Kiều Hà Anh, Đào Thùy Trang, Nguyễn Thế Anh, Nguyễn Thùy Trang, Trần Bảo Duy, Phạm Thị Hạnh*, Lê Hồng Liên
Trường Đại học Lâm nghiệp

Assessment of carbon balance in the Acacia hybrid value chain in Luong Son commune, Phu Tho province, Vietnam

Nguyen Kieu Ha Anh, Dao Thuy Trang, Nguyen The Anh, Nguyen Thuy Trang, Tran Bao Duy, Pham Thi Hanh*, Le Hong Lien
Vietnam National University of Forestry
**Corresponding author: hanhpt@vnuf.edu.vn*

https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.15.8.2026.003-010

Thông tin chung:
Ngày nhận bài: 29/04/2026
Ngày phản biện: 27/05/2026
Ngày quyết định đăng: 24/06/2026

Từ khóa:
Cân bằng các-bon, chuỗi giá trị Keo lai, Keo lai, phát thải khí nhà kính, phân tích vòng đời, sản phẩm gỗ sau khai thác.

TÓM TẮT

Keo lai (Acacia hybrid) là một trong những loài cây trồng rừng sản xuất chủ lực ở Việt Nam, có vai trò quan trọng trong cung cấp nguyên liệu gỗ, tạo sinh kế và giảm phát thải khí nhà kính. Nghiên cứu nhằm định lượng dòng lưu chuyển và cân bằng các-bon trong chuỗi giá trị Keo lai tại xã Lương Sơn, tỉnh Phú Thọ, đại diện cho điều kiện sinh thái vùng trung du và miền núi phía Bắc. Phương pháp Phân tích vòng đời (LCA) theo tiêu chuẩn ISO 14040/14044 được kết hợp với phương pháp định lượng sinh khối thực địa theo hướng dẫn IPCC Tier 2. Kết quả cho thấy tổng phát thải khí nhà kính của chuỗi giá trị đạt 4,71 tấn CO_2e/ha/năm, trong khi lượng các-bon quy đổi thành CO_2 hấp thụ tại tuổi khai thác (7 năm) đạt 239,15 tấn CO_2e/ha. Cân bằng các-bon ròng đạt -234,44 tấn CO_2e/ha, cho thấy khả năng hấp thụ các-bon của hệ thống rừng lớn hơn lượng phát thải trong phạm vi nghiên cứu. Phát thải tập trung chủ yếu ở khâu khai thác (45,10%) và vận chuyển (19,38%). Kết quả là cơ sở khoa học để đề xuất các giải pháp quản lý nhằm giảm phát thải, tăng tích lũy các-bon, góp phần thực hiện mục tiêu Cam kết phát thải ròng bằng 0 của Việt Nam đến năm 2050.

Keywords:
Acacia hybrid, Acacia hybrid value chain, carbon balance, greenhouse gas emissions, harvested wood products, life cycle assessment.

ABSTRACT

Acacia hybrid (Acacia mangium × Acacia auriculiformis) is a key plantation species in Vietnam, playing a significant role in timber supply and greenhouse gas (GHG) mitigation. This study aims to quantify carbon flows and the carbon balance across the Acacia hybrid value chain in Luong Son commune, Phu Tho province. This area represents the ecological conditions of the Northern Midlands and Mountainous region. A Life Cycle Assessment (LCA) approach following ISO 14040/14044 standards was applied with a system boundary defined as "cradle-to-gate" (from nursery to factory gate), combined with field-based biomass measurement using the IPCC Tier 2 methodology. Results indicate that total GHG emissions of the value chain reached 4.71 t CO_2e/ha/year, while carbon sequestration at the harvesting age (7 years) attained 239.15 t CO_2e/ha. This leads to a negative net carbon balance of -234.44 t CO_2e/ha, indicating that carbon sequestration exceeded GHG emissions within the defined system boundary. Emission "hotspots" were primarily identified in the harvesting (45.10%) and transportation (19.38%) stages. The findings provide a scientific basis for proposing management strategies to reduce emissions and enhance carbon sequestration, and support Vietnam's commitment to achieve Net Zero emissions by 2050.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng diễn biến phức tạp, ngành lâm nghiệp Việt Nam có vai trò quan trọng trong bảo vệ môi trường, hấp thụ các-bon và giảm phát thải khí nhà kính, góp phần thực hiện mục tiêu Net Zero vào năm 2050. Rừng trồng không chỉ có khả năng hấp thụ và lưu giữ các-bon trong sinh khối mà trong quá trình sản xuất, khai thác và vận chuyển gỗ cũng phát sinh một lượng khí nhà kính nhất định. Vì vậy, việc đánh giá cân bằng các-bon cần xem xét đồng thời cả lượng các-bon được tích

lũy và lượng phát thải phát sinh trong quá trình sản xuất.

Keo lai *(Acacia hybrid)* là loài lai giữa Keo tai tượng (*Acacia mangium)* và Keo lá tràm *(A. auriculiformis*) là một trong những loài cây trồng phổ biến ở Việt Nam, có tốc độ sinh trưởng nhanh, khả năng tích lũy các-bon tốt và cung cấp nguồn nguyên liệu quan trọng cho ngành chế biến gỗ. Tuy nhiên, các hoạt động từ sản xuất cây giống, trồng và chăm sóc rừng đến khai thác, vận chuyển và chế biến đều có thể phát sinh khí nhà kính. Do đó, nếu chỉ đánh giá sinh khối và trữ lượng các-bon trong rừng mà chưa xem xét lượng phát thải trong các công đoạn của chuỗi giá trị thì chưa phản ánh đầy đủ cân bằng các-bon của rừng trồng Keo lai. Tại Việt Nam, các nghiên cứu về các-bon trong rừng trồng hiện nay chủ yếu tập trung vào việc xác định sinh khối và trữ lượng các-bon ở cấp lâm phần hoặc loài cây. Trong khi đó, cách tiếp cận theo toàn bộ chuỗi giá trị và phân tích vòng đời (LCA) còn hạn chế. Đây là khoảng trống cần được bổ sung nhằm đánh giá đầy đủ hơn dòng các-bon từ quá trình tích lũy trong rừng đến lượng phát thải phát sinh trong các hoạt động sản xuất và vận chuyển nguyên liệu.

Xuất phát từ vấn đề trên, nghiên cứu này sử dụng phương pháp Phân tích vòng đời (LCA) kết hợp với phương pháp IPCC Tier 2 [1] để đánh giá lượng các-bon tích lũy trong sinh khối rừng và lượng phát thải khí nhà kính trong chuỗi giá trị Keo lai tại khu vực nghiên cứu. Nghiên cứu tập trung xác định lượng các-bon tích lũy, lượng phát thải và cân bằng các-bon ròng, đồng thời nhận diện những công đoạn có mức phát thải cao. Kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ thực trạng cân bằng các-bon của chuỗi giá trị Keo lai và làm cơ sở đề xuất các giải pháp phù hợp nhằm giảm phát thải, nâng cao hiệu quả tích lũy các-bon và phát triển lâm nghiệp theo hướng bền vững.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mục tiêu

Nghiên cứu nhằm định lượng động thái tích lũy các-bon trong sinh khối rừng trồng Keo lai và kiểm kê phát thải khí nhà kính trong toàn bộ chuỗi giá trị, qua đó xác lập cân bằng các-bon ròng và nhận diện các điểm nóng phát thải.

2.2. Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi không gian: Nghiên cứu được thực hiện tại khu vực xã Lương Sơn, tỉnh Phú Thọ.

Phạm vi đối tượng: Đối tượng nghiên cứu là chuỗi giá trị Keo lai *(Acacia mangium × Acacia auriculiformis).*

Phạm vi nội dung: Nghiên cứu tiếp cận theo chuỗi "từ vườn ươm đến cửa nhà máy", bao gồm các giai đoạn: sản xuất giống và lâm sinh; khai thác – sơ chế; vận chuyển; chế biến công nghiệp.

2.2. Phương pháp thu thập dữ liệu và thiết lập ô tiêu chuẩn

Nghiên cứu áp dụng phương pháp tiếp cận đa chiều, kết hợp giữa thu thập số liệu thứ cấp, điều tra thực địa và tham vấn chuyên gia nhằm xây dựng bộ dữ liệu phục vụ phân tích định lượng cân bằng các-bon.

2.2.1. Phương pháp thu thập số liệu thứ cấp

Các số liệu về hiện trạng rừng trồng, quy hoạch diện tích, năng suất, sản lượng và đặc điểm chuỗi giá trị được thu thập từ báo cáo của doanh nghiệp, tài liệu chuyên ngành và các nguồn dữ liệu liên quan. Đây là cơ sở để xây dựng khung nghiên cứu và thiết kế phương án điều tra thực địa.

2.2.2. Phương pháp điều tra thực địa trên ô tiêu chuẩn (OTC)

Thiết lập 06 ô tiêu chuẩn (OTC) điển hình với diện tích 500 m²/ô (25m × 20 m) tại khu vực Lương Sơn, tỉnh Phú Thọ (tỉnh Hòa Bình cũ) (tọa độ trung tâm khu vực nghiên cứu khoảng: 20°52'–21°01' vĩ độ Bắc và 105°29'–105°40' kinh độ Đông).

Các OTC được lựa chọn theo phương pháp lấy mẫu phân tầng kết hợp với chọn mẫu điển hình, đại diện cho các trạng thái sinh trưởng của rừng trồng Keo lai. Cụ thể, các OTC điển hình được xác lập theo nhóm tuổi và tình trạng sinh trưởng, bao gồm:

Rừng trồng 1 tuổi - rừng non;

Rừng trồng 3 tuổi - rừng trung niên;

Rừng trồng 6 tuổi - rừng thành thục lâm sinh.

Mỗi tuổi rừng khác nhau bố trí 02 OTC lặp lại nhằm tăng độ tin cậy của số liệu. Việc phân tầng theo tuổi rừng nhằm phục vụ điều tra sinh trưởng và đánh giá động thái tích lũy sinh khối.

Trong mỗi OTC, tiến hành kiểm kê 100% số cây theo các chỉ tiêu lâm học hiện hành, bao gồm: tuổi rừng, đường kính ngang ngực ($D_{1.3}$), chiều cao vút ngọn (Hvn), mật độ cây, độ tàn che và chất lượng thân cây. Các chỉ tiêu được đo bằng thiết bị chuyên dụng, đảm bảo độ chính xác và đồng nhất của số liệu. Dữ liệu thu thập là cơ sở để tính toán sinh khối và trữ lượng

các-bon của rừng trồng.

2.2.3. Phương pháp điều tra, phỏng vấn và tham vấn chuyên gia

Nghiên cứu tiến hành phỏng vấn trực tiếp cán bộ kỹ thuật và nhân viên vận hành tại doanh nghiệp nhằm thu thập thông tin về định mức tiêu thụ vật tư đầu vào (phân bón, nhiên liệu, năng lượng), quy trình sản xuất và hoạt động của các công đoạn trong chuỗi giá trị.

Bên cạnh đó, phương pháp tham vấn chuyên gia được sử dụng để kiểm chứng và hiệu chỉnh các thông tin thu thập, đảm bảo tính tin cậy của dữ liệu phục vụ phân tích kiểm kê phát thải và đánh giá vòng đời (LCA) theo cách tiếp cận kiểm kê dòng dữ liệu hoạt động phù hợp với tiêu chuẩn quốc tế [2].

Các phương pháp thu thập dữ liệu và mục đích sử dụng tương ứng được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Tóm tắt phương pháp thu thập dữ liệu

Nhóm phương pháp	Nội dung thực hiện	Mục đích
Thu thập số liệu thứ cấp	Tổng hợp tài liệu, báo cáo, số liệu quản lý	Xây dựng khung nghiên cứu
Điều tra OTC	Đo $D_{1.3}$, H_{vn}, mật độ, độ tàn che, chất lượng cây	Tính sinh khối và trữ lượng các-bon
Phỏng vấn doanh nghiệp	Thu thập dữ liệu vật tư, năng lượng sản xuất	Phục vụ kiểm kê phát thải
Tham vấn chuyên gia	Hiệu chỉnh, kiểm chứng thông tin	Nâng cao độ tin cậy dữ liệu

2.3. Phương pháp định lượng sinh khối và tích lũy các-bon (IPCC Tier 2)

Khả năng hấp thụ các-bon của rừng được xác định dựa trên biến động sinh khối sống theo hướng dẫn của IPCC (2006) [1]. Các công thức và thông số sử dụng để tính toán sinh khối, trữ lượng các-bon và quy đổi CO_2e được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Công thức và thông số tính lượng sinh khối và tích lũy các-bon

Đối tượng xác định	Công thức tính toán	Đơn vị	Giải thích thông số	Nguồn
Sinh khối trên mặt đất (ABG_{go})	$AGB_{go}=277{,}273\cdot\left(D_{1.3}^2\cdot\frac{H_{mt}}{10000}\right)^{0{,}947}\cdot10^{-3}$	tấn/ha	AGB tính bằng tấn/ha; $D_{1.3}$ tính bằng cm; H_{vn} tính bằng m)	[2]
Sinh khối dưới mặt đất (BGB)	BGB=AGB×R	tấn/ha	R; hệ số rễ/chồi	[2]
Tổng trữ lượng Các-bon (C_{sh})	C_{sh} = (AGB + BGB) x CF	*tC/ha*	AGB- sinh khối trên mặt đất (tCO2) BGB- sinh khối dưới amtwj đất (TCO2) CF- hệ số định mức (CF=0,5)	[2]
Quy đổi CO_2e	$CO_{2e_{hấp\ thụ}} = C_{sh}\ .\ 3{,}67$	tCO_2e	3,67; hệ số quy đổi từ các-bon sang CO_2e	[2]

2.4. Phương pháp phân tích vòng đời LCA (ISO 14040/14044)

Phát thải khí nhà kính toàn chuỗi được kiểm kê theo khung chuẩn LCA bốn bước theo Tiêu chuẩn ISO 14040/14044 [2]:

(1) Xác định mục tiêu và ranh giới: Định lượng dấu chân các-bon của các sản phẩm chủ lực (gỗ tròn, dăm gỗ, viên nén).

(2) Kiểm kê vòng đời (LCI): Lượng phát thải cho từng công đoạn (E_i) được tính toán theo công thức:

$$E_i = AD_i\ x\ EF_i$$

Trong đó:

AD_i là dữ liệu hoạt động;

EF_i là hệ số phát thải trích xuất từ cơ sở dữ liệu Ecoinvent v3.9 [3] và hệ số phát thải từ lưới điện quốc gia Việt Nam năm 2024).

(3) Đánh giá tác động (LCIA): Sử dụng chỉ số GWP 100 để tính toán tiềm năng nóng lên toàn cầu theo hướng dẫn IPCC [1].

(4) Xác lập cân bằng ròng: các-bon ròng (C_{net}) là hiệu số giữa tổng lượng hấp thụ sinh học và tổng phát thải dọc chuỗi cung ứng:

$$C_{net} = \sum CO_{2e_{hấp\ thụ}}\ x\ \sum CO_{2e_{phát\ thải}}$$

Nguyên tắc đánh giá:

Nếu $C_{net} < 0$: Chuỗi giá trị ở trạng thái phát thải ròng.

Cách tiếp cận hệ thống này giúp nhận diện chính xác các giai đoạn thâm dụng năng lượng, làm cơ sở đề xuất giải pháp kỹ thuật tối ưu hóa bể chứa các-bon và giảm thiểu phát thải cho ngành lâm nghiệp địa phương.

2.5. Phương pháp xác định các-bon hữu cơ trong đất SOC (IPCC 2019)

Các-bon hữu cơ trong đất (SOC) là một trong những bể chứa các-bon quan trọng trong hệ sinh thái rừng và được xem xét trong kiểm kê khí nhà kính. Việc đánh giá SOC giúp phán ánh lượng các-bon tích lũy trong tầng đất, chịu ảnh hưởng bởi loại đất, điều kiện lập địa, tuổi rừng và các biện pháp quản lý. Do đó việc tích hợp SOC góp phần nâng cao tính đầy đủ và độ chính xác trong đánh giá cân bằng các-bon của hệ thống trồng rừng.

SOC được xác định theo hướng dẫn của IPCC (2019) thông qua các bước sau:

(1) Xác định phạm vi và tầng đất nghiên cứu: lựa chọn độ sâu tầng đất phù hợp với điều kiện khu vực nghiên cứu và mục tiêu đánh giá.

(2) Tính toán trữ lượng SOC cho từng tầng đất: Trữ lượng các-bon hữu cơ trong đất được xác định theo công thức:

$$SOC = BD \times D \times SOC_c \times (1 - CF) \times 10$$

Trong đó:

SOC: Trữ lượng các-bon hữu cơ trong đất (MgC ha^{-1});

BD: Khối lượng riêng đất (Mg m^{-3});

D: Độ sâu tầng đất (m);

SOC_c: Hàm lượng các-bon hữu cơ;

CF: Tỷ lệ sỏi đá;

10: Hệ số quy đổi sang đơn vị Mg C ha^{-1}.

(3) Tổng hợp trữ lượng SOC toàn khu vực: Tổng lượng các-bon hữu cơ trong đất được xác định bằng cách cộng giá trị của các tầng đất.

$$SOC_{total} = \sum_{i=1}^{n} SOC_i$$

(4) Đánh giá biến động SOC: Theo IPCC 2019, biến động trữ lượng các-bon hữu cơ trong đất được xác định thông qua chênh lệch giữa các thời điểm trong khoảng thời gian nghiên cứu.

Cách tiếp cận này cho phép lượng hóa vai trò của đất như một bể chứa các-bon, góp phần hoàn thiện đánh giá cân bằng các-bon trong toàn bộ hệ thống rừng trồng.

2.6. Phương pháp đánh giá các-bon trong sản phẩm gỗ HWP

Sản phẩm gỗ sau khai thác (HWP) được xem là một dạng bể chứa các-bon thứ cấp, trong đó các-bon không bị giải phóng ngay sau khi khai thác mà tiếp tục được lưu giữ trong suốt thời gian sử dụng của sản phẩm. Sau đó lượng các-bon này sẽ dần được phát thải trở lại môi trường thông qua các quá trình như tái chế hoặc phân hủy. Việc xem xét HWP giúp làm rõ hơn vai trò của sản phẩm gỗ trong việc kéo dài thời gian lưu trữ các-bon trong chuỗi giá trị lâm nghiệp.

Quá trình biến đổi các-bon trong HWP được thực hiện theo các bước chính sau:

(1) Xác định dòng các-bon đầu vào: Xác định lượng các-bon từ sinh khối gỗ được chuyển vào các dạng sản phẩm sau khai thác.

(2) Phân loại sản phẩm: Các sản phẩm gỗ được chia thành các nhóm theo thời gian lưu trữ (ngắn hạn, trung hạn và dài hạn) nhằm phản ánh sự khác nhau về khả năng giữ các-bon.

(3) Mô phỏng sự suy giảm các-bon: Áp dụng mô hình phân rã bậc nhất (Frst-Order Decay-FOD), trong đó giả định lượng các-bon giảm dần theo thời gian với một tốc độ nhất định. Công thức được sử dụng như sau:

$$C_{t+1} = e^{-k} C_t + \frac{1 - e^{-k}}{k} \times Inflow_t$$

Trong đó:

Ct: Trữ lượng các-bon tại năm t;

Inflow: Lượng các-bon đi vào;

K: Hệ số suy giảm.

(4) Tổng hợp và đánh giá: Trữ lượng carbon trong HWP được theo dõi theo thời gian nhằm đánh giá mức độ đóng góp của sản phẩm gỗ vào cân bằng các-bon của toàn hệ thống.

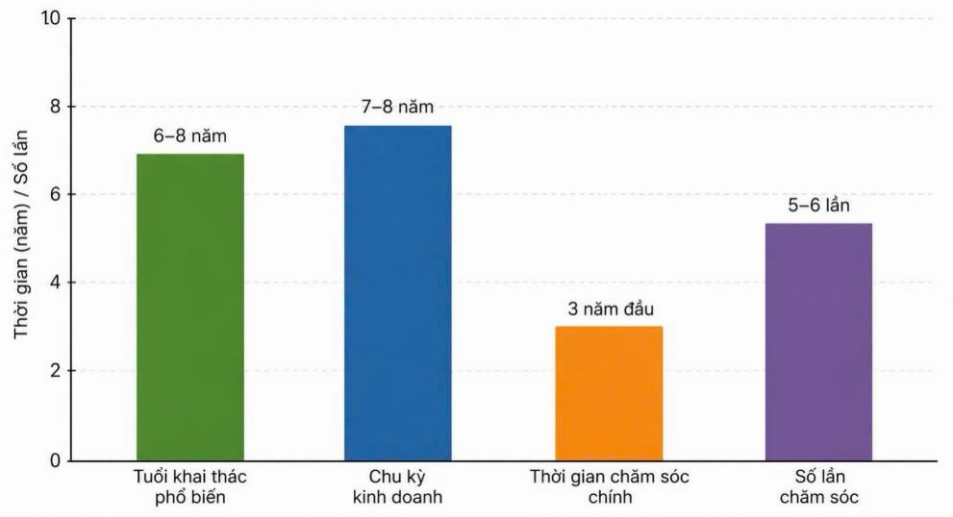
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm sản xuất và quy trình chuỗi giá trị Keo lai

Trước khi tiến hành định lượng các-bon,

nghiên cứu xác lập nền tảng về quy mô và cơ chế vận hành của chuỗi giá trị Keo lai tại khu vực nghiên cứu. Kết quả cho thấy, trong giai đoạn 2023–2025, hoạt động sản xuất có sự chuyển dịch từ mở rộng diện tích (tăng 6,8%) sang nâng cao năng suất (từ 100,3 lên 109,2 m^3/ha), phản ánh xu hướng thâm canh và tối ưu hóa hiệu quả sử dụng đất.

Chu kỳ kinh doanh rừng Keo lai chủ yếu thuộc nhóm ngắn đến trung hạn (7–8 năm), phù hợp với mục tiêu cung cấp nguyên liệu cho công nghiệp chế biến gỗ dăm và gỗ xẻ nhỏ, phù hợp với đặc điểm sinh trưởng nhanh và chu kỳ kinh doanh phổ biến của rừng trồng Keo lai tại Việt Nam. Đặc điểm chu kỳ kinh doanh được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. **Đặc điểm chu kỳ kinh doanh rừng Keo lai**

Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình sản xuất rừng Keo lai hiện nay mang đặc trưng thâm canh ngắn hạn, với hoạt động chăm sóc tập trung trong 3 năm đầu và chu kỳ kinh doanh phổ biến 6–8 năm. Chuỗi giá trị được tổ chức qua bốn công đoạn chính (Khai thác → Vận chuyển → Chế biến → Tiêu thụ), phản ánh quá trình chuyển hóa sinh khối thành giá trị kinh tế đồng thời gắn liền với dòng lưu chuyển các-bon trong toàn hệ thống.

Mặc dù xu hướng nâng cao năng suất là tín hiệu tích cực, cấu trúc chuỗi giá trị hiện tại vẫn chủ yếu dựa vào sản phẩm giá trị thấp (gỗ dăm) và chu kỳ khai thác ngắn, dẫn đến hiệu quả tích lũy các-bon chưa cao và tiềm năng giảm phát thải chưa được khai thác tối ưu. Do đó, để hướng tới phát triển bền vững, cần điều chỉnh theo hướng kéo dài chu kỳ kinh doanh, tăng cường chế biến sâu và nâng cao giá trị gia tăng, qua đó vừa cải thiện hiệu quả kinh tế vừa gia tăng khả năng tích lũy các-bon và giảm phát thải trong toàn chuỗi giá trị.

3.2. Khả năng tích lũy sinh khối và hấp thụ các-bon sinh học

Kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng tích lũy sinh khối và hấp thụ các-bon của rừng Keo lai tăng mạnh theo cấp tuổi, khẳng định vai trò quan trọng của rừng trồng như một bể chứa các-bon sinh học (Bảng 2). Tổng sinh khối tăng nhanh từ 1,02 tấn/ha tuổi rừng 1 lên 130,33 tấn/ha khi rừng đạt giai đoạn thành thục (tuổi 3), phản ánh quá trình sinh trưởng và tích lũy vật chất diễn ra mạnh mẽ theo thời gian.

Bảng 2. Trữ lượng các-bon và lượng CO_2 hấp thụ của rừng trồng Keo lai

Tuổi rừng	C_AGB (tấn C/ha)	C_BGB (tấn C/ha)	Tổng C (tấn C/ha)	CO_2 hấp thụ (tấn/ha)
1	0,43	0,09	0,52	1,87
3	21,69	4,34	26,03	95,50
6	54,31	10,86	65,17	239,15

Lượng CO_2 hấp thụ cũng gia tăng tương ứng, đạt khoảng 239,15 tấn CO_2/ha tại thời điểm khai thác. Điều này cho thấy rừng Keo lai có tiềm năng đáng kể trong việc góp phần giảm nồng độ khí nhà kính trong khí quyển, phù hợp với các nghiên cứu trước đây về khả năng tích

lũy các-bon của rừng trồng Keo lai.

Kết quả cho thấy sự gia tăng mạnh mẽ của trữ lượng các-bon giữa các cấp tuổi, đặc biệt từ tuổi 1 sang tuổi 3 và 6. Giai đoạn đầu (tuổi 1) có trữ lượng các-bon rất thấp do sinh khối chưa phát triển hoàn chỉnh, trong khi từ tuổi 3 trở đi, quá trình tích lũy các-bon diễn ra nhanh hơn nhờ sự phát triển mạnh của thân, cành và hệ rễ.

Đáng chú ý, tỷ lệ các-bon tích lũy trên mặt đất (C_AGB) luôn chiếm ưu thế so với dưới mặt đất (C_BGB), phù hợp với quy luật phân bổ sinh khối phổ biến của rừng trồng nhiệt đới. Tuy nhiên, phần các-bon dưới mặt đất vẫn đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì ổn định hệ sinh thái và lưu trữ các-bon lâu dài.

Mức hấp thụ CO_2 đạt 239,15 tấn/ha ở tuổi rừng 6 cho thấy tiềm năng lớn của rừng Keo lai trong các cơ chế giảm phát thải khí nhà kính. Khả năng tham gia thị trường tín chỉ các-bon cần được đánh giá thêm trên cơ sở hệ thống MRV và các quy định hiện hành.

Do đó, mặc dù rừng Keo lai có khả năng hấp thụ các-bon cao, hiệu quả thực tế về giảm phát thải phụ thuộc lớn vào cách thức quản lý chu kỳ kinh doanh và định hướng sử dụng sản phẩm. Việc kéo dài chu kỳ khai thác hoặc chuyển hướng sang các sản phẩm có thời gian lưu trữ các-bon dài hơn sẽ góp phần nâng cao hiệu quả tích lũy các-bon và giảm phát thải trong dài hạn.

3.3. Định lượng phát thải khí nhà kính trong chuỗi giá trị

Áp dụng phương pháp đánh giá vòng đời (LCA) theo Tiêu chuẩn ISO 14040/14044 [1], nghiên cứu đã định lượng tổng phát thải khí nhà kính trong toàn bộ chuỗi giá trị rừng Keo lai đạt 4,710 kg CO_2e/ha/năm. Kết quả này phản ánh đầy đủ lượng phát thải phát sinh từ các công đoạn sản xuất, từ đầu vào (giống, trồng, chăm sóc) đến đầu ra (khai thác, vận chuyển và chế biến). Các nguồn phát thải chính được tổng hợp trong Bảng 3.

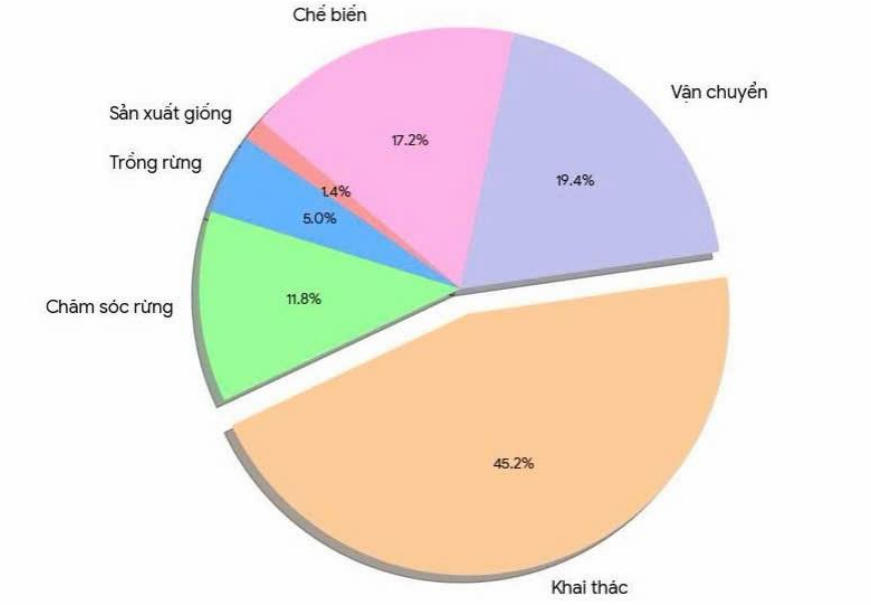
Bảng 3. Lượng hóa phát thải khí nhà kính theo từng nguồn phát thải

Giai đoạn	Nguồn phát thải	AD	Đơn vị	EF			Đơn vị EF	Ei (tCO_2e)	Tỷ trọng (%)
				CO_2	CH_4	N_2O			
Sản xuất giống	Điện năng cho ươm và chăm sóc cây con	100	KWh	0,6592			tCO_2/MWh	0,065	1,380042463
Trồng rừng	Diesel cho máy cày, máy làm đất	55	Lít	74100	10	0,6	kg CO_2/Tj kg CH_4/Tj kg N_2O/ Tj	0,132	2,802547771
	Phân bón lót	120	kg			0,0125	N_2O-N/kg N	0,101	2,144373673
Chăm sóc rừng	Phân bón thúc NPK	180	kg			0,0125	N_2O-N/kg N	0,151	3,205944798
	Xăng cho máy phát cỏ/thực bì	18	Lít	693000	10	0,6	kg CO_2/Tj kg CH_4/Tj kg N_2O/Tj	0,402	8,535031847
Khai thác	Xăng cho cưa xích (cưa máy)	85	Lít	693000	10	0,6	kg CO_2/Tj kg CH_4/Tj kg N_2O/Tj	2,124	45,0955414
Vận chuyển	Diesel cho máy kéo, xe công nông, xe tải nhỏ	380	Lít	74100	10	0,6	kg CO_2/Tj kg CH_4/Tj kg N_2O/Tj	0,913	19,38428875
Chế biến	Điện năng cho băm dăm/ xẻ gỗ	900	KWh	0,6592			tCO_2/MWh	0,593	12,59023355
	Dầu diesel cho thiết bị phụ trợ/ chế biến	90	Lít	74100	10	0,6	kg CO_2/Tj kg CH_4/Tj kg N_2O/Tj	0,214	4,543524416
Tổng								**4,710**	**100**

Kết quả tính toán cho thấy tổng phát thải khí nhà kính của chuỗi giá trị Keo lai đạt 4,710 kg CO_2e/ha/năm, với sự phân bố không đồng đều giữa các công đoạn. Phát thải tập trung chủ yếu ở các hoạt động tiêu thụ nhiều năng lượng như khai thác và vận chuyển, trong đó khai thác chiếm 45,2% (2,124 tCO_2e). Cơ cấu phát thải này được thể hiện rõ qua biểu đồ Lượng hóa phát thải khí nhà kính trong chuỗi giá trị Keo lai (Hình 2).

Công đoạn vận chuyển cũng đóng góp tỷ trọng lớn (19,4%), chủ yếu do tiêu thụ điện năng và nhiên liệu diesel, phù hợp với đặc điểm phát thải của các hệ thống sản xuất sử dụng hệ số phát thải từ cơ sở dữ liệu Ecoinvent [3] và hệ số lưới điện Việt Nam [4]. Các công đoạn lâm sinh như chế biến và chăm sóc có mức phát thải trung bình 17,2% và 11,8%), trong khi khai thác và sản xuất giống chiếm tỷ trọng thấp hơn.

Nhìn chung, phát thải trong chuỗi giá trị Keo lai chủ yếu phát sinh ở các khâu sau thu hoạch, cho thấy tiềm năng giảm phát thải tập trung vào tối ưu hóa vận chuyển và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong chế biến.



Hình 2. Lượng hóa phát thải khí nhà kính trong chuỗi giá trị Keo lai

3.4. Cân bằng các-bon ròng và giá trị sản phẩm gỗ (HWP)

Kết quả cho thấy chuỗi giá trị Keo lai có khả năng hấp thụ các-bon vượt trội so với lượng phát thải. Tổng lượng CO_2 hấp thụ cao gấp 50,7 lần lượng phát thải, sau khi cân đối, hệ thống vẫn đạt mức lưu giữ ròng 236,18 tấn CO_2/ha/chu kỳ. Điều này khẳng định vai trò của rừng Keo lai như một bể hấp thụ các-bon hiệu quả trong bối cảnh giảm phát thải khí nhà kính.

Kết quả phân bổ lượng các-bon lưu giữ trong sản phẩm gỗ (HWP) theo nhóm sản phẩm được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Trữ lượng các-bon lưu giữ trong sản phẩm gỗ (HWP)

Nhóm sản phẩm	Dòng sản phẩm tiêu biểu	Tỷ lệ (%)	Lượng CO_2 lưu giữ (tấn CO_2eq/ha)	Thời gian lưu trữ
Dài hạn	Gỗ xẻ lớn	45	84,31	>15 năm
Trung hạn	Gỗ xẻ nhỏ	20	37,47	5-15 năm
Ngắn hạn	Dăm gỗ, phụ phẩm	35	65,57	<5 năm

Kết quả nghiên cứu khẳng định chuỗi giá trị Keo lai tại khu vực nghiên cứu là một hệ thống hấp thụ các-bon ròng hiệu quả, với lượng hấp thụ vượt xa phát thải. Bên cạnh đó, sản phẩm

gỗ (HWP) đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì và kéo dài thời gian lưu trữ các-bon sau khai thác, góp phần giảm áp lực phát thải ngay lập tức vào khí quyển, phù hợp với các nghiên cứu và hướng dẫn về vai trò lưu trữ các-bon dài hạn của sản phẩm gỗ.

Tuy nhiên, hiệu quả môi trường của chuỗi giá trị vẫn chưa được tối ưu do cơ cấu sản phẩm còn nghiêng về nhóm ngắn hạn, làm rút ngắn thời gian cố định các-bon. Do đó, việc chuyển dịch theo hướng tăng tỷ trọng sản phẩm gỗ dài hạn không chỉ nâng cao giá trị kinh tế mà còn kéo dài thời gian lưu trữ các-bon, qua đó cải thiện hiệu quả giảm phát thải và hướng tới phát triển lâm nghiệp bền vững [5].

Kết quả này cho thấy chuỗi giá trị Keo lai có tiềm năng tham gia thị trường tín chỉ các-bon, phù hợp với khung chính sách giảm nhẹ phát thải khí nhà kính theo Nghị định 06/2022/NĐ-CP [6].

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã áp dụng cách tiếp cận tích hợp giữa phương pháp IPCC Tier 2 và phân tích vòng đời (LCA) [2] nhằm định lượng động thái tích lũy các-bon và phát thải khí nhà kính trong chuỗi giá trị rừng trồng Keo lai tại khu vực xã Lương Sơn, tỉnh Phú Thọ (tỉnh Hòa Bình cũ). Kết quả cho thấy sinh khối và trữ lượng các-bon của rừng tăng rõ rệt theo cấp tuổi, với tổng lượng hấp thụ đạt khoảng 239,15 tấn CO_2/ha tại thời điểm khai thác, phản ánh vai trò của rừng Keo lai như một bể hấp thụ các-bon sinh học trong điều kiện nghiên cứu.

Tổng phát thải khí nhà kính trong toàn bộ chuỗi giá trị được ước tính khoảng 4,710 tấn CO_2/ha/năm, với phát thải tập trung chủ yếu ở các công đoạn khai thác và vận chuyển. Khi so sánh giữa lượng hấp thụ và phát thải trong phạm vi nghiên cứu "từ vườn ươm đến cửa nhà máy", hệ thống cho thấy trạng thái hấp thụ các-bon ròng, với mức lưu giữ ước tính khoảng 236,18 tấn CO_2/ha/chu kỳ [5].

Nghiên cứu đồng thời làm rõ vai trò của sản phẩm gỗ (HWP) như một bể chứa các-bon thứ cấp, góp phần kéo dài thời gian lưu trữ các-bon sau khai thác. Hiệu quả môi trường của chuỗi giá trị Keo lai vẫn còn dư địa cải thiện, đặc biệt thông qua việc nâng cao tỷ trọng các sản phẩm gỗ có vòng đời sử dụng dài, qua đó tăng khả năng lưu trữ các-bon và góp phần giảm phát thải khí nhà kính.

Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng chỉ ra vai trò của sản phẩm gỗ sau khai thác (HWP) trong việc duy trì và kéo dài thời gian lưu trữ các-bon, góp phần làm giảm tốc độ phát thải trở lại khí quyển. Tuy nhiên, hiệu quả lưu trữ này còn phụ thuộc vào cơ cấu sản phẩm, trong đó nhóm sản phẩm ngắn hạn vẫn chiếm tỷ trọng đáng kể.

Từ các kết quả nghiên cứu, có thể thấy chuỗi giá trị Keo lai tại khu vực nghiên cứu có tiềm năng theo hướng phát triển các-bon thấp. Để nâng cao hiệu quả tích lũy các-bon và giảm phát thải, cần xem xét một số định hướng như kéo dài chu kỳ kinh doanh, tối ưu hóa hoạt động vận chuyển, nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong chế biến và chuyển dịch cơ cấu sản phẩm theo hướng gia tăng tỷ trọng sản phẩm gỗ có thời gian lưu trữ các-bon dài. Những định hướng này góp phần đồng thời nâng cao hiệu quả kinh tế và cải thiện cân bằng các-bon trong chuỗi giá trị lâm nghiệp [7].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. International Organization for Standardization (2006). ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Geneva, Switzerland: ISO.

[2]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

[3]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

[4]. Chính phủ Việt Nam (2022). Nghị định số 06/2022/NĐ-CP ngày 07/01/2022 của Chính phủ quy định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ozone.

[5]. Ecoinvent Centre (2022). Ecoinvent Database version 3.9: Life Cycle Inventory Database. Zurich, Switzerland.

[6]. Bộ Công Thương (2022). Báo cáo hệ số phát thải của lưới điện Việt Nam năm 2022.

[7]. Quốc hội Việt Nam (2020). Luật Bảo vệ môi trường số 72/2020/QH14.