

THIẾT LẬP ĐỒNG THỜI HỆ THỐNG MÔ HÌNH ĐỂ CẢI THIỆN ĐỘ TIN CẬY TRONG ƯỚC TÍNH SINH KHỐI - CARBON CỦA CÁC BỘ PHẬN CÂY BỒI LỜI ĐỎ (*Machilus odoratissimus* Nees) Ở TÂY NGUYÊN

Triệu Thị Lăng, Bảo Huy

Trường Đại học Tây Nguyên

TÓM TẮT

Bồi lời đỏ (*Machilus odoratissimus* Nees) là một loài cây đa mục đích và có giá trị kinh tế, bảo vệ môi trường cao. Trong kinh doanh rừng trồng Bồi lời đỏ, cần có hệ thống mô hình ước tính chính xác sinh khối từng bộ phận cây; đồng thời để tính toán carbon tích lũy của cây rừng cho các chương trình giảm phát thải từ mất và suy thoái rừng. Nghiên cứu này thực hiện ở Tây Nguyên, 22 ô mẫu 300 m² được lập ở các tuổi từ 1 - 7. Chặt hạ 22 cây có đường kính bình quân lâm phần để thu thập dữ liệu sinh khối/carbon của bốn bộ phận cây là thân (Bst/Cst), vỏ (Bba/Cba), cành (Bbr/Cbr), lá (Ble/Cle) và tổng sinh khối/carbon của cây trên mặt đất (AGB/AGC). So sánh hai phương pháp thiết lập mô hình: Thiết lập độc lập các mô hình bộ phận theo phi tuyến có trọng số Maximum Likelihood; và thiết lập đồng thời các mô hình bộ phận theo phi tuyến có trọng số SUR (seemingly unrelated regression). Kết quả cho thấy thiết lập đồng thời hệ thống các mô hình sinh khối - carbon bộ phận và toàn bộ theo SUR đạt độ tin cậy cao hơn các mô hình bộ phận được thiết lập một cách độc lập. Hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối và carbon các bộ phận cây Bồi lời đỏ và toàn bộ được lựa chọn có dạng tổng quát: $AGB = Bst + Bba + Bbr + Ble = a_1 \times (D^2H)^{b1} + a_2 \times (D^2H)^{b2} + a_3 \times D^{b3} + a_4 \times (D^2H)^{b4}$ và $AGC = Cst + Cba + Cbr + Cle = a_1 \times (D^2H)^{b1} + a_2 \times (D^2H)^{b2} + a_3 \times D^{b3} + a_4 \times (D^2H)^{b4}$.

Developing simultaneously modeling systems for improving reliability of tree aboveground biomass - carbon and its components estimates for *Machilus odoratissimus* Nees in the Central Highlands of Viet Nam

Machilus odoratissimus Nees is a species of multi - purposes, high economic value and environmental protection. In plantation business, it demands modeling system that predicts accurately aboveground biomass and its components; At the same time, the developed models support to compute carbon accumulation of forest trees for program of reducing emissions from deforestation and forest degradation. Twenty - two 300 m² plots within the full range of 1 - 7 ages in the Central Highlands were measured. A total of 22 averaged - diameter trees were destructively sampled to obtain a dataset of the dry biomass/carbon of the stem (Bst/Cst), bark (Bba/Cba), branches (Bbr/Cbr), leaves (Ble/Cle), and total aboveground biomass/carbon (AGB/AGC). The study compared two methods: developing independent equations was weighted nonlinear regression fit by maximum likelihood and building simultaneous modeling system was weighted nonlinear fit by seemingly unrelated regression (SUR). As a result, the modeling system developed simultaneously using SUR produced higher reliability than the models established independently. The selected forms of modeling systems for estimating tree aboveground biomass/carbon and its components were $AGB = Bst + Bba + Bbr + Ble = a_1 \times (D^2H)^{b1} + a_2 \times (D^2H)^{b2} + a_3 \times D^{b3} + a_4 \times (D^2H)^{b4}$ and $AGC = Cst + Cba + Cbr + Cle = a_1 \times (D^2H)^{b1} + a_2 \times (D^2H)^{b2} + a_3 \times D^{b3} + a_4 \times (D^2H)^{b4}$.

Từ khóa: Bồi lời đỏ, carbon, sinh khối, seemingly unrelated regression (SUR)

Keywords: *Machilus odoratissimus*, biomass, carbon, seemingly unrelated regression (SUR)

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bời lời đỏ (*Machilus odoratissimus* Nees) có phân bố tự nhiên ở Indonesia, Malaysia, Việt Nam và Trung Quốc (Hinsinger và Strijk, 2016). Ở Tây Nguyên, Bời lời đỏ có phân bố tự nhiên trong rừng lá rộng thường xanh và được trồng nhiều trong các mô hình nông lâm kết hợp trên diện tích rẫy bỏ hóa của đồng bào dân tộc thiểu số.

Bời lời đỏ là loại cây đa mục đích. Vỏ Bời lời đỏ chứa tinh dầu thơm, được chiết tinh dầu dùng trong y học, làm hương thơm, nguyên liệu làm keo dán công nghiệp, sơn, làm nhang đốt trong tín ngưỡng tôn giáo. Gỗ Bời lời đỏ có màu nâu vàng, cứng không mối mọt, có thể sử dụng đóng đồ mộc, làm nguyên liệu giấy. Lá có thể làm thức ăn cho gia súc (Phạm Hoàng Hộ, 1999; Lê Văn Minh, 1996; Huy *et al.*, 2009, 2012, 2014).

Giá trị làm dược liệu của Bời lời đỏ được đề cập trong nhiều nghiên cứu trên thế giới; vỏ rễ Bời lời đỏ làm thuốc chống viêm (Wua *et al.*, 2017), vỏ thân cây chống tiêu chảy (Sumithregowda *et al.*, 2017), trị đau khớp, đau lưng (Pandey và Mandal, 2012). Như vậy, trong các bộ phận thì vỏ của thân cây và vỏ của rễ cây Bời lời đỏ có giá trị cao nhất.

Ngoài ra, trong tình hình biến đổi khí hậu thì việc phát triển gây trồng Bời lời đỏ còn có đóng góp quan trọng trong hấp thụ khí CO₂ gây hiệu ứng nhà kính (Bảo Huy, 2009, 2012, 2014).

Trong kinh doanh Bời lời đỏ, cần ước tính chính xác sinh khối của các bộ phận cây như sinh khối của vỏ cây, thân, cành, lá để xác định giá bán chính xác cho từng bộ phận; do đó cần có mô hình ước tính sinh khối cho các bộ phận cây Bời lời đỏ. Bên cạnh đó, các mô hình này còn hữu ích cho ước tính khả năng tích lũy carbon của cây trong các dự án, chương trình giảm phát thải từ mất và suy thoái rừng (REDD).

Bảo Huy (2009, 2012, 2014) đã thiết lập các mô hình ước tính sinh khối tươi, khô, carbon của 4 bộ phận cây Bời lời đỏ là thân, vỏ, cành, lá và toàn bộ theo hàm mũ tuyến tính hóa log với một biến đường kính ngang ngực (D). Tuy nhiên, các mô hình này được thiết lập độc lập, tách rời nhau, trong khi đó sinh khối các bộ phận cây có quan hệ với nhau. Vì lý do đó Parresol (2001) đã giới thiệu phương pháp thiết lập đồng thời các mô hình sinh khối của các bộ phận cây (Seemingly Unrelated Regression, SUR) để nâng cao độ tin cậy. SUR dựa trên cơ sở xem xét mối quan hệ giữa sinh khối các bộ phận cây để cân đối các tham số của các mô hình thành phần và giúp giảm biến động của các tham số và tăng độ tin cậy của ước tính sinh khối các bộ phận và tổng của chúng. Sau đó, nhiều tác giả đã áp dụng phương pháp này để thiết lập đồng thời hệ thống mô hình ước tính sinh khối các bộ phận của các loài cây, ở các kiểu rừng khác nhau và cho thấy đã cải thiện đáng kể độ tin cậy (Poudel và Temesgen, 2016; Kralicek *et al.*, 2017; Huy *et al.*, 2019).

Các phương pháp đo sinh khối chính xác là một trong các thành phần thiết yếu để định lượng khả năng tích lũy carbon của cây rừng và giúp đánh giá tác động tiềm năng giảm nhẹ biến đổi khí hậu (Temesgen *et al.*, 2015). Do vậy, nghiên cứu này so sánh hai phương pháp thiết lập mô hình ước tính sinh khối, carbon của các bộ phận cây Bời lời đỏ và toàn bộ, đó là: i) Thiết lập độc lập các mô hình cho từng bộ phận cây rừng và toàn bộ theo phương pháp phi tuyến tính có trọng số Maximum Likelihood; ii) Thiết lập đồng thời các mô hình cho từng bộ phận cây rừng và toàn bộ theo phương pháp phi tuyến tính có trọng số Seemingly Unrelated Regression (SUR). Trên cơ sở đó lựa chọn hệ thống mô hình ước tính sinh khối - carbon của các bộ phận cây và toàn bộ với độ tin cậy được cải thiện.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đặc điểm, đối tượng nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu thuộc huyện Mang Yang, tỉnh Gia Lai. Nhiệt độ trung bình năm $21,6^{\circ}\text{C}$, lượng mưa trung bình năm 2.213 mm (Trạm khí tượng thủy văn Pleiku, Mang Yang). Ở độ cao so với mặt biển từ 600 - 750 m, địa hình bằng phẳng. Đất bao gồm đất nâu đỏ trên bazan, đất xám bạc màu trên đá granit, đất vàng đỏ trên granit (Phòng Tài Nguyên và Môi trường huyện Mang Yang).

Đối tượng nghiên cứu lập mô hình sinh khối - carbon là cây Bời lời đỏ (*Machilus odoratissimus* Nees) (Yang, 2008; The Plant List, 2019) hay còn có tên khác như Bời lời đẹc, Kháo thơm, Re vàng (Phạm Hoàng Hộ, 1999) được trồng theo phương thức nông lâm kết hợp Bời lời đỏ và sắn (*Manihot esculenta* Crantz). Trong đó, tỷ lệ kết hợp Bời lời đỏ khác nhau nên các lâm phần có mật độ Bời lời đỏ biến động từ 500 - 2.000 cây/ha, có tuổi từ 1 - 7. Cây Bời lời đỏ ở chu kỳ kinh doanh đầu 5 - 7 năm, trồng bằng cây con từ hạt, chu kỳ kinh doanh 2 - 3 sử dụng tái sinh chồi; số chồi biến động từ 1 - 5 chồi gốc.

2.2. Ô mẫu và thu thập số liệu sinh khối, carbon cây mẫu

Thiết lập 22 ô mẫu hình tròn diện tích 300 m^2 rải từ tuổi 1 - 7 và trong mỗi tuổi bố trí theo sự thay đổi mật độ Bời lời đỏ. Mỗi tuổi tùy theo biến động mật độ có từ 2 - 4 ô mẫu được lập. Trong ô mẫu đo đường kính ngang ngực (D, cm), chiều cao cây (H, m), từ đó tính toán xác định cây bình quân lâm phần.

Mỗi lâm phần tiến hành chặt hạ cây có đường kính bình quân để thu thập dữ liệu sinh khối. Có 22 cây mẫu bình quân lâm phần được chặt hạ. Cây chặt hạ được bóc vỏ, tách cành, lá khô thân và cân sinh khối tươi các bộ phận thân cây, vỏ, cành và lá. Mỗi cây lấy mẫu thân ở ba vị trí gốc, giữa và ngọn, cành bao gồm cành già và non, vỏ ở ba vị trí thân cây

và lá gồm lá già và non. Mỗi mẫu có khối lượng 100 - 300 g. Tổng cộng có 88 mẫu được thu thập để phân tích sinh khối, carbon ở các bộ phận cây.

Mẫu được sấy ở nhiệt độ 105°C cho đến khi có khối lượng không đổi, từ đó xác định được tỷ lệ sinh khối khô/tươi của mỗi bộ phận và tính được sinh khối khô cho từng cây mẫu bao gồm sinh khối thân (Bst, kg), vỏ (Bba, kg), cành (Bbr, kg), lá (Ble, kg) và tổng sinh khối cây trên mặt đất ($\text{AGB} = \text{Bst} + \text{Bba} + \text{Bbr} + \text{Ble}$, kg). Mẫu sau khi sấy khô được phân tích % lượng carbon theo phương pháp Walkley - Black (1934), từ đó tính được lượng carbon trong các bộ phận cây mẫu bao gồm trong thân (Cst, kg), vỏ (Cba, kg), cành (Cbr, kg), lá (Cle, kg) và tổng toàn bộ carbon trong cây phần trên mặt đất ($\text{AGC} = \text{Cst} + \text{Cba} + \text{Cbr} + \text{Cle}$, kg). Thông tin các biến số và sinh khối, carbon của cây mẫu được tóm tắt trong Bảng 1.

2.3. Thiết lập và lựa chọn mô hình sinh khối, carbon cây rừng

Biến số độc lập, đầu vào cho các mô hình sinh khối - carbon cây rừng: Mô hình sinh khối cây rừng có độ tin cậy cao nhất khi có tối đa bốn biến số đầu vào là D, H, khối lượng thể tích gỗ (WD) và diện tích tán lá (CA) (Huy *et al.*, 2016), trong đó biến D và H phản ánh ảnh hưởng kích thước cây đến sinh khối, biến WD đại diện cho loài trong trường hợp mô hình gồm nhiều loài và biến CA phản ánh ảnh hưởng khác nhau của kích thước tán lá ở các loài đến các bộ phận sinh khối. Để đơn giản trong áp dụng, mô hình chỉ có một biến D được xây dựng (Brown, 1997; IPCC, 2003); để nâng cao độ tin cậy, số biến số được gia tăng. Mô hình bao gồm hai biến D và WD (Basuki *et al.*, 2009) hoặc ba biến D, H và WD (Chave *et al.*, 2005, 2014; Huy *et al.*, 2019). Nghiên cứu này thiết lập mô hình sinh khối cho một loài cụ thể do đó sử dụng hai biến số độc lập D và H trong đó H nằm trong tổ hợp biến D2H (Chave *et al.*, 2014).

Dạng mô hình: mặc dù có những mô hình toán phức tạp để thiết lập các mô hình sinh trắc (Picard *et al.*, 2015), nhưng hầu hết các mô hình sinh khối cây rừng đều sử dụng mô hình mũ power (Brown, 1997; IPCC, 2003; Basuki *et al.*, 2009; Chave *et al.*, 2005, 2014; Kralicek *et al.*, 2017; Huy *et al.*, 2019). Đồng

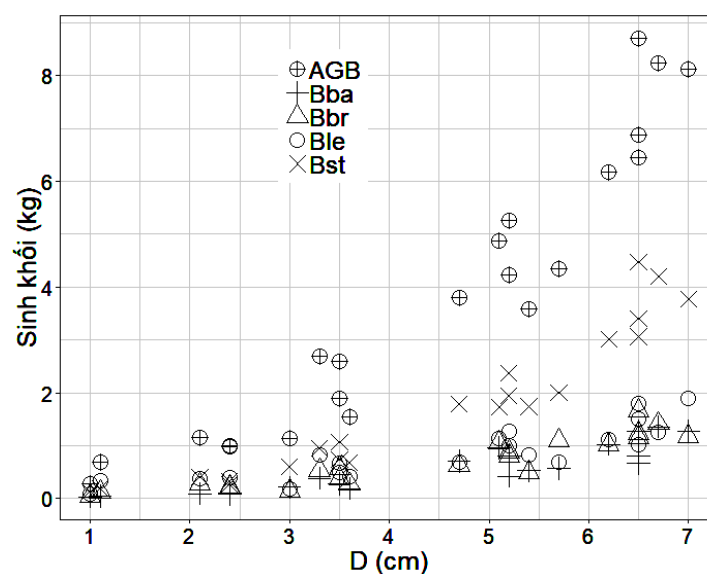
thời căn cứ vào xu hướng quan hệ sinh khối các bộ phận cây với D (Hình 1), nghiên cứu này áp dụng mô hình power.

Trọng số được áp dụng để cân bằng sai số sinh khối ở các cây có kích thước lớn (Picard *et al.* 2012; Huy *et al.*, 2019).

Bảng 1. Thông tin các biến số và sinh khối - carbon cây mẫu

Biến số	Tối thiểu	Trung bình	Tối đa	Sai tiêu chuẩn (SD)
D (cm)	1.0	4.4	7.0	1.9
H (m)	1.6	3.6	5.4	1.1
A (năm)	1	4	7	1.7
Bst (kg)	0.132	1.765	4.479	1.376
Bba (kg)	0.031	0.549	1.356	0.429
Bbr (kg)	0.040	0.698	1.656	0.473
Ble (kg)	0.080	0.833	1.885	0.502
AGB (kg)	0.283	3.844	8.703	2.687
Cst (kg)	0.060	0.846	2.156	0.654
Cba (kg)	0.014	0.250	0.613	0.195
Cbr (kg)	0.019	0.332	0.793	0.224
Cle (kg)	0.037	0.406	0.917	0.244
AGC (kg)	0.130	1.834	4.187	1.274

Ghi chú: D: Đường kính ngang ngực, H: Chiều cao cây, A: tuổi cây; Bst, Bba, Bbr, Ble và AGB lần lượt là sinh khối của thân, vỏ, cành, lá và tổng; Cst, Cba, Cbr, Cle và AGC lần lượt là carbon tích lũy trong thân, vỏ, cành, lá và tổng



Hình 1. Đồ thị đám mây điểm sinh khối các bộ phận cây và toàn bộ theo đường kính (D)

Thiết lập độc lập các mô hình sinh khối từng bộ phận cây rừng và toàn bộ theo phương pháp phi tuyến tính có trọng số Maximum Likelihood: Mô hình theo power có thể ước lượng theo hai phương pháp tuyến tính hóa theo hàm log và phi tuyến tính. Huy et al., (2016) đã sử dụng chỉ số Furnival Index (Furnival, 1961) để so sánh hai phương pháp ước lượng hàm power, kết quả cho thấy mô hình phi tuyến đạt độ tin cậy cao hơn nhiều so với tuyến tính hóa theo log. Do vậy, nghiên cứu này sử dụng phương pháp phi tuyến tính có trọng số Maximum Likelihood để thiết lập độc lập các mô hình sinh khối các bộ phận và toàn bộ cây rừng.

Sử dụng chương trình “nlme” (Pinherio et al. 2014) trong phần mềm mã nguồn mở R (R Core Team, 2018) để lập mô hình sinh khối các bộ phận cây rừng và toàn bộ độc lập với nhau theo dạng hàm tổng quát sau (Kralicek et al., 2017; Huy et al., 2019):

$$Y_i = \alpha \times X_i^\beta + \varepsilon_i \quad (1)$$

Trong đó Y_i là biến phụ thuộc gồm Bst/Cst, Bba/Cba, Bbr/Cbr, Ble/Cle, hoặc AGB/AGC (kg) của cây mẫu thứ i ; α và β là các tham số của mô hình; X_i là các biến số độc lập, đầu vào gồm D hoặc tổ hợp biến D^2H của cây mẫu thứ i ; và ε_i là sai số ngẫu nhiên ứng với cây mẫu i . Mô hình có trọng số là $1/X_i^k$, với k là hệ số của hàm phương sai.

Thiết lập đồng thời các mô hình cho từng bộ phận cây rừng và toàn bộ theo phương pháp phi tuyến tính có trọng số Seemingly Unrelated Regression (SUR): Thử nghiệm nâng cao độ tin cậy của hệ thống mô hình sinh khối, sử dụng phương pháp SUR để thiết lập đồng thời các mô hình bộ phận và toàn bộ và so sánh với phương pháp thiết lập các mô hình một cách độc lập nói trên.

Áp dụng chương trình “Proc Model” thực hiện trong phần mềm SAS (SAS Institute Inc. 2014) với SUR được áp dụng để thiết lập đồng

thời hệ thống mô hình sinh khối - carbon các bộ phận cây rừng và toàn bộ theo dạng hàm chung sau (Sanquetta et al., 2015; Huy et al., 2019):

$$Bst = a_1 \times X_{1j}^{b1j} + \varepsilon_1 \quad (2)$$

$$Bba = a_2 \times X_{2j}^{b2j} + \varepsilon_2 \quad (3)$$

$$Bbr = a_3 \times X_{3j}^{b3j} + \varepsilon_3 \quad (4)$$

$$Ble = a_4 \times X_{4j}^{b4j} + \varepsilon_4 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} AGB &= Bst + Bba + Bbr + Ble \\ &= a_1 \times X_{1j}^{b1j} + a_2 \times X_{2j}^{b2j} \\ &\quad + a_3 \times X_{3j}^{b3j} + a_4 \times X_{4j}^{b4j} + \varepsilon_5 \end{aligned} \quad (6)$$

Trong đó: Bst, Bba, Bbr, Ble và AGB sinh khối lần lượt của thân cây, vỏ, cành, lá và tổng sinh khối trên mặt đất cây rừng; a_i và b_i là tham số của hàm power i ($i = 1, 2, 3, 4$ cho thân, vỏ, cành và lá); X_{ij} là biến số đầu vào, độc lập gồm D hoặc D^2H của hàm thứ i và biến j ; và ε_i là sai số ngẫu nhiên của hàm thứ i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$). Trọng số của mô hình là $1/X_{ij}^{2a}$ (Picard et al., 2012) với a thay đổi ± 10 để dò tìm hàm tối ưu có sai số bé nhất. Tương tự như vậy thiết lập các mô hình ước tính đồng thời carbon tích lũy trong các bộ phận thân cây (Cst), vỏ (Cba), cành (Cbr), lá (Cle) và toàn bộ (AGC).

Chỉ tiêu thống kê đánh giá, so sánh các mô hình: Để lựa chọn mô hình, chỉ tiêu thống kê chính được áp dụng là AIC (Akaike information criterion, Akaike, 1973). AIC càng bé (về số đại số) thì mô hình càng có độ tin cậy cao hơn. Đồng thời hệ số xác định điều chỉnh R^2_{adj} cũng được sử dụng, R^2_{adj} càng gần 1 thì mô hình càng chặt chẽ. Song song là sử dụng các đồ thị quan hệ giữa giá trị quan sát với dự đoán, đồ thị biến động sai số theo giá trị dự đoán để thẩm định và lựa chọn mô hình.

Các sai số sau đây được tính toán để so sánh độ tin cậy của các phương pháp lập mô hình khác nhau: Sai lệch (Bias, %), sai số trung

phương (root mean square error, RMSE, %), và sai số tuyệt đối trung bình % (mean absolute percent error, MAPE, %) (Basuki *et al.*, 2009; Huy *et al.*, 2019). Các sai số càng bé thì mô hình đạt độ tin cậy cao hơn.

$$Bias(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \quad (7)$$

$$RMSE(kg) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (8)$$

$$MAPE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (9)$$

Trong đó n là số cây mẫu; y_i , \hat{y}_i lần lượt là giá trị sinh khối - carbon quan sát và ước tính qua mô hình.

III. KẾT QUẢ

3.1. Mô hình ước tính sinh khối các bộ phận cây rừng

Mỗi mô hình bộ phận cây và toàn bộ được thử nghiệm với hai loại biến số đầu vào là D hoặc D^2H . Các mô hình được thiết lập độc lập nhau và kết quả các chỉ tiêu thống kê, sai số của từng mô hình trình bày ở bảng 2. Đồng thời cũng thẩm định mối quan hệ giữa giá trị sinh khối dự đoán so với quan sát và biến động sai số có trọng số theo giá trị dự báo qua các Hình 2 đến hình 6.

Kết quả cho thấy mô hình sinh khối thích hợp nhất đối với thân cây (Bst), vỏ cây (Bba), lá cây (Ble) và toàn bộ (AGB) có tổ hợp biến D^2H ; trong khi đó mô hình thích hợp với sinh khối cành (Bbr) chỉ có một biến đơn D.

Từ kết quả đánh giá, lựa chọn mô hình; ước tính các tham số của các mô hình bộ phận cây và toàn bộ một cách độc lập như sau:

$$Bst = 0.04780 \times (D^2H)^{0.81271} \quad (10)$$

$$Bba = 0.02102 \times (D^2H)^{0.73525} \quad (11)$$

$$Bbr = 0.05324 \times D^{0.59408} \quad (12)$$

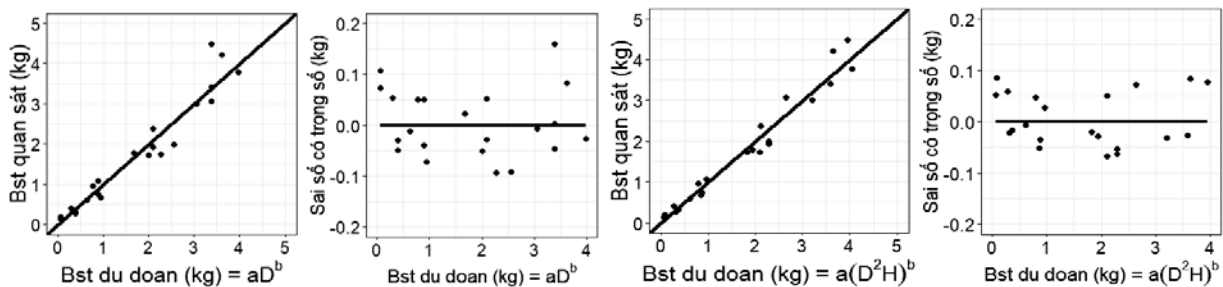
$$Ble = 0.11367 \times (D^2H)^{0.46810} \quad (13)$$

$$AGB = 0.19364 \times (D^2H)^{0.68258} \quad (14)$$

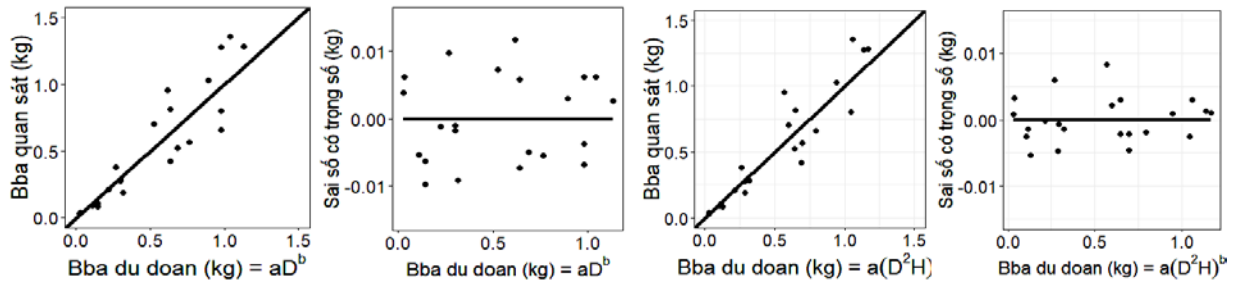
3.2. Hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối - carbon ở các bộ phận cây rừng theo phương pháp SUR

Nghiên cứu này đã thử nghiệm phương pháp SUR để thiết lập đồng thời các mô hình sinh khối và carbon của bốn bộ phận cây (thân, vỏ, cành và lá) và tổng toàn bộ, kết quả được trình bày ở các bảng 3 và bảng 4.

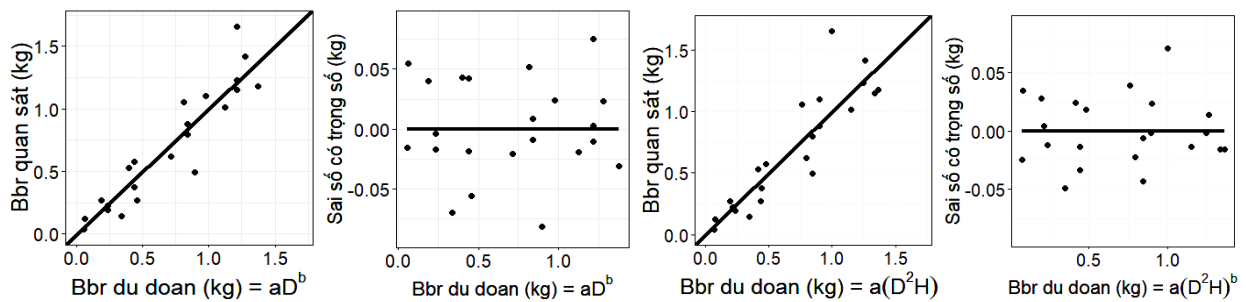
Quan hệ chặt chẽ giữa carbon các bộ phận và tổng được dự đoán qua hệ thống mô hình đồng thời và so với các giá trị carbon quan sát trình bày ở hình 7.



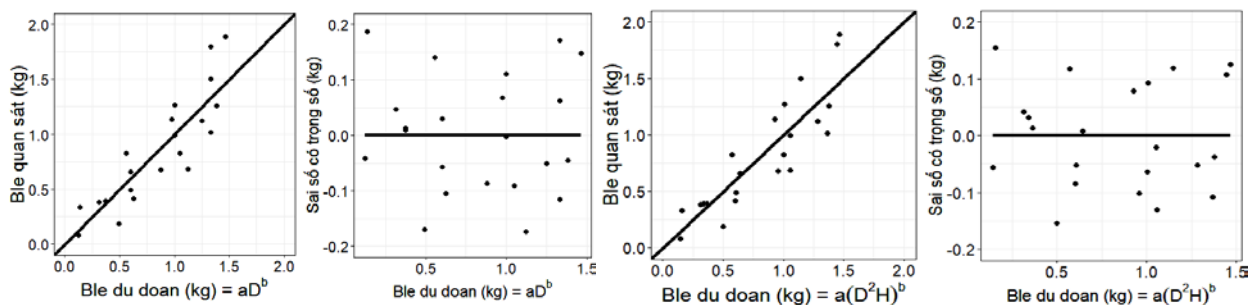
Hình 2. Quan hệ giá trị sinh khối thân cây (Bst) quan sát với dự đoán (trái) và biến động sai số có trọng số theo giá trị Bst dự đoán (phải) với các mô hình có biến đầu vào khác nhau



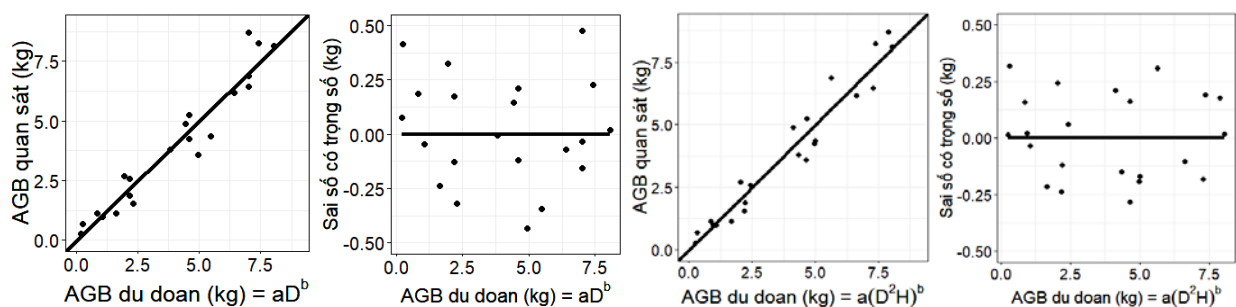
Hình 3. Quan hệ giá trị sinh khối vỏ cây (Bba) quan sát với dự đoán (trái) và biến động sai số có trọng số theo giá trị Bba dự đoán (phải) với các mô hình có biến đầu vào khác nhau



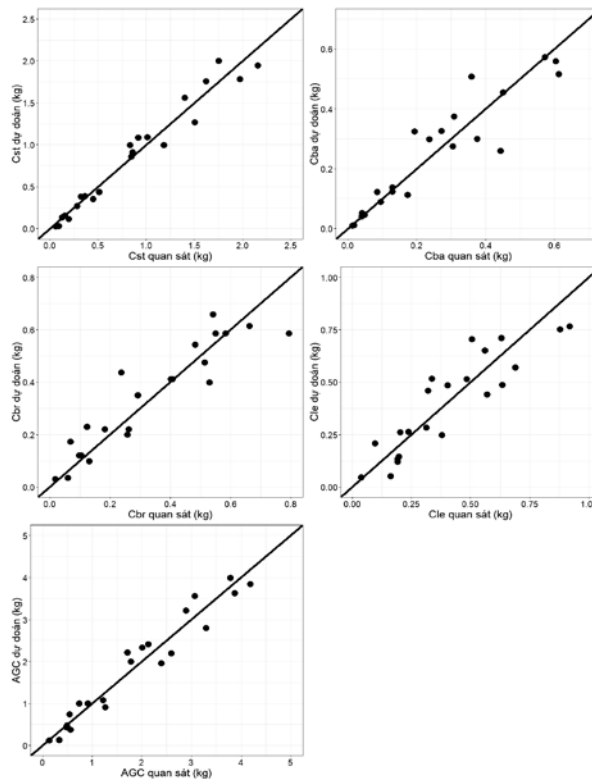
Hình 4. Quan hệ giá trị sinh khối cành cây (Bbr) quan sát với dự đoán (trái) và biến động sai số có trọng số theo giá trị Bbr dự đoán (phải) với các mô hình có biến đầu vào khác nhau



Hình 5. Quan hệ giá trị sinh khối lá cây (Ble) quan sát với dự đoán (trái) và biến động sai số có trọng số theo giá trị Ble dự đoán (phải) với các mô hình có biến đầu vào khác nhau



Hình 6. Quan hệ giá trị sinh khối cây trên mặt đất (AGB) quan sát với dự đoán (trái) và biến động sai số có trọng số theo giá trị AGB dự đoán (phải) với các mô hình có biến đầu vào khác nhau



Hình 7. Quan hệ giá trị carbon dự đoán đồng thời theo phương pháp SUR với giá trị carbon quan sát của các bộ phận thân cây (Cst), vỏ cây (Cba), cành cây (Cbr), lá cây (Cle) và toàn bộ trên mặt đất của cây (AGC)

Bảng 2. So sánh và lựa chọn các mô hình sinh khối bộ phận và toàn bộ được thiết lập độc lập nhau

Mô hình sinh khối bộ phận và toàn bộ	Trọng số	AIC	Adj. R ²	Bias (%)	RMSE (kg)	MAPE (%)
<i>Mô hình Bst:</i>						
$Bst = a \times D^b$	$1/D^k$	17.9	0.921	0.07	0.349	21.4
$Bst = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^k$	6.6	0.956	1.99	0.260	17.3
<i>Mô hình Bba:</i>						
$Bba = a \times D^b$	$1/D^k$	- 23.1	0.792	- 8.79	0.176	28.3
$Bba = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^k$	- 28.5	0.841	- 6.30	0.155	22.2
<i>Mô hình Bbr:</i>						
$Bbr = a \times D^b$	$1/D^k$	- 8.7	0.841	- 9.85	0.170	28.3
$Bbr = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^k$	- 3.5	0.768	- 12.26	0.206	30.9
<i>Mô hình Ble:</i>						
$Ble = a \times D^b$	$1/D^k$	9.0	0.733	- 10.92	0.235	31.2
$Ble = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^k$	8.5	0.733	- 12.01	0.234	32.8
<i>Mô hình AGB:</i>						
$AGB = a \times D^b$	$1/D^k$	53.4	0.925	- 0.05	0.665	19.4
$AGB = a \times (D^2H)^b$	$1/(D^2H)^k$	50.4	0.933	- 1.05	0.627	18.0

Ghi chú: k: hệ số của hàm phương sai; In đậm là mô hình lựa chọn cho từng bộ phận cây rừng và toàn bộ.

Bảng 3. Sử dụng phương pháp SUR thiết lập đồng thời các mô hình sinh khối của thân cây (Bst), vỏ cây (Bba), cành cây (Bbr), lá cây (Ble) và toàn bộ (AGB)

Mô hình sinh khối các bộ phận cây rừng và toàn bộ	Trọng số	Tham số	Giá trị tham số và biến động với P = 95%	RMSE (kg)	Adj. R ²
$Bst = a_1 \times (D^2H)^{b_1}$	1/D	a ₁ b ₁	0.03007 ± 0.00733 0.90517 ± 0.04690	0.260	0.964
$Bba = a_2 \times (D^2H)^{b_2}$	1/D	a ₂ b ₂	0.02204 ± 0.00952 0.72807 ± 0.08470	0.158	0.865
$Bbr = a_3 \times D^{b_3}$	1/D ²	a ₃ b ₃	0.03490 ± 0.01050 1.92566 ± 0.16140	0.177	0.861
$Ble = a_4 \times (D^2H)^{b_4}$	1/D	a ₄ b ₄	0.08521 ± 0.02820 0.52430 ± 0.06590	0.238	0.775
$AGB = Bst + Bba + Bbr + Ble = a_1 \times (D^2H)^{b_1} + a_2 \times (D^2H)^{b_2} + a_3 \times D^{b_3} + a_4 \times (D^2H)^{b_4}$				0.663	0.939

Bảng 4. Sử dụng phương pháp SUR thiết lập đồng thời các mô hình carbon của thân cây (Cst), vỏ cây (Cba), cành cây (Cbr), lá cây (Cle) và toàn bộ (AGC)

Mô hình carbon các bộ phận cây rừng và toàn bộ	Trọng số	Tham số	Giá trị tham số và biến động với P = 95%	RMSE (kg)	Adj. R ²
$Cst = a_1 \times (D^2H)^{b_1}$	1/D	a ₁ b ₁	0.01766 ± 0.00504 0.86600 ± 0.05510	0.132	0.959
$Cba = a_2 \times (D^2H)^{b_2}$	1/D ⁻²	a ₂ b ₂	0.00696 ± 0.00269 0.80754 ± 0.07880	0.072	0.866
$Cbr = a_3 \times D^{b_3}$	1/D ²	a ₃ b ₃	0.03024 ± 0.01160 1.58313 ± 0.21130	0.086	0.853
$Cle = a_4 \times (D^2H)^{b_4}$	1/D	a ₄ b ₄	0.03523 ± 0.01590 0.56375 ± 0.08860	0.112	0.789
$AGC = Cst + Cba + Cbr + Cle = a_1 \times (D^2H)^{b_1} + a_2 \times (D^2H)^{b_2} + a_3 \times D^{b_3} + a_4 \times (D^2H)^{b_4}$				0.331	0.933

IV. THẢO LUẬN

4.1. Đặc điểm của các mô hình ước tính sinh khối cây rừng được thiết lập độc lập

Khi các mô hình được thiết lập độc lập, sai số bé nhất ở mô hình sinh khối thân (Bst) và toàn bộ (AGB) với MAPE = 17 - 18%; trong khi đó sai số ước tính sinh khối vỏ, cành và lá cao hơn khá nhiều, sai số MAPE = 22 - 33%.

Hầu hết các mô hình sinh khối bộ phận và AGB đều bao gồm biến H - một biến chỉ thị cho lập địa khác nhau (Dutca *et al.*, 2018). Điều này phản ánh đúng thực tế vì Bời lời đở ở khu vực nghiên cứu được trồng trên các loại

đất khác nhau hoặc đất ở các mức thoái hóa sau nương rẫy khác nhau.

4.2. Hệ thống mô hình thiết lập đồng thời theo SUR cải thiện độ tin cậy ước tính sinh khối - carbon của các bộ phận cây rừng và toàn bộ

Hệ thống mô hình sinh khối - carbon thiết lập đồng thời theo SUR có các sai số trung phương RMSE xấp xỉ với các mô hình được thiết lập độc lập và có R² cao hơn (bảng 2 và bảng 3) vì đã cải thiện được mối quan hệ giữa các sinh khối bộ phận trong hệ thống mô hình.

Sử dụng các mô hình thiết lập độc lập để ước tính lần lượt sinh khối các bộ phận như thân, vỏ, cành, lá và tổng lại có được AGB. Giá trị AGB từ tổng của các mô hình bộ phận độc lập có sai khác đáng kể so với giá trị được ước tính từ mô hình AGB độc lập với các mô hình bộ phận. Đây là hạn chế của thiết lập hệ thống mô hình riêng lẻ như hiện nay (Sanquetta *et al.*, 2015; Poudel and Temesgen, 2016; Huy *et al.*, 2019).

Ví dụ với cây trung bình có $D = 5,0$ cm và $H = 4,0$ m, thế vào các mô hình độc lập từ (10) đến (13) tính được sinh khối bốn bộ phận của cây là $B_{st} = 2,018$ kg, $B_{ba} = 0,621$ kg, $B_{br} = 0,139$ kg và $B_{le} = 0,981$ kg. Tổng sinh khối AGB từ bốn mô hình độc lập là $AGB = 3,759$ kg. Trong khi đó sử dụng mô hình ước tính AGB độc lập với bốn bộ phận của nó là hàm (14) thì kết quả có $AGB = 4,489$ kg. Sai lệch giữa AGB ước tính từ mô hình độc lập với AGB tổng từ bốn mô hình bộ phận là 16,3%. Sai lệch như vậy là lớn và đây cũng là hạn chế của phương pháp truyền thống khi thiết lập các mô hình sinh khối - carbon cho các bộ phận cây và AGB một cách độc lập nhau. Phương pháp SUR đã thực sự cải thiện điều này, hệ thống mô hình ước tính đồng thời luôn cho kết quả sinh khối cây trên mặt đất (AGB) luôn bằng tổng sinh khối của bốn bộ phận cây.

Hơn thế nữa, áp dụng SUR thiết lập đồng thời hệ thống các mô hình bộ phận và toàn bộ có xem xét đến mối liên hệ chéo giữa sinh khối các bộ phận cây rừng, từ đó tham số của các mô hình bộ phận được điều chỉnh để hài hòa sai số và nâng cao độ tin cậy của toàn bộ hệ thống mô hình (Parresol, 2001; Poudel and

Temesgen, 2016; Huy *et al.*, 2019). Hình 7 chỉ ra các giá trị carbon của các bộ phận cây và toàn bộ được dự đoán qua hệ thống mô hình thiết lập đồng thời theo SUR bám sát các dữ liệu quan sát thực tế.

Đa số hiện nay chỉ thiết lập mô hình ước tính sinh khối, rất ít mô hình carbon tích lũy trong cây rừng. Carbon trong các bộ phận thực vật được chuyển đổi theo hệ số $CF = 0.47$ (IPCC, 2003, 2006), với $Carbon = CF \times Sinh\ khối$. Nghiên cứu này đã thiết lập hệ thống mô hình ước tính đồng thời carbon tích lũy ở bốn bộ phận cây Bời lời đỏ và toàn bộ, điều này đã giúp cải thiện được độ tin cậy trong ước tính carbon tích lũy trong cây rừng mà không phải qua hệ số chuyển đổi của IPCC.

V. KẾT LUẬN

Thiết lập hệ thống mô hình theo phương pháp SUR để ước tính đồng thời sinh khối - carbon của các bộ phận cây và toàn bộ đạt độ tin cậy cao hơn phương pháp truyền thống là thiết lập một cách độc lập các mô hình từng bộ phận và tổng chung. Phương pháp SUR là một trong giải pháp phát triển các hệ thống mô hình ước lượng sinh khối - carbon cây rừng toàn diện và cần được khuyến khích áp dụng ở Việt Nam.

Hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối - carbon bốn bộ phận cây rừng Bời lời đỏ và tổng chung được lựa chọn có dạng tổng quát như sau:

$$AGB = B_{st} + B_{ba} + B_{br} + B_{le} = a_1 \times (D^2H)^{b_1} + a_2 \times (D^2H)^{b_2} + a_3 \times D^{b_3} + a_4 \times (D^2H)^{b_4}$$

$$AGC = C_{st} + C_{ba} + C_{br} + C_{le} = a_1 \times (D^2H)^{b_1} + a_2 \times (D^2H)^{b_2} + a_3 \times D^{b_3} + a_4 \times (D^2H)^{b_4}$$

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Akaike, H., 1973. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. In: Petrov, B.N., Csaki, F.E. (Eds.), Second International Symposium on Information Theory. Akademiai Kiado, Budapest, pp. 267 - 281

2. Bảo Huy, 2012. Ước lượng năng lực hấp thụ CO₂ của cây Bời lời đỏ (*Litsea glutinosa*) trong các mô hình nông lâm kết hợp Bời lời đỏ - sắn ở Tây Nguyên làm cơ sở chỉ trả dịch vụ môi trường. Tạp chí Rừng và Môi trường, 44 - 45(2012): 14 - 20
3. Basuki, T.M., van Laake, P.E., Skidmore, A.K., Hussin, Y.A., 2009. Allometric equations for estimating the above - ground biomass in the tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257, 1684 - 1694.
4. Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A Primer. FAO Forestry paper. 134 pp. ISBN 92 - 5 - 103955 - 0. Available at: <http://www.fao.org/docrep/W4095E/w4095e00.htm#Contents>.
5. Chave, J., Andalo, A., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J. - P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., Yamakura, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145, 87 - 99
6. Chave, J., Mechain, M.R., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B.C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., Yrizar, A.M., Mugasha, W.A., Mullerlandau, H.C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M., Ortiz - Malavassi, E., Pelissier, 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, 3177 - 3190.
7. Dutca, I., Mather, R., Blujdea, V.N.B., Ioraş, F., Olari, M., & Abrudan, L.V., 2018. Site - effects on biomass allometric models for early growth plantations of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Biomass and Bioenergy* 116(2018): 8 - 16: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.05.013>
8. Furnival, G.M., 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science* 7, 337 - 341.
9. Hinsinger, D.D., Strijk, J.S. 2016. Toward phylogenomics of Lauraceae: The complete chloroplast genome sequence of *Litsea glutinosa* (Lauraceae), an invasive tree species on Indian and Pacific Ocean islands. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plgene.2016.08.002>
10. Huy, B. 2009. CO₂ sequestration estimation of *Litsea glutinosa* species in agroforestry model of Litsea and Cassava in Mang Yang district, Gia lai province of the Central Highlands of Viet Nam. Technical Report. SIDA, ICRAF, 44pp.
11. Huy, B. 2014. CO₂ sequestration estimation for the Litsea - Casava agroforestry model in the Central Highlands of Vietnam. Compendium of abstracts of World Congress on Agroforestry, New Delhi, India, 10 - 13 Feb 2014. ICAR, World Agroforestry Center, Global Initiatives, pp 18 and pp 1 - 8.
12. Huy, B., Poudel, K.P., Temesgen, H. 2016. Aboveground biomass equations for evergreen broadleaf forests in South Central Coastal ecoregion of Viet Nam: Selection of eco - regional or pantropical models. *Forest Ecology and Management*, 376(2016): 276 - 283.
13. Huy, B., Tinh, N.T., Poudel, K.P., Frank, B.M., Temesgen, H. 2019. Taxon - specific modeling systems for improving reliability of tree aboveground biomass and its components estimates in tropical dry dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management*, 437(2019): 156 - 174.
14. IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land - Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Hayama, Japan. 590 pp.
15. IPCC, 2006. Forest Land. Chapter 4. In: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., (eds): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published: IGES, Japan. 83 pp.
16. Kralicek, K., Huy, B., Poudel, K.P., Temesgen, H., Salas, C. 2017. Simultaneous estimation of above - and below - ground biomass in tropical forests of Viet Nam. *Forest Ecology and Management* 390 (2017): 147 - 156.
17. Lê Văn Minh, 1996. Trồng cây Bời lời. Tạp chí Lâm nghiệp, số 4 - 5(1996): 15 - 20.
18. Pandey, A.K., and Mandal, A.K. 2012. Sustainable Harvesting of *Terminalia arjuna* (Roxb.) Wight & Arnot (Arjuna) and *Litsea glutinosa* (Lour.) Robinson (Maida) Bark in Central India. *Journal of Sustainable Forestry*, 31:294 - 309.
19. Parresol, B.R., 2001. Additivity of nonlinear biomass equations. *Can. J. For. Res.* 31(5), 865 - 878

20. Phạm Hoàng Hộ. 1999. Cây cỏ Việt Nam, Quyển I. NXB Trẻ. Tp. Hồ Chí Minh, 991 trang.
21. Picard, N., Rutishauser E., Ploton P., Ngomanda A., and Henry, M., 2015. Should tree biomass allometry be restricted to power models? *Forest Ecology and Management* 353, 156 - 163.
22. Picard, N., Saint - André L., Henry, M. 2012. Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, and Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier, 215 pp.
23. Pinheiro, J., Bates, D., Debroy, S., Sarkar, D. & Team, R. C. 2014. nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1 - 117.
24. Poudel, K.P., Temesgen, H. 2016. Methods for estimating aboveground biomass and its components for Douglas - fir and lodgepole pine trees. *Can. J. For. Res.* 46: 77 - 87; [dx.doi.org/10.1139/cjfr-2015-0256](https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0256)
25. R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
26. Sanquetta, C.R., Behling, A., Corte, A.P.D., Netto, S.P., Schikowski, A.B. 2015. Simultaneous estimation as alternative to independent modeling of tree biomass. *Annals of Forest Science*, 72 (8):1099 - 1112.
27. SAS Institute Inc. 2014. SAS/ETS® 13.2 User's Guide. Chapter 19: The MODEL Procedure. Cary, NC: SAS Institute Inc. pp. 1067 - 1373.
28. Sumithregowda, A.H., Venkatarangaiah, K., Honnenahally, K.M., Manjunath, V.N. 2017. Cytotoxicity and Oral Acute Toxicity Studies of *Litsea glutinosa* C. B (ROB) Stem Bark Ethanol Extract. *Pharmacogn J.* 9(6):880 - 886
29. Temesgen, H, Affleck, D., Poudel, K., Gray, A., and Sessions, J. 2015. A review of the challenges and opportunities in estimating above ground forest biomass using tree - level models. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2015 30(4); 326 - 335. <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2015.1012114>
30. The Plant List. 2019. Available at: <http://www.theplantlist.org/>, assess on 29 March 2019.
31. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29 - 38.
32. Wua, Y., Jina, Y., Donga, L., Lia, Y., Zhanga, C., Guib, M., Zhanga, X. 2017. New lignan glycosides from the root barks of *Litsea glutinosa*. *Phytochemistry Letters*, 20 (2017): 259 - 262.
33. Yang, Y. 2008. Proposal to conserve the name *Machilus* (Lauraceae) with a conserved type. *Taxon* 57(2): 652 - 654

Email tác giả chính: baohuy.frem@gmail.com

Ngày nhận bài: 25/03/2019

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 31/03/2019

Ngày duyệt đăng: 01/04/2019