Tạp chí KHLN Số 4/2020
©: Viện KHLNVN - VAFS
ISSN: 1859 - 0373 Đăng tải tại: www.vafs.gov.vn

MÔ HÌNH ƯỚC TÍNH SINH KHỐI TRÊN MẶT ĐẤT CÂY RỪNG KHỘP ĐƯỢC ĐIỀU CHỈNH THEO CÁC NHÂN TỐ SINH THÁI VÀ MÔI TRƯỜNG RỪNG

Nguyễn Thị Tình[1], Bảo Huy[2]

[1] Trường Đại học Tây Nguyên
[2] Tư vấn độc lập

TÓM TẮT

Mục đích của nghiên cứu là đánh giá để lựa chọn mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp (*AGB*) dưới ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng nhằm nâng cao độ tin cậy. Áp dụng phương pháp rút mẫu chặt hạ với 329 cây mẫu để thu thập dữ liệu sinh khối; sử dụng phương pháp ước lượng mô hình phi tuyến có trọng số, cố định hoặc xét ảnh hưởng của các nhân tố theo Maximum Likelihood và thẩm định chéo K-Fold với K=10 để so sánh sai số và lựa chọn mô hình. Kết quả cho thấy từng nhân tố sinh thái, môi trường rừng không ảnh hưởng đến *AGB*, trong khi đó ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái, môi trường rừng đến mô hình *AGB* là rõ rệt, thông qua dạng mô hình *AGB = AVERAGE × MODIFIER* với độ tin cậy được nâng cao rõ rệt so với mô hình không có sự tham gia các nhân tố này.

Từ khóa: Mô hình sinh khối, nhân tố sinh thái, rừng khộp

Allometric equation for estimating tree above ground biomass modified by ecological and forest environmetal factors in dipterocarp forests

The purpose of the study was to validate and select the best model for estimating tree above ground biomass (*AGB*) in dry dipterocar forests under the influence of ecological and forest environemtal factors to improve the reliability. A total of 329 trees were destructively sampled to obtain a dataset of the dry biomass of *AGB*; The estimation methods for equations were weighted nonlinear fixed/mixed models with/without random effects fit by Maximum Likelihood; Using K-fold cross validation with K = 10, we compared *AGB* predictions from developed *AGB* models with and without ecological or forest environmetal factors. As a result, each ecological or forest environmetal factor did not affect *AGB*, while the combined factors effect to *AGB* model through the form: *AGB = AVERAGE × MODIFIER* that was significantly more reliable than model without these factors involved.

Keywords: Biomass equation, dipterocarp forest, ecological factor.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rừng khộp (Rừng nhiệt đới khô rụng lá cây họ Dầu ưu thế - Tropical Deciduous Dry Dipterocarp Forest, viết tắt Dipterocarp Forest - DF) có vai trò quan trọng trong giảm nhẹ biến đổi khí hậu nhờ năng lực tích lũy carbon của nó. Để ước tính khả năng hấp thụ khí nhà kính CO_2 của rừng khộp làm cơ sở phát triển dịch vụ sinh thái rừng, cần có hệ thống mô hình ước tính sinh khối, carbon cho kiểu rừng đặc thù này ở Việt Nam, Đông Nam Á và Nam Á.

Hiện tại đối với mô hình ước tính sinh khối, carbon cây rừng khộp trong nước và trên thế giới chỉ mới một vài công bố quốc tế đó là Huy và đồng tác giả. (2016c) và Kralicek và đồng tác giả (2017) ở Việt Nam và Basuki và đồng tác giả (2009) cho Indonesia. Kralicek và đồng tác giả (2017) là một công bố hiếm hoi đề cập đến mô hình ước tính sinh khối dưới mặt đất (*BGB*) của cây rừng khộp; vì sự khó khăn và chi phí cao của việc thu thập dữ liệu sinh khối của hệ rễ cây rừng.

Phương pháp thiết lập mô hình sinh khối cũng rất đa dạng. Từ lựa chọn biến số cho mô hình, kiểu dạng mô hình, phương pháp thiết lập mô hình và thẩm định sai số, trong đó có ba biến số độc lập để mô hình cho độ tin cây cao là đường kính ngang ngực (*D*), chiều cao (*H*) và khối lượng thể tích (*WD*) đối với mô hình lập chung cho nhiều loài và ở các vùng sinh thái khác nhau; hàm mũ power tuy không phải có độ chính xác cao nhất so với các mô hình phức tạp khác, nhưng tỏ ra phù hợp trong nhiều trường hợp (Picard *et al.*, 2015); và phương pháp lập mô hình phi tuyến tính có trọng số theo Maximum Likelihood cho độ tin cậy cao hơn là tuyến tính hóa theo log; và thẩm định chéo phản ảnh khách quan sai số của mô hình sinh khối (Chave *et al.*, 2005, 2014; Huy *et al.*, 2016a, b, c, 2019).

Mặt khác, sinh khối cây rừng thường không chỉ có quan hệ với các biến điều tra cây rừng mà còn bị chi phối bởi các nhân tố sinh thái môi trường rừng khi mô hình lập trên nhiều vùng sinh thái và trạng thái rừng khác nhau.

Vì vậy, nghiên cứu này nhằm mục đích thiết lập và thẩm định chéo mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất cây rừng khộp trong đó có điều chỉnh theo các nhân tố sinh thái môi trường rừng để cải thiện độ tin cậy.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đặc điểm khu vực nghiên cứu

Dữ liệu được thu thập ở hai vùng sinh thái đó là vùng Tây Nguyên (CH) và Đông Nam Bộ (SE). Các địa điểm nghiên cứu nằm ở vĩ độ Bắc: 11020'N - 13030'N và kinh độ Đông: 107035'E - 108045'E (hình 1).

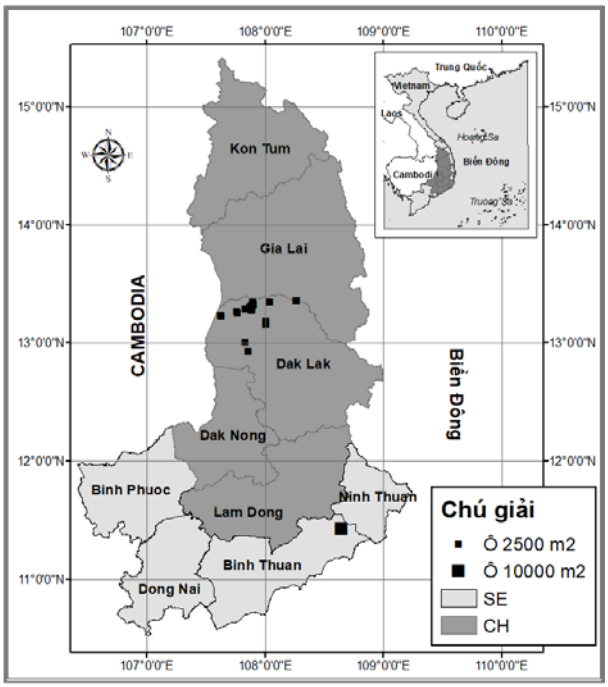
Lượng mưa trung bình hàng năm ở CH là 1.600 mm và ở SE là 1.003 mm, với nhiệt độ trung bình hàng năm là 25,3 - 25,5^{o}C, mùa khô kéo dài 3 - 4 tháng. Độ cao so với mặt biển trong các vùng nghiên cứu nằm trong khoảng từ 171 đến 417 m, địa hình của khu vực nghiên cứu tương đối bằng phẳng và đất chủ yếu có nguồn gốc núi đá lửa. (Nguồn: Từ nghiên cứu; Hijmans *et al.*, 2005; Fischer *et al.*, 2008).

2.2. Thu thập số liệu sinh khối trên cây mẫu chặt hạ và dữ liệu sinh thái môi trường và lâm phần nghiên cứu

Hai mươi tám ô mẫu 0,25 ha tại Tây Nguyên (CH), vùng phân bố chủ yếu của rừng khộp ở Việt Nam và một ô mẫu 1 ha trong vùng sinh thái Đông Nam Bộ (SE) đã được thiết lập (hình 1). Trong ô mẫu, loài cây gỗ rừng được xác định, đo cây có đường kính ngang ngực (D, cm) ≥ 5cm và chiều cao của cây (H, m). Rừng khộp nghiên cứu có mật độ (N, cây/ha) từ 228 - 1.291 cây/ha (với D ≥ 5cm), tổng tiết diện ngang (BA, m^2/ha) dao động từ 3,8 đến 23,4 m^2/ha (bảng 1).

Trong mỗi ô mẫu, khu vực nghiên cứu thu thập các dữ liệu sinh thái môi trường như độ

cao so với mặt biển (Altitude, m), độ dốc (Slope, độ), lượng mưa trung bình năm (P, mm/năm), nhiệt độ trung bình năm (T, ^{o}C/năm), loại đất (Nguồn: Từ nghiên cứu, Hijmans *et al.*, 2005; Fischer *et al.*, 2008) trình bày trong bảng 1, trong đó các nhân tố có sự biến động được nghiên cứu ảnh hưởng ngẫu nhiên đến mô hình sinh khối như khác nhau hai vùng sinh thái, Altitude, P, BA và N.



Hình 1. Bản đồ phân bố các ô mẫu nghiên cứu trong rừng khộp ở Tây Nguyên (CH) và Đông Nam Bộ (SE)

Mô hình sinh khối trong nghiên cứu này hướng đến đạt độ tin cậy cao theo yêu cầu của IPCC (2003, 2006), do vậy dữ liệu sinh khối đầu vào để lập mô hình sinh khối cây rừng được thu thập trực tiếp theo phương pháp rút mẫu chặt hạ (destructive sampling). Rừng khộp hỗn loài, khác tuổi, nên lựa chọn cây lấy mẫu tỷ lệ thuận với phân bố đường kính của lâm phần (hình 2).

Dựa vào Picard và đồng tác giả (2012) và Dutcă và đồng tác giả, (2020) để xác định số cây mẫu phù hợp, đạt độ tin cậy để lập mô hình (từ 100 - 166 cây mẫu); vì vậy trong nghiên cứu này có tổng cộng 329 cây mẫu được chặt hạ để thu thập dữ liệu sinh khối tươi và lấy mẫu để xác định tỷ lệ sinh khối khô/tươi các bộ phận cây rừng; trong đó bao gồm 222 cây mẫu từ bộ dữ liệu của Huy và đồng tác giả (2016c) và 107 cây được lấy mẫu từ nghiên cứu này, nhằm tăng cường số liệu cho các họ, chi và loài ưu thế rừng khộp.

Trước khi chặt hạ cây mẫu, tiến hành đo *D, H* và xác định loài của mỗi cây mẫu. Chiều cao cây được đo lại sau khi cây mẫu đã được chặt. Khối lượng sinh khối tươi của các bộ phận cây như lá, cành và thân cây có vỏ được cân và ghi chép. Thân cây mẫu được phân thành năm đoạn có chiều dài bằng nhau và đo đường kính có và không có vỏ của cây tại vị trí 5 đoạn để tách sinh khối thân cây và vỏ. Mẫu của bộ phận gỗ và vỏ cây mẫu là 500 g và 300 g và được lấy 5 mẫu ở 5 đoạn trên thân cây. Mẫu của cành là 500 g và thu thập 3 mẫu ở ba vị trí trên cành (lớn, trung bình và nhỏ).

Bảng 1. Biến động dữ liệu các nhân tố sinh thái môi trường rừng khộp nghiên cứu

Nhân tố sinh thái môi trường, lâm phần	Tối thiểu	Trung bình	Tối đa	Sai tiêu chuẩn Sd
Độ cao so với mặt biển (Altitude, m)	171	246	417	64,6
Độ dốc (Slope, °)	0	2,0	8,0	2,2
Lượng mưa trung bình năm (P, mm/năm)	1.003	1.502	1.600	221,5
Nhiệt độ trung bình năm (T, °C)	25,3	25,4	25,5	0.07
Loại đất	Phát triển trên núi đã lửa (Igneous Rocks)			
Tiết diện ngang rừng khộp (BA, m^2/ha với D ≥ 5 cm)	3,78	12,62	23,41	5.61
Mật độ rừng khộp (N, cây/ha với D ≥ 5 cm)	228	534	1292	256,4

Nguồn: Từ nghiên cứu, Hijmans et al., 2005; Fischer et al., 2008

Mẫu lá là 300 g bao gồm hai mẫu lá già và non. Các mẫu của bốn thành phần sinh khối của cây đã được đưa đến phòng thí nghiệm để tính tỷ lệ khối lượng khô/tươi, và khối lượng thể tích gỗ (*WD,* g/cm^3).

Khi ở trong phòng thí nghiệm, thể tích tươi của mẫu gỗ được xác định bằng phương pháp nước chiếm chỗ trong ống nghiệm. Tất cả các mẫu đều được chẻ nhỏ và sấy khô ở 105°C cho đến khối lượng không đổi. Khối lượng thể tích (*WD,* g/cm^3) của mẫu được lấy bằng tỷ số giữa khối lượng khô và thể tích tươi của mỗi mẫu. *WD* của mỗi cây mẫu gỗ được tính trung bình lấy từ năm phân đoạn (Huy *et al.*, 2016a).

Sinh khối khô của mỗi thành phần cây đã được tính toán theo khối lượng tươi của nó nhân với tỷ lệ tươi/khô. Sinh khối cây rừng trên mặt đất (*AGB*, kg) của mỗi cây là tổng sinh khối của thân cây (B_{st}), sinh khối của cành nhánh (B_{br}), sinh khối lá (B_l) và sinh khối của vỏ cây (B_{ba}) (Huy *et al.*, 2016a).

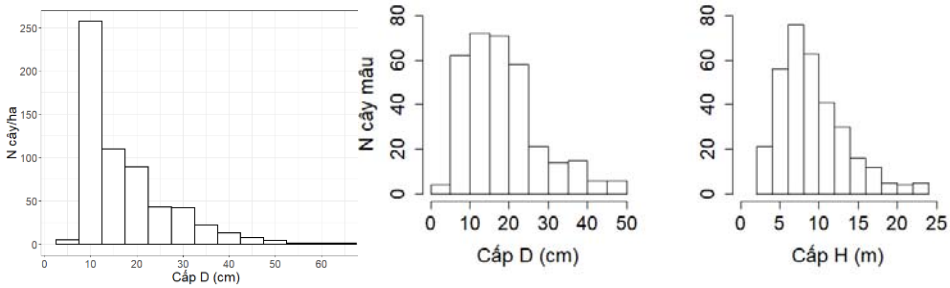
2.3. Phương pháp thiết lập mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp dưới ảnh hưởng của từng nhân tố sinh thái môi trường rừng

2.3.1. Lựa chọn biến số đầu vào, độc lập (Predictor(s)) cho mô hình sinh khối cây rừng khộp AGB

Nghiên cứu này theo Huy *et al.* (2016c) sử dụng ba biến số đầu vào là *D, H* và *WD* cho mô hình ước tính *AGB* để đạt độ tin cậy cao nhất.

2.3.2. Chọn dạng phương trình sinh khối cây rừng

Dựa trên các kết quả nghiên cứu đã công bố trong và ngoài nước (Brown, 1997; Basuki *et al.*, 2009; Chave *et al.*, 2005, 2014; Picard *et al.*, 2015; Huy *et al.*, 2016a, b, c), nghiên cứu này áp dụng hàm Power để lập và thẩm định hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khộp.



Hình 2. Phân bố đường kính (*D*, cm) (bên trái dưới) và chiều cao (*H*, m) (bên phải dưới) của các cây được lấy mẫu chặt hạ tỷ lệ theo phân bố *N/D* (bên trên) của rừng khộp

2.3.3. Phương pháp xét ảnh hưởng ngẫu nhiên của từng nhân tố sinh thái, môi trường, lâm phần đến mô hình sinh khối

Sử dụng phương pháp "Hợp lý cực đại" (Maximum Likelihood) có trọng số và có xét đến ảnh hưởng ngẫu nhiên của các nhân tố sinh thái môi trường, lâm phần lên mô hình phi tuyến (Weighted Nonlinear Mixed Models with Random Effects fit by Maximum Likelihood).

Các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần có sự biến động ở các ô mẫu khác nhau được nghiên cứu ảnh hưởng ngẫu nhiên (random effect) như vùng sinh thái (gồm 2 vùng: Tây Nguyên (CH) và Đông Nam bộ (SE)), độ cao so với mặt biển (gồm 3 cấp: Altitude1: ≤ 200 m. Altitude2: 201 - 350 m; Altitude3: > 350 m), lượng mưa trung bình năm (P, mm/năm; gồm 2 cấp: P1 = 1.003 ; P2 = 1.600), tổng tiết diện ngang lâm phần (BA, m^2/ha; gồm 3 cấp: BA1: ≤ 10; BA2: 11 - 20; BA3: > 20), mật độ cây rừng (N, cây/ha; gồm 3 cấp: N1: ≤ 300; N2: 301 - 700; N3: > 700) được xem xét sự tác động riêng lẽ của chúng lên các tham số của mô hình sinh khối.

Áp dụng kiểu dạng mô hình power tổng quát như sau (Huy *et al.*, 2016a, b, c; Kralicek *et al.*, 2017):

$$Y_{ij} = (\alpha + a_i) \times X_{ij}^{(\beta + b_i)} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ij} \sim iid\ \mathcal{N}(0, \sigma^2)$$

Trong đó: Y_{ij} là *AGB* (kg) ứng với cây thứ j trong cấp nhân tố i của các yếu tố sinh thái môi trường rừng ảnh hưởng ngẫu nhiên; α và β là tham số của mô hình; a_i và b_i là thay đổi của tham số theo cấp i; X_{ij} là các biến số *D* (cm), *H* (m), *WD* (g/cm^3) ứng với cây thứ j trong cấp nhân tố i; và ε_{ij} là sai số ngẫu nhiên ứng với cây thứ j và cấp nhân tố i.

Một hàm phương sai theo trọng số đã được áp dụng để điều chỉnh các tham số của mô hình nhằm giảm biến động sai số này. Hàm phương sai có dạng như sau (Huy *et al.*, 2016a, b, c; 2019):

$$Var(\varepsilon_{ij}) = \widehat{\sigma^2}(\nu_{ij})^{2\delta} \quad (2)$$

Trong đó: ε_{ij} là sai số ngẫu nhiên; $\widehat{\sigma^2}$ là sai số bình phương; ν_{ij} là biến trọng số (*D, D^2H* hoặc *D^2HWD*) tương ứng với cây thứ j và cấp nhân tố ảnh hưởng i; và δ là hệ số của hàm phương sai.

Sử dụng phần mềm mã nguồn mở R theo chương trình nlme để thiết lập mô hình phi tuyến có trọng số có xét ảnh hưởng ngẫu nhiên theo phương pháp Maximum Likelihood (Bates, 2010; Pinheiro *et al.*, 2014; Huy *et al.*, 2016a) và chẩn đoán độ tin cậy, sai số của mô hình qua các đồ thị được thực hiện theo chương trình ggplot2 chạy trong R (Wickham *et al.*, 2013).

2.4. Phương pháp xét ảnh hưởng tổng hợp của các nhân tố sinh thái, môi trường rừng lên mô hình sinh khối

Dạng mô hình sinh khối bao gồm hai thành phần: Mô hình sinh khối trung bình và mô hình điều chỉnh theo sự thay đổi của tổ hợp các biến số sinh thái, lâm phần (Lessard *et al.* 2001) như sau:

AGB = AVERAGE × MODIFIER (3)

Trong đó:

AVERGE = $Y_j = \alpha \times X_j^{\beta} + \varepsilon_j$, mô hình sinh khối AGB trung bình được lựa chọn qua thẩm định chéo K-Fold.

MODIFIER = *exp (nhân tố sinh thái, môi trường, lâm phần i - giá trị trung bình của từng nhân tố i),* mô hình điều chỉnh giá trị dự đoán sinh khối *AGB* khi các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần đồng thời thay đổi so với trung bình của nó.

Trong nghiên cứu này, bốn nhân tố bao gồm độ cao so với mặt biển (Altitude, m), lượng mưa trung bình năm (P, mm/năm), tổng tiết

diện ngang lâm phần (BA, m^2/ha) và mật độ cây rừng (N, cây/ha) được nghiên cứu trong dạng mô hình này. Giá trị trung bình của các nhân tố được kết hợp vào mô hình MODIFIER lấy từ bảng 1, do đó giá trị nhân tố thực tế quan sát được càng cao so với giá trị trung bình, thì ảnh hưởng đến dự đoán sinh khối càng lớn.

Dạng mô hình chung là:

$$Y_j = \alpha \times X_j^{\beta} \times exp(b_1 \times (Altitude - 246) + b_2 \times (P - 1502) + b_3 \times (BA - 12.62) + b_4 \times (N - 534)) + \varepsilon \quad (4)$$

Trong đó Y_j là vectơ giá trị sinh khối cây rừng *AGB* thứ *j*, x_j là các biến số *D* (cm), *H* (m), *WD* (g/cm^3) ứng với cây thứ *j*, α và β là vectơ tham số cố định của mô hình sinh khối trung bình đã lựa chọn, b_1- b_4 là các vectơ của các tham số của phương trình MODIFIER, giá trị i trong hàm MODIIFER là giá trị trung bình của các nhân tố i (được trình bày trong bảng 1) và ε là sai số ngẫu nhiên của mô hình.

Để thiết lập mô hình này, ước lượng mô hình phi tuyến tính có trọng số theo phương pháp Maximum Likelihood được áp dụng, chạy trong theo chương trình nlme trong phần mềm R (Lessard *et al.* 2001; Pinheiro *et al.*, 2014) (R Core Team, 2019).

2.5. Phương pháp thẩm định chéo sai số các mô hình sinh khối

Sử dụng phương pháp thẩm định chéo s K-Fold, trong đó phân chia dữ liệu thành K phần bằng nhau (K = 10) (Picard *et al.*, 2012), một phần dữ liệu (1/10 dữ liệu) không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số, trong khi đó K-1 phần dữ liệu (9/10 dữ liệu) dùng lập mô hình. Mỗi lần như vậy tính toán các chỉ tiêu thống kê đánh giá, so sánh các mô hình như AIC, R^2 và các sai số như Bias%, RMSE%, MAPE%. Tiến hành lập lại như vậy K = 10 lần, và tính sai số trung bình từ K lần lặp (Moore, 2017).

Các sai số tương đối theo phương pháp K-fold như sau:

$$Bias\ (\%) = \frac{1}{k}\sum_{k=1}^{k} \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \quad (5)$$

$$RMSE\ (\%) = \frac{1}{k}\sum_{k=1}^{k} 100 \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right)^2} \quad (6)$$

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

Trong đó: K là số phần dữ liệu bằng nhau được phân chia (K-fold), với K = 10; n là số dữ liệu đánh giá của mỗi lần và y_i và $\hat{y}_i$ là giá trị quan sát và dự đoán qua mô hình.

Để lựa chọn mô hình tối ưu qua thẩm định chéo sai số, chỉ tiêu AIC là ưu tiên, mô hình có AIC bé nhất là tốt nhất, kết hợp với R^2 càng cao càng tốt. Trong trường hợp các mô hình có AIC xấp xỉ nhau thì mô hình có các sai số bé hơn là có độ tin cậy hơn và được lựa chọn.

Cuối cùng, sau khi lựa chọn dạng mô hình nhờ thẩm định chéo và xác định được các sai số của mô hình lựa chọn; mô hình lựa chọn được thiết lập lại dựa vào toàn bộ dữ liệu.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng ngẫu nhiên của từng nhân tố sinh thái, môi trường rừng lên mô hình sinh khối trên mặt đất cây rừng khộp AGB

Nghiên cứu này xem xét ảnh hưởng của từng nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần lên mô hình ước tính sinh khối đã lựa chọn qua thẩm dịnh chéo K-Fold: $AGB = a \times Db \times Hc \times WDd$.

Các nhân tố sinh thái, lâm phần được nghiên cứu là vùng sinh khái khác nhau (CH và SE); cấp độ cao so với mặt biển (Altitude, m), lượng mưa khác nhau (P, mm/năm); cấp mật độ lâm phần (N, cây/ha), cấp tổng tiết diện ngang (BA, m^2/ha).

Sử dụng phương pháp phi tuyến có trọng số và xét ảnh hưởng ngẫu nhiên của các nhân tố (random effects) đến mô hình theo phương pháp Maximum Likelihood và thẩm định chéo K-Fold để đánh giá có hay không sự ảnh hưởng của từng nhân tố lên mô hình ước tính AGB chung cho các loài cây rừng khộp. Kết quả được trình bày ở bảng 2.

Bảng 2. Thẩm định chéo K-Fold mô hình $AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$ chung cho các loài cây rừng khộp dưới ảnh hưởng các nhân tố sinh thái, lâm phần.

Nhân tố ảnh hưởng Random effects	Biến trọng số Weight variable	AIC	$R^2_{adj.}$	RMSE %	Bias %	MAPE %
Không xét	$1/D^\delta$	2664	0,910	-11,1	44,6	27,1
Vùng sinh thái	$1/D^\delta$	2659	0,913	-11,1	44,3	27,4
Cấp độ cao so với mặt biển (Altitude, m)	$1/D^\delta$	2663	0,910	-11,0	46,0	27,1
Lượng mưa năm (P, mm/năm)	$1/D^\delta$	2663	0,910	-11,1	45,5	27,2
Cấp tổng tiết diện ngang lâm phần (BA, m^2/ha)	$1/D^\delta$	2645	0,910	-11,0	45,7	27,3
Cấp mật độ lâm phần (N, cây/ha)	$1/D^\delta$	2646	0,910	-11,1	43,7	27,1

Ghi chú: Trong thẩm định chéo K-Fold, dữ liệu được chia ngẫu nhiên thành K phần bằng nhau (K = 10 lần), trong đó K - 1 dữ liệu (9/10 dữ liệu) được sử dụng để lập mô hình, tính toán AIC, R^2_{adj}; và một phần dữ liệu K (1/10 dữ liệu) không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số Bias, RMSE, MAPE; cuối cùng, tất cả những chỉ tiêu thống kê, sai số được tính trung bình trên 10 lần. δ: hệ số hàm phương sai.

Kết quả ở bảng 2 cho thấy qua thẩm định chéo K-Fold với từng nhân tố riêng lẻ không cho thấy sự ảnh hưởng của nó lên mô hình sinh khối *AGB* chung các loài rừng khộp. Các mô hình bao gồm từng nhân tố có các giá trị thống kê AIC, $R^2_{adj.}$và các sai số như Bias, MAPE và RMSE không có sự khác biệt so với mô hình không xét ảnh hưởng của các nhân tố này.

Ở đây không phải là các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần không có tác động lên quá trình tích lũy sinh khối, carbon cây rừng, mà nó không ảnh hưởng một cách riêng lẻ từng nhân tố như đã thẩm định. Do vậy đánh giá ảnh hợp tổng hợp các nhân tố để đưa vào các mô hình nhằm nâng cao độ tin cậy, giảm sai số ước tính sinh khối cây rừng là cần thiết.

3.2. Ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái, môi trường rừng đến mô hình sinh khối trên mặt đất AGB

Tiến hành thẩm định chéo ảnh hưởng tổng hợp của bốn nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần gồm độ cao so với mặt biển (Altitude, m), lượng mưa trung bình năm (*P*, mm/năm), tổng tiết diện ngang lâm phần (*BA*, m^2/ha) và mật độ cây rừng (*N*, cây/ha) lên mô hình ước tính *AGB* đã lựa chọn chung cho các loài cây rừng khộp với sự tham gia của hàm điều chỉnh MODIFIER.

Dạng mô hình tổng quát:

$$AGB = AVERAGE \times MODIFIER$$

Trong đó:

AVERGE = $a \times D^b \times H^c \times WD^d$, mô hình sinh khối *AGB* trung bình được lựa chọn qua thẩm định chéo K-Fold

MODIFIER = $exp\ (b_1 \times (Altitude - 246) + b_2 \times (P - 1502) + b_3 \times (BA - 12.62) + b_4 \times (N - 534))$, mô hình điều chỉnh giá trị dự đoán sinh khối *AGB* khi các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần thay đổi so với trung bình của nó.

Mô hình được thiết lập theo phương pháp phi tuyến cố định có trọng số theo Maximum Likelihood (Weighted Non-Linear Fixed Model fit by Maximum Likelihood) và thẩm định chéo K-Fold. Kết quả trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Thẩm định chéo K-Fold để so sánh và lựa chọn phương trình sinh khối *AGB* chung cho các loài cây rừng khộp dựa trên ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần qua hàm MODIFIER

Id	Dạng mô hình	Weight variable	AIC	$R^2_{adj.}$	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
1	$AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$	$1/D^\delta$	2664	0,910	-11,1	44,6	27,1
2	$AGB = a \times D^b \times H^{c^*} \times WD^d \times exp(b_1 \times (Altitude - 246) + b_2 \times (P - 1502) + b_3 \times (BA - 12.62) + b_4^* \times (N - 534))$	$1/D^\delta$	2681	0,930	-9,5	41,7	25,0
3	$AGB = a \times D^b \times WD^d \times exp(b_1^* \times (Altitude - 246) + b_2 \times (P - 1502) + b_3 \times (BA - 12.62))$	$1/D^\delta$	2650	0,927	-10,0	41,2	25,5
4	$\mathbf{AGB = a \times D^b \times WD^d \times exp(+ b_2 \times (P - 1502) + b_3 \times (BA - 12.62))}$	$\mathbf{1/D^\delta}$	**2640**	**0,926**	**-9,9**	**41,5**	**25,3**

*Ghi chú: Độ cao so với mặt biển (Altitude, m), lượng mưa trung bình năm (P, mm/năm), tổng tiết diện ngang lâm phần (BA, m^2/ha) và mật độ cây rừng (N, cây/ha). Thẩm định chéo K-Fold, dữ liệu được chia ngẫu nhiên thành K phần bằng nhau (K = 10 lần), trong đó K - 1 dữ liệu (9/10 dữ liệu) được sử dụng để lập mô hình, tính toán AIC, R^2.Adj; và một phần dữ liệu K (1/10 dữ liệu) không tham gia lập mô hình dùng để đánh giá sai số Bias, RMSE, MAPE; cuối cùng, tất cả những chỉ tiêu thống kê, sai số được tính trung bình trên 10 lần. δ: hệ số hàm phương sai. *: Tham số có Pvalue > 0,05. In đậm là mô hình được lựa chọn.*

Kết quả cho thấy với sự tham gia của bốn nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần vào mô hình sinh khối thì biến số *H* có tham số không tồn tại (Pvalue > 0,05) (ở hàm thứ 2 trong bảng 3). Điều này có thể giải thích là biến *H* đại diện cho sự thay đổi của lập địa và khi đã bao gồm một số nhân tố sinh thái phản ánh cho lập địa rừng khộp như lượng mưa, độ cao so với mặt biển thì ảnh hưởng *H* không còn có ý nghĩa. Ngoài ra, mô hình này cũng có biến số *N* có tham số không tồn tại với Pvalue > 0,05. Do vậy thiết lập và thẩm định chéo mô hình loại bỏ biến *H* và *N* (hàm thứ 3 trong bảng 3), lúc này biến số độ cao (Altitude) có tham số không tồn tại (Pvalue > 0,05). Vì vậy, cuối cùng thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối bao gồm hai nhân tố *P* và *BA* (hàm thứ 4 trong bảng 3) và đây cũng là hàm được lựa chọn vì có tất cả các tham số gắn biến số tồn tại, đồng thời qua thẩm định chéo K-Fold thì các chỉ tiêu thống kê như AIC, R^2_{adj} và các sai số Bias, RMSE và MAPE được cải thiện rõ rệt so với mô hình *AGB* không có sự tham gia của các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần (hàm 1 trong bảng 3).

Với dạng mô hình *AGB = AVERAGE × MODIFIER,* trong đó *AGB* được điều chỉnh theo các nhân tố ảnh hưởng. Khi mà giá trị của

các nhân tố sinh thái môi trường rừng bằng giá trị trung bình của nó thì hàm MODIFIER = 1; các nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần chỉ ảnh hưởng lên *AGB* khi mà giá trị của nhân tố đó khác với trung bình của nó.

Bảng 4 trình bày kết quả ước tính các tham số của mô hình lựa chọn để ước *AGB* tính chung cho các loài cây rừng khộp với sự điều chỉnh của hai nhân tố sinh thái và lâm phần là *P* và *BA*.

Bảng 4. Các tham số của mô hình *AGB* chung cho các loài cây rừng khộp với sự tham gia của hai biến sinh thái môi trường rừng là *P* và *BA*

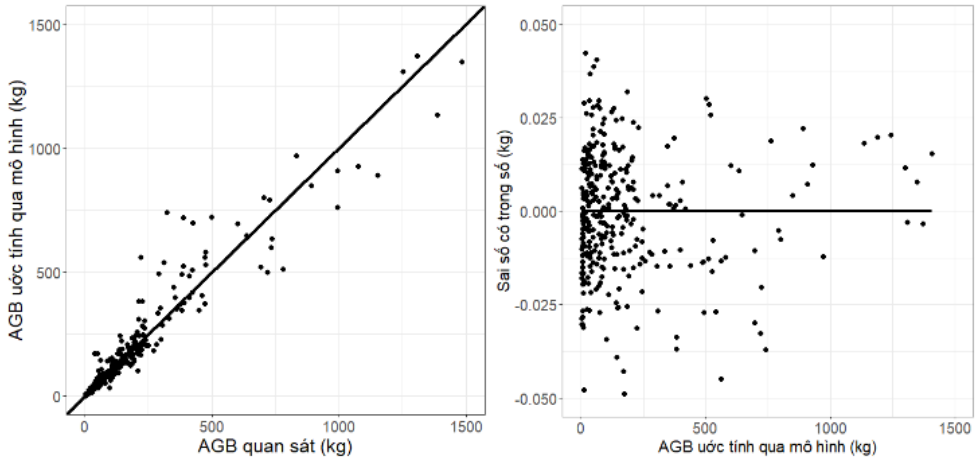
Dạng mô hình	Tham số	Ước tính ± Khoảng biến động theo sai số tiêu chuẩn SE
$AGB = a \times D^b \times WD^d \times exp(+ b_2 \times (P - 1502) + b_3 \times (BA - 12.62))$	a	0,127751 ± 0,015243
	b	2,460833 ± 0,031600
	d	0,978793 ± 0,122928
	b_2	-0,000645 ± 0,000095
	b_3	-0,008556 ± 0,003552

Ghi chú: Lượng mưa trung bình năm (P, mm/năm), tổng tiết diện ngang lâm phần (BA, m^2/ha)

Từ mô hình lựa chọn cho thấy hai nhân tố *P* và *BA* có tham số âm (< 0), có nghĩa khi lượng mưa P vượt trên trung bình là 1.502 mm/năm hoặc tổng tiết diện ngang BA của lâm phần vượt trên 12,62 m^2/ha thì sẽ làm giảm tích lũy sinh khối cây rừng khộp. Nói cách khác tích lũy sinh khối cây rừng khộp sẽ gia tăng nơi có lượng mưa thấp hơn 1.502 mm/năm và lâm phần chưa thành thục và trữ lượng chưa cao, với BA < 12,62 m^2/ha.

Kết quả ở các đồ thị ở hình 3 cho thấy mô hình dạng *AGB = AVERAGE × MODIFIER* đạt độ tin cậy cao với giá trị *AGB* ước tính qua mô hình bám sát *AGB* quan sát theo đường chéo 1:1 và đặc biệt là sai số có trọng số rất thấp, biến động ± 0,05 kg/cây và rải đều theo *AGB* ước tính qua mô hình.

Sử dụng mô hình lựa chọn $AGB = a \times D^b \times WD^d \times exp (+ b_2 \times (P - 1502) + b_3 \times (BA - 12.62))$ để ước tính *AGB* chung cho các loài cây rừng khộp với biến đầu vào *WD* được chia làm 4 cấp và hai nhân tố *P* và *BA* được lấy giá trị trung bình ứng với hàm MODIFIER = 1 (bảng 5).



Hình 3. Mô hình *AGB = AVERAGE × MODIFIER* điều chỉnh mô hình sinh khối dưới ảnh hưởng tổng hợp của các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần; Quan hệ giữa *AGB* ước tính qua mô hình với *AGB* quan sát (trái); Biến động sai số có trọng số theo *AGB* ước tính qua mô hình (phải)

Bảng 5. Ước tính *AGB* chung cho các loài cây rừng khộp dựa vào mô hình $AGB = a \times D^b \times WD^d \times exp(+ b_2 \times (P - 1502) + b_3 \times (BA - 12,62))$

WD (g/cm^3)	D (cm)	AGB (kg)		WD (g/cm^3)	D (cm)	AGB (kg)
0,3	5	2.1		0,5	5	3,4
	10	11,4			10	18,7
	15	30,8			15	50,8
	20	62,5			20	103,1
	25	108,3			25	178,6
	30	169,6			30	279,7
	35	247,9			35	408,7
	40	344,3			40	567,7
	45	460,1			45	758,6
	50	596,3			50	983,1
WD (g/cm^3)	D (cm)	AGB (kg)		WD (g/cm^3)	D (cm)	AGB (kg)
0,7	5	4,7		0,9	5	6,0
	10	26,0			10	33,3
	15	70,6			15	90,3
	20	143,3			20	183,3
	25	248,2			25	317,4
	30	388,8			30	497,2
	35	568,1			35	726,6
	40	789,1			40	1.009,2
	45	1.054,5			45	1.348,5
	50	1.366,6			50	1.747,7

Ghi chú: Lấy các giá trị lượng mưa năm P (mm/năm) và tổng tiết diện ngang BA (m^2/ha) trung bình và như vậy hàm MODIFIER = 1. Khối lượng thể tích gỗ WD được chia thành 4 cấp và lấy giá trị trung bình.

IV. KẾT LUẬN

Xét từng nhân tố sinh thái và môi trường rừng, riêng lẽ không cho thấy sự ảnh hưởng của nó lên mô hình sinh khối *AGB* chung các loài rừng khộp.

Với dạng mô hình *AGB = AVERAGE × MODIFIER*, trong đó *AGB* được điều chỉnh theo các nhân tố sinh thái môi trường rừng đã cải thiện rõ rệt so với mô hình *AGB* không có sự tham gia của các nhân tố này. Lựa chọn được mô hình ước tính *AGB* với sự tham gia của hai nhân tố sinh thái môi trường rừng là *P* và *BA* theo dạng: $AGB = a \times D^b \times WD^d \times exp (+ b_2 \times (P - 1502) + b_3 \times (BA - 12,62))$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. 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. DOI 10.1016/j.foreco.2009.01.027.
2. Bates, D.M., 2010. Lme4: Mixed-effects modeling with R. Springer, 131 p.
3. 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.
4. Chave, J., Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Folster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Rier B, Yamakura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia 145 (2005): 87-99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.
5. 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., and Vieilledent, G. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. Global change biology, 20(2014): 3177-3190. Doi: 10.1111/gcb.12629.

6. Dutcă, I., Mather, R., Ioraș, F., 2020. Sampling trees to develop allometric biomass models: How does tree selection affect model prediction accuracy and precision?. Ecological Indicators 117 (2020): 106553, 1-12 pp
7. Fischer, G., Nachtergaele, F.O., Prieler, S., Teixeira, E., Toth, G., van Velthuizen, H., Verelst, L., Wiberg, D., 2008. Global Agro-Ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
8. Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. Int. J. Climatol. 25, 1965-1978
9. Huy, B., Kralicek, K., Poudel, K.P., Phương, V.T., Khoa, P.V., Hung, N.D., Temesgen, H, 2016a. Allometric Equations for Estimating Tree Aboveground Biomass in Evergreen Broadleaf Forests of Vietnam. Forest Ecology and Management 382(2016): 193-205
10. Huy, B., Poudel K.P., Temesgen, H, 2016b. Aboveground biomass equations for evergreen broadleaf forests in South Central Coastal ecoregion of Vietnam: Selection of eco-regional or pantropical models. For. Ecol. and Mgmt. 376: 276-282.
11. Huy, B., Poudel, K.P., Kralicek, K., Hung, N.D., Khoa, P.V., Phuong, V.T., Temesgen, H., 2016c. Allometric Equations for Estimating Tree Aboveground Biomass in Tropical Dipterocarp Forests of Vietnam. Forests 2016, 7(180): 1-19.
12. Huy, B.; Thanh, G.T.; Poudel, K.P.; Temesgen, H., 2019. Individual Plant Allometric Equations for Estimating Aboveground Biomass and Its Components for a Common Bamboo Species (*Bambusa procera* A. Chev. and A. Camus) in Tropical Forests. Forests 2019, 10, 316. DOI:10.3390/f10040316
13. IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Hayama, Japan. 590 pp.
14. 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.
15. Kralicek, K., Huy, B., Poudel, K.P., Temesgen, H., Salas, C. 2017. Simultaneous estimation of above- and below-ground biomass in tropical forests of Vietnam. Forest Ecology and Management 390 (2017): 147-156.
16. Lessard, V.C., McRoberts, R.E., and Holdaway, M.R. 2001. Diameter Growth Models Using Minnesota Forest Inventory and Analysis Data. Forest Science 47(3): 301-310
17. Moore, A.W., 2017. Cross - Validation for detecting and preventing overfitting. School of computer science. Carnegie Mellon University. Available on-line: https://www.autonlab.org/_media/tutorials/overfit10.pdf on February 02, 2017.
18. 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.
19. Picard, N; Rutishauser, E.; Ploton, P.; Ngomanda, A.; Henry, M. 2015. Should tree biomass allometry be restricted to power models? For. Ecol. and Manag. 353: 156-163. DOI 10.1016/j.foreco.2015.05.035.
20. 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.
21. Wickham, H. & Chang, W. 2013. Package 'ggplot2': an implementation of the Grammar of Graphics.

Email tác giả liên hệ: baohuy.frem@gmail.com

Ngày nhận bài: 31/07/2020

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 07/08/2020

Ngày duyệt đăng: 08/08/2020