

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÂY NGUYÊN**

---

**NGUYỄN THỊ TÌNH**

**THIẾT LẬP VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO HỆ THỐNG MÔ HÌNH**  
**ƯỚC TÍNH SINH KHỐI TRÊN MẶT ĐẤT CÂY RỪNG KHỘP Ở**  
**VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Lâm sinh

Mã số: 9 62 02 05

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ LÂM NGHIỆP**

Đắk Lắk – năm 2021

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÂY NGUYÊN**

---

**NGUYỄN THỊ TÌNH**

**THIẾT LẬP VÀ THẨM ĐỊNH CHÉO HỆ THỐNG MÔ HÌNH  
ƯỚC TÍNH SINH KHỐI TRÊN MẶT ĐẤT CÂY RỪNG KHỘP Ở  
VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Lâm sinh

Mã số: 9 62 02 05

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ LÂM NGHIỆP**

**Người hướng dẫn khoa học: GS.TS. Bảo Huy**

Đắk Lắk – năm 2021

## NHỮNG CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. Bao Huy, **Nguyễn Thị Tinh**, 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, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.038>. ISI (SCI), IF = 3.601
2. **Nguyễn Thị Tinh**, Bảo Huy, Triệu Thị Lăng, Trần Đức Thao, 2019. Thiết lập và thẩm định chéo mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất chi *Dipterocarpus* của rừng khộp Việt Nam. *Tạp chí Khoa học trường Đại học Tây Nguyên*, số 37 (2019): 51-65.
3. **Nguyễn Thị Tinh**, Bảo Huy, 2020. Mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp được điều chỉnh theo các nhân tố sinh thái và môi trường rừng. *Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp, Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam*, số 4 (2020): 79- 89.

# MỞ ĐẦU

## 1. Sự cần thiết của luận án

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<sub>2</sub> 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 ctv (2016c), Kralicek và ctv (2017) ở Việt Nam, Basuki và ctv (2009) cho Indonesia. Kralicek và ctv (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. Huy và ctv (2016c) đã lập mô hình cho chung các loài rừng khộp và cho hai chi ưu thế là Dipterocarpus và Shorea, tuy vậy số lượng cây mẫu còn khá thấp đặc biệt đối với chi Shorea và các chi khác của rừng khộp, tác giả cũng cho biết còn thiếu dữ liệu ở cây có kích thước lớn, vì vậy bổ sung dữ liệu để lập hoàn thiện hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp cũng như thẩm định sai số, so sánh với các mô hình của Basuki và ctv (2009) theo chi, họ thực vật để áp dụng chung cho rừng khộp vùng Đông Nam Á là cần thiết. Ngoài ra cũng cần có nghiên cứu bổ sung ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái, môi trường rừng và biến đổi khí hậu trong các mô hình ước tính sinh khối. Để góp phần giải quyết vấn đề nêu trên, chúng tôi tiến hành nghiên cứu đề tài “*Thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất cây rừng khộp ở Việt Nam*”.

## 2. Mục tiêu nghiên cứu

*Mục tiêu chung:*

Đóng góp vào cơ sở khoa học trong thiết lập và thẩm định chéo hệ thống các mô hình ước tính sinh khối cây rừng theo hệ thống phân loại thực vật và yếu tố môi trường sinh thái rừng.

*Mục tiêu cụ thể:*

i) Xây dựng được một hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng và các bộ phận trên mặt đất của rừng khộp theo hệ thống phân loại thực vật cây gỗ từ loài, chi, họ ưu thế và có xét đến ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng;

ii) Thẩm định chéo sai số để so sánh hệ thống mô hình của rừng khộp Việt Nam đã thiết lập với các mô hình ở vùng Đông Nam Á và chung cho vùng nhiệt đới để đề xuất phạm vi áp dụng.

### **3. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn**

i) Ý nghĩa khoa học: Bổ sung cơ sở lý luận, phương pháp xây dựng và thẩm định chéo mô hình ước tính sinh khối cây rừng tự nhiên.

ii) Ý nghĩa thực tiễn: Cung cấp đầy đủ một hệ thống mô hình phục vụ ước tính sinh khối, carbon tích lũy trong cây rừng khộp cho Chương trình của Liên hiệp quốc về “Giảm phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng - UN-REDD+” và các dự án REDD khác.

### **4. Những điểm mới của luận án**

Có hai điểm mới chính:

i) Đã sử dụng phương pháp thiết lập đồng thời mô hình sinh khối các bộ phận cây rừng theo phương pháp phi tuyến có trọng số theo SUR (Weighted Non-Linear fit by Seemingly Unrelated Regression) hoặc mô hình xem xét ảnh hưởng tổng hợp của các nhân tố sinh thái môi trường rừng ( $AGB = AVERAGE \times MODIFIER$ ) để cải thiện độ tin cậy trong ước tính sinh khối cây rừng so với các mô hình được thiết lập độc lập như truyền thống.

ii) Thiết lập và cung cấp sai số khách quan theo phương pháp thẩm định chéo (Cross-Validation) của hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh

khối cây rừng theo họ, chi, loài ưu thế rừng khộp ở Việt Nam và chỉ ra mô hình sinh khối cây rừng trên mặt đất (AGB) theo chi thực vật ưu thế rừng khộp với một biến đơn giản là đường kính ngang ngực (ở độ cao 1,3 m) ( $D$ ) có độ tin cậy cao hơn mô hình chung các loài với ba biến  $D$ , chiều cao cây ( $H$ ) và khối lượng thể tích gỗ ( $WD$ ) và mô hình theo chi thực vật có thể áp dụng chung cho vùng nhiệt đới.

## 5. Cấu trúc của luận án

Luận án có 149 trang với 19 Bảng và 14 Hình. Gồm có phần Mở đầu (5 trang), Chương 1: Tổng quan vấn đề nghiên cứu (25 trang), Chương 2: Đối tượng, phạm vi, nội dung và phương pháp nghiên cứu (26 trang), Chương 3: Kết quả nghiên cứu và thảo luận (73 trang), Kết luận, tồn tại và kiến nghị (4 trang); Tài liệu tham khảo (16 trang); và Phụ lục.

### CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Tổng quan vấn đề nghiên cứu đã dựa vào 106 tài liệu, trong đó có 15 tài liệu tiếng Việt và 91 tài liệu tiếng Anh, tập trung đến các vấn đề liên quan đến nội dung nghiên cứu của luận án, đó là:

- Chương trình REDD+ (Giảm phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng) và nhu cầu về mô hình ước tính sinh khối, carbon cây rừng.

- Tổng quan về thiết lập mô hình ước tính sinh khối và carbon cây rừng: Rút mẫu cây rừng để thu thập dữ liệu sinh khối lập mô hình; Biến số độc lập, biến số đầu vào (Predictor) của mô hình ước tính sinh khối cây rừng; Dạng hàm sinh khối; Ước lượng mô hình sinh khối dạng power tuyến tính hóa logarit hay phi tuyến? Mô hình có trọng số; Thiết lập mô hình phi tuyến tính có trọng số có hay không có ảnh hưởng các nhân tố ngẫu nhiên theo phương pháp hợp lý cực đại (Weighted Nonlinear Fixed/Mixed models with/without random effects fit by Maximum Likelihood); Phương pháp thiết lập đồng thời các mô hình sinh khối bộ phận và chung (Seemingly Unrelated Regression - SUR); Phát triển mô hình sinh trắc ước tính sinh khối, carbon cây rừng.

- Thẩm định chéo (Cross-Validation) mô hình sinh trắc: Phương pháp thẩm định sai số sử dụng dữ liệu độc lập; Phương pháp thẩm định chéo - Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV); Phương pháp thẩm định chéo - K-Fold; Phương pháp thẩm định chéo - Monte Carlo.

- Hệ sinh thái rừng khộp và các mô hình sinh khối đã được thiết lập cho kiểu rừng này.

- Ứng dụng hệ thống mô hình sinh khối cây rừng để ước tính carbon tích lũy trong bể chứa trong cây rừng trên mặt đất.

#### *Thảo luận chung:*

Trong 5 bể chứa carbon rừng, thì bể chứa trong cây rừng phần trên mặt đất là quan trọng nhất vì chiếm trữ lượng cao nhất và chỉ thị cho sự hấp thụ hoặc phát thải carbon. Vì vậy mô hình sinh khối cho cây rừng là quan trọng nhất trong ước tính tích lũy carbon trong hệ sinh thái rừng.

Mô hình sinh khối chung cho rừng nhiệt đới của thế giới đã được thiết lập, tuy nhiên các kết quả thẩm định cho thấy có sai số lớn khi áp dụng vào khu vực không có dữ liệu tham gia lập mô hình như ở Việt Nam. Vì vậy Việt Nam khi thực hiện REED+ cần có đầy đủ hệ thống mô hình sinh khối có độ tin cậy theo Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu IPCC (2003, 2006).

Rừng khộp là một kiểu rừng đặc thù phân bố trên điều kiện lập địa đặc biệt, vì vậy các loài cây ở đây có khả năng tích lũy carbon khác biệt so với các loài cây của rừng ẩm thường xanh. Việc sử dụng các mô hình sinh khối của rừng ẩm thường xanh vào rừng khộp sẽ cho sai số cao. Vì vậy cần có một hệ thống mô hình ước tính sinh khối riêng cho kiểu rừng này ở Việt Nam nói riêng và Châu Á nói chung.

Ở Việt Nam, tuy đã có một số mô hình ước tính sinh khối cho cây rừng khộp được thiết lập (Huy và ctv, 2016c; Kralicek và ctv, 2017); tuy nhiên các tác giả cũng chỉ ra sự cần thiết bổ sung dữ liệu theo loài, chi, họ thực vật ưu thế trong rừng khộp để thiết lập đầy đủ và có hệ thống các mô hình

có độ tin cậy cao và được thẩm định chéo sai số so với các mô hình sinh khối chung cho vùng nhiệt đới.

## **CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

### **2.1. Đối tượng nghiên cứu**

#### **2.1.1. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu**

Kiểu rừng nghiên cứu là rừng (DF). Theo phân loại rừng ưu thế cây họ dầu ở châu Á, rừng khộp thuộc kiểu rừng nhiệt đới khô rụng lá (Appanah, 1998). Theo Thái Văn Trùng (1978), ở Việt Nam rừng khộp thuộc kiểu rừng thưa cây lá rộng hơi khô nhiệt đới. Nghiên cứu tập trung cho các họ, chi và loài ưu thế của rừng khộp (Thái Văn Trùng, 1978 và Huy và ctv, 2016c), bao gồm:

Họ: Dầu (Dipterocarpaceae); Chi: 2 chi ưu thế: Dầu (*Dipterocarpus*) và Cà chít (*Shorea*). Nghiên cứu 4 loài ưu thế: Dầu đồng (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.), dầu trà beng (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. e. Miq.), cà chít (*Shorea obtusa* Wall. Ex Blume), cẩm liên (*Shorea siamensis* Miq.)

Mô hình sinh khối được lập cho các bộ phận cây rừng (thân (*Bst*), cành (*Bbr*), lá (*Ble*), và vỏ (*Bba*)) và tổng của cây rừng phần trên mặt đất (Above Ground Biomass – AGB).

#### **2.1.2. Đặc điểm khu vực và rừng khộp 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: 11<sup>0</sup>20'N - 13<sup>0</sup>30'N và kinh độ Đông: 107<sup>0</sup>35'E - 108<sup>0</sup>45'E. Lượng mưa trung bình hàng năm ở CH là 1600 mm và ở SE là 1003 mm, với nhiệt độ trung bình hàng năm là 25,3 – 25,5°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 và ctv, 2005; Fischer và ctv, 2008).



## **2.2. Nội dung nghiên cứu**

- i) Đánh giá để lựa chọn phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối.
- ii) Thiết lập hệ thống mô hình sinh khối cây rừng theo hệ thống phân loại thực vật áp dụng phương pháp thiết lập mô hình độc lập.
- iii) Thiết lập hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối theo SUR và so sánh với phương pháp thiết lập mô hình độc lập.
- iv) Thẩm định chéo ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng và lâm phần lên mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp.
- v) So sánh độ tin cậy mô hình sinh khối chung cho vùng nhiệt đới với mô hình cho từng vùng sinh thái theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp.
- vi) Đề xuất từ kết quả nghiên cứu để ứng dụng thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng.

## **2.3. Phương pháp nghiên cứu**

### ***2.3.1. Tiếp cận lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp***

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). Phương pháp thiết lập mô hình sinh khối cũng rất đa dạng, do vậy nghiên cứu thử nghiệm và đánh giá để lựa chọn biến số đầu vào thích hợp, chọn dạng mô hình; chọn phương pháp ước lượng mô hình tuyến tính hóa hoặc phi tuyến theo các phương pháp ước lượng khác nhau; đồng thời áp dụng phương pháp mới và hiện đại là “Thiết lập đồng thời các mô hình sinh khối bộ phận và tổng của cây rừng dạng phi tuyến tính có trọng số theo SUR” (Weighted Nonlinear Models fit by Seemingly Unrelated Regression - SUR). Để đánh giá độ tin cậy, sai số của hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khộp, các phương pháp thẩm định chéo (Cross Validation) được thử nghiệm và lựa

chọn trong phần mềm mã nguồn mở R (Huy và ctv, 2016a,b,c). Để nâng cao độ tin cậy ước tính sinh khối cây rừng khộp, xem xét cách tiếp cận thiết lập mô hình sinh khối theo họ, chi và loài cây gỗ chiếm ưu thế theo hệ thống phân loại thực vật (Basuki và ctv, 2009; Kralicek và ctv, 2017; Huy và ctv, 2016c).

### ***2.3.2. 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. Trong ô mẫu, loài cây gỗ rừng được xác định, đo cây có đường kính ngang ngực ( $D$ , cm)  $\geq 5$ cm và chiều cao của cây ( $H$ , m). Rừng khộp nghiên cứu có mật độ ( $N$ , cây/ha) từ 228 – 1.291 cây/ha (với  $D \geq 5$  cm), tổng tiết diện ngang ( $BA$ , m<sup>2</sup>/ha) giao động từ 3,8 đến 23,4 m<sup>2</sup>/ha. Các nhân tố môi trường có sự biến động được nghiên cứu ảnh hưởng ngẫu nhiên đến mô hình sinh khối như khác nhau hai vùng sinh thái, độ cao so với mặt biển (Altitude, m), lượng mưa trung bình năm ( $P$ , mm/năm), tổng tiết diện ngang ( $BA$ , m<sup>2</sup>/ha) và mật độ ( $N$ , cây/ha)

Tổng cộng có 329 cây mẫu được chặt để thu thập dữ liệu sinh khối tươi và lấy mẫu để xác định khối lượng thể tích gỗ ( $WD$ , g/cm<sup>3</sup>) và sinh khối khô các bộ phận cây rừng bao gồm thân ( $Bst$ , kg), cành ( $Bbr$ , kg), lá ( $Ble$ , kg), vỏ ( $Bba$ , kg) và tổng sinh khối các bộ phận cây rừng trên mặt đất  $AGB$  (kg) =  $Bst + Bbr + Ble + Bba$ . Trong đó có 222 cây mẫu từ bộ dữ liệu của Huy và ctv (2016c) và 107 cây được lấy mẫu từ nghiên cứu này.

### ***2.3.3. Lựa chọn phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối***

#### ***2.3.3.1. Lựa chọn phương pháp ước lượng mô hình sinh khối dạng Power***

Sử dụng chỉ số Furnival's Index (FI) (Jayaraman, 1999; Huy và ctv, 2016b) để so sánh độ tin cậy của các mô hình theo hai phương pháp ước

lượng khác nhau là logarit tuyến tính theo phương pháp bình phương tối thiểu (Log linear fit by Least Squared) và phi tuyến tính theo phương pháp “Hợp lý cực đại” (Non-Linear fit by Maximum Likelihood). Các mô hình theo phương pháp ước lượng có chỉ số Furnival (FI) thấp hơn là tốt hơn.

2.3.3.2. *Phương pháp thẩm định chéo mô hình sinh khối cây rừng (Cross Validation) để xác định sai số và lựa chọn mô hình*

i) *Phương pháp thẩm định chéo - Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV)*

Từ n dữ liệu cây mẫu, phương pháp Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV) sử dụng n-1 dữ liệu lập mô hình và 1 dữ liệu độc lập dùng để đánh giá sai số. Lặp lại như vậy với n lần và các sai số được tính trung bình (Moore, 2017).

ii) *Phương pháp thẩm định chéo - K-Fold*

Phương pháp này phân chia dữ liệu thành K phần bằng nhau (K-Fold) (Kohavi, 1995; Picard và ctv, 2012), phổ biến với K = 10 thì 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. Tiến hành lặp lại như vậy K = 10 lần. Tính AIC (Akaike information criterion), hệ số xác định  $R^2_{adj}$ ; các sai số tương đối gồm % sai lệch giữa quan sát và dự báo qua mô hình (Bias %), sai số trung phương trung bình % (Root Mean Square Error - RMSE %), và sai số tuyệt đối trung bình % (Mean Absolute Percent Error - MAPE) (Chave và ctv, 2005; Basuki và ctv, 2009; Huy và ctv, 2016a,b) được tính trung bình từ K lần lặp:

$$Bias (\%) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \quad (2.9)$$

$$RMSE (\%) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (2.10)$$

$$MAPE (\%) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (2.11)$$

Trong đó,  $n$  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.

### *iii) Phương pháp thẩm định chéo - Monte Carlo*

Phương pháp Monte Carlo dùng để thẩm định chéo các mô hình sinh khối được mô tả như sau: Phân chia dữ liệu ngẫu nhiên làm 2 phần, một phần dùng để lập mô hình (80% dữ liệu) và một phần dùng để đánh giá sai số (20% dữ liệu). Tiến hành lặp lại như vậy  $R = 200$  lần để thẩm định các mô hình và đánh giá sai số, cuối cùng giá trị thống kê so sánh các mô hình và sai số được tính trung bình từ 200 lần thẩm định chéo (Temesgen và ctv, 2014) và Huy và ctv, 2016a,b).

### ***2.3.4. Phương pháp thiết lập hệ thống mô hình sinh khối cây rừng theo hệ thống phân loại thực vật áp dụng phương pháp thiết lập mô hình độc lập***

#### *2.3.4.1. Lựa chọn biến số đầu vào, độc lập (Predictor(s)) cho mô hình sinh khối cây rừng khớp*

Nghiên cứu thử nghiệm ba biến số đầu vào cho mô hình ước tính AGB và sinh khối các bộ phận ( $Bst$ ,  $Bbr$ ,  $Ble$  và  $Bba$ ): Đó là đường kính ngang ngực (độ cao 1,3 m)  $D$  (cm), chiều cao cây  $H$  (m) và khối lượng thể tích gỗ  $WD$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), đồng thời sử dụng tổ hợp các biến, bao gồm:  $D^2H$  ( $\text{m}^3$ ) =  $\left(\frac{D}{100}\right)^2 \times H$  là đại diện cho thể tích cây gỗ; và tổ hợp  $D^2HWD$  ( $\text{kg}$ ) =  $D^2H \times WD \times 1.000$  là đại diện cho sinh khối thân cây gỗ.

#### *2.3.4.2. Chọn dạng phương trình sinh khối cây rừng*

Dựa trên đã công bố trong và ngoài nước (Brown, 1997; Basuki và ctv, 2009; Chave và ctv, 2005, 2014; Picard và ctv, 2015; Huy và ctv, 2016 a,b,c), luận án sử dụng dạng hàm Power như là dạng phương trình sinh khối trong nghiên cứu này.

#### *2.3.4.3. Ước lượng mô hình sinh khối có trọng số*

Các mô hình phi tuyến tính dạng Power được áp dụng trọng số để điều chỉnh độ không đồng nhất trong sai số ở các cây có kích thước khác nhau do hiện tượng phân hóa biến sinh khối mạnh khi kích thước cây tăng lên (heteroscedasticity) (Davidian và Giltinan, 1995; Picard và ctv, 2012; Huy và ctv, 2016a,b,c; Kralicek và ctv, 2017).

#### *2.3.4.4. Phương pháp lập mô hình phi tuyến tính có trọng số theo phương pháp “Hợp lý cực đại” (Weighted Non-Linear Fixed by Maximum Likelihood)*

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

#### *2.3.5. Phương pháp thiết lập đồng thời hệ thống mô hình sinh khối (Seemingly Unrelated Regression – SUR)) và so sánh với phương pháp thiết lập mô hình độc lập*

Mô hình phi tuyến có trọng số SUR (Parresol, 2001; Poudel và Temesgen, 2016; Kralicek và ctv, 2017) theo phương pháp bình phương tối thiểu (GLS) được thiết lập theo chương trình Proc trong phần mềm SAS (SAS Institute Inc. 2014; Affleck và Dieguez- Aranda, 2016).

Thẩm định chéo (Cross validation) được áp dụng để so sánh sai số của hai phương pháp lập mô hình sinh khối đồng thời theo SUR và phương pháp thiết lập độc lập.

Ngoài ra còn sử dụng đồ thị Bland- Altman để so sánh có hay không sự khác biệt trong ước tính sinh khối của hai hệ thống mô hình theo SUR và độc lập với độ tin cậy 95%.

### ***2.3.6. Phương pháp thiết lập mô hình ước tính sinh khối cây rừng khộp dưới ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng và lâm phần.***

#### *2.3.6.1. 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), xem xét sự tác động của chúng lên các tham số của mô hình sinh khối. 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 và ctv, 2014; Huy và ctv, 2016a) và chuẩn đoán độ tin cậy, sai số của mô hình qua các đồ thị được thực hiện theo chương trình ggplot2 chạy trong R (Wickham và ctv, 2013).

#### *2.3.6.2. Phương pháp xét ảnh hưởng tổng hợp của các nhân tố sinh thái, môi trường, lâm phần lên mô hình sinh khối*

Nghiên cứu này ngoài đánh giá ảnh hưởng riêng lẻ các nhân tố sinh thái môi trường, còn kiểm tra hiệu ứng kết hợp của các yếu tố sinh thái môi trường lên mô hình sinh khối. Dạng mô hình sinh khối bao gồm hai thành phần, đó là 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 và ctv, 2001) như sau:

$$\text{BIOMASS MODEL} = \text{AVERAGE} \times \text{MODIFIER} \quad (2.27)$$

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 và ctv, 2001; Pinheiro và ctv, 2014) (R Core Team, 2019).

### ***2.3.7. Phương pháp so sánh độ tin cậy mô hình chung cho vùng nhiệt đới với mô hình cho từng vùng sinh thái theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp***

Sử dụng phương pháp thẩm định chéo để so sánh sai số, độ tin cậy của các mô hình được lập theo vùng nhiệt đới (pantropics) và theo vùng sinh thái.

Ngoài ra, chỉ số phù hợp của mô hình (Index of Fit, IF) (Parresol, 1999; Subedi và ctv, 2010) cũng được sử dụng để thẩm định sự phù hợp giữa các mô hình được lựa chọn trong nghiên cứu này và so sánh với các mô hình chung cho vùng nhiệt đới (pantropics); trong đó giá trị IF càng lớn ( $\sim 1$ ) thì mô hình càng tốt.

$$IF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.29)$$

Trong đó,  $y_i$  và  $\hat{y}_i$  là giá trị quan sát và dự đoán qua mô hình, N số mẫu dùng đánh giá.

## **CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN**

### **3.1. Lựa chọn phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối**

#### ***3.1.1. Lựa chọn phương pháp thiết lập mô hình sinh khối dạng power theo logarit tuyến tính hay phi tuyến***

Lập mô hình theo phương pháp phi tuyến Maximum Likelihood có trọng số có chỉ số FI bé hơn rất nhiều và như vậy là tốt hơn nhiều so với phương pháp tuyến tính hóa logarit bình phương tối thiểu; kết quả này phù hợp với Huy và ctv (2016b). Vì vậy trong luận án này áp dụng phương pháp phi tuyến có trọng số theo phương pháp Maximum Likelihood (Weighted Nonlinear Fixed/Mixed Models fit by Maximum Likelihood) để lập hệ thống các mô hình sinh khối dạng hàm power với một đến nhiều biến số đầu, hoặc/và tổ hợp biến.

### 3.1.2. Lựa chọn phương pháp thẩm định chéo (Cross-Validation) các mô hình sinh khối cây rừng

Tổng hợp kết quả thẩm định chéo sai số mô hình  $AGB = a \times (D^2HWD)^b$  theo bốn phương pháp khác nhau, kết quả ở bảng 3.2.

Bảng 3.2. Tổng hợp kết quả thẩm định chéo sai số mô hình  $AGB = a \times (D^2HWD)^b$  theo các phương pháp khác nhau

Các loại sai số	Phương pháp thẩm định chéo mô hình			
	Dữ liệu độc lập	LOOCV	K-Fold	Monte Carlo
Bias (%)	-28,49	-19,11	-19,06	-19,49
RMSE (%)	73,57	36,99	54,62	54,68
MAPE (%)	47,47	36,99	36,95	36,88

Để so sánh và lựa chọn phương pháp thẩm định sai số, lấy kết quả của phương pháp Monte Carlo làm chuẩn, vì phương pháp này có lần lặp lại lớn ( $R = 200$  lần) để cho các sai số có phân bố chuẩn và ổn định (Temesgen và ctv, 2014, Huy và ctv, 2016a,b,c; Bảo Huy, 2017a,b). Với kết quả so sánh, nghiên cứu này chọn phương pháp thẩm định chéo K-Fold để đánh giá sai số của hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khớp vì các sai số xấp xỉ với Monte Carlo nhưng đơn giản hơn với số lần lặp chỉ có 10 lần.

### 3.2. Hệ thống mô hình sinh khối cây rừng theo hệ thống phân loại thực vật áp dụng phương pháp thiết lập mô hình độc lập

Kết quả thẩm định chéo K-Fold cho thấy mô hình  $AGB$  tốt nhất cho chung các loài và họ ưu thế Dipterocarpaceae bao gồm cả ba biến số  $D$ ,  $H$  và  $WD$ . Trong khi đó các mô hình  $AGB$  ước tính cho từng chi ưu thế và bốn loài chiếm ưu thế rất tương đồng về các giá trị thống kê như AIC,  $R^2$  và các sai số qua thẩm định chéo, và các mô hình tốt nhất chỉ cần có biến đầu vào là  $D$ . Như vậy tiếp cận mô hình đến chi thực vật hoặc loài sẽ đơn giản được biến số đầu vào và tăng độ tin cậy so với sử dụng mô hình chung loài hoặc theo họ thực vật.

Hệ thống mô hình chung các loài rừng khớp và họ ưu thế Dipterocarpaceae:  $Bst = a \times D^b \times H^c \times WD^d$ ;  $Bbr = a \times D^b$ ;  $Ble = a \times D^b$ ;  $Bba = a \times D^b$ ;  $AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$



Đối với hai chi ưu thế là *Dipterocarpus* và *Shorea* và bốn loài ưu thế là *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb., *Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. Ex Miq., *Shorea obtusa* Wall., *Shorea siamensis* Miq. thì hệ thống mô hình có một biến  $D$ :  $Bst, Bbr, Ble, Bba, AGB = a \times D^b$

### **3.3. Hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối theo SUR và so sánh với phương pháp thiết lập mô hình độc lập**

#### **3.3.1. Hệ thống mô hình ước tính đồng thời các bộ phận sinh khối cây rừng và toàn bộ theo SUR**

Hệ thống mô hình ước tính đồng thời theo SUR chung các loài hoặc cho họ thực vật Dipterocarpaceae cần cả ba biến số đầu vào là  $D$ ,  $H$  và  $WD$ , trong khi đó hệ thống mô hình theo chi và loài ưu thế chỉ có biến số  $D$  được chọn. Điều này cho thấy rằng biến số  $WD$  cần thiết cho mô hình chung loài, theo họ bao gồm với nhiều chi và loài khác nhau và không cần thiết cho mô hình ở cấp chi và loài ưu thế của rừng khộp; kết quả này phù hợp với Basuki và ctv (2009) và Huy và ctv (2016c).

Hệ thống mô hình theo SUR đã xét đến ảnh hưởng qua lại giữa các thành phần sinh khối cây rừng và mô hình sinh khối toàn bộ cây rừng trên mặt đất  $AGB$  lúc này là một hàm số của bốn hàm sinh khối bộ phận của cây rừng:  $AGB = f(Bst, Bbr, Ble, Bba)$ , như vậy đã khắc phục được nhược điểm của hệ thống mô hình được thiết lập một cách rời rạc, độc lập như truyền thống.

Hệ thống mô hình sinh khối đồng thời đến chi thực vật làm giảm đáng kể sai số so với các mô hình chung các loài, theo họ và cũng tốt hơn ngay cả cho loài cụ thể. Trong khi đó hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối theo chi thực vật chỉ yêu cầu một biến đầu vào đơn giản là  $D$ . Từ kết quả thẩm định chéo sai số theo K-Fold đã lựa chọn được hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối cây rừng khộp theo SUR và theo hệ thống phân loại thực vật như sau:

Đối với chung các loài và họ đầu chiếm ưu thế Dipterocarpaceae:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = a_1 \times D^{b11} \times H^{b12} \times WD^{b13} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41} \quad (3.12)$$

Đối với chi thực vật ưu thế *Dipterocarpus* và *Shorea*:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = a_1 \times D^{b11} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41} \quad (3.13)$$

Kết quả minh họa ước tính đồng thời sinh khối các bộ phận cây rừng (*Bst*, *Bbr*, *Ble* và *Bba*) và *AGB* cho chi *Dipterocarpus* của rừng khộp từ hệ thống mô hình sinh khối lập theo SUR theo một biến số đầu vào *D* trình bày trong các bảng 3.8.

Bảng 3.8. Ước tính sinh khối các bộ phận cây rừng và *AGB* cho chi Dầu *Dipterocarpus* rừng khộp từ hệ thống mô hình lập theo SUR theo một biến số đầu vào *D*

<i>D</i> (cm)	<i>Bst</i> (kg)	<i>Bbr</i> (kg)	<i>Ble</i> (kg)	<i>Bba</i> (kg)	<i>AGB</i> (kg)
5	1,6	0,6	0,9	0,2	3,2
10	10,6	4,4	2,4	1,8	19,3
15	32,6	14,7	4,4	6,6	58,2
20	72,1	34,4	6,6	16,6	129,7
25	133,7	66,5	9,1	33,8	243,1
30	221,2	114,2	11,9	60,5	407,8
35	338,8	180,3	14,8	98,9	632,8
40	490,0	267,7	18,0	151,5	927,2
45	678,5	379,5	21,3	220,7	1.300,0
50	907,8	518,5	24,8	309,0	1.760,1

### 3.3.2. So sánh độ tin cậy của hai hệ thống mô hình thiết lập theo hai phương pháp độc lập và SUR

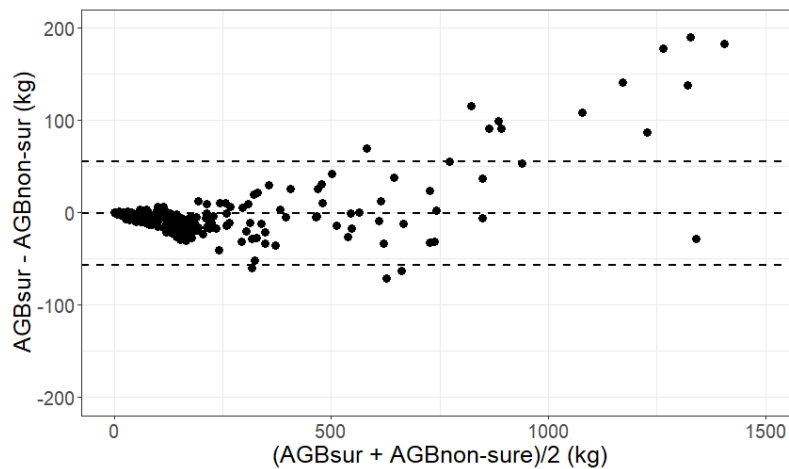
Hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối theo phương pháp SUR có các sai số (Bias, RMSE và MAPE) thấp hơn đáng kể so với các mô hình độc lập ở cấp độ chung loài, họ và chi ưu thế. Đồng thời sử dụng đánh giá qua đồ thị Bland-Altman để xem xét có hay không sự khác biệt giữa AGB dự đoán qua mô hình thiết lập độc lập và theo SUR với độ tin cậy P = 95% (Hình 3.6). Đồ thị Bland-Altman so sánh sai lệch ước tính AGB của hai mô hình:

Mô hình AGB thiết lập độc lập:

$$AGB = 0,0801995 \times D^{2,458405} \times H^{0,157626} \times WD^{0,643418}$$

Mô hình AGB thiết lập theo SUR:

$$AGB = f(Bst + Bbr + Ble + Bba) = 0,02055 \times D^{2,35241} \times H^{0,59142} \times WD^{0,69609} + 0,00669 \times D^{2,85742} + 0,03701 \times D^{1,68095} + 0,01541 \times D^{2,43959}$$



Hình 3.6. Đồ thị Bland-Altman so sánh sai lệch ước tính AGB của hai mô hình thiết lập theo SUR và độc lập (Non-SUR) với độ tin cậy 95%

Hai phương pháp lập mô hình có sự khác biệt rõ rệt và SUR với sai số bé hơn, do đó đạt độ tin cậy cao hơn, đặc biệt là ở các cây có kích thước lớn với giá trị ước tính AGB cao. Khuyến khích sử dụng phương pháp phi tuyến có trọng số SUR để phát triển các mô hình đồng thời AGB và các thành phần của nó ở các khu rừng nhiệt đới.

### 3.4. Ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng, lâm phần đến mô hình ước tính AGB cây rừng khộp

#### 3.4.1. Ảnh hưởng ngẫu nhiên của từng nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần lên mô hình sinh khối cây rừng khộp AGB

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 hưởng tổng hợp các nhân tố để đưa vào các mô hình để nâng cao độ tin cậy, giảm sai số ước tính sinh khối cây rừng là cần thiết.

#### 3.4.2. Ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần đến mô hình sinh khối AGB

Với dạng mô hình tổng quát:  $AGB = AVERAGE \times MODIFIER$  đã xem xét ảnh hưởng tổng hợp của các nhân tố sinh thái, môi trường rừng lên mô hình ước tính AGB, kết quả ở bảng 3.14.

Bảng 3.14. 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	Mô hình	Trọng số	AIC	$R^2_{adj}$	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
1.	$AGB = a \times D^b \times H^c \times WD^d$	$1/D^\delta$	2.664	0,910	-11,1	44,6	27,1
2.	$AGB = a \times D^b \times H^{c*} \times WD^d \times \exp( b_1 \times (Altitude - 246) + b_2 \times (P - 1.502) + b_3 \times (BA - 12,62) + b_4^* \times (N - 534))$	$1/D^\delta$	2.681	0,930	-9,5	41,7	25,0
3.	$AGB = a \times D^b \times WD^d \times \exp( b_1^* \times (Altitude - 246))$	$1/D^\delta$	2.650	0,927	-10,0	41,2	25,5

Id	Mô hình	Trọng số	AIC	R <sup>2</sup> <sub>adj.</sub>	Bias (%)	RMSE (%)	MAPE (%)
	$+ b_2 \times (P - 1.502)$ $+ b_3 \times (BA - 12,62)$						
4.	$AGB = a \times D^b \times WD^d$ $\times \exp(+ b_2 \times (P - 1.502)$ $+ b_3 \times (BA - 12,62))$	$1/D^d$	2.640	0,926	-9,9	41,5	25,3

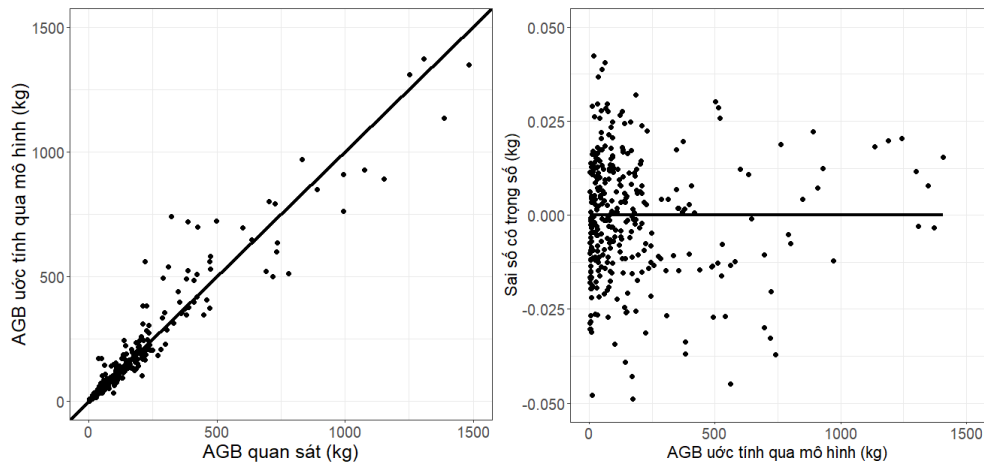
Thẩm định chéo đã lựa chọn mô hình sinh khối bao gồm hai nhân tố  $P$  và  $BA$  (hàm thứ 4 trong bảng 3.14). Các tham số của mô hình lựa chọn trình bày trong bảng 3.15.

Bảng 3.15. Các tham số của mô hình  $AGB$  chung cho các loài cây rừng khộp với sự tham gia của các biến sinh thái môi trường và lâm phần, ước lượng theo phương pháp phi tuyến cố định có trọng số theo Maximum Likelihood

Dạng mô hình	Tham số	Ước tính $\pm$ Khoảng biến động theo sai số tiêu chuẩn SE
$AGB = a \times D^b \times WD^d \times \exp(+ b_2 \times (P - 1.502) + b_3 \times (BA - 12,62))$	a	0,127751 $\pm$ 0,015243
	b	2,460833 $\pm$ 0,031600
	d	0,978793 $\pm$ 0,122928
	b <sub>2</sub>	-0,000645 $\pm$ 0,000095
	b <sub>3</sub>	-0,008556 $\pm$ 0,003552

Từ mô hình lựa chọn cho thấy 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 thực và trữ lượng chưa cao, với  $BA < 12,62 \text{ m}^2/\text{ha}$ .

Kết quả ở các đồ thị ở hình 3.7 cho thấy mô hình dạng  $AGB = AVERAGE \times MODIFIER$  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  $\pm 0,05 \text{ kg/cây}$  và rải đều theo  $AGB$  ước tính qua mô hình.

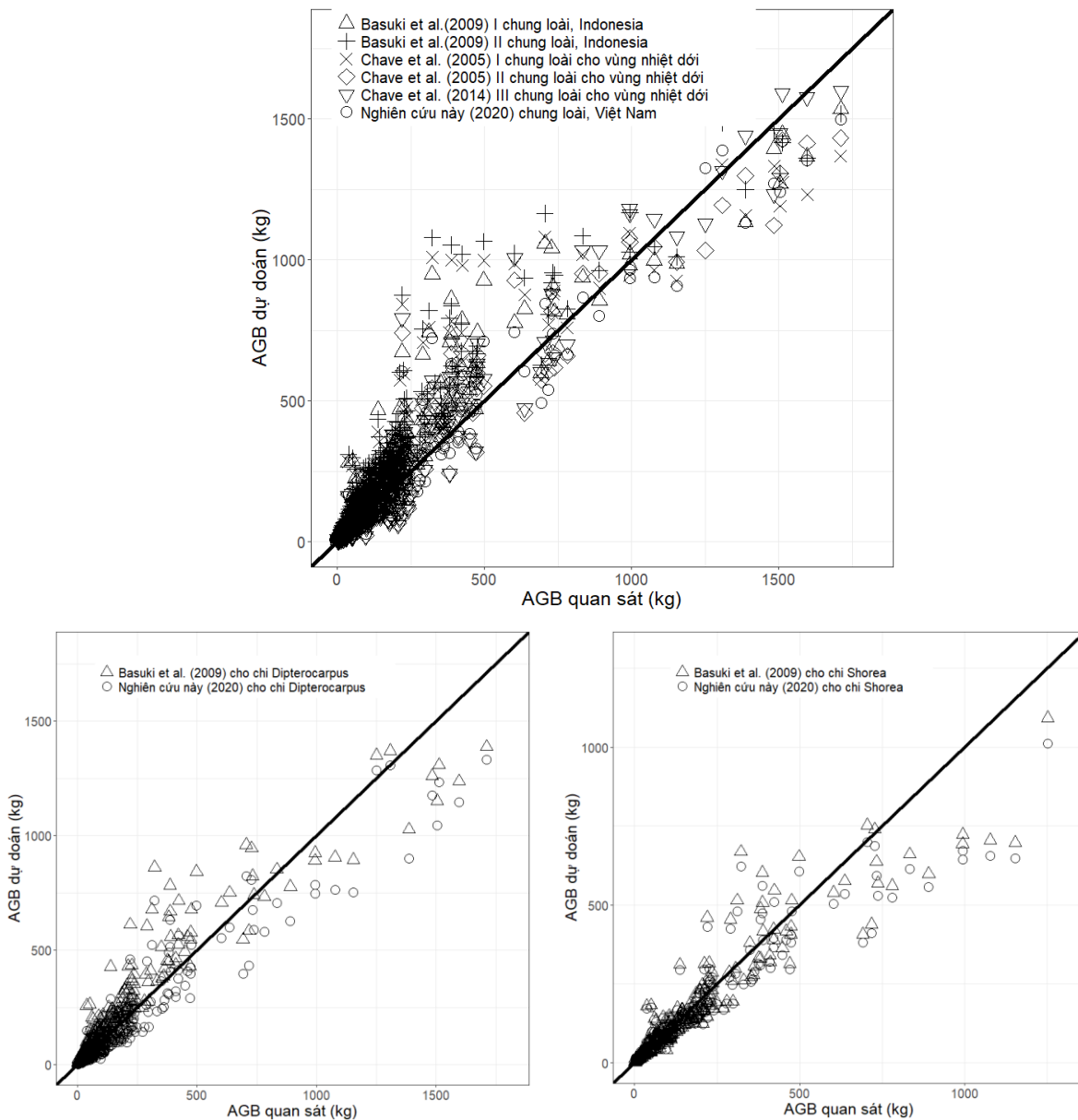


Hình 3.7. Mô hình  $AGB = AVERAGE \times MODIFIER$  điều chỉnh mô hình sinh khối dưới ảnh hưởng tổng hợp của các nhân tố sinh thái, môi trường và lâm phần. Quan hệ giữa  $AGB$  ước tính qua mô hình với  $AGB$  quan sát (trái). Biến động sai số có trọng số theo  $AGB$  ước tính qua mô hình (phải)

### 3.5. Mô hình sinh khối chung cho vùng nhiệt đới hay cho từng vùng sinh thái theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp

Trong nghiên cứu này, thẩm định chéo K-Fold với  $K = 10$  đã được thực hiện để so sánh sai số, độ tin cậy của phương trình ước tính đồng thời  $AGB$  theo phương pháp SUR, với các phương trình dự đoán sinh khối  $AGB$  khác được thiết lập cho vùng nhiệt đới (Chave và ctv, 2005, 2014) và rừng khộp của Đông Nam Á (Basuki và ctv, 2009). Tiến hành cho các mô hình ước tính chung  $AGB$  cho chung cho các loài và các chi thực vật ưu thế.

Các kết quả đánh giá cho thấy mô hình  $AGB$  chung các loài với ba biến số đầu vào  $D$ ,  $H$  và  $WD$  có thể sử dụng chung theo vùng nhiệt đới cho từng kiểu rừng.



Hình 3.8. So sánh các giá trị *AGB* dự đoán ở các mô hình khác nhau so với giá trị quan sát *AGB*

Trong khi đó, các mô hình *AGB* chung loài rừng khộp theo từng vùng sinh thái được phát triển bởi Basuki và ctv (2009) ở Indonesia đã cho thấy có sai số cao và dự đoán giá trị *AGB* quá cao so với dữ liệu *AGB* trong nghiên cứu này ở Việt Nam (Hình 3.8). Điều này cho thấy các mô hình *AGB* chung loài theo vùng sinh thái cụ thể không chuyển giao tốt cho các vùng sinh thái khác cho dù cùng kiểu rừng.

Thậm chí chéo sai số cho các mô hình theo chi ưu thế *Dipterocarpus* và *Shorea* được xây dựng bởi Basuki và ctv (2009) ở Indonesia cho thấy

các mô hình đã có các chỉ số phù hợp IF (0,86 – 0,90) và AGB dự đoán rất tương đồng với các mô hình theo các chi này được phát triển trong nghiên cứu này ở Việt Nam. Kết quả này khẳng định thêm phát hiện của Huy và ctv (2016c) cho rằng các mô hình AGB theo chi thực vật ưu thế rừng khộp có ứng dụng tốt ở các vùng sinh thái khác nhau (Hình 3.8)

Các mô hình AGB lập theo chi rừng khộp ở vùng nhiệt đới sẽ cải thiện độ tin cậy so với các mô hình AGB chung loài vùng nhiệt đới. Sai số RMSE và MAPE có xu hướng giảm đáng kể khi sử dụng các mô hình theo chi được so với mô hình cho chung loài. Giá trị dự đoán AGB từ phương trình theo hai chi của Basuki và ctv (2009) và từ nghiên cứu này không khác nhau đáng kể. Kết quả phát hiện này hỗ trợ đề xuất áp dụng phương trình sinh khối AGB theo chi thực vật của rừng khộp chung cho vùng Đông Nam Á và vùng khu vực nhiệt đới.

### **3.6. Ứng dụng thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng**

#### ***3.6.1. Hướng dẫn thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng***

*3.6.1.1. Thu thập số liệu để lập mô hình sinh khối cây rừng*

*3.6.1.2. Lựa chọn phương pháp thẩm định sai số mô hình sinh khối*

*3.6.1.3. Chọn biến số đầu vào cho hệ thống mô hình sinh khối*

*3.6.1.4. Chọn dạng hàm sinh khối cây rừng*

*3.6.1.5. Lựa chọn phương pháp ước lượng hàm Power*

*3.6.1.6. Kỹ thuật thiết lập mô hình sinh khối độc lập*

*3.6.1.7. Kỹ thuật thiết lập hệ thống mô hình sinh khối dưới ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng*

*i) Phương pháp xem xét ảnh hưởng từng nhân tố sinh thái môi trường rừng lên mô hình sinh khối*

*ii) Phương pháp xem xét ảnh hưởng tổng hợp các nhân tố sinh thái môi trường rừng lên mô hình sinh khối*



3.6.1.8. Kỹ thuật thiết lập đồng thời hệ thống mô hình sinh khối cây rừng theo SUR

### 3.6.2. Ứng dụng hệ thống mô hình sinh khối để ước tính carbon tích lũy và CO<sub>2</sub> tương đương cho lâm phần

i) Xác định diện tích rừng vùng khảo sát

ii) Bố trí hệ thống ô mẫu

iii) Thu thập số liệu trên ô mẫu theo các biến số đầu vào của các mô hình sinh khối lựa chọn sử dụng:

iv) Sử dụng các mô hình để ước tính sinh khối và suy ra carbon cho lâm phần:

v) Tính toán thay đổi trữ lượng carbon theo một trong hai phương pháp của IPCC (2006): i) Phương pháp thay đổi bể chứa carbon (Stock difference method) và ii) Phương pháp tăng giảm bể chứa carbon (Gain-loss method):

## KẾT LUẬN, TỒN TẠI VÀ KIẾN NGHỊ

### KẾT LUẬN

1) Lựa chọn phương pháp thiết lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối cây rừng:

Đối với hàm sinh khối dạng hàm mũ (Power), ước lượng mô hình phi tuyến có trọng số theo phương pháp hợp lý cực đại (Weighted Non-Linear Model fit by Maximum Likelihood) có độ tin cậy tốt hơn phương pháp truyền thống là tuyến hóa thông qua logarit và áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu không có trọng số.

Phương pháp thẩm định chéo K-Fold với K = 10 cung cấp sai số khách quan và ổn định của các mô hình sinh khối.

2) Hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khớp theo hệ thống phân loại thực vật áp dụng phương pháp thiết lập mô hình độc lập

Đối với mô hình chung các loài rừng khớp và họ ưu thế Dipterocarpaceae; hệ thống mô hình độc lập bao gồm:  $Bst = a \times D^b \times H^c$

$\times WD^d$ ,  $Bbr = a \times D^b$ ,  $Ble = a \times D^b$ ,  $Bba = a \times D^b$  và  $AGB = a \times D^b \times H^c$   
 $\times WD^d$

Đối với hai chi ưu thế là *Dipterocarpus* và *Shorea* và bốn loài ưu thế là *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb., *Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. Ex Miq., *Shorea obtusa* Wall., *Shorea siamensis* Miq. thì hệ thống mô hình độc lập chỉ có một biến  $D$  bao gồm:  $Bst = a \times D^b$ ,  $Bbr = a \times D^b$ ,  $Ble = a \times D^b$ ,  $Bba = a \times D^b$  và  $AGB = a \times D^b$ .

3) *Hệ thống mô hình ước tính đồng thời sinh khối theo SUR và so sánh với phương pháp thiết lập mô hình độc lập*

Hệ thống mô hình ước tính các sinh khối thành phần  $Bst$ ,  $Bbr$ ,  $Ble$ ,  $Bba$  và  $AGB$  đồng thời theo phương pháp SUR trong rừng khộp có độ tin cậy cao hơn đáng kể so với các mô hình được phát triển riêng biệt, độc lập như truyền thống.

Đối với chung loài và họ chiếm ưu thế Dipterocarpaceae:

$$AGB = f(Bst, Bbr, Ble, Bba) = a_1 \times D^{b11} \times H^{b12} \times WD^{b13} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}.$$

Đối với chi thực vật ưu thế *Dipterocarpus* và *Shorea*:

$$AGB = f(Bst, Bbr, Ble, Bba) = a_1 \times D^{b11} + a_2 \times D^{b21} + a_3 \times D^{b31} + a_4 \times D^{b41}$$

4) *Ảnh hưởng của các nhân tố sinh thái môi trường rừng, lâm phần đến mô hình ước tính AGB cây rừng khộp*

Mô hình ước tính AGB với sự tham gia của hai nhân tố:  $AGB = a \times D^b \times WD^d \times \exp(+ b_2 \times (P - 1.502) + b_3 \times (BA - 12,62))$

5) *Mô hình sinh khối chung cho vùng nhiệt đới hay cho từng vùng sinh thái theo hệ thống phân loại thực vật ưu thế rừng khộp*

Mô hình AGB chung các loài rừng khộp với ba biến số đầu vào  $D$ ,  $H$  và  $WD$  có thể sử dụng chung theo vùng nhiệt đới. Các mô hình AGB theo chi thực vật ưu thế rừng khộp có ứng dụng tốt ở các vùng sinh thái khác nhau. Đồng thời các mô hình theo chi thực vật này cũng sẽ giảm chi phí trong ứng dụng vì chỉ cần đo lường một biến  $D$ .

6) Các kết quả nghiên cứu có thể dùng thiết lập và thẩm định chéo hệ thống mô hình ước tính sinh khối cây rừng ở nơi khác và ứng dụng trong ước tính sinh khối carbon rừng khộp trong các chương trình dự án REDD+ khu vực và quốc gia.

## **TỒN TẠI**

Nghiên cứu này có một số tồn tại sau đây:

1. Chỉ mới thiết lập hệ thống mô hình sinh khối cho một họ Dầu Dipterocarpaceae và hai chi *Dipterocarpus* và *Shorea*. Trong khi đó rừng khộp còn có một số họ và chi quan trọng khác

2. Dữ liệu sinh khối rừng khộp thu thập chỉ mới tập trung ở tỉnh Đắk Lắk và một phần ở Bình Thuận. Trong khi đó rừng khộp còn có phân bố ở tỉnh Gia Lai.

3. Chưa thẩm định chéo để đánh giá sai số của hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khộp ở Việt Nam được thiết lập trong nghiên cứu này ở các vùng rừng khộp khác trong vùng nhiệt đới.

## **KIẾN NGHỊ**

1. Cần có những nghiên cứu tiếp theo để bổ sung dung lượng lấy mẫu sinh khối ở nhiều loài, chi, họ thực vật khác nhau của rừng khộp, và ở các địa phương khác như ở tỉnh Gia lai, Bình Thuận để tăng độ chính xác của ước tính sinh khối cho rừng khộp Việt Nam.

2. Cần bổ sung kiểm nghiệm và thiết lập các mô hình sinh khối theo nhiều nhân tố sinh thái môi trường và lâm phần khác để tăng độ tin cậy, giảm sai số.

3. Thẩm định chéo để đánh giá sai số của hệ thống mô hình sinh khối cây rừng khộp được thiết lập và đề xuất trong nghiên cứu này ở các vùng sinh thái khác ở Việt Nam và trong vùng nhiệt đới

4. Sử dụng cơ sở khoa học của luận án này để lập và thẩm định chéo mô hình sinh khối cây rừng cho các đối tượng rừng khác.