

STUDY ON VARIATION IN FIBER LENGTH OF *Acacia auriculiformis* PLANTED IN QUANG TRI, VIET NAM

Duong Van Doan*, Hoang Linh Chi, Nguyen Thanh Tien, Tran Thi Thu Ha

TNU - University of Agriculture and Forestry

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Received: 16/11/2021</p> <p>Revised: 31/12/2021</p> <p>Published: 12/01/2022</p>	<p>Wood fiber is an important ingredient in wood structure and in the production of paper, pulp, and fiberboard. In this study, fiber lengths of 5-year-old <i>Acacia auriculiformis</i> of clone Clt43 were examined both in near the pith and near the bark at height of 1.3 m above the ground. The results of study showed that the mean of fiber length near the bark (1.32 mm) was significant ($P < 0.05$) higher than that near the pith (1.11 mm). Stress wave velocity and air-dry density were two indicators that can be used to predict wood fiber length. However, when used separately, the level of predictability was not high. When using these indicators together, the ability of predicting fiber length was significantly increased with a coefficient of correlation of 0.84 ($P < 0.001$). This result suggests that stress wave technique may be used in combination with wood density in rapid prediction of wood fiber length of <i>Acacia auriculiformis</i> before processing paper, pulp, or fiberboard.</p>
<p>KEYWORDS</p> <p><i>Acacia auriculiformis</i> Wood fiber Air-dry density Stress wave velocity MOE_d</p>	

NGHIÊN CỨU SỰ BIẾN ĐỔI CHIỀU DÀI SỢI GỖ KEO LÁ TRÀM (*Acacia auriculiformis*) TRỒNG TẠI TỈNH QUẢNG TRỊ, VIỆT NAM

Dương Văn Đoàn*, Hoàng Linh Chi, Nguyễn Thanh Tiên, Trần Thị Thu Hà

Trường Đại học Nông Lâm - ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<p>Ngày nhận bài: 16/11/2021</p> <p>Ngày hoàn thiện: 31/12/2021</p> <p>Ngày đăng: 12/01/2022</p>	<p>Sợi gỗ là thành phần quan trọng trong cấu tạo gỗ và trong công nghệ sản xuất giấy, bột giấy và ván sợi. Trong nghiên cứu này, chiều dài sợi gỗ của Keo lá tràm 5 tuổi thuộc dòng Clt43 được kiểm tra ở vị trí gần tâm và gần vỏ tại chiều cao 1,3 m. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, chiều dài sợi gỗ trung bình gần vỏ (1,32 mm) là cao hơn rõ ràng ($P < 0,05$) so với chiều dài sợi gỗ trung bình ở vị trí gần tâm (1,11 mm). Vận tốc truyền sóng ứng suất và khối lượng thể tích là hai chỉ số có thể được sử dụng để dự đoán chiều dài sợi gỗ. Tuy nhiên, khi sử dụng riêng biệt thì mức độ dự đoán là không cao. Khi sử dụng kết hợp hai chỉ số này, khả năng dự đoán chiều dài sợi gỗ đã tăng lên đáng kể với hệ số tương quan là 0,84 ($P < 0,001$). Kết quả này gợi ý rằng, công nghệ sóng ứng suất có thể được sử dụng kết hợp với khối lượng thể tích gỗ trong dự đoán nhanh chiều dài sợi gỗ phục vụ cho việc lọc nguồn nguyên liệu gỗ Keo lá tràm trước khi sản xuất giấy, bột giấy hay ván sợi.</p>
<p>TỪ KHÓA</p> <p>Keo lá tràm Sợi gỗ Khối lượng thể tích Vận tốc truyền sóng ứng suất MOE_d</p>	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.5264>

* Corresponding author. Email: duongvandoan@tuaf.edu.vn

1. Giới thiệu

Keo lá tràm có tên khoa học là *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. phân bố tự nhiên ở Australia, Papua New Guinea và Indonesia. Keo lá tràm thuộc loài cây sinh trưởng nhanh, có khả năng cố định nitơ và phù hợp với nhiều vùng sinh thái [1]-[3]. Gỗ của Keo lá tràm thường được sử dụng trong sản xuất giấy và bột giấy, ván nhân tạo, hay trong các sản phẩm cấu trúc [4]. Ở Việt Nam, các nghiên cứu cải thiện giống Keo lá tràm chủ yếu tập trung vào việc tìm ra những xuất xứ có khả năng kháng sâu bệnh, sinh trưởng tốt và năng suất cao [5]. Các nghiên cứu chọn giống Keo lá tràm dựa trên các tính chất gỗ còn hạn chế, trong khi đó chất lượng gỗ mới là sản phẩm mong muốn cuối cùng của người sản xuất và tiêu dùng. Do đó, các tính chất gỗ của Keo lá tràm cần được nghiên cứu để phục vụ cho việc chọn giống hoặc lai tạo.

Sợi gỗ là một thành phần quan trọng cấu tạo nên gỗ. Ở gỗ lá rộng sợi gỗ chiếm khoảng 15 – 60% thể tích gỗ; trong khi đó, ở gỗ lá kim sợi gỗ (quản bào) chiếm tỷ lệ trung bình 90% thể tích cây [6]. Sợi gỗ là tế bào vách dày, ruột nhỏ, hình thoi dài, hai đầu nhọn xếp theo chiều dọc thân cây. Khi cây còn sống, chức năng chủ yếu của sợi gỗ là giúp cho cây đứng vững và chịu lực tác dụng từ bên ngoài [7]. Trong công nghiệp sản xuất giấy và bột giấy hoặc sản xuất ván sợi, chiều dài sợi gỗ đóng vai trò quan trọng đến chất lượng của sản phẩm. Nguồn nguyên liệu có sợi gỗ càng dài, chất lượng sản phẩm càng tốt. Do đó, nghiên cứu chọn lựa được các loài cây có chiều dài sợi tốt hoặc phương pháp dự đoán nhanh được chiều dài sợi từ nguồn nguyên liệu đã khai thác trước khi đưa vào sản xuất là rất cần thiết phục vụ cho ngành công nghiệp chế biến gỗ.

Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm kiểm tra sự biến đổi chiều dài sợi gỗ Keo lá tràm theo hướng bán kính ở vị trí gần tâm và vị trí gần vỏ. Từ kết quả đạt được, khả năng dự đoán nhanh chiều dài sợi gỗ bằng công nghệ sóng ứng suất cũng được kiểm tra thông qua tính toán tương quan giữa chiều dài sợi gỗ với vận tốc truyền sóng ứng suất. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp các thông tin hữu ích cho những nhà sản xuất liên quan đến chất lượng của sợi gỗ như giấy, bột giấy hay ván sợi trong quá trình đánh giá, phân loại nguồn nguyên liệu Keo lá tràm tại khu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là rừng trồng khảo nghiệm giống Keo lá tràm của Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam tại Trung tâm Khoa học Lâm nghiệp vùng Bắc Trung Bộ, tỉnh Quảng Trị trồng từ tháng 12/2015. Đây là dòng Keo đã được công nhận là tiên bộ kỹ thuật theo quyết định số 2763/QĐ-BNN-LN ngày 01 tháng 10 năm 2009 của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, có khả năng sinh trưởng nhanh, chống chịu sâu bệnh và chịu hạn tốt. Trong nghiên cứu này, 05 cây mẫu Keo lá tràm từ dòng Clt43 được thu thập dựa trên một số đặc điểm như thân thẳng không phân cành sớm, không có các biểu hiện sâu bệnh, khuyết tật vào tháng 12/2020. Đường kính tại 1,3 tính từ mặt đất (đường kính ngang ngực) và chiều cao vút ngọn được đo cho mỗi cây mẫu. Trong nghiên cứu trước [8], chúng tôi đã nghiên cứu trên cùng 5 cây mẫu các tính chất: Vận tốc truyền sóng ứng suất trong gỗ (stress wave velocity - SWV), khối lượng thể tích (air-dry density - AD) và mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học (dynamic modulus of elasticity - MOE_d) - giá trị được tính toán thông qua sự kết hợp của vận tốc sóng ứng suất và khối lượng thể tích bởi công thức: $MOE_d = AD \times SWV^2$ (1). Dữ liệu của các thông số trên được trích xuất từ nghiên cứu trước [8] như trình bày trong Bảng 1.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để nghiên cứu sự biến đổi chiều dài sợi gỗ (fiber length - FL), từ các mẫu gỗ có kích thước 20 (xuyên tâm) × 20 (tiếp tuyến) × 300 (dọc thớ) mm được xẻ tại các vị trí gần tâm (R1) và gần vỏ (R2) ở chiều cao 1,3 m tính từ mặt đất để đo vận tốc truyền sóng ứng suất (SWV), khối lượng thể tích (AD) và mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học (MOE_d) trong nghiên cứu trước [8], các mẫu gỗ có kích thước 20 (XT) × 20 (TT) × 20 (DT) mm được cắt ra từ phần gỗ không bị phá

hủy để đo chiều dài sợi gỗ. Tổng số 20 mẫu gỗ từ 5 cây mẫu (2 mẫu gần vỏ và 2 mẫu gần tâm từ mỗi cây) được sử dụng. Một lát gỗ mỏng dày 0,5 mm được cắt theo chiều tiếp tuyến tại trung tâm mỗi mẫu, sau đó được ngâm trong dung dịch HNO_3 + Nước cất với tỉ lệ 1:1 và 6g KClO_3 trên 100 ml dung dịch trong 7 ngày. Tiếp theo, các lát gỗ đó được rửa bằng nước sạch và tiến hành phân ly (Hình 1). Các sợi gỗ được nhuộm màu bằng dung dịch Safranin, sau đó đưa các sợi gỗ lên lamén và quan sát bằng hệ thống kính hiển vi huỳnh quang (Olympus IX53P1F) sẵn có tại Phòng thí nghiệm Viện Nghiên cứu và Phát triển Lâm Nghiệp, trường Đại học Nông Lâm, Đại học Thái Nguyên. Ảnh của các sợi gỗ được chụp lại và chiều dài của 30 sợi gỗ (còn nguyên vẹn, không bị đứt gãy) từ mỗi mẫu được đo bằng phần mềm ImageJ. Giá trị trung bình của 30 sợi gỗ được xem là chiều dài trung bình sợi tại mỗi mẫu. Tổng số 600 sợi gỗ được đo từ 20 mẫu gỗ.

Bảng 1. Thông tin đường kính, chiều cao, vận tốc truyền sóng ứng suất (SWV), khối lượng thể tích (AD) và mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học (MOE_d) [8]

Cây	$D_{1,3}$ (cm)	Chiều cao (m)	SWV (m/s)	AD (g/cm^3)	MOE_d (GPa)
1	10,48	13,05	4226	0,53	9,49
2	11,62	13,22	4167	0,47	8,10
3	12,23	13,70	3963	0,61	9,64
4	12,71	13,87	4019	0,61	9,83
5	11,34	12,15	4048	0,59	9,70



Hình 1. Quá trình thực hiện thí nghiệm đo chiều dài sợi gỗ Keo lá trà

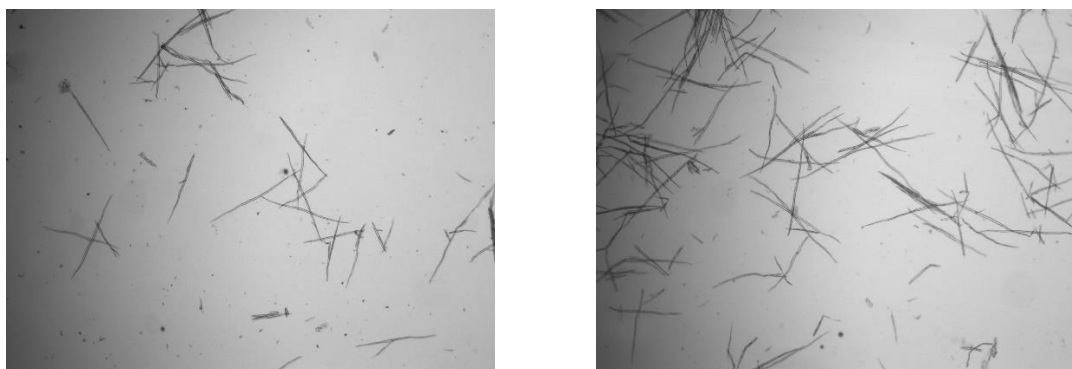
2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Các phân tích thống kê (giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, tương quan) trong nghiên cứu này được thực hiện bằng phần mềm R (phiên bản 3.2.4.). Trong đó: *T-test* được sử dụng để phân tích so sánh chiều dài sợi gỗ ở vị trí gần tâm và vị trí gần vỏ; Phân tích phương sai ANOVA để kiểm tra sự khác biệt chiều dài sợi gỗ giữa 5 cây mẫu.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Sự biến đổi chiều dài sợi gỗ

Hình 2 là ảnh chụp các sợi gỗ ở vị trí gần tâm và vị trí gần vỏ ở cây mẫu số 2. Bảng 2 trình bày giá trị chiều dài sợi gỗ ở vị trí gần tâm, vị trí gần vỏ và giá trị trung bình chiều dài sợi gỗ ở 5 cây mẫu. Ở vị trí gần tâm, chiều dài sợi gỗ trung bình là 1,11 mm biến động từ 0,98 mm (cây 2) đến 1,16 mm (cây 5). Ở vị trí gần vỏ, chiều dài sợi gỗ biến động từ 1,18 mm (cây 2) đến 1,41 mm (cây 3) với giá trị trung bình từ 5 cây là 1,32 mm. Giá trị trung bình chiều dài sợi gỗ ở mỗi cây là giá trị trung bình chiều dài 60 sợi gỗ (30 sợi gần tâm và 30 sợi gần vỏ). Chiều dài sợi gỗ trung bình từ 5 cây mẫu là 1,22 mm.



Hình 2. Ảnh sợi gỗ ở vị trí gần tâm (trái) và vị trí gần vỏ (phải) ở cây số 2

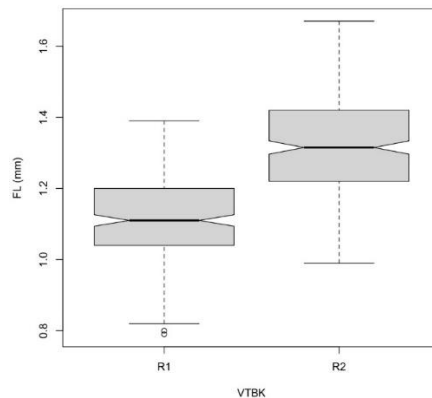
Bảng 2. Giá trị chiều dài sợi gỗ (mm) ở vị trí gần tâm, gần vỏ và giá trị trung bình mỗi cây

Cây	Số sợi	Vị trí bán kính		Trung bình
		Gần tâm (R1)	Gần vỏ (R2)	
Cây 1	120	1,15 ^(b) ± 0,10	1,30 ^(a) ± 0,10	1,23 ± 0,12 ^a
Cây 2	120	0,98 ^(b) ± 0,09	1,18 ^(a) ± 0,13	1,12 ± 0,15 ^b
Cây 3	120	1,11 ^(b) ± 0,13	1,41 ^(a) ± 0,11	1,26 ± 0,19 ^a
Cây 4	120	1,09 ^(b) ± 0,10	1,32 ^(a) ± 0,12	1,22 ± 0,16 ^a
Cây 5	120	1,16 ^(b) ± 0,12	1,36 ^(a) ± 0,13	1,26 ± 0,16 ^a
Trung bình	600	1,11 ^(b) ± 0,12	1,32 ^(a) ± 0,14	1,22 ± 0,17

Chú thích: Chữ cái nhỏ khác nhau trong ngoặc đơn theo hàng ngang chỉ sự khác biệt giữa vị trí gần tâm và vị trí gần vỏ; chữ cái nhỏ khác nhau sau độ lệch chuẩn theo chiều dọc chỉ sự khác biệt giữa các cây.

Kết quả phân tích so sánh (*T-test*) đã chỉ ra rằng, chiều dài sợi gỗ ở vị trí gần vỏ cao hơn rõ ràng ($P < 0,05$) so với chiều dài sợi gỗ ở phần gần tâm (Hình 3). Với kiến thức của chúng tôi, cho đến nay chưa có nghiên cứu nào ở Việt Nam điều tra về sự biến đổi chiều dài sợi gỗ Keo lá tràm theo hướng từ tâm ra vỏ. Tuy nhiên, đã có những báo cáo về sự biến đổi chiều dài sợi gỗ ở Keo tai tượng và Keo lai. Dương Văn Đoàn và Nguyễn Tử Kim [9] đã báo cáo chiều dài sợi gỗ Keo tai tượng 10 tuổi trồng tại Thái Nguyên ở vị trí gần tâm là 0,52 mm và ở vị trí gần vỏ là 0,74 mm. Nguyễn Tử Kim và cộng sự [10] đã báo cáo chiều dài sợi gỗ trung bình của các dòng Keo lai 8 tuổi trồng tại Ba Vì, Hà Nội dao động từ 0,86 – 0,93 mm. Trên thế giới đã có nhiều công trình báo cáo về sự biến đổi chiều dài sợi gỗ Keo lá tràm. Cụ thể, Chowdhury và cộng sự [11] đã điều tra về sự biến đổi chiều dài sợi gỗ Keo lá tràm trồng tại Bangladesh. Các tác giả đã báo cáo chiều dài sợi gỗ là tăng dần từ tâm ra vỏ với sự biến động trong khoảng 0,89 mm đến 1,06 mm. Jahan và cộng sự [12] cũng báo cáo chiều dài sợi gỗ Keo lá tràm có xu hướng tăng dần theo hướng bán kính từ vị trí gần tâm (0,73 mm) đến vị trí gần vỏ (0,91 mm).

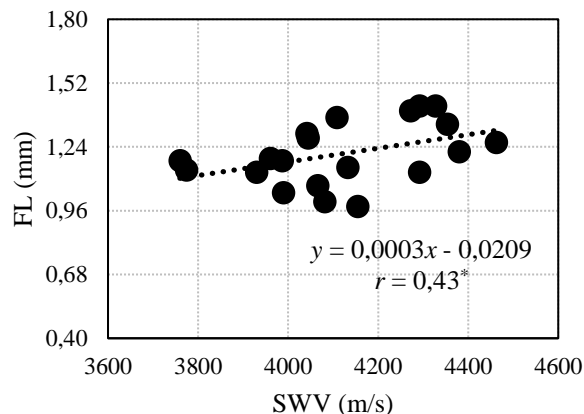
Kết quả phân tích phương sai ANOVA cũng chỉ ra rằng có sự khác biệt rõ ràng chiều dài sợi gỗ trung bình giữa 5 cây mẫu được quan sát trong nghiên cứu này (Bảng 2). Kết quả này là tương tự với báo cáo của Chowdhury và cộng sự [11]. Sự khác biệt về chiều dài sợi gỗ giữa các cây gợi ý rằng chiều dài sợi gỗ Keo lá tràm dòng Clt43 phụ thuộc vào từng cây. Nếu dự đoán được chiều dài sợi gỗ ngay trên cây đứng thì có thể lựa chọn được cây bố mẹ có chiều dài sợi tốt phục vụ cho công tác chọn giống hoặc lai tạo giống.



Hình 3. Sự biến đổi chiều dài sợi gỗ ở vị trí gần tâm (R1) và vị trí gần vỏ (R2)
(VTBK: Vị trí bán kính; FL: Chiều dài sợi gỗ)

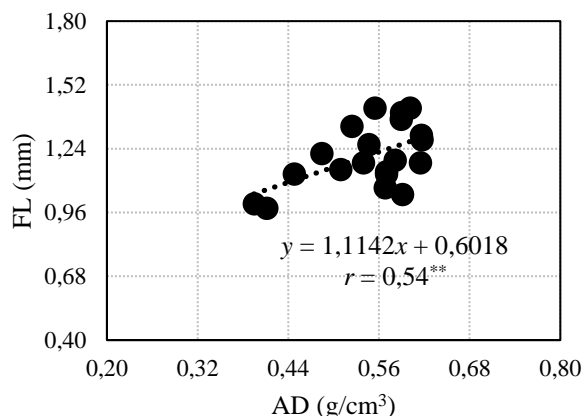
3.2. Khả năng dự đoán chiều dài sợi gỗ bằng công nghệ sóng ứng suất

Để xác định được chiều dài sợi gỗ, phương pháp sử dụng hóa chất để phân tách như trong nghiên cứu này hay còn gọi là phương pháp truyền thống thường rất tốn kém kinh phí vật tư, thời gian và nhân lực. Do đó tìm ra các phương pháp để có thể dự đoán nhanh được chiều dài sợi gỗ rất được quan tâm. Công nghệ sóng ứng suất là một trong các công nghệ được sử dụng để dự đoán nhanh các tính chất gỗ, đặc biệt là tính chất cơ học; tuy nhiên, nó cũng được nghiên cứu để đánh giá khả năng dự đoán chiều dài sợi gỗ. Trong nghiên cứu này, mối tương quan giữa vận tốc truyền sóng ứng suất và chiều dài sợi gỗ trong 20 mẫu gỗ Keo lá tràm được kiểm tra. Hệ số tương quan dương được tìm thấy giữa chiều dài sợi gỗ và vận tốc sóng ứng suất, tuy nhiên mức độ tương quan là thấp ($r = 0,43$; $P < 0,05$) (Hình 4). Kết quả này gợi ý rằng, nếu dùng vận tốc sóng ứng suất để dự đoán chiều dài sợi gỗ Keo lá tràm dòng Clt43 là hiệu quả thấp.



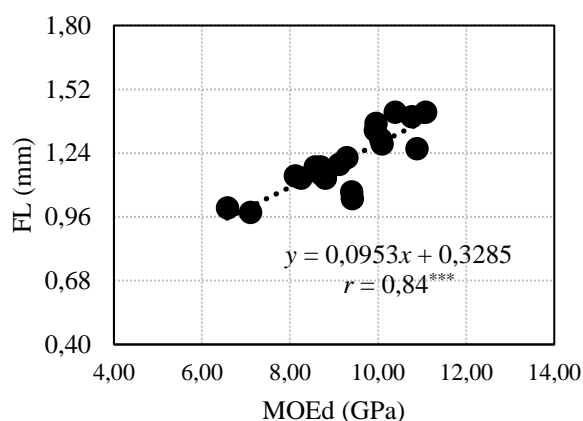
Hình 4. Tương quan giữa chiều dài sợi gỗ (FL) và vận tốc sóng ứng suất (SWV)

Khối lượng thể tích là một chỉ số thường được dùng để dự đoán các tính chất gỗ bởi vì nó dễ dàng tính toán được (là tỷ số khối lượng và thể tích của mẫu gỗ cần đo). Trong nghiên cứu này chúng tôi cũng kiểm tra mức độ tương quan giữa giá trị chiều dài sợi gỗ và khối lượng thể tích trong 20 mẫu gỗ Keo lá tràm. Kết quả như được trình bày trong Hình 5. Hệ số tương quan giữa chiều dài sợi và khối lượng thể tích là 0,54 ($P < 0,01$). Kết quả này chỉ ra rằng, chiều dài sợi gỗ Keo lá tràm ở dòng Clt43 có thể được dự đoán bằng chỉ số khối lượng thể tích thông qua phương trình tuyến tính $y = 1,1142x + 0,6018$, trong đó x là giá trị khối lượng thể tích gỗ ở độ ẩm 12%, y là chiều dài sợi gỗ. Tuy nhiên, mức độ chính xác là ở mức độ trung bình ($r = 0,54$).



Hình 5. Tương quan giữa chiều dài sợi gỗ (FL) và khối lượng thể tích (AD)

Trong nghiên cứu trước, chúng tôi đã sử dụng công nghệ sóng ứng suất để dự đoán các tính chất cơ học gỗ [8]. Kết quả đã chỉ ra rằng, sự kết hợp của khối lượng thể tích và vận tốc sóng ứng suất thông qua tính toán giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh (MOE_d) như ở công thức 1 đã cho kết quả dự đoán mô đun đàn hồi uốn tĩnh (MOE) tốt hơn nhiều so với khi chỉ sử dụng một yếu tố vận tốc sóng ứng suất hoặc khối lượng thể tích. Trong nghiên cứu này, chúng tôi cũng kiểm tra khả năng dự đoán chiều dài sợi gỗ bằng giá trị MOE_d . Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, hệ số tương quan giữa MOE_d và chiều dài sợi gỗ là rất cao ($r = 0,84$; $P < 0,001$) (Hình 6). Kết quả này đã chỉ ra rằng, chiều dài sợi gỗ có thể được dự đoán tốt cho gỗ Keo lá tràm ở dòng Clt43 khi có sự kết hợp giữa giá trị vận tốc truyền sóng ứng suất được đo bằng thiết bị Fakopp và giá trị khối lượng thể tích. Do đó công nghệ sóng ứng suất có thể được sử dụng (cùng với giá trị khối lượng thể tích) để lựa chọn nguồn nguyên liệu gỗ có chiều dài sợi gỗ cao phục vụ cho công nghiệp chế biến ván sợi hoặc bột giấy. Các nghiên cứu tiếp theo cần được thực hiện để kiểm tra mối liên hệ giữa vận tốc truyền sóng ứng suất trên cây đứng và chiều dài sợi gỗ để có thể lựa chọn được cây bố mẹ có chiều dài sợi gỗ tốt phục vụ cho công tác nhân giống hoặc lai tạo.



Hình 6. Tương quan giữa chiều dài sợi gỗ (FL) và mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học (MOE_d)

4. Kết luận

Sự biến đổi chiều dài sợi gỗ ở vị trí gần tâm và vị trí gần vỏ theo hướng bán kính được nghiên cứu ở gỗ Keo lá tràm 5 tuổi dòng Clt43. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, chiều dài sợi gỗ ở gần vỏ là cao hơn rõ ràng có ý nghĩa thống kê so với chiều dài sợi gỗ ở vị trí gần tâm. Cũng có một sự

khác nhau rõ ràng về chiều dài sợi gỗ trung bình giữa các cây gỗ Keo lá tràm. Chiều dài sợi gỗ có thể được dự đoán bằng chỉ số vận tốc truyền sóng ứng suất hoặc giá trị khối lượng thể tích, tuy nhiên mức độ chính xác là không cao. Khi sử dụng đồng thời cả hai giá trị này thông qua tính toán giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực, mức độ chính xác khi dự đoán chiều dài sợi gỗ tăng lên đáng kể. Kết quả của nghiên cứu này có thể được ứng dụng trong việc lọc các nguồn nguyên liệu gỗ có chiều dài sợi gỗ cao trong sản xuất ván sợi hoặc bột giấy.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 106.06-2019.319 và Trường Đại học Nông Lâm Thái Nguyên trong đề tài mã số SV2021-59.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] N. A. A. Shukor, K. Awang, P. Venkateswarlu, and A. L. Senin, "Three-year performance of *Acacia auriculiformis* provenances at Serdang, Malaysia," *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, vol. 17, pp. 95-102, 1993.
- [2] T. N. N. Le, T. T. N. Nguyen, and T. P. N. Pham, "In vitro shoot propagation of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. Ex Benth Clt43 line," *Hue University Journal of Science: Agriculture and Rural Development*, vol. 128, pp. 33-41, 2019.
- [3] K. Pinyopusarek, E. Williams, and D. Boland, "Geographic-variation in seedling morphology of *Acacia auriculiformis* A-cunn ex-Benth," *Australian Journal of Botany*, vol. 39, pp. 247-260, 1991.
- [4] H. H. Phi, G. Jansson, C. Harwood, B. Hannrup, and T. H. Ha, "Genetic variation in growth, stem straightness and branch thickness in clonal trials of *Acacia auriculiformis* at three contrasting sites in Vietnam," *Forest Ecology and Management*, vol. 255, pp. 156-167, 2008.
- [5] H. H. Phi, "Genetic improvement of plantation-grown *Acacia auriculiformis* for sawn timber production," Ph.D. thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 2009.
- [6] H. D. Vu and T. P. H. Ta, Eds., *Wood Science Curriculum*. Agriculture Publisher, Hanoi, 2016.
- [7] B. J. Zobel and J. P. V. Buijtenen, *Wood variation, its causes and control*. Springer-Verlag, Heidelberg, 1989.
- [8] V. D. Duong and A. C. Vang, "Estimating wood density and mechanical properties of *Acacia mangium* using stress wave method," *Journal of Forestry Science and Technology*, vol. 5, pp. 151-156, 2021.
- [9] V. D. Duong and T. K. Nguyen, "Effect of wood density and fiber length on mechanical properties of *Acacia mangium* planted in Thai Nguyen province," *Journal of Forestry Science and Technology*, vol. 4, pp. 144-150, 2020.
- [10] N. T. Kim, M. Ochiishi, J. Matsumura, and K. Oda, "Variation in wood properties of six natural acacia hybrid clones in northern Vietnam," *Journal of Wood Science*, vol. 54, pp. 436-442, 2008.
- [11] M. Q. Chowdhury, F. Ishiguri, A. Iizuka, T. Hiraiwa, K. Matsumoto, Y. Takashima, and S. Yokota, "Wood property variation in *Acacia auriculiformis* growing in Bangladesh," *Wood and Fiber Science*, vol. 41, pp. 1-7, 2009.
- [12] M. S. Jahan, M. M. Haque, M. A. Quaiyyum, J. Nayeem, and M. S. Bashar, "Radial variation of anatomical, morphological and chemical characteristics of *Acacia auriculiformis* in evaluating pulping raw material," *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, vol. 16, pp. 118-124, 2019.