

## Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý thủy - nhiệt đến chất lượng gỗ Dầu rái (*Dipterocarpus alatus*)

Phạm Thị Ánh Hồng\*, Cao Quốc An, Trần Văn Chứ,  
Nguyễn Tất Thắng, Phạm Tường Lâm, Trịnh Hiền Mai  
Trường Đại học Lâm nghiệp

### Effect of hydro - thermal treatment temperature and time the on some properties of *Dipterocarpus alatus* wood

Pham Thi Anh Hong\*, Cao Quoc An, Tran Van Chu,  
Nguyen Tat Thang, Pham Tuong Lam, Trinh Hien Mai  
Vietnam National University of Forestry  
\*Corresponding author: hongpta@vnuf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.13.1.2024.072-082>

#### TÓM TẮT

Trong bài viết này tác giả trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý thủy - nhiệt đến chất lượng gỗ Dầu rái (*Dipterocarpus alatus*). Nghiên cứu đã tiến hành xử lý thủy - nhiệt gỗ Dầu rái ở nhiệt độ (160°C, 180°C, 200°C) trong 4 giờ và xử lý gỗ với thời gian (3 giờ, 4 giờ, 5 giờ) ở nhiệt độ 180°C. Gỗ trước và sau khi xử lý được đánh giá thông qua độ nhám bề mặt, hệ số chống trương nở (ASE), hiệu suất chống hút nước (WRE), độ bền nén dọc, độ bền uốn tĩnh, khả năng kháng nấm, màu sắc. Kết quả nghiên cứu cho thấy: Gỗ sau khi xử lý đã cải thiện được một số tính chất so với gỗ đối chứng. Khi tăng nhiệt độ và thời gian xử lý thì độ nhám bề mặt của gỗ xử lý giảm từ 76,44  $\mu\text{m}$  xuống 66,03  $\mu\text{m}$ ; hệ số chống trương nở ASE tăng từ 36,93% đến 43,17%; hiệu suất chống hút nước WRE tăng từ 27,36% đến 41,79%; khả năng kháng nấm mục đạt từ mức "trung bình" đến "tốt". Tuy nhiên, độ bền nén dọc giảm từ 49,39 MPa xuống 43,47 MPa; độ bền uốn tĩnh giảm từ 87,34 MPa xuống 81,56 MPa; độ lệch màu  $\Delta E^*$  thay đổi từ 28,89 đến 52,17. Như vậy, nhiệt độ và thời gian xử lý thủy - nhiệt có ảnh hưởng đến một số tính chất của gỗ Dầu rái. Theo kết quả nghiên cứu này, để đảm bảo chất lượng của gỗ sau khi biến tính và đem lại hiệu quả kinh tế nên xử lý thủy - nhiệt cho gỗ Dầu rái ở nhiệt độ 180°C trong 4 giờ là phù hợp.

#### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 18/09/2023  
Ngày phản biện: 30/10/2023  
Ngày quyết định đăng: 19/12/2023

#### Từ khóa:

Dầu rái, hiệu suất chống hút nước (WRE), hệ số chống trương nở (ASE), kháng nấm, tính chất cơ học, xử lý thủy - nhiệt.

#### ABSTRACT

In this article, we present the results of studying the effect of hydro - thermal treatment temperature and time on some properties of *Dipterocarpus alatus* wood. The *Dipterocarpus alatus* wood samples were hydro-thermal treated at temperatures (160°C, 180°C, 200°C) in 4 hours and duration (3 hours, 4 hours, 5 hours) at temperatures 180°C. Before and after hydro-thermal treatment, the wood samples were evaluated the following properties: surface roughness, anti-swelling efficiency (ASE), water repellency effectiveness (WRE), longitudinal compressive strength, static bending strength, fungi resistance, colour change. The study results showed that: some properties of hydro-thermal treated wood were improved compared to those of the untreated wood. When the temperature and the treatment time increased, wood surface roughness reduced from 76.44  $\mu\text{m}$  to 66.03  $\mu\text{m}$ ; Anti-swelling efficiency (ASE) increased from 36.93% to 43.17%; Water repellency effectiveness (WRE) increased from 27.36% to 41.79%; fungi resistance ranged from "average" to "good"; However, longitudinal compressive strength was reduced from 49.39 MPa to 43.47 MPa; Static bending strength was reduced from 87.34 MPa to 81.56 MPa; Color deviation  $\Delta E^*$  changed from 28.89 to 52.17. Thus, the hydro-thermal treatment temperature and time affect on some properties of *Dipterocarpus alatus* wood. According to the results of this study, to ensure the quality of wood after modification and bring economic efficiency, hydro-thermal treatment for *dipterocarpus alatus* wood at the temperature of 180°C and 4 hours is appropriate.

#### Keywords:

Anti-fungal, anti-swelling efficiency (ASE), *dipterocarpus alatus*, mechanical properties, hydro-thermal treatment, water repellency effectiveness (WRE).

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gỗ là vật liệu tái sinh, thân thiện với môi trường, nhẹ, cách âm và đàn hồi tốt, được sử dụng nhiều trong đời sống của con người như công nghiệp, kiến trúc, xây dựng. Tuy nhiên, đây là vật liệu sinh học nên dễ bị thay đổi màu sắc và kích thước dưới tác động của môi trường, dễ bị vi sinh vật phá hoại. Hiện nay, do cấm khai thác gỗ rừng tự nhiên nên gỗ rừng trồng là nguồn nguyên liệu chủ yếu dùng trong sản xuất chế biến gỗ nhưng nó có nhược điểm lớn là độ bền cơ lý thấp, dễ bị co rút, dẫn nở, nứt... ảnh hưởng đến việc gia công chế biến và hiệu quả sử dụng gỗ.

Gỗ dầu rái (*Dipterocarpus alatus*) có màu nâu đỏ nhạt, đôi khi có những vệt sẫm màu hơn, màu sắc khá đồng nhất, độ phản quang cao, cứng và nặng, gỗ có nhiều dầu nhựa. Với gỗ đã thành thực, độ tuổi 30 năm có đường kính 40 cm, ở độ tuổi này thì gỗ Dầu rái có cường độ cơ học cao, co rút ít, khả năng chống tách cao, khi sấy khô dễ làm cứng bề mặt, khó cắt và trang sức bề mặt [1]. Tuy nhiên, đối với gỗ Dầu rái rừng trồng dưới 20 tuổi có tính chất cơ lý tương đối thấp vì gỗ Dầu rái lúc này chưa phát triển thành thực, đặc biệt do đang trong quá trình phát triển nên cây chứa lượng nhựa lớn, gây khó khăn trong quá trình khai thác và chế biến. Do đó, để cải thiện một số tính chất của gỗ Dầu rái cần phải có các nghiên cứu biến tính cho loại gỗ này nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng.

Hiện nay, công nghệ biến tính gỗ trên thế giới và trong nước đang rất phát triển, trong đó có phương pháp biến tính thủy - nhiệt. Biến tính thủy - nhiệt là quá trình làm thay đổi một số tính chất vật lý, cơ học, sinh học và tính chất công nghệ của gỗ dưới tác dụng của nhiệt độ cao khi xử lý gỗ ở trong môi trường nước, sau đó được gia nhiệt bằng phương pháp sấy [2]. Phương pháp thủy - nhiệt là phương pháp xử lý biến tính một số loài gỗ có nhựa, hay những loài gỗ rất dễ bị nấm mốc xâm hại như gỗ Dầu rái. Mặc dù, công nghệ biến tính đã được các nhà khoa học trên thế giới quan tâm nghiên cứu từ rất sớm và ở Việt Nam đã có một số công trình nghiên cứu biến tính nâng cao chất

lượng gỗ rừng trồng, như gỗ Keo tai tượng [3], [4], gỗ Bạch đàn [2]... Tuy nhiên, ở nước ta hiện nay vẫn chưa có công trình nào nghiên cứu biến tính gỗ Dầu rái bằng phương pháp thủy - nhiệt nhằm nâng cao chất lượng gỗ. Vì vậy, việc nghiên cứu xử lý biến tính gỗ Dầu rái bằng phương pháp thủy - nhiệt là rất cần thiết và có ý nghĩa.

Xuất phát từ những lý do trên, bài báo này nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý thủy - nhiệt đến một số chỉ tiêu chất lượng gỗ Dầu rái nhằm cải thiện độ ổn định kích thước, độ nhẵn bề mặt và khả năng kháng nấm mục của gỗ.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu nghiên cứu

- Loại gỗ dùng trong nghiên cứu là gỗ Dầu rái 15 tuổi được khai thác tại Trảng Bom, tỉnh Đồng Nai. Sau đó, tiến hành cắt khúc 03 cây gỗ từ vị trí gốc đến phần giữa và giáp ngọn được 12 khúc gỗ có chiều dài 1300 m và được xẻ thanh theo quy cách: 25 x 55 x 1200 mm (xuyên tâm x tiếp tuyến x dọc thớ). Gỗ Dầu rái dùng để biến tính là các thanh gỗ xẻ không có khuyết tật, không bị nứt, không bị mối mọt, sau đó được gia công bào nhẵn.

- Các mẫu gỗ được xử lý biến tính thủy - nhiệt và kiểm tra các tính chất cơ học, vật lý, khả năng kháng nấm mục tại Trung tâm thí nghiệm và Phát triển công nghệ, Viện Công nghiệp gỗ và Nội thất, Trường Đại học Lâm nghiệp.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

#### \* Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện đơn yếu tố với các yếu tố thay đổi và cố định như sau:

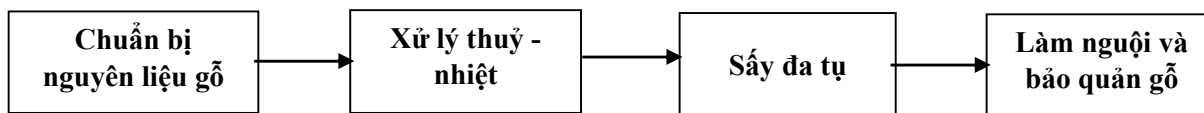
- Thay đổi 3 cấp nhiệt độ xử lý: 160°C; 180°C; 200°C. Cố định thời gian xử lý: 4 giờ; Áp suất xử lý: 2 MPa.

- Thay đổi 3 cấp thời gian xử lý: 3 giờ; 4 giờ; 5 giờ. Cố định nhiệt độ xử lý: 180°C; Áp suất xử lý: 2 MPa.

- Số thí nghiệm: 6 cấp thí nghiệm x 3 lần lặp.

#### **Mô tả thí nghiệm biến tính thủy - nhiệt cho ván xẻ gỗ Dầu rái**

Các bước thí nghiệm được thực hiện theo sơ đồ Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ các bước thí nghiệm

- **Bước 1: Chuẩn bị nguyên liệu:** Nguyên liệu gỗ Dầu rái được xẻ theo kích thước: 25 x 55 x 1200 mm (xuyên tâm x tiếp tuyến x dọc thớ) và sấy về độ ẩm 12%. Gỗ được kiểm tra loại bỏ các mẫu khuyết tật trước khi đưa vào xử lý. Gỗ được đưa vào trong thiết bị xử lý thủy - nhiệt với số lượng: 40 thanh/1 cấp thí nghiệm; các lớp gỗ được xếp song song theo chiều dọc của buồng xử lý, giữa chúng được kê bằng thanh kê gỗ dày 2 cm theo chiều ngang, khoảng cách giữa các thanh kê không quá 50 cm. Sau đó, tiến hành bơm nước vào buồng xử lý có chứa gỗ Dầu rái, sao cho lượng nước đưa vào ngâm ngập khoảng ½ lượng mẫu cần xử lý.

- **Bước 2: Xử lý thủy - nhiệt:**

+ Điều chỉnh thiết bị xử lý để tăng từ từ nhiệt độ tới các cấp nhiệt độ (160°C; 180°C; 200°C), áp suất tối đa là 2 MPa, duy trì áp suất và nhiệt độ này trong 4 giờ nhằm xử lý thủy - nhiệt cho gỗ.

+ Điều chỉnh thiết bị xử lý để tăng từ từ nhiệt độ tới 180°C, áp suất tối đa là 2 MPa, duy trì áp suất và nhiệt độ này ở các cấp thời gian xử lý (3

giờ; 4 giờ; 5 giờ) nhằm xử lý thủy-nhiệt cho gỗ.

- **Bước 3: Sấy đa tụ:** Sau mỗi quá trình biến tính thủy - nhiệt với các cấp nhiệt độ và thời gian biến tính khác nhau, tiến hành xả áp của buồng xử lý về áp suất môi trường, sau đó tiến hành rút nước ra khỏi thiết bị, đồng thời đưa nhiệt độ buồng xử lý về mức 110°C và tiếp tục duy trì nhiệt độ này trong thời gian khoảng 3 giờ nhằm sấy để đưa độ ẩm gỗ về ngưỡng 12%. Trong quá trình sấy đã tiến hành đo độ ẩm các mẫu gỗ liên tục.

- **Bước 4: Làm nguội và bảo quản gỗ:** Sau quá trình sấy đa tụ, thực hiện ngừng cung cấp nhiệt để cho thiết bị nguội dần về nhiệt độ môi trường (tránh hiện tượng ngừng nhiệt đột ngột gây nứt bề mặt gỗ). Sau đó, tiến hành lấy gỗ ra, làm sạch và bảo quản ở nơi khô ráo trong điều kiện phòng. Cuối cùng là cắt mẫu gỗ và kiểm tra chất lượng gỗ biến tính theo các tiêu chuẩn hiện hành (Bảng 1). Số lượng mẫu gỗ xử lý: 10 mẫu x 3 lần lặp/1 chế độ thí nghiệm và số mẫu đối chứng: 10 mẫu.

Bảng 1. Phương pháp xác định các tính chất của gỗ Dầu rái

TT	Chỉ tiêu kiểm tra	Số lượng	Số lần lặp	Kích thước mẫu	Tiêu chuẩn thử
1	Độ nhám bề mặt của gỗ	10 mẫu/ 1 chế độ	3	50 x 50 x 20	TCVN 5120:2007 [2]
2	Độ ổn định kích thước của gỗ	10 mẫu/ 1 chế độ	3	20 x 20 x 20	ASTM D 4446-08 [3]
3	Màu sắc của gỗ	10 mẫu/ 1 chế độ	3	80 x 55 x 20	Đo bằng máy đo màu theo hệ màu CIE L*a*b*
4	Độ bền nén dọc, ngang thớ gỗ	10 mẫu/ 1 chế độ	3	30 x 20 x 20	TCVN 13707-5:2023 4 [4] TCVN 13707-17:2023
5	Độ bền uốn tĩnh, mô đun đàn hồi uốn tĩnh	10 mẫu/ 1 chế độ	3	350 x 20 x 20	TCVN 13707-3:2023 [5]
6	Khả năng chống nấm mục của gỗ	10 mẫu/ 1 chế độ	3	50 x 50 x 20	TCVN 10752:2015 [6]

**Đo độ nhám bề mặt:** Xử lý mẫu đến độ ẩm 12%, các điểm đo độ nhám đã được đánh dấu một cách ngẫu nhiên trên bề mặt mẫu. Các phép đo được thực hiện theo hướng vuông góc với sợi của các mẫu, đặt đầu đo lên bề mặt gỗ,

bấm máy chạy. Đọc trị số trên màn hình (µm), sau đó tính giá trị trung bình các mẫu và cho kết quả độ nhám bề mặt gỗ.

**Hệ số chống trương nở (ASE) được tính theo công thức:**

$$ASE(v) = \frac{a_c(v) - a_t(v)}{a_c(v)} \times 100\% \quad (1)$$

Trong đó:

ASE - Hệ số chống trương nở, %;

$a_c(v)$  - Trương nở thể tích trung bình của mẫu trước khi biến tính, %;

$a_t(v)$  - Trương nở thể tích trung bình của mẫu sau khi biến tính, %.

a xác định theo công thức:

$$a = \frac{v_s - v_0}{v_0} \times 100\% \quad (2)$$

Trong đó:

$V_s$  - Thể tích mẫu sau khi ngâm,  $cm^3$ ;

$V_0$  - Thể tích mẫu sau khi sấy,  $cm^3$ .

Hiệu suất chống hút nước (WRE) được tính theo công thức:

$$WRE = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\% \quad (3)$$

Trong đó:

WRE - Hiệu suất chống hút nước, %;

$T_1$  - Độ hút nước trung bình của mẫu trước khi biến tính, %;

$T_2$  - Độ hút nước trung bình của mẫu sau khi biến tính, %.

T xác định theo công thức:

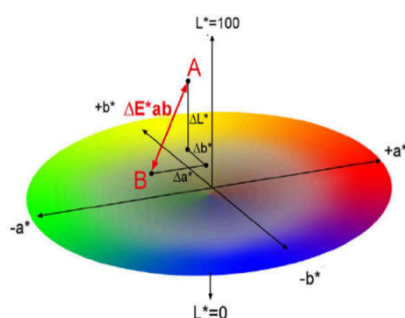
$$T = \frac{m_s - m_o}{m_o} \times 100\% \quad (4)$$

Trong đó:

$m_s$  - Khối lượng mẫu sau khi ngâm, g;

$m_o$  - Khối lượng mẫu khô kiệt, g.

Màu sắc của gỗ: Các chỉ số màu sắc của mẫu gỗ trước và sau khi xử lý được tính như sau:



Hình 2. Không gian màu CIELab

$$\Delta L^* = L^* - L^*_o$$

$$\Delta a^* = a^* - a^*_o$$

$$\Delta b^* = b^* - b^*_o$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (5)$$

Trong đó:

$L^*_o$  - Độ sáng màu trung bình của mẫu gỗ chưa xử lý;

$L^*$  - Độ sáng màu trung bình của gỗ sau khi xử lý;

$a^*_o$  - Chỉ số  $a^*$  trung bình của mẫu chưa xử lý;

$a^*$  - Chỉ số  $a^*$  của mẫu sau khi xử lý;

$b^*_o$  - Chỉ số  $b^*$  trung bình của mẫu chưa xử lý;

$b^*$  - Chỉ số  $b^*$  trung bình của mẫu sau khi xử lý.

Các chỉ số  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  và độ lệch màu  $\Delta E^*$  được đo bằng máy đo màu sắc BYK hãng BYK-Gardner tại Đức. Tiến hành đo 6 điểm trên mỗi mẫu gỗ và đọc các kết quả, sau đó tính giá trị trung bình của các chỉ số của các mẫu gỗ.

Độ bền nén dọc thớ được xác định theo công thức:

$$\sigma_{ed} = \frac{P_{max}}{b \times t} \quad (6)$$

Trong đó:

$P_{max}$  - Lực phá hủy, N;

$b, t$  - Kích thước tiết diện ngang của mẫu, mm.

Độ bền nén ngang thớ được tính theo công thức:

$$\sigma_{en} = \frac{P}{a \times l} \quad (7)$$

Trong đó:

$P$  - Tải trọng ứng với giới hạn bền quy ước, N;

$a$  - Chiều rộng của mẫu, mm;

$l$  - Chiều dài mẫu, mm.

Độ bền uốn tĩnh của gỗ được tính theo công thức:

$$MOR = \frac{3.P_{max}.l}{2.b.h^2} \quad (8)$$

Mô đun đàn hồi uốn tĩnh được tính theo công thức:

$$MOE = \frac{1.P_{max}.l^3}{4.b.h^3.f} \quad (9)$$

Trong đó:

MOR - Độ bền uốn tĩnh, MPa;

MOE - Mô đun đàn hồi uốn tĩnh, MPa;

$P_{max}$  - Lực phá hủy mẫu, N;

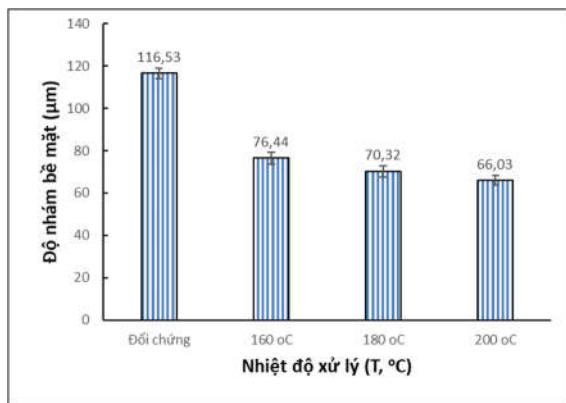
$l$  - Khoảng cách giữa 2 gối, mm;

$b, h$  - Chiều rộng, chiều cao mẫu gỗ, mm;

$f$  - Độ võng của mẫu gỗ, mm.

Các số liệu được xử lý và đánh giá bằng phần mềm Excel và các phương pháp thống kê toán học.

**Dụng cụ, thiết bị nghiên cứu:** Thiết bị xử lý thủy - nhiệt model Sumpot tại Trung Quốc có nhiệt độ gia nhiệt Max: 230°C, đường kính trong khoang chứa: 600 mm, chiều dài khoảng: 1300 mm; Tủ sấy nhiệt độ tối đa 300°C, độ chính xác  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ; Máy đo độ nhám TR200 của nhà sản xuất Time, Trung Quốc có đầu cảm biến với bán kính 5  $\mu\text{m}$ , phạm vi đo: Ra: 0,01–40  $\mu\text{m}$ , Rz:



Hình 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý đến độ nhám bề mặt của gỗ

Kết quả phân tích phương sai (Anova) độ nhám bề mặt gỗ ở các nhiệt độ xử lý cho thấy  $F = 3971,07 > F_{\text{crit}} = 2,87$ , điều này chứng tỏ rằng độ nhám bề mặt của gỗ giữa các nhiệt độ xử lý đã có sự sai khác.

Kết quả phân tích phương sai (Anova) độ nhám bề mặt của gỗ ở các thời gian xử lý cho thấy  $F = 9222,81 > F_{\text{crit}} = 2,87$ , điều này chứng tỏ rằng độ nhám bề mặt của gỗ giữa các thời gian xử lý đã có sự sai khác.

Hình 3 cho thấy, độ nhám bề mặt của mẫu gỗ xử lý thấp hơn so với mẫu gỗ chưa xử lý, giảm từ 116,53  $\mu\text{m}$  xuống 66,03  $\mu\text{m}$  (giảm 43,34 % so với mẫu gỗ đối chứng). Khi tăng nhiệt độ xử lý ở các cấp: 160°C, 180°C, 200°C thì độ nhám bề mặt của mẫu gỗ xử lý giảm từ 76,44  $\mu\text{m}$  xuống 66,03  $\mu\text{m}$ . Do đó, ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý đã làm cho độ nhám bề mặt gỗ xử lý giảm, dẫn đến cải thiện được độ nhẵn bề mặt của gỗ. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả của Korkut và cộng sự (2008) [5], Nguyễn Văn Diễn và cộng sự (2015) [6].

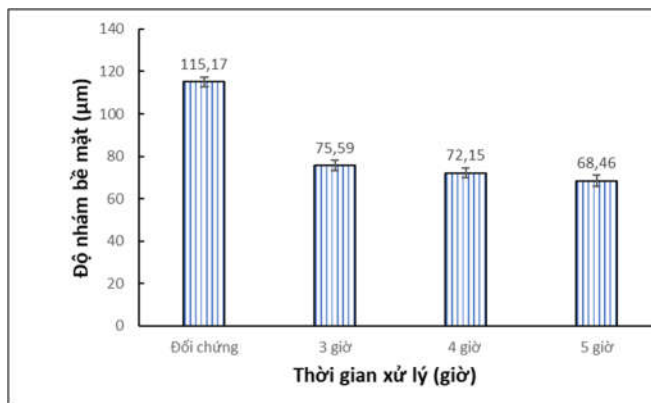
Hình 4 cho thấy, độ nhám bề mặt của mẫu gỗ xử lý thấp hơn so với mẫu gỗ chưa xử lý, giảm từ 115,17  $\mu\text{m}$  xuống 68,46  $\mu\text{m}$  (giảm

0,02–160  $\mu\text{m}$ ; Máy đo màu sắc BYK hãng BYK-Gardner tại Đức; Máy thử tính chất cơ lý QTEST/25; Thước kẹp, độ chính xác 0,01 mm; Cân điện tử độ chính xác  $\pm 0,01\text{g}$ .

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến độ nhám bề mặt của gỗ

Kết quả kiểm tra ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến độ nhám bề mặt của gỗ sau khi biến tính được thể hiện ở Hình 3 và Hình 4.



Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến độ nhám bề mặt của gỗ

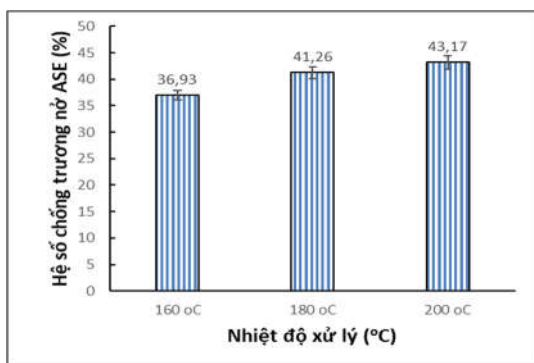
40,56 % so với mẫu ván đối chứng). Khi tăng thời gian xử lý ở các cấp: 3 giờ, 4 giờ, 5 giờ thì độ nhám bề mặt của mẫu gỗ xử lý giảm từ 75,59  $\mu\text{m}$  xuống 68,46  $\mu\text{m}$ . Vì vậy, thời gian xử lý ở các cấp nghiên cứu đã làm cho độ nhám bề mặt của gỗ xử lý giảm, dẫn đến cải thiện được độ nhẵn bề mặt của gỗ.

Nguyên nhân làm cho mẫu gỗ sau khi xử lý có độ nhám bề mặt giảm so với mẫu gỗ đối chứng là do khi xử lý ở nhiệt độ cao trong thời gian dài, các chất chiết xuất của gỗ được hoà tan và chuyển hoá ra bên ngoài gỗ, làm điền đầy các phần trống trong gỗ. Mặt khác, ở nhiệt độ và thời gian xử lý này lignin đang ở giai đoạn tiền nóng chảy và nóng chảy ra bề mặt gỗ, sẽ điền đầy, dàn trải trong gỗ, làm cho độ nhám bề mặt của gỗ xử lý giảm, tức là độ nhẵn bề mặt của gỗ xử lý tăng lên nhiều so với mẫu gỗ đối chứng [6].

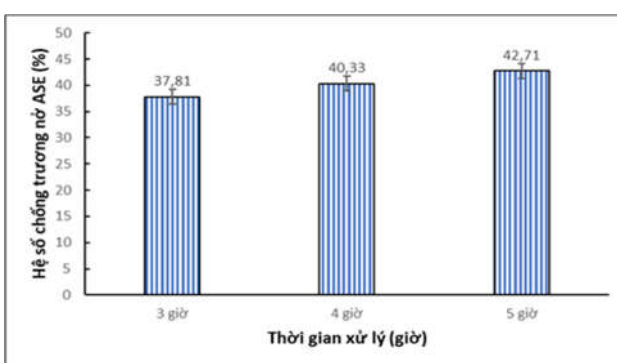
#### 3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến độ ổn định kích thước của gỗ

##### \* Hệ số chống trương nở ASE

Kết quả kiểm tra ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian đến hệ số chống trương nở của gỗ Dầu rái sau khi biến tính được thể hiện ở Hình 5 và Hình 6.



Hình 5. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý đến hệ số chống trương nở của gỗ



Hình 6. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến hệ số chống trương nở của gỗ

Kết quả phân tích phương sai (Anova) hệ số chống trương nở của gỗ ở các nhiệt độ xử lý cho thấy  $F = 57,56 > F_{crit} = 2,87$ , điều này chứng tỏ rằng hệ số chống trương nở của gỗ giữa các nhiệt độ xử lý đã có sự sai khác.

Kết quả phân tích phương sai (Anova) hệ số chống trương nở của gỗ ở các thời gian xử lý cho thấy  $F = 57,95 > F_{crit} = 2,87$ , điều này chứng tỏ rằng hệ số chống trương nở của gỗ giữa các thời gian xử lý đã có sự sai khác.

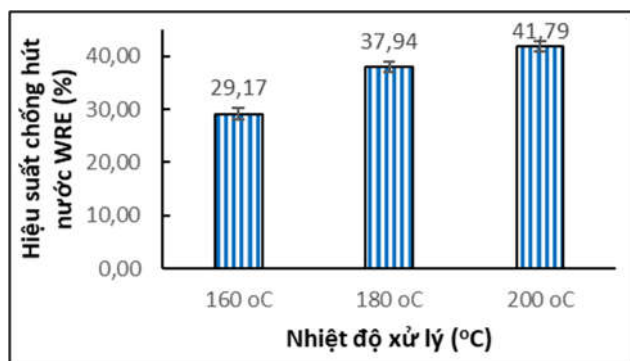
Hình 5 cho thấy, khi tăng nhiệt độ xử lý ở các mức 160°C, 180°C, 200°C thì hệ số chống trương nở ASE của gỗ sau xử lý tăng từ 36,93% đến 43,17%. Điều này chứng tỏ, nhiệt độ có ảnh hưởng đến sự ổn định kích thước của gỗ sau khi xử lý. Tương tự Hình 6 cho thấy, khi tăng thời gian xử lý từ 3 giờ, 4 giờ, 5 giờ thì hệ số ASE của gỗ sau xử lý tăng từ 37,83% đến 42,67%. Như vậy, thời gian xử lý có ảnh hưởng đến sự ổn định kích thước của gỗ sau khi xử lý. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả cứu của Behbood Mohebbi và cộng sự (2005) [7], P.Rezayati

Charani và cộng sự (2007) [8], Nguyễn Văn Diễm và cộng sự (2014) [9].

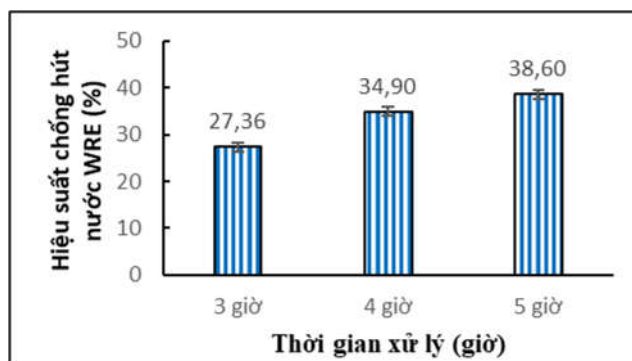
Nguyên nhân dẫn đến hệ số ASE của gỗ xử lý tăng khi nhiệt độ và thời gian xử lý tăng là do sự tồn tại của các nhóm hydroxyl trong các thành phần tạo nên vách tế bào. Sự hình thành vô số các liên kết hydro giữa vách mao dẫn và nước là nguyên nhân làm cho gỗ bị co rút hoặc dẫn nở khi chịu tác động của điều kiện môi trường. Khi tăng nhiệt độ và thời gian xử lý, microfibrils xenlulo được bao quanh bởi một hệ thống và nhiều hệ thống không đàn hồi do tăng liên kết ngang trong khu phức hợp lignin, hemixenlulo được phân huỷ có chọn lọc và phản ứng thành một mạng lưới kỵ nước nên khả năng dẫn nở của gỗ giảm đi rõ rệt, hay tính ổn định kích thước gỗ được tăng lên [9].

**\* Hiệu suất chống hút nước WRE**

Kết quả kiểm tra ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến hiệu suất chống hút nước của gỗ Dầu rái sau khi biến tính được thể hiện ở Hình 7 và Hình 8.



Hình 7. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý đến hiệu suất chống hút nước của gỗ



Hình 8. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến hiệu suất chống hút nước của gỗ

Kết quả phân tích phương sai (Anova) hiệu suất chống hút nước của gỗ ở các nhiệt độ xử

lý cho thấy  $F = 371,43 > F_{crit} = 2,87$ , điều này chứng tỏ rằng hiệu suất chống hút nước của gỗ



giữa các nhiệt độ xử lý đã có sự sai khác.

Kết quả phân tích phương sai (Anova) hiệu suất chống hút nước của gỗ ở các thời gian xử lý cho thấy  $F = 274,53 > F_{crit} = 2,87$ , điều này chứng tỏ rằng hiệu suất chống hút nước của gỗ giữa các thời gian xử lý đã có sự sai khác.

Mẫu gỗ đổi chứng khi mới ngâm vào nước, nước nhanh chóng thấm vào các khoảng trống giữa các tế bào, lỗ mạch, ruột tế bào có kích thước lớn, tia gỗ... Nhưng khả năng thấm thấu nước của mẫu gỗ xử lý thủy - nhiệt giảm rõ rệt.

Hình 7 cho thấy, khi nhiệt độ xử lý tăng ở các cấp: 160°C, 180°C, 200°C thì hiệu suất chống hút nước WRE của gỗ sau khi biến tính tăng từ 29,17% đến 41,79%. Vì vậy, nhiệt độ xử lý có ảnh hưởng rõ nét đến sự ổn định kích thước của gỗ.

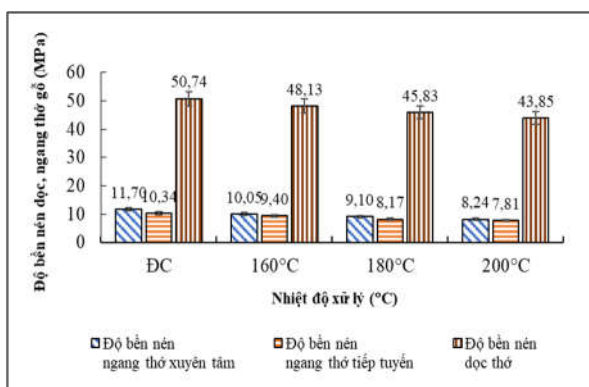
Hình 8 cho thấy, khi thời gian xử lý tăng ở các mức 3 giờ, 4 giờ, 5 giờ thì hiệu suất chống hút nước WRE của gỗ sau xử lý tăng từ 27,36%

đến 38,60%. Do đó, thời gian xử lý cũng có ảnh hưởng đến sự ổn định kích thước của gỗ. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả nghiên cứu của P.Rezayati Charani và cộng sự (2007) [8], Nguyễn Văn Diễn và cộng sự (2014) [9].

Nguyên nhân làm cho hiệu suất chống hút nước WRE của gỗ xử lý tăng là do khi xử lý ở nhiệt độ cao và thời gian dài làm cho gỗ loại bỏ những chất chiết xuất, làm tiền thủy phân hemixenlulo trong gỗ hình thành micropores trong thành tế bào và gia tăng ma sát nội bộ tạo thành chúng, làm giảm khả năng thấm thấu của nước vào gỗ [9].

### 3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến độ bền nén dọc, nén ngang thớ gỗ

Kết quả kiểm tra ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến độ bền nén dọc và nén ngang thớ gỗ Dầu rái sau khi biến tính được thể hiện ở Hình 9 và Hình 10.

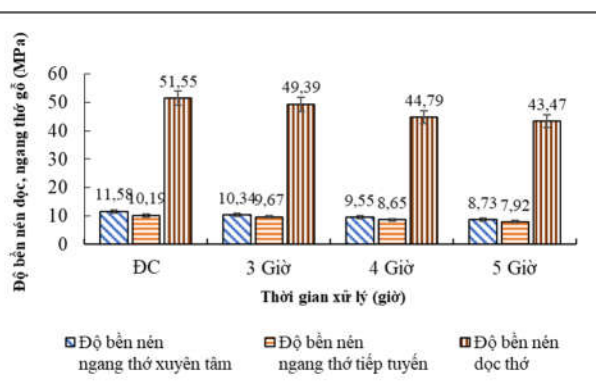


Hình 9. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ bền nén dọc, nén ngang thớ gỗ

Kết quả phân tích phương sai (Anova) độ bền nén dọc của gỗ ở các nhiệt độ xử lý cho thấy  $F = 89,55 > F_{crit} = 2,87$ , điều này chứng tỏ rằng độ bền nén dọc của gỗ giữa các nhiệt độ xử lý đã có sự sai khác.

Kết quả phân tích phương sai (Anova) độ bền nén dọc của gỗ ở các thời gian xử lý cho thấy  $F = 91,74 > F_{crit} = 2,87$ , điều này chứng tỏ rằng độ bền nén dọc của gỗ giữa các thời gian xử lý đã có sự sai khác.

Hình 9 cho thấy, độ bền chịu nén của gỗ Dầu rái sau khi xử lý thấp hơn so với gỗ chưa xử lý. Khi nhiệt độ xử lý tăng từ 160°C đến 200°C thì độ bền nén ngang thớ xuyên tâm giảm từ 10,05



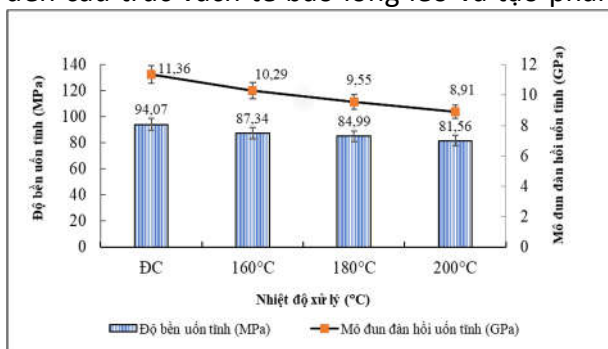
Hình 10. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến độ bền nén dọc, nén ngang thớ gỗ

MPa xuống 8,24 MPa, độ bền nén ngang thớ tiếp tuyến giảm từ 9,40 MPa xuống 7,81 MPa, độ bền nén dọc thớ giảm từ 48,13 MPa xuống 43,85 MPa. Như vậy, nhiệt độ xử lý có ảnh hưởng rõ nét đến độ bền nén dọc và nén ngang thớ gỗ Dầu rái sau khi biến tính. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả nghiên cứu của Nguyễn Văn Diễn và cộng sự (2014) [10].

Hình 10 cho thấy, khi thời gian xử lý tăng từ 3 giờ, 4 giờ, 5 giờ thì độ bền nén ngang thớ xuyên tâm giảm từ 10,34 MPa xuống 8,73 MPa, độ bền nén ngang thớ tiếp tuyến giảm từ 9,67 MPa xuống 7,92 MPa, độ bền nén dọc thớ giảm từ 49,39 MPa xuống 43,47 MPa.

Khi nhiệt độ xử lý tăng từ 180°C đến 200°C thì độ bền nén của gỗ sau xử lý có giảm, nhưng giá trị giảm rất nhỏ. Tương tự khi thời gian xử lý tăng từ 4 giờ đến 5 giờ thì độ bền nén của gỗ sau xử lý giảm rất ít. Điều này có thể là do xử lý ở nhiệt độ 180°C và thời gian xử lý 4 giờ đã khiến hemixelulo và lignin trong thành phần gỗ được thủy phân đến tới hạn và nếu nhiệt độ và thời gian xử lý tiếp tục tăng cao thì hemixelulo và lignin không thể còn để bị thủy phân tiếp. Do đó, ở mức nhiệt độ 180°C và thời gian 4 giờ là điều kiện phù hợp để xử lý thủy - nhiệt gỗ Dầu rái.

Nguyên nhân dẫn đến độ bền nén dọc và ngang thớ của gỗ sau khi xử lý giảm là do dưới tác động của nhiệt độ cao làm cho polyme vách tế bào bị thủy phân, nhiệt độ càng cao, thời gian xử lý càng dài sẽ làm thành phần pentose và xenlulo của gỗ bị thủy phân càng mạnh, dẫn đến cấu trúc vách tế bào lỏng lẻo và tạo phản



Hình 11. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý đến độ bền uốn tĩnh và mô đun đàn hồi uốn tĩnh gỗ

Kết quả phân tích phương sai (Anova) độ bền uốn tĩnh của gỗ ở các nhiệt độ xử lý cho thấy  $F = 173,84 > F_{crit} = 2,87$ , điều này chứng tỏ rằng độ bền uốn tĩnh của gỗ giữa các nhiệt độ xử lý đã có sự sai khác.

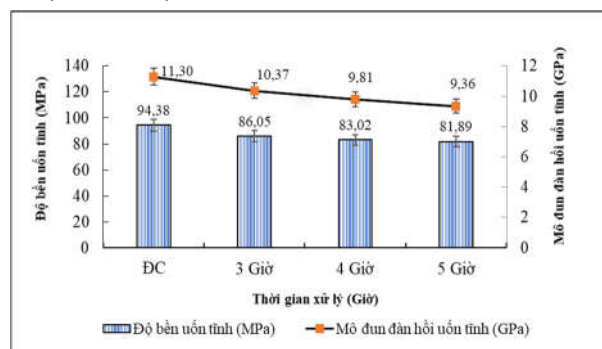
Kết quả phân tích phương sai (Anova) độ bền uốn tĩnh của gỗ ở các thời gian xử lý cho thấy  $F = 256,61 > F_{crit} = 2,87$ , điều này chứng tỏ rằng độ bền uốn tĩnh của gỗ giữa các thời gian xử lý đã có sự sai khác.

Hình 11 cho thấy, mẫu gỗ sau khi xử lý có độ bền uốn tĩnh và mô đun đàn hồi uốn tĩnh thấp hơn so với mẫu gỗ chưa xử lý. Khi nhiệt độ tăng ở các cấp 160°C, 180°C, 200°C thì độ bền uốn tĩnh của gỗ giảm từ 87,34 MPa xuống 81,56 MPa, mô đun đàn hồi uốn tĩnh của gỗ giảm từ

ứng ngắt các mạch liên kết của các phần tử trong gỗ, dẫn đến độ bền nén dọc và ngang thớ giảm [10]. Mặt khác, khi nhiệt độ và thời gian xử lý tăng, làm cho quá trình xử lý thủy - nhiệt hình thành nên một số axit hoà tan như: axit formic và axit axetic từ quá trình phân huỷ hemixelulo và lignin. Các axit này tác động vào xenlulo và làm giảm độ polyme (cắt mạch xenlulo) dẫn tới độ bền cơ học giảm [11]. Độ bền nén dọc thớ cao hơn độ bền nén ngang thớ là do đặc điểm cấu tạo gỗ, đa số các vi sợi sắp xếp song song với trục dọc thân cây nên khả năng nén dọc thớ của gỗ rất lớn [12].

### 3.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến độ bền uốn tĩnh, mô đun đàn hồi uốn tĩnh gỗ

Kết quả kiểm tra ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến độ bền uốn tĩnh và mô đun đàn hồi uốn tĩnh gỗ Dầu rái sau khi biến tính được thể hiện ở Hình 11 và Hình 12.



Hình 12. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến độ bền uốn tĩnh và mô đun đàn hồi uốn tĩnh gỗ

10,29 GPa xuống 8,91 GPa.

Hình 12 cho thấy, gỗ sau khi xử lý có độ bền uốn tĩnh và mô đun đàn hồi uốn tĩnh thấp hơn so với mẫu gỗ chưa xử lý. Khi tăng thời gian xử lý ở các mức 3 giờ, 4 giờ, 5 giờ thì độ bền uốn tĩnh của gỗ giảm từ 86,05 MPa xuống 81,89 MPa, mô đun đàn hồi uốn tĩnh của gỗ giảm từ 10,37 GPa đến 9,36 GPa. Kết quả thí nghiệm của gỗ Dầu rái có sự tương đồng với kết quả nghiên cứu của một số loại gỗ khác [10].

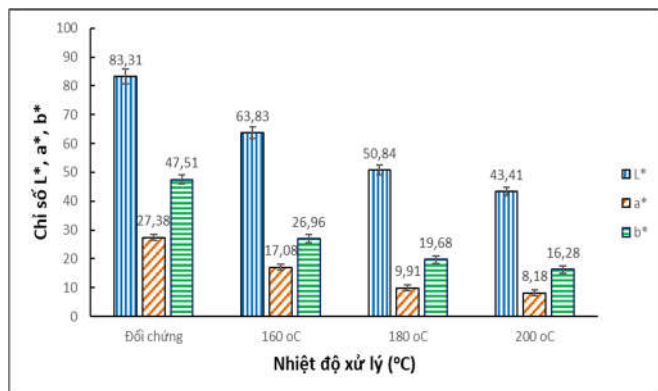
Hiện tượng trên được lý giải như sau: Khi gỗ được xử lý thủy - nhiệt, sự phân giải do tác động của nhiệt độ của các polyme trên vách tế bào, đặc biệt là hemixelulo từ những chuỗi dài thành những chuỗi ngắn hơn, dẫn đến khả năng chịu uốn giảm xuống. Mặt khác, trong quá



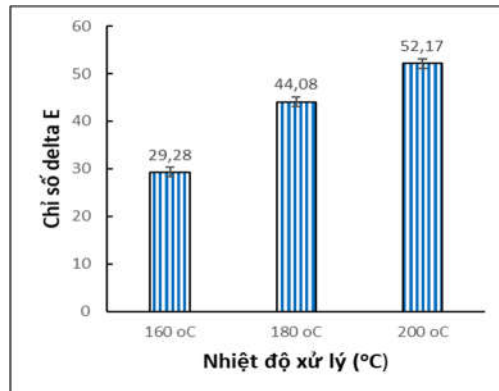
trình xử lý thủy - nhiệt ở nhiệt độ cao trong thời gian dài, các chất chiết xuất trong gỗ bị loại bỏ ra ngoài, hemixenlulo bị phân huỷ, gỗ trở lên rỗng xốp, khối lượng thể tích của gỗ giảm, làm cho liên kết giữa các mixen xenlulo bị lỏng lẻo, do đó độ bền uốn tĩnh bị giảm xuống [10].

### 3.5. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến sự thay đổi màu sắc của gỗ

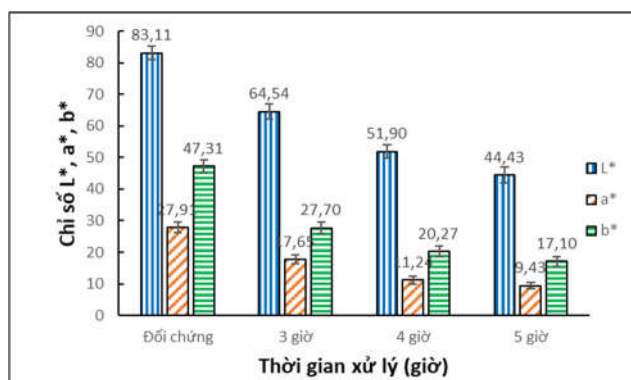
Kết quả kiểm tra sự biến đổi màu sắc của gỗ Dầu rái sau khi biến tính được thể hiện ở Hình 13, Hình 14, Hình 15 và Hình 16.



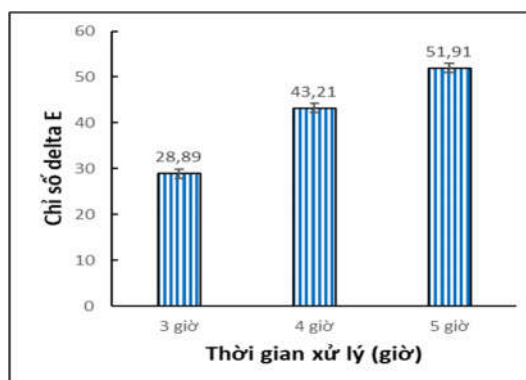
Hình 13. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý đến các chỉ số màu sắc L\*, a\*, b\* của gỗ



Hình 14. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý đến sự thay đổi màu của gỗ



Hình 15. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến các chỉ số màu sắc L\*, a\*, b\* của gỗ



Hình 16. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến sự thay đổi màu của gỗ

Kết quả phân tích phương sai (Anova) sự thay đổi màu sắc của gỗ ở các nhiệt độ xử lý cho thấy  $F = 262,19 > F_{crit} = 3,35$ , điều này chứng tỏ rằng sự thay đổi màu sắc của gỗ giữa các nhiệt độ xử lý đã có sự sai khác.

Kết quả phân tích phương sai (Anova) sự thay đổi màu sắc của gỗ ở các thời gian xử lý cho thấy  $F = 258,40 > F_{crit} = 3,35$ , điều này chứng tỏ rằng sự thay đổi màu sắc của gỗ giữa các thời gian xử lý đã có sự sai khác.

Hình 13 cho thấy, độ sáng màu của mẫu gỗ xử lý (L\*) giảm và các chỉ số a\*, b\* đều giảm so với mẫu gỗ đối chứng, cụ thể là: Độ sáng màu (L\*) giảm từ 83,31 xuống 43,41; chỉ số a\* thay đổi từ 27,38 xuống 8,18; chỉ số b\* thay đổi từ 47,51 xuống 16,28 (so với mẫu đối chứng). Khi nhiệt độ xử lý tăng, độ lệch màu  $\Delta E^*$  của gỗ xử

lý thay đổi từ 29,28 đến 52,17 (Hình 14).

Hình 15 cho thấy, khi kéo dài thời gian xử lý thì độ sáng màu của mẫu gỗ xử lý (L\*) giảm và các chỉ số a\*, b\* đều giảm so với gỗ đối chứng, cụ thể là: Độ sáng màu (L\*) giảm từ 83,11 xuống 44,43; chỉ số a\* thay đổi từ 27,92 xuống 9,43; chỉ số b\* thay đổi từ 47,31 xuống 17,10 (so với mẫu đối chứng). Khi thời gian xử lý tăng ở các cấp nghiên cứu thì độ lệch màu  $\Delta E^*$  thay đổi từ 28,89 đến 51,91 (Hình 16). Như vậy, khi tăng nhiệt độ và thời gian xử lý đã làm thay đổi màu sắc của gỗ. Do đó, nhiệt độ và thời gian xử lý đã tác động vào một nhóm mang màu nào đó của lignin, làm sắc màu của gỗ thay đổi. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả nghiên cứu của tác giả Lý Tuấn Trường và cộng sự (2016) [13].

Xử lý thủy - nhiệt là nguyên nhân làm thay

đổi màu sắc của gỗ. Khi xử lý ở nhiệt độ cao, thời gian dài và trong môi trường nước, các chất chiết xuất, dầu nhựa trong gỗ nhanh chóng tan ra phía ngoài của thanh gỗ, làm cho màu sắc của gỗ thay đổi. Nhiệt độ và thời gian xử lý khác nhau là nguyên nhân làm cho màu sắc ở các chế độ đậm nhạt khác nhau [10, 13].

### 3.6. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến khả năng kháng nấm mục của gỗ

Hiệu quả kháng nấm mục gây hại đối với gỗ Dầu rái biến tính được đánh giá bằng cách tính điểm trung bình của 3 chỉ tiêu: X%, Y%, Z% lần

lượt là tỷ lệ % diện tích biến màu, tỷ lệ % diện tích mục mềm và tỷ lệ % hao hụt khối lượng mẫu gỗ. Kết quả được quy định như sau: X, Y, Z từ 0- 30% đạt 1 điểm; lớn hơn 30% đến 60% đạt 2 điểm và lớn hơn 60% đến 100% đạt 3 điểm. Tổng hợp số điểm của 3 chỉ tiêu, nếu công thức nào đạt từ 8-9 điểm là có hiệu lực kém; đạt 5-7 điểm là có hiệu lực trung bình và 3-4 điểm là có hiệu lực tốt.

Kết quả kiểm tra khả năng kháng nấm mục của gỗ Dầu rái sau khi biến tính được thể hiện ở Bảng 2 và Bảng 3.

**Bảng 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý đến khả năng kháng nấm của gỗ Dầu rái**

Điểm đánh giá mức độ gây hại của nấm mục Pas với mẫu gỗ Dầu rái												
TT	Mẫu đối chứng			Mẫu xử lý ở 160°C			Mẫu xử lý ở 180°C			Mẫu xử lý ở 200°C		
	X%	Y%	Z%	X%	Y%	Z%	Z%	Y%	Z%	X%	Y%	Z%
TB	2,67	2,67	2,78	1,78	2,11	2,22	1,22	1,33	1,22	1,33	1,11	1,22
Tổng TB	8,11			6,11			3,78			3,67		
Hiệu lực	Kém (8-9 điểm)			Trung bình (5-7 điểm)			Tốt (3-4 điểm)			Tốt (3-4 điểm)		

**Bảng 3. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến khả năng kháng nấm mục của gỗ Dầu rái**

Điểm đánh giá mức độ gây hại của nấm mục Pas với mẫu gỗ												
TT	Mẫu đối chứng			Mẫu xử lý 3 giờ			Mẫu xử lý 4 giờ			Mẫu xử lý 5 giờ		
	X%	Y%	Z%	X%	Y%	Z%	X%	Y%	Z%	X%	Y%	Z%
TB	2,56	2,78	2,67	2,00	2,22	2,33	1,22	1,33	1,33	1,33	1,33	1,11
Tổng TB	8,00			6,56			3,89			3,78		
Hiệu lực	Kém (8-9 điểm)			Trung bình (5-7 điểm)			Tốt (3-4 điểm)			Tốt (3-4 điểm)		

Bảng 2 cho thấy, các mẫu gỗ sau xử lý thủy - nhiệt có khả năng kháng nấm mục tốt hơn so với mẫu gỗ đối chứng. Mẫu chưa xử lý hầu như không có khả năng kháng nấm mục và được đánh giá ở mức “kém”. Các mẫu gỗ xử lý ở nhiệt độ 160°C cho kết quả kháng nấm mục mức “trung bình”, các mẫu xử lý ở nhiệt độ 180°C và 200°C đều cho kết quả kháng nấm mục ở mức “tốt”, điểm trung bình kháng nấm mục của 2 chế độ xử lý này lần lượt là 3,78 và 3,67, hai giá trị này có độ chênh lệch không lớn.

Bảng 3 cho thấy, mẫu gỗ sau xử lý thủy - nhiệt có khả năng kháng nấm mục tốt hơn mẫu đối chứng. Các mẫu gỗ xử lý ở thời gian 3 giờ cho kết quả kháng nấm mục mức “trung bình”, các mẫu xử lý ở thời gian 4 giờ và 5 giờ đều cho kết quả kháng nấm mục ở mức “tốt”, điểm

trung bình kháng nấm mục của 2 chế độ xử lý này lần lượt là 3,89 và 3,78, hai giá trị này cũng chênh lệch không đáng kể.

Nguyên nhân dẫn đến gỗ sau khi xử lý thủy - nhiệt có khả năng kháng nấm mục tốt hơn gỗ đối chứng là do khi xử lý ở nhiệt độ cao và thời gian dài làm cho gỗ loại bỏ những chất chiết xuất.

### 4. KẾT LUẬN

Các mẫu gỗ sau khi xử lý thủy - nhiệt đã cải thiện được một số tính chất so với mẫu gỗ đối chứng.

Khi tăng nhiệt độ xử lý ở các cấp: 160°C, 180°C, 200°C thì độ nhám bề mặt của mẫu gỗ xử lý giảm từ 76,44 µm xuống 66,03 µm, nghĩa là độ nhám bề mặt được cải thiện; hệ số chống trương nở ASE tăng từ 36,93% đến 43,17%;

hiệu suất chống hút nước WRE tăng từ 29,17% đến 41,79%; khả năng kháng nấm mục của gỗ xử lý tốt hơn so với mẫu chưa xử lý. Tuy nhiên, độ bền nén dọc giảm từ 48,13 MPa xuống 43,85 MPa; độ bền nén ngang thớ xuyên tâm giảm từ 10,05 MPa xuống 8,24 MPa; độ bền nén ngang thớ tiếp tuyến giảm từ 9,40 MPa xuống 7,81 MPa; độ bền uốn tĩnh giảm từ 87,34 MPa xuống 81,56 MPa, mô đun đàn hồi uốn tĩnh của gỗ xử lý giảm từ 10,29 GPa xuống 8,91 GPa; độ lệch màu  $\Delta E^*$  thay đổi từ 29,28 đến 52,17 (gỗ sẫm màu hơn).

Khi tăng thời gian xử lý ở các cấp 3 giờ, 4 giờ, 5 giờ thì độ nhám bề mặt của mẫu gỗ xử lý giảm từ 75,59  $\mu\text{m}$  xuống 68,46  $\mu\text{m}$ ; hệ số chống trương nở ASE tăng từ 37,83% đến 42,67%; hiệu suất chống hút nước WRE tăng từ 27,36% đến 38,60%; khả năng kháng nấm mục của gỗ xử lý tốt hơn so với mẫu chưa xử lý. Tuy nhiên, độ bền nén dọc giảm từ 49,39 MPa xuống 43,47 MPa; độ bền nén ngang thớ xuyên tâm giảm từ 10,34 MPa xuống 8,73 MP; độ bền nén ngang thớ tiếp tuyến giảm từ 9,67 MPa xuống 7,92 MPa; độ bền uốn tĩnh của gỗ giảm từ 86,05 MPa xuống 81,89 MPa; mô đun đàn hồi uốn tĩnh của gỗ giảm từ 10,37 GPa đến 9,36 GPa; độ lệch màu  $\Delta E^*$  thay đổi từ 28,89 đến 51,91.

Như vậy, khi thay đổi nhiệt độ và thời gian xử lý ở các cấp nghiên cứu có ảnh hưởng rõ nét đến một số tính chất của gỗ Dầu rái. Theo kết quả nghiên cứu này để đảm bảo được chất lượng gỗ sau khi biến tính và đem lại hiệu quả kinh tế nên xử lý thủy - nhiệt cho gỗ Dầu rái ở nhiệt độ 180°C trong 4 giờ là thích hợp.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phạm Ngọc Nam, Nguyễn Thị Ánh Nguyệt & Nguyễn Hà (2019). Nghiên cứu một số đặc điểm cấu tạo và tính chất cơ lý của gỗ Dầu rái (*Dipterocarpus salatus*). Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. (4): 128-133.

[2]. Nguyễn Văn Diễn (2015). Nghiên cứu ảnh hưởng chế độ xử lý thủy - nhiệt đến chất lượng của gỗ Bạch đàn (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake). Luận án tiến sĩ ngành kỹ thuật chế biến lâm sản), Trường Đại học Lâm nghiệp.

[3]. Nguyễn Trung Hiếu & Trần Văn Chử (2013). Ảnh hưởng của xử lý nhiệt đến tính chất cơ học của gỗ Keo tai tượng trồng tại Hà Giang. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. (2): 95-104.

[4]. Trịnh Hiền Mai, Nguyễn Thị Yên & Nguyễn Thị Thắm (2018). Ảnh hưởng của chế độ xử lý nhiệt đến một số chỉ tiêu tính chất vật lý của gỗ Keo tai tượng (*Acacia mangium* Willd). Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. (4): 160-166.

[5]. Derya Sevim Korkut & Bilgin Guller (2008). The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. *J. Bioresource technology*. 99(8): 2846-2851.

[6]. Nguyễn Văn Diễn & Lê Xuân Phương (2015). Ảnh hưởng của xử lý thủy nhiệt đến một số tính chất công nghệ của gỗ Bạch đàn (*Eucalyptus Urophylla* S.T Blake). Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. (4): 92-100.

[7]. B Mohebbi & Sanaei I. (2005). Influences of the hydro-thermal treatment on physical properties of beech wood (*Fagus orientalis*). Paper presented at the Annual Meeting Bangalore.

[8]. Charani Pezhman Rezayati, Roushandedeh J Mohammadi, B Mohebi & O Ramezani (2007). Influence of hydrothermal treatment on the dimensional stability of beech wood.

[9]. Nguyễn Văn Diễn & Phạm Văn Chương (2014). Ảnh hưởng của xử lý thủy - nhiệt đến một số tính chất vật lý của gỗ Bạch đàn (*Eucalyptus Urophylla*). Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp (1): 56-64.

[10]. Nguyễn Văn Diễn, Phạm Văn Chương & Lê Xuân Phương (2014). Ảnh hưởng của xử lý thủy - nhiệt đến một số tính chất cơ học của gỗ Bạch đàn (*Eucalyptus Urophylla*). Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp (4): 91-100.

[11]. Marc Borrega (2011). Mechanisms affecting the structure and properties of heat-treated and hightemperature dried Norway spruce (*Picea abies*) wood *Dissertaliones Foreslaes*. School of Forest Sciences - Faculty of Science and Forestry. University of Eastern Finland: 52-134.

[12]. Vũ Huy Đại, Tạ Thị Phương Hoa, Vũ Mạnh Tường, Đỗ Văn Bản & Nguyễn Tử Kim (2016). Giáo trình Khoa học gỗ. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội.

[13]. Lý Tuấn Trường & Nguyễn Văn Diễn (2016). Ảnh hưởng của chế độ xử lý thủy-nhiệt đến sự thay đổi màu sắc và sự ổn định màu gỗ Bạch đàn (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake). Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. (2): 118-125.