

**ĐẠI HỌC HUẾ  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM**

**NGUYỄN HOÀNG LINH**

**NGHIÊN CỨU SẢN XUẤT PHÂN BÓN HỮU CƠ  
TỪ VỎ CÂY KEO (*Acacia mangium*) VÀ ỨNG DỤNG  
TRONG CANH TÁC CÂY CẢI NGỌT**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC CÂY TRỒNG**

**HUẾ - 2025**

ĐẠI HỌC HUẾ  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM

NGUYỄN HOÀNG LINH

NGHIÊN CỨU SẢN XUẤT PHÂN BÓN HỮU CƠ  
TỪ VỎ CÂY KEO (*Acacia mangium*) VÀ ỨNG DỤNG  
TRONG CANH TÁC CÂY CẢI NGỌT

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC CÂY TRỒNG  
NGÀNH: KHOA HỌC CÂY TRỒNG  
MÃ SỐ: 9620110

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. GS. TS. TRẦN ĐĂNG HÒA
2. PGS.TS. TRẦN THỊ XUÂN PHƯƠNG

HUẾ - 2025

## I. MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết

Trong bối cảnh hiện nay, nông nghiệp đang đối mặt với thách thức lớn về suy thoái đất, ô nhiễm môi trường và thiếu hụt nguồn phân hữu cơ chất lượng. Theo FAO (2021), khoảng 1/3 diện tích đất toàn cầu bị suy thoái do lạm dụng phân hóa học và canh tác không bền vững. Ở Việt Nam, tình trạng này thể hiện rõ qua sự giảm sút chất hữu cơ và độ phì đất, đặc biệt tại các vùng thâm canh. Do đó, việc bổ sung vật liệu hữu cơ và thay thế một phần phân hóa học bằng phân bón hữu cơ trở thành yêu cầu cấp thiết nhằm phục hồi sức khỏe đất và hướng tới sản xuất bền vững.

Việt Nam có lợi thế lớn về phụ phẩm nông – lâm nghiệp, đặc biệt là vỏ cây keo – nguồn nguyên liệu dồi dào nhưng chưa được khai thác hiệu quả. Với hơn 2,35 triệu ha keo và sản lượng gỗ gần 47 triệu m<sup>3</sup>/năm, lượng vỏ keo phát sinh khoảng 1,7 triệu tấn/năm, chủ yếu bị bỏ phí. Trong khi đó, vỏ keo giàu lignin và cellulose, có thể trở thành nguồn nguyên liệu tiềm năng cho sản xuất phân hữu cơ nếu được xử lý đúng kỹ thuật. Tuy nhiên, do tỷ lệ C/N cao và khó phân hủy, cần có giải pháp sinh học phù hợp để rút ngắn thời gian ủ và nâng cao chất lượng compost.

Cây cải ngọt (*Brassica integrifolia*) là rau ăn lá ngắn ngày, có giá trị kinh tế cao nhưng hiện vẫn phụ thuộc vào phân hóa học, gây ô nhiễm và tồn dư nitrat. Việc sử dụng phân hữu cơ chất lượng cao sẽ giúp cải thiện năng suất, chất lượng rau và độ phì đất, đồng thời hỗ trợ phát triển nông nghiệp hữu cơ.

Trong bối cảnh vỏ keo là phụ phẩm dồi dào nhưng chưa được tận dụng tối ưu, việc thực hiện đề tài: “**Nghiên cứu sản xuất phân bón hữu cơ từ vỏ cây keo (*Acacia mangium*) và ứng dụng trong canh tác cây cải ngọt**” là thực sự cấp thiết. Nghiên cứu không chỉ nhằm xác định tính khả thi và hiệu quả dinh dưỡng của sản phẩm mà còn góp phần giảm chi phí sản xuất, tối ưu hóa chuỗi giá trị phụ phẩm lâm nghiệp và thúc đẩy mô hình kinh tế tuần hoàn trong nông nghiệp bền vững tại Việt Nam.

## 2. MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU

### 2.1. Mục tiêu chung

Thiết lập cơ sở khoa học và xây dựng giải pháp kỹ thuật tối ưu để sản xuất phân bón hữu cơ từ phụ phẩm vỏ cây keo (*Acacia mangium*); đồng thời đánh giá toàn diện hiệu năng của sản phẩm đối với sinh trưởng, năng suất, chất lượng cây cải ngọt và sức khỏe đất trong điều kiện canh tác tại Việt Nam, nhằm tạo tiền đề cho việc chuyển hóa hiệu quả sinh khối lâm nghiệp thành nguồn đầu vào cho nông nghiệp bền vững.

### 2.2. Mục tiêu cụ thể

**Tuyển chọn chế phẩm sinh học phân hủy vỏ keo:** Xác định được nhóm vi sinh vật hoặc enzyme có khả năng phân giải mạnh các hợp chất hữu cơ bền vững (lignin, cellulose) trong vỏ cây keo.

**Tối ưu hóa quy trình sản xuất và đánh giá chất lượng sản phẩm:** Xác định được công thức phối trộn nguyên liệu (vỏ keo, phân bò và phụ gia) và các điều kiện ủ tối ưu nhằm rút ngắn thời gian phân hủy; đồng thời đánh giá sự biến đổi các chỉ tiêu lý, hóa, sinh học của sản phẩm đạt tiêu chuẩn chất lượng theo QCVN 01-189:2019/BNNPTNT

**Đánh giá hiệu lực phân hữu cơ trên cây cải ngọt và môi trường đất:** Phân tích ảnh hưởng của phân hữu cơ vỏ keo đến các chỉ tiêu sinh trưởng, năng suất, chất lượng thương phẩm của rau cải ngọt và động thái biến đổi độ phì nhiêu của đất trồng tại khu vực thành phố Huế..

### **3. Ý NGHĨA KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN**

#### **3.1. Ý nghĩa khoa học**

Luận án góp phần hệ thống hóa cơ sở lý luận về việc chuyển hóa các sinh khối lâm nghiệp giàu hợp chất hữu cơ bền vững (lignin, cellulose) thành nguồn dinh dưỡng hữu dụng thông qua các biện pháp sinh học đặc hiệu. Kết quả nghiên cứu làm sáng tỏ khả năng gia tốc quá trình khoáng hóa các nguyên liệu có tỷ lệ C/N cao, rút ngắn chu kỳ ủ xuống còn 30 ngày – một bước tiến đáng kể so với các quy trình tự nhiên – đồng thời thiết lập các thông số tối ưu để đưa chỉ số C/N về ngưỡng ổn định sinh học ( $\leq 12$ ).

Bên cạnh đó, nghiên cứu cung cấp các bằng chứng thực nghiệm quan trọng về phản ứng của cây trồng và động thái biến đổi của đất khi ứng dụng phân hữu cơ từ vỏ keo. Những dữ liệu này không chỉ khẳng định khả năng thay thế hoặc hỗ trợ phân bón hóa học trong canh tác rau ngắn ngày mà còn đóng góp khung dữ liệu khoa học mới cho chiến lược phát triển nông nghiệp tuần hoàn và quản lý sức khỏe đất bền vững tại các vùng sinh thái nhiệt đới.

#### **3.2. Ý nghĩa thực tiễn**

Nghiên cứu cung cấp một giải pháp kỹ thuật đồng bộ và khả thi để xử lý triệt để phụ phẩm vỏ cây keo, biến nguồn sinh khối dư thừa thành phân bón hữu cơ chất lượng cao trong thời gian ngắn. Quy trình sản xuất với công thức phối trộn tối ưu có tính linh hoạt cao, dễ dàng chuyển giao và áp dụng ở nhiều quy mô khác nhau, từ nông hộ đến các cơ sở sản xuất công nghiệp, giúp tận dụng tối đa nguồn lực tại chỗ và giảm thiểu ô nhiễm môi trường do phế thải lâm nghiệp.

Việc ứng dụng sản phẩm trong canh tác cải ngọt không chỉ minh chứng cho hiệu quả cải thiện năng suất và chất lượng nông sản (đảm bảo các tiêu chuẩn an toàn thực phẩm) mà còn giúp người nông dân tối ưu hóa chi phí đầu tư thông qua việc giảm sự lệ thuộc vào phân bón hóa học. Kết quả của luận án là tiền đề quan trọng để triển khai các mô hình nông nghiệp tuần hoàn, góp phần gia tăng giá trị chuỗi sản xuất lâm - nông nghiệp và thúc đẩy lộ trình phát triển nông nghiệp hữu cơ bền vững tại Việt Nam.

## 4. PHẠM VI NGHIÊN CỨU

### 4.1. Phạm vi thời gian

Nghiên cứu được thực hiện trong khoảng thời gian từ tháng 1 năm 2022 đến tháng 6 năm 2024, cụ thể như sau:

(1) Nội dung 1: Nghiên cứu tuyển chọn chế phẩm sinh học có khả năng phân hủy hiệu quả vỏ cây keo nhằm tìm ra chế phẩm thương mại có khả năng phân hủy vỏ keo tốt nhất: Thời gian từ tháng 2 đến tháng 9 năm 2022.

(2) Nội dung 2: Nghiên cứu một số biện pháp ủ vỏ cây keo thành phân bón hữu cơ từ chế phẩm sinh học được tuyển chọn nhằm rút ngắn thời gian ủ, giảm tỷ lệ C/N và nâng cao chất lượng phân compost. Thời gian từ tháng 3 đến tháng 10 năm 2023.

(3) Nội dung 3: Nghiên cứu hiệu lực phân bón hữu cơ sản xuất từ vỏ cây keo đối với canh tác cây cải ngọt qua các chỉ tiêu sinh trưởng, năng suất và chất lượng sản phẩm nhằm xác định khả năng thay thế, góp phần phục vụ canh tác bền vững. Thời gian từ tháng 11 năm 2023 đến tháng 6 năm 2024.

### 4.2. Phạm vi không gian

Các thí nghiệm tuyển chọn chế phẩm vi sinh và ủ phân hữu cơ từ vỏ keo được tiến hành tại phòng thí nghiệm Viện khoa học kỹ thuật nông lâm nghiệp Miền Núi Phía Bắc và khu vực nhà xưởng có mái che tại tỉnh Phú Thọ.

Thí nghiệm canh tác cải ngọt được triển khai trên đất phù sa cát ven biển thuộc xã Vinh Lộc, Thành phố Huế - nơi có điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm đặc trưng, đại diện cho vùng sản xuất rau ngắn ngày. Phân tích các chỉ tiêu tại Khoa Nông học, Trường Đại học Nông lâm, Đại học Huế.

### 4.3. Phạm vi nội dung

Nghiên cứu được giới hạn trong các nội dung trọng tâm sau:

**Về công nghệ sản xuất:** Tập trung đánh giá khả năng phân giải sinh học các hợp chất hữu cơ bền vững trong vỏ cây keo (*Acacia mangium*) thông qua việc tuyển chọn chế phẩm vi sinh đặc hiệu. Trọng tâm là tối ưu hóa các thông số kỹ thuật (tỷ lệ phối trộn nguyên liệu, phụ gia rỉ mật) để gia tốc quá trình khoáng hóa và nâng cao hàm lượng dưỡng chất cho phân compost.

**Về đối tượng và địa điểm khảo nghiệm:** Hiệu năng của sản phẩm được đánh giá thực nghiệm trên cây cải ngọt (*Brassica integrifolia*) – đại diện cho nhóm rau ăn lá ngắn ngày có nhu cầu dinh dưỡng cao. Các chỉ tiêu về sinh trưởng, năng suất thực thu và chất lượng thương phẩm (an toàn sinh học, giá trị dinh dưỡng) được khảo sát trong điều kiện sinh thái đặc trưng tại khu vực thành phố Huế.

## 5. NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

(1) Bước tiến trong kỹ thuật gia tốc phân giải phụ phẩm lâm nghiệp: Luận án đã thiết lập được công thức phối trộn tối ưu (30% vỏ keo + 70% phân bò + 0,15% vi

sinh vật đặc hiệu -EMIC + 1% rỉ mật) giúp hóa giải rào cản về cấu trúc lignin bền vững của vỏ cây keo. Điểm khác biệt cốt yếu là khả năng rút ngắn chu kỳ phân hủy xuống chỉ còn 30 ngày (giảm 2/3 thời gian so với các phương pháp ủ truyền thống), đồng thời đưa tỷ lệ C/N về ngưỡng ổn định lý tưởng ( $C/N \leq 12$ ) với hàm lượng hữu cơ đạt mức cao (56,9%), đáp ứng nghiêm ngặt các tiêu chuẩn an toàn sinh học của QCVN 01-189:2019/BNNPTNT.

(2) Xác lập định mức sử dụng tối ưu cho canh tác rau hữu cơ: Nghiên cứu đã xác định được ngưỡng bón phân hữu cơ vỏ keo đạt hiệu năng cao nhất (15 tấn/ha), tạo ra sự bứt phá về năng suất và chất lượng thương phẩm cho cây cải ngọt so với các dòng phân hữu cơ thông dụng. Kết quả này cung cấp một mô hình thực nghiệm mới, chứng minh vỏ keo không chỉ là vật liệu đệm lót mà còn là nguồn nguyên liệu tiềm năng để thay thế hoàn toàn phân hóa học trong canh tác rau ngắn ngày, đảm bảo đồng thời mục tiêu kinh tế và bền vững môi trường.

## **Chương 1: TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU**

### **1.1. CƠ SỞ LÝ LUẬN CỦA VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU**

#### **1.1.1. Tổng quan về phân hữu cơ**

##### *1.1.1.1. Lịch sử và khái niệm về phân hữu cơ*

##### *1.1.1.2. Vai trò của phân hữu cơ*

#### **1.1.2. Tổng quan về phân ủ (compost)**

##### *1.1.2.1. Khái niệm phân ủ và cơ sở khoa học*

##### *1.1.2.2. Vai trò của phân ủ (compost) đối với canh tác nông nghiệp*

##### *1.1.2.3. Nguồn nguyên liệu sản xuất phân ủ*

##### *1.1.2.4. Các công nghệ sản xuất phân ủ (compost)*

### **1.2. CƠ SỞ THỰC TIỄN CỦA VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU**

#### **1.2.1. Tình hình sản xuất, tiêu thụ và sử dụng phân hữu cơ trên thế giới và ở Việt Nam**

##### *1.2.1.1. Tình hình sản xuất, tiêu thụ và sử dụng phân hữu cơ trên thế giới*

##### *1.2.1.2. Tình hình sản xuất, tiêu thụ và sử dụng phân hữu cơ tại Việt Nam*

##### *1.2.1.3. Tình hình sản xuất, tiêu thụ và sử dụng phân hữu cơ ở thành phố Huế*

#### **1.2.2. Các kết quả nghiên cứu liên quan đến vấn đề nghiên cứu**

##### *1.2.2.1. Các kết quả nghiên cứu ứng dụng phân ủ trên cây cải ngọt*

##### *1.2.2.2. Các nghiên cứu về sản xuất phân hữu cơ từ phụ phẩm có nguồn gốc thực vật*

##### *1.2.2.3. Các nghiên cứu về sản xuất phân hữu cơ từ vỏ cây keo và ứng dụng trong canh tác nông nghiệp trên thế giới và Việt Nam*

## Chương 2: NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

- Vỏ cây keo (*Acacia Mangium*) khô được thu thập tại các xưởng bóc gỗ được nghiền nhỏ với kích thước 1 - 3 cm, trọng lượng 250 kg/m<sup>3</sup> và độ ẩm 25 - 40% được sử dụng để nghiên cứu.

- Chế phẩm sinh học: Chế phẩm EMIC, chế phẩm EM\*1, chế phẩm Sagibio, chế phẩm AT-YTB, chế phẩm EMUNIV.

- Cây cải ngọt (*Brassica integrifolia*).

### 2.2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

• **Nội dung 1. Tuyển chọn chế phẩm sinh học có khả năng phân hủy hiệu quả vỏ cây keo làm nguyên liệu sản xuất phân bón hữu cơ**

✓ Đánh giá khả năng phân hủy vỏ keo bởi các chế phẩm sinh học trong phòng thí nghiệm.

✓ Đánh giá khả năng phân hủy vỏ keo bởi một số chế phẩm sinh học được tuyển chọn ở điều kiện ngoài tự nhiên.

• **Nội dung 2: Nghiên cứu một số biện pháp ủ vỏ cây keo thành phân bón hữu cơ từ chế phẩm sinh học được tuyển chọn**

✓ Ảnh hưởng của liều lượng chế phẩm sinh học tối ưu đến việc ủ vỏ keo thành phân hữu cơ.

✓ Ảnh hưởng của tỷ lệ C/N ban đầu tới việc ủ vỏ cây keo thành phân hữu cơ.

✓ Ảnh hưởng của tỷ lệ phân bò/vỏ keo ban đầu tới việc ủ vỏ cây keo thành phân hữu cơ.

• **Nội dung 3: Đánh giá hiệu lực của phân bón hữu cơ sản xuất từ vỏ cây keo đối với sinh trưởng, năng suất, chất lượng cây cải ngọt và một số tính chất đất.**

✓ Ảnh hưởng của phân bón hữu cơ sản xuất từ vỏ cây keo đến sinh trưởng, năng suất, chất lượng cây cải ngọt và một số tính chất đất cát ven biển

✓ Xây dựng và đánh giá mô hình ứng dụng phân bón hữu cơ từ vỏ cây keo trong canh tác cây cải ngọt

### 2.3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

**2.3.1. Phương pháp nghiên cứu tuyển chọn chế phẩm sinh học có khả năng phân hủy hiệu quả vỏ cây keo**

Thí nghiệm tuyển chọn 5 chế phẩm sinh học được tiến hành trong phòng theo kiểu hoàn toàn ngẫu nhiên với 6 công thức, 3 lần nhắc lại. Vỏ keo (1 kg) được ủ trong hộp PE ở 45 °C trong 30 ngày, độ ẩm điều chỉnh 60%, bổ sung 1 g chế phẩm/kg. Các chỉ tiêu theo dõi gồm C/N, pH, OM, lignin, cellulose, hemicellulose, chất hòa tan,

khối lượng, độ ẩm và nhiệt độ tại 4 thời điểm. Phân tích theo các tiêu chuẩn TCVN và TAPPI tại Viện KHKT Nông lâm nghiệp miền núi phía Bắc.

### **2.3.1.2. Thí nghiệm 2: Tuyển chọn chế phẩm sinh học ngoài tự nhiên**

Từ thí nghiệm 1, hai chế phẩm EMIC và Sagi Bio được chọn cho thí nghiệm 2 ngoài tự nhiên để xác định chế phẩm phân hủy vỏ keo tốt nhất. Thí nghiệm bố trí CRD với 3 công thức, 3 lần lặp. Vỏ keo 100 kg/bao jumbo 1 m<sup>3</sup>, độ ẩm 50%, đảo ngày 7 và 20. Lấy mẫu theo TCVN 9486:2018. Theo dõi C/N, pH, độ ẩm, OC, Nts, Pts, Kts, khối lượng vào ngày 10, 20 và 30. Phân tích theo TCVN và cân khối lượng đóng ủ. Địa điểm phân tích: Viện khoa học kỹ thuật nông lâm nghiệp miền núi phía bắc.

### **2.3.2. Phương pháp nghiên cứu một số biện pháp ủ vỏ cây keo thành phân hữu cơ**

Từ kết quả tuyển chọn chế phẩm sinh học có khả năng phân hủy hiệu quả vỏ cây keo, chế phẩm có khả năng phân hủy vỏ keo tốt nhất được chọn để tiến hành các thí nghiệm tiếp theo.

#### **2.3.2.1. Thí nghiệm 3: Xác định liều lượng chế phẩm sinh học tối ưu để ủ vỏ keo**

Thí nghiệm được thực hiện trong phòng ở 45°C nhằm xác định liều chế phẩm Emic tối ưu để ủ vỏ keo. Bố trí 4 công thức: đối chứng và 3 mức liều 0,5; 1,0; 1,5 kg/tấn vỏ keo (độ ẩm 60%), bổ sung 1% rỉ mật. Mẫu 200 g vỏ khô điều chỉnh ẩm trước khi ủ trong hộp PE. Theo dõi OC, C/N, pH, Nts, Pts, Kts, độ ẩm, khối lượng trước và sau 30 ngày.

Địa điểm phân tích: Viện Khoa học kỹ thuật nông lâm nghiệp miền núi phía bắc.

#### **2.3.2.2. Thí nghiệm 4: Xác định tỷ lệ C/N ban đầu tối ưu để ủ vỏ keo thành phân hữu cơ**

Thí nghiệm được tiến hành trong phòng ở 45 °C với 3 công thức C/N ban đầu: đối chứng (43,1), 25 và 20; mỗi công thức lặp lại 3 lần theo RCD. Mẫu 200 g vỏ keo được điều chỉnh ẩm 60%, bổ sung 0,15% chế phẩm và 1% rỉ mật. Tỷ lệ C/N được điều chỉnh theo công thức phối trộn để tăng Nts ban đầu. Theo dõi OM, C/N, pH, độ ẩm, NPK tổng số và khối lượng trước – sau 30 ngày để đánh giá ảnh hưởng tỷ lệ C/N đến quá trình ủ.

Địa điểm phân tích: Viện Khoa học kỹ thuật nông lâm nghiệp miền núi phía bắc.

#### **2.3.2.3. Thí nghiệm 5: Xác định tỷ lệ phân bò/vỏ keo ban đầu tối ưu để ủ phân hữu cơ**

Để đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ phân bò/vỏ keo ban đầu tới chất lượng phân ủ, thí nghiệm 04 công thức 03 lần nhắc lại theo kiểu hoàn toàn ngẫu nhiên (RCD) được thực hiện ở ngoài tự nhiên với 03 mức phân bò khác nhau. Tỷ lệ phân bò/vỏ keo được xác định đảm bảo xung quanh chỉ tiêu C/N tối ưu đạt được từ thí nghiệm 4 (C/N:20). Lượng chế phẩm được sử dụng theo lượng chế phẩm được xác định ở thí nghiệm 3 (1,5kg/tấn nguyên liệu). Bổ sung 1% rỉ mật/khối lượng nguyên liệu ở tất cả các đồng

ủ. Mỗi đồng ủ trên 1 lần nhắc lại đều có khối lượng 1 tấn. Vỏ keo và phân bón được phối trộn ở các tỷ lệ: CT1 (100% vỏ keo); CT2 (7:3), CT3 (5:5), CT4 (3:7). Đồng ủ được phủ bạt kín và đặt trong nhà có mái che. Đồng ủ được đảo định kỳ ở các ngày thứ 7, ngày thứ 15 và 20 sau ủ.

Các chỉ tiêu theo dõi: Tỷ lệ C/N, pH, độ ẩm, nhiệt độ, OM, N tổng số, P tổng số, K tổng số, khối lượng đồng ủ ở thời điểm trước và sau ủ 30 ngày. Các chỉ tiêu kim loại nặng và vi khuẩn gây bệnh được phân tích ở thời điểm sau ủ 30 ngày.

### **2.3.3. Phương pháp nghiên cứu ảnh hưởng của phân bón hữu cơ từ vỏ cây keo đến sinh trưởng, năng suất, chất lượng cây cải ngọt và tính chất nông hóa của đất cát ven biển xã Vinh Lộc, thành phố Huế**

#### **2.3.3.1. Thí nghiệm 6: Xác định lượng phân hữu cơ ủ từ vỏ keo tối ưu áp dụng trong canh tác cây cải ngọt**

Kế thừa các kết quả nghiên cứu từ nội dung 1 là tuyển chọn được chế phẩm Emic, nội dung 2 là xác định được liều lượng chế phẩm là 1,5 kg chế phẩm/tấn nguyên liệu, tỷ lệ C/N vỏ keo ban đầu là 20, tỷ lệ phối trộn vỏ keo phân bón là 3:7, bổ sung 1% rỉ mật/khối lượng nguyên liệu và tiến hành đảo đồng ủ vào ngày thứ 5, ngày thứ 10 và ngày thứ 15. Chúng tôi đã tiến hành ủ thử nghiệm 10 tấn nguyên liệu (3 tấn vỏ keo và 7 tấn phân bón) trong vòng 01 tháng và sử dụng để đánh giá hiệu lực của phân bón hữu cơ ủ từ vỏ cây keo. Thí nghiệm được tiến hành trên đất cát thuộc xã Vinh Lộc, Thành phố Huế (trước đây là xã Vinh Mỹ, huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế).

Thí nghiệm được bố trí ngoài đồng ruộng gồm 05 công thức với 3 lần nhắc lại và theo kiểu phân bố ngẫu nhiên (RCBD). Các công thức thí nghiệm bao gồm: I (Đ/C): truyền thống, II: 5 tấn/ha, III: 10 tấn/ha, IV: 15 tấn/ha, V: 20 tấn/ha. Số ô thí nghiệm: 15 ô. Diện tích ô thí nghiệm: 20 m<sup>2</sup>. Diện tích toàn bộ ô thí nghiệm: 300 m<sup>2</sup>

Theo dõi các chỉ tiêu về sinh trưởng, phát triển, năng suất theo Tiêu chuẩn 10 TCN 216-2003 “Quy phạm khảo nghiệm trên đồng ruộng hiệu lực của các loại phân bón đối với năng suất cây trồng, phẩm chất nông sản” của Bộ NN & PTNT ban hành kèm quyết định số 59/2003/QĐ-BNN ngày 5/5/2003. Mỗi ô thí nghiệm theo dõi 10 cây để đánh giá các chỉ tiêu sinh trưởng.

- *Phân tích một số tính chất của đất trước và sau thí nghiệm*

\* *Phương pháp lấy mẫu đất:*

Lấy mẫu theo TCVN 367:1999. Mẫu đất được lấy cùng với địa điểm lấy mẫu rau bằng phương pháp đường chéo ở tầng canh tác (0 - 20 cm) lấy 5 điểm/ô, sau đó trộn đều rồi lấy mẫu trung bình theo nguyên tắc chia 4, mỗi mẫu khoảng 500 gam. Mẫu đất được lấy trước khi bón phân và thời điểm thu hoạch rau.

\* *Phương pháp xác định các chỉ tiêu hóa tính của đất*: Mẫu đất hỗn hợp được lấy đại diện trên 5 điểm theo đường chéo góc tại các ruộng được lựa chọn cho nghiên cứu trước thí nghiệm và ngay sau khi thu hoạch xong ở tầng đất 0 - 20 cm, sau đó trộn đều, phơi khô trong không khí và tiến hành rây qua rây 2 mm. Các chỉ tiêu theo dõi: pH, OM (%), EC (mS/cm), CEC (meq/100g), Nts (%), Pts (%), Kts (%).

\* *Phương pháp xác định các chỉ tiêu sinh học của đất*: Mẫu đất được lấy ở tầng 0 - 30 cm trước và sau thí nghiệm. Chỉ tiêu theo dõi VK tổng số (CFU/g), VK cố định nitơ (CFU/g), VK phân hủy lân (CFU/g).

Địa điểm phân tích: Bộ môn khoa học cây trồng - Khoa Nông Học - Trường ĐH Nông Lâm Huế và Viện Khoa học kỹ thuật nông lâm nghiệp miền núi phía Bắc - Viện Khoa Học Nông Nghiệp Việt Nam.

### **2.3.3.2. Xây dựng mô hình trình diễn về áp dụng phân bón hữu cơ từ ủ vỏ cây keo cho cây cải ngọt trên đất cát tại phường Vinh Mỹ, Thành phố Huế**

Kế thừa kết quả của thí nghiệm 6, xác định được lượng phân 15 tấn/ha cho năng suất, chất lượng và hiệu quả kinh tế cao nhất. Mô hình thử nghiệm áp dụng lượng phân này so với đối chứng truyền thống để đánh giá hiệu quả phân hữu cơ từ vỏ keo trên quy mô lớn.

Mô hình được bố trí theo kiểu ô lớn không lặp lại, có đối chứng. Quy mô của mô hình là 500 m<sup>2</sup>/công thức/mô hình.

Thời gian thực hiện: Vụ xuân hè 2024 (tháng 3 đến tháng 5 năm 2024).

*Các chỉ tiêu theo dõi của mô hình*

Chỉ tiêu và phương pháp theo dõi về sinh trưởng, phát triển của rau cải ngọt và tính chất nông hóa của đất tương tự như thí nghiệm 6.

*Phương pháp tính hiệu quả kinh tế của mô hình*

Các công thức tính:

+ Lãi ròng = Tổng thu - tổng chi

+ Tổng thu = Năng suất kinh tế × giá 1 kg sản phẩm

+ Tổng chi = Giống + Phân bón + Thuốc BVTV + Công lao động.

+ BCR: Tỷ suất lợi ích-chi phí

$$BCR = \frac{\text{Tổng thu}}{\text{Tổng chi}}$$

### **2.3.4. Phương pháp xử lý số liệu**

Phương pháp xử lý số liệu: Số liệu được xử lý ANOVA một nhân tố, sau đó kiểm định bằng Turkey-Kramer test ở mức p < 0,01 trên phần mềm Excel 2016 và Statistic 10.0. Tỷ lệ phần trăm được chuyển sang acsin bình phương (acsin square) trước khi xử lý thống kê.

### Chương 3: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

#### 3.1. NGHIÊN CỨU TUYỂN CHỌN CHẾ PHẨM SINH HỌC CÓ KHẢ NĂNG PHÂN HỦY HIỆU QUẢ VỎ CÂY KEO

##### 3.1.1. Đánh giá khả năng phân hủy vỏ keo bởi các chế phẩm sinh học trong phòng thí nghiệm.

###### 3.1.1.1. Thành phần lý hóa của vỏ keo

Trước khi ủ, mẫu vỏ keo được phân tích cho thấy thành phần gồm: xenlulo 30,95%, lignin 23,8%, OC 48,06%, N 1,12%, Pts 0,091%, Kts 0,252%, tỷ lệ C/N 42,54, chất hòa tan trong nước nóng 15,37%, trong cồn 16,6%, pH 6,46 và độ ẩm 40%. Kết quả cho thấy vỏ keo có hàm lượng lignin, xenlulo và cacbon hữu cơ cao, trong khi N, P, K tổng số thấp – đặc trưng của vật liệu thực vật. pH trung tính và độ ẩm 40% phù hợp làm nguyên liệu ủ phân hữu cơ sau khi phối trộn với nguồn giàu đạm.

###### 3.1.1.2. Khả năng phân hủy lignin của các chế phẩm sinh học

**Bảng 3.1.** Ảnh hưởng của chế phẩm sinh học đến hàm lượng lignin của vỏ keo trong quá trình ủ

Công thức	Hàm lượng lignin (%)		
	Ngày thứ 10	Ngày thứ 20	Ngày thứ 30
CT1 (ĐC)	20,5 <sup>a</sup>	18,9 <sup>a</sup>	16,0 <sup>a</sup>
CT2	19,8 <sup>a</sup>	18,4 <sup>a</sup>	15,2 <sup>ab</sup>
CT3	20,4 <sup>a</sup>	18,8 <sup>a</sup>	15,2 <sup>ab</sup>
CT4	19,9 <sup>a</sup>	17,9 <sup>a</sup>	13,8 <sup>b</sup>
CT5	19,5 <sup>a</sup>	17,2 <sup>a</sup>	14,6 <sup>ab</sup>
CT6	20,5 <sup>a</sup>	17,6 <sup>a</sup>	15,9 <sup>a</sup>

*Ghi chú: Trung bình trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê bằng phương pháp Turkey-Kramer test ở mức  $P < 0,01$ , ( $n=18$ )*

Hàm lượng lignin ban đầu của vỏ keo là 23,8% và giảm dần trong quá trình ủ ở tất cả các công thức. Sau 30 ngày, CT4 (dùng chế phẩm Emic) có hàm lượng lignin thấp hơn đối chứng 2,2% ( $P < 0,01$ ), mức giảm chung đạt 7,8–10%. Kết quả tương đồng với nghiên cứu của Djarwanto & Tachibana (2010) và thấp hơn mức phân hủy lignin bởi nấm Basidiomycetes (23,7–39,6%). Sự phân hủy lignin phụ thuộc vào cấu trúc hóa học, tỷ lệ syringyl/guaiacyl, nhiệt độ và độ dày vật liệu. Mức giảm lignin mạnh chứng tỏ hiệu quả của chế phẩm sinh học và góp phần hình thành mùn trong quá trình ủ.

### 3.1.1.3. Khả năng phân hủy xenlulo của các chế phẩm sinh học

**Bảng 3.2.** Ảnh hưởng của chế phẩm sinh học đến hàm lượng xenlulo của vỏ keo trong quá trình ủ

Công thức	Hàm lượng xenlulo (%)		
	Ngày thứ 10	Ngày thứ 20	Ngày thứ 30
CT1 (ĐC)	27,6 <sup>ab</sup>	26,3 <sup>a</sup>	24,3 <sup>a</sup>
CT2	27,8 <sup>ab</sup>	26,1 <sup>a</sup>	23,4 <sup>ab</sup>
CT3	28,6 <sup>a</sup>	26,6 <sup>a</sup>	23,8 <sup>ab</sup>
CT4	26,0 <sup>b</sup>	24,9 <sup>a</sup>	22,7 <sup>b</sup>
CT5	27,0 <sup>ab</sup>	24,7 <sup>a</sup>	23,0 <sup>ab</sup>
CT6	27,2 <sup>ab</sup>	24,5 <sup>a</sup>	22,5 <sup>b</sup>

Ghi chú: Trung bình trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê bằng phương pháp Turkey-Kramer test ở mức  $P < 0,01$ , ( $n=18$ )

Hàm lượng xenlulo ở các công thức đều giảm sau 30 ngày ủ, mức giảm 6,65–8,45%. CT4 (Emic; 22,7%) và CT6 (Sagi Bio; 22,5%) có giá trị thấp hơn có ý nghĩa thống kê so với CT1 đối chứng (24,3%). Tuy nhiên, hàm lượng xenlulo vẫn ở mức >20%, thấp hơn so với kết quả 26,8% sau 3 tháng ủ bằng Fito-K của Lê Văn Tri (2016). Sự kết tinh cao của xenlulo trong cấu trúc lignin–xenlulo tự nhiên là yếu tố hạn chế tốc độ phân hủy sinh học (Hubbe et al., 2010)

### 3.1.1.4. Hàm lượng các chất hòa tan trong nước nóng và cặn của vỏ keo trong quá trình phân hủy

**Bảng 3.3.** Ảnh hưởng của chế phẩm sinh học đến hàm lượng các chất hòa tan trong nước nóng và cặn của vỏ keo trong quá trình ủ

Công thức	Các chất hòa tan trong nước nóng (%)			Các chất hòa tan trong cặn (%)		
	Ngày thứ	Ngày thứ	Ngày thứ	Ngày thứ	Ngày thứ	Ngày thứ
	10	20	30	10	20	30
CT1 (ĐC)	18,4 <sup>a</sup>	17,0 <sup>ab</sup>	19,6 <sup>ab</sup>	19,2 <sup>a</sup>	18,1 <sup>abc</sup>	20,4 <sup>abc</sup>
CT2	18,9 <sup>a</sup>	17,4 <sup>ab</sup>	22,0 <sup>abc</sup>	19,6 <sup>a</sup>	19,0 <sup>abc</sup>	23,7 <sup>ab</sup>
CT3	17,2 <sup>a</sup>	22,5 <sup>c</sup>	18,7 <sup>ab</sup>	17,3 <sup>a</sup>	23,6 <sup>d</sup>	20,5 <sup>c</sup>
CT4	19,0 <sup>a</sup>	14,7 <sup>b</sup>	24,4 <sup>c</sup>	21,5 <sup>a</sup>	16,3 <sup>a</sup>	25,7 <sup>d</sup>
CT5	19,0 <sup>a</sup>	17,7 <sup>a</sup>	17,0 <sup>ab</sup>	18,1 <sup>a</sup>	19,8 <sup>c</sup>	19,0 <sup>c</sup>
CT6	20,4 <sup>a</sup>	19,6 <sup>a</sup>	20,2 <sup>abc</sup>	21,7 <sup>a</sup>	21,6 <sup>cd</sup>	21,3 <sup>abc</sup>

Ghi chú: Trung bình trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê bằng phương pháp Turkey-Kramer test ở mức  $P < 0,01$ , ( $n=18$ )

Ở ngày 10, hàm lượng các chất hòa tan trong nước nóng và cặn ở các công thức không khác biệt thống kê so với đối chứng. Ngày 20, CT3 đạt cao nhất (22,5%), sai

khác ở mức  $P < 0,01$ . Ngày 30, CT4 tăng cao nhất (24,4% nước nóng; 25,7% còn), khác biệt có ý nghĩa so với đối chứng và các công thức khác. Nhìn chung, các chất hòa tan trong nước nóng và còn tăng 1,63–9,03% và 2,4–9,1% so với ban đầu, phản ánh sự phân giải hợp chất hữu cơ thành dạng dễ tiêu cho vi sinh vật. CT5 thấp nhất, cho thấy khả năng phân giải kém. Hàm lượng hòa tan trong còn luôn cao hơn nước nóng, có thể do chứa tannin và hợp chất kháng vi sinh vật.

### 3.1.1.5. Sự thay đổi của độ ẩm, pH của vỏ keo trong quá trình phân hủy

**Bảng 3.4.** Ảnh hưởng của chế phẩm sinh học đến sự thay đổi độ ẩm và pH của vỏ keo trong quá trình ủ

Công thức	Độ ẩm (%)			pH		
	Ngày thứ	Ngày thứ	Ngày thứ	Ngày thứ	Ngày thứ	Ngày thứ
	10	20	30	10	20	30
CT1 (ĐC)	59,1 <sup>a</sup>	60,9 <sup>a</sup>	59,1 <sup>ab</sup>	6,2 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>
CT2	60,0 <sup>a</sup>	58,5 <sup>a</sup>	55,8 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>
CT3	62,6 <sup>a</sup>	64,4 <sup>a</sup>	65,1 <sup>b</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>
CT4	61,6 <sup>a</sup>	62,8 <sup>a</sup>	62,5 <sup>ab</sup>	6,2 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>
CT5	62,3 <sup>a</sup>	61,8 <sup>a</sup>	61,3 <sup>ab</sup>	6,1 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>
CT6	54,7 <sup>a</sup>	57,7 <sup>a</sup>	61,7 <sup>ab</sup>	6,2 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>

*Ghi chú:* Trung bình trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê bằng phương pháp Turkey-Kramer test ở mức  $P < 0,01$ , ( $n=18$ )

Trong thí nghiệm, nhiệt độ được duy trì ổn định ở 45 °C – mức tối ưu cho nấm ưa nhiệt và quá trình phân hủy lignin. Độ ẩm ban đầu của vỏ keo được điều chỉnh về 60% và duy trì trong suốt quá trình ủ ở mức 54,7–65,1%, phù hợp với yêu cầu hoạt động của vi sinh vật. pH ban đầu của tất cả công thức là 6,46; giảm nhẹ trong 10 ngày đầu (6,1–6,3) do hình thành axit hữu cơ, sau đó tăng dần trở lại (6,2–6,4) vào ngày 30 nhờ quá trình phân giải protein và giải phóng  $\text{NH}_4^+$ . Không có sự khác biệt thống kê về độ ẩm và pH giữa các công thức. Sự biến động pH và độ ẩm phù hợp với quy luật ủ compost: giai đoạn đầu axit nhẹ, sau đó tăng trở lại gần trung tính, tạo môi trường thuận lợi cho vi sinh vật hoạt động và phân hủy vật liệu hữu cơ hiệu quả.

### 3.1.1.6. Sự thay đổi của OC, C/N và N của vỏ keo trong quá trình phân hủy

**Bảng 3.5.** Ảnh hưởng của các chế phẩm sinh học đến một số chỉ tiêu OC, C/N và N trong quá trình ủ

Công thức	N (%)			OC (%)			C/N		
	Ngày thứ 10	Ngày thứ 20	Ngày thứ 30	Ngày thứ 10	Ngày thứ 20	Ngày thứ 30	Ngày thứ 10	Ngày thứ 20	Ngày thứ 30
CT1 (ĐC)	1,4 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a*</sup>	1,5 <sup>a</sup>	46,7 <sup>a</sup>	39,4 <sup>ab</sup>	31,6 <sup>a</sup>	34 <sup>a</sup>	28,6 <sup>a</sup>	21,7 <sup>a</sup>
CT2	1,4 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	45,1 <sup>abc</sup>	40,3 <sup>ab</sup>	31,2 <sup>a</sup>	32,9 <sup>a</sup>	27,3 <sup>ab</sup>	21,5 <sup>a</sup>
CT3	1,4 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a</sup>	44,6 <sup>bd</sup>	39,5 <sup>ab</sup>	31,5 <sup>a</sup>	32,8 <sup>a</sup>	26,9 <sup>ab</sup>	21,9 <sup>a</sup>
CT4	1,3 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	41,5 <sup>e</sup>	37,2 <sup>a</sup>	30,7 <sup>a</sup>	31,3 <sup>a</sup>	26,6 <sup>ab</sup>	21,1 <sup>a</sup>
CT5	1,3 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a</sup>	45,7 <sup>abc</sup>	40,4 <sup>b</sup>	30,5 <sup>a</sup>	35,4 <sup>b</sup>	26,6 <sup>ab</sup>	21,2 <sup>a</sup>
CT6	1,3 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a</sup>	42,9 <sup>de</sup>	38,4 <sup>ab</sup>	30,7 <sup>a</sup>	33,9 <sup>a</sup>	26,1 <sup>b</sup>	21,7 <sup>a</sup>

*Ghi chú:* Trung bình trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê bằng phương pháp Turkey-Kramer test ở mức  $P < 0,01$ , ( $n=18$ )

Hàm lượng OC ban đầu của vỏ keo cao (48,06%) và giảm 16,46–17,56% sau 30 ngày ủ. Tỷ lệ C/N giảm 20,64–21,44 nhưng vẫn còn cao (21,1–21,9) do hàm lượng đạm thấp (1,4–1,5%), hạn chế hoạt động vi sinh. Hàm lượng lignin và xenlulo giảm lần lượt 7,8–10% và 6,65–8,45%, trong đó lignin giảm mạnh nhất ở CT4 (Emic) và xenlulo ở CT6 (Sagi Bio); các giá trị này thấp hơn đáng kể so với đối chứng. Hàm lượng chất hòa tan trong nước nóng và còn tăng 0,4–7,8% và 3,63–10,33%, cao nhất ở CT4. Sau 30 ngày, độ ẩm dao động 55,8–65,1% và pH 6,2–6,4, phù hợp cho phân hủy. Nhìn chung, Emic và Sagi Bio thúc đẩy phân giải hữu cơ tốt, giúp giảm OC, C/N và lignin–xenlulo, cải thiện thành phần dễ tiêu của nguyên liệu trong thời gian ngắn

### 3.1.2. Đánh giá khả năng phân hủy vỏ keo bởi một số chế phẩm sinh học được tuyển chọn ngoài tự nhiên

#### 3.1.2.1. Sự thay đổi độ ẩm và pH của vỏ keo trong quá trình ủ

Độ ẩm ảnh hưởng lớn đến hoạt động vi sinh và tốc độ phân giải chất hữu cơ. Nếu quá cao sẽ giảm thông khí, tạo điều kiện cho vi sinh vật gây bệnh; nếu quá thấp sẽ hạn chế mật độ vi sinh vật. Mức tối ưu là 50–60%. Trong thí nghiệm, CT1 (không chế phẩm) có độ ẩm >60% ở ngày 10–30 (60,18–65,56%), làm giảm hiệu quả phân hủy. Ngược lại, CT2 và CT3 (có chế phẩm) duy trì độ ẩm 53,91–59,57% ở ngày 30, phù hợp cho vi sinh vật hoạt động, thúc đẩy phân giải vỏ keo. pH ban đầu thấp, tăng dần trong quá trình ủ; sau 30 ngày, pH các công thức đạt 6,42–6,51, phù hợp cho quá trình ủ và tiêu chuẩn phân hữu cơ. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước, cho thấy pH giảm nhẹ giai đoạn đầu do hình thành acid, sau đó tăng trở lại nhờ quá trình phân giải protein và sinh amoni.

**Bảng 3.6.** Sự thay đổi độ ẩm và pH của vỏ keo sau khi ủ

Công thức (CT)	Độ ẩm (%)			pH		
	10 NSU	20 NSU	30 NSU	10 NSU	20 NSU	30 NSU
CT1 (ĐC)	60,18 <sup>a</sup>	65,56 <sup>a</sup>	64,01 <sup>a</sup>	6,09 <sup>ab</sup>	6,33 <sup>a</sup>	6,42 <sup>a</sup>
CT2	58,60 <sup>b</sup>	64,66 <sup>b</sup>	59,57 <sup>b</sup>	6,05 <sup>b</sup>	6,28 <sup>b</sup>	6,46 <sup>a</sup>
CT3	55,64 <sup>c</sup>	61,85 <sup>c</sup>	53,91 <sup>c</sup>	6,10 <sup>ab</sup>	6,13 <sup>b</sup>	6,51 <sup>a</sup>

Ghi chú: CT1 (Đối chứng): vỏ keo; CT2: vỏ keo + chế phẩm Sagi Bio; CT3: vỏ keo + chế phẩm Emic; NSU: Ngày sau ủ;

Trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự sai khác có ý nghĩa thống kê với  $p < 0,05$  ( $n=9$ )

### 3.1.2.2. Sự thay đổi khối lượng của vỏ keo trong quá trình ủ

Giảm khối lượng là chỉ tiêu quan trọng đánh giá mức độ phân hủy. Ban đầu mỗi công thức 100 kg vỏ keo, khối lượng giảm dần theo thời gian. Ngày 10, CT2 và CT3 (có chế phẩm) giảm nhiều hơn CT1 (đối chứng) 0,47–0,67 kg, khác biệt có ý nghĩa. Ngày 30, CT3 (Emic) giảm nhiều nhất, thấp hơn CT1 2,5 kg. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước, cho thấy sử dụng chế phẩm sinh học thúc đẩy quá trình phân hủy, làm khối lượng khối ủ giảm nhanh hơn đáng kể so với ủ tự nhiên, phản ánh hiệu quả hoạt động vi sinh vật trong quá trình xử lý nguyên liệu hữu cơ.

**Bảng 3.7.** Sự thay đổi khối lượng (kg) của vỏ keo sau khi ủ

Công thức	10 NSU	20 NSU	30 NSU
CT1 (ĐC)	99,97 <sup>a</sup>	99,00 <sup>a</sup>	96,00 <sup>a</sup>
CT2	99,50 <sup>b</sup>	98,00 <sup>ab</sup>	95,00 <sup>ab</sup>
CT3	99,30 <sup>c</sup>	97,30 <sup>b</sup>	93,50 <sup>b</sup>

Ghi chú: NSU: Ngày sau ủ; Trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự sai khác có ý nghĩa thống kê với  $p < 0,05$  ( $n=9$ )

### 3.1.2.3. Sự thay đổi OC và C/N của vỏ keo trong quá trình ủ

Hàm lượng OC ở các công thức giảm dần theo thời gian, đặc biệt CT2 và CT3 (có chế phẩm) thấp hơn đối chứng và khác biệt có ý nghĩa ở cả 3 thời điểm; mức giảm OC so với trước ủ là 3,34–7,62%. Tỷ lệ C/N cũng giảm dần, ngày 30 dao động 21,30–29,80. CT2 và CT3 có tỷ lệ C/N thấp hơn đối chứng 6,4–8,4 (ngày 10), 8,0–9,9 (ngày 20), 6–8,5 (ngày 30). Kết quả phản ánh quá trình khoáng hóa chất hữu cơ diễn ra tích cực khi bổ sung chế phẩm sinh học, thúc đẩy phân giải carbon và giảm C/N nhanh hơn so với ủ tự nhiên

**Bảng 3.8.** Sự thay đổi hàm lượng OC và tỷ lệ C/N của vỏ keo sau khi ủ

Công thức	OC (%)			C/N		
	10 NSU	20 NSU	30 NSU	10 NSU	20 NSU	30 NSU
CT1 (ĐC)	45,00 <sup>a</sup>	44,12 <sup>a</sup>	42,10 <sup>a</sup>	39,90 <sup>a</sup>	38,30 <sup>a</sup>	29,80 <sup>a</sup>
CT2	40,20 <sup>b</sup>	39,20 <sup>b</sup>	38,87 <sup>b</sup>	33,50 <sup>b</sup>	30,60 <sup>b</sup>	25,20 <sup>b</sup>
CT3	39,33 <sup>c</sup>	38,05 <sup>c</sup>	37,82 <sup>c</sup>	31,50 <sup>b</sup>	28,40 <sup>c</sup>	21,30 <sup>c</sup>

Ghi chú: NSU: Ngày sau ủ; Trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự sai khác có ý nghĩa thống kê với  $p < 0,05$  ( $n=9$ )

#### 3.1.2.4. Sự thay đổi hàm lượng Nts, Pts và Kts của vỏ keo trong quá trình ủ

**Bảng 3.9.** Sự thay đổi hàm lượng Nts, Pts và Kts của vỏ keo sau khi ủ

Công thức	N (%)			P <sub>ts</sub> (%)			K <sub>ts</sub> (%)		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
	NSU	NSU	NSU	NSU	NSU	NSU	NSU	NSU	NSU
CT1 (ĐC)	1,10 <sup>a</sup>	1,15 <sup>a</sup>	1,42 <sup>b</sup>	0,042 <sup>c</sup>	0,049 <sup>c</sup>	0,060 <sup>c</sup>	0,132 <sup>b</sup>	0,086 <sup>c</sup>	0,187 <sup>b</sup>
CT2	1,20 <sup>a</sup>	1,28 <sup>a</sup>	1,54 <sup>ab</sup>	0,058 <sup>b</sup>	0,059 <sup>b</sup>	0,112 <sup>b</sup>	0,167 <sup>a</sup>	0,109 <sup>b</sup>	0,219 <sup>a</sup>
CT3	1,25 <sup>a</sup>	1,34 <sup>a</sup>	1,76 <sup>a</sup>	0,065 <sup>a</sup>	0,077 <sup>a</sup>	0,118 <sup>a</sup>	0,134 <sup>b</sup>	0,161 <sup>a</sup>	0,219 <sup>a</sup>

Ghi chú: NSU: Ngày sau ủ; Trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự sai khác có ý nghĩa thống kê với  $p < 0,05$  ( $n=9$ )

Hàm lượng đạm tổng số của vỏ keo tăng dần theo thời gian, từ 0,91% ban đầu lên cao hơn 0,19–0,34% (ngày 10), 0,24–0,43% (ngày 20) và 0,51–0,85% (ngày 30), trong đó CT3 (Emic) cao hơn đối chứng 0,34% có ý nghĩa thống kê. Hàm lượng lân tổng số cũng tăng, ngày 30 đạt gấp 1,15 lần (CT1, CT2) và 2,27 lần (CT3) so với ban đầu. Hàm lượng kali tăng, CT2 và CT3 cao hơn đối chứng 0,032%. Sau 30 ngày, CT2 và CT3 có độ ẩm 53,91–59,57%, pH 6,42–6,51; OC và C/N giảm 3,34–7,62% và 20,1–28,6; khối lượng giảm rõ, CT3 thấp hơn đối chứng 2,5 kg. Nhìn chung, bổ sung chế phẩm Emic thúc đẩy phân hủy vỏ keo ngoài môi trường hiệu quả.

## 3.2. NGHIÊN CỨU MỘT SỐ BIỆN PHÁP Ủ VỎ CÂY KEO THÀNH PHÂN BÓN HỮU CƠ TỪ CHẾ PHẨM SINH HỌC ĐƯỢC TUYỂN CHỌN

### 3.2.1. Nghiên cứu xác định lượng chế phẩm sinh học tối ưu để ủ vỏ keo thành phân hữu cơ trong điều kiện phòng thí nghiệm

Trước khi tiến hành ủ, mẫu vỏ keo được phân tích nhằm đánh giá một số chỉ tiêu lý hóa tính và thu được kết quả như sau: OC (45,8%), Nts (0,94%), Pts (0,0445%), Kts (0,097%), C/N (43,61), pH (5,85) và độ ẩm (27,41%).

Sau ủ 30 ngày, các chỉ tiêu đạt được như Bảng 3.10.

**Bảng 3.10.** Ảnh hưởng của các liều lượng chế phẩm đến chỉ tiêu lý hóa và khối lượng của vỏ keo ủ

Công thức	OC (%)	Nts (%)	P <sub>ts</sub> (%)	K <sub>ts</sub> (%)	C/N	pH	W (%)	Khối lượng (g)
CT1 (ĐC)	39,40 <sup>a</sup>	1,565 <sup>a</sup>	0,039 <sup>a</sup>	0,270 <sup>a</sup>	25,18 <sup>a</sup>	7,49 <sup>a</sup>	53,52 <sup>a</sup>	312 <sup>a</sup>
CT2	38,54 <sup>a</sup>	1,680 <sup>a</sup>	0,038 <sup>a</sup>	0,301 <sup>a</sup>	22,92 <sup>b</sup>	6,96 <sup>b</sup>	63,02 <sup>b</sup>	287 <sup>b</sup>
CT3	39,12 <sup>a</sup>	1,720 <sup>ab</sup>	0,038 <sup>a</sup>	0,261 <sup>b</sup>	22,74 <sup>b</sup>	6,84 <sup>c</sup>	59,11 <sup>c</sup>	265 <sup>c</sup>
CT4	38,51 <sup>a</sup>	1,907 <sup>b</sup>	0,043 <sup>a</sup>	0,340 <sup>c</sup>	20,2 <sup>c</sup>	6,75 <sup>c</sup>	59,43 <sup>c</sup>	245 <sup>d</sup>

Ghi chú: Trung bình trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê bằng phương pháp Turkey-Kramer test ở mức  $P < 0,05$ , ( $n=12$ )

Sau 30 ngày ủ, các chỉ tiêu hóa học của vỏ keo biến đổi rõ rệt dưới tác động của chế phẩm vi sinh. Hàm lượng OC giảm nhẹ (~6–7%), phản ánh quá trình khoáng hóa ban đầu; Nts tăng mạnh (0,94% lên 1,91%), làm tỷ lệ C/N giảm từ 43,61 xuống 20,2 ở CT4, đạt ngưỡng compost ổn định sinh học. Pts giảm nhẹ chủ yếu do rửa trôi, trong khi Kts tăng rõ, cho thấy giải phóng khoáng tích cực. pH duy trì trong khoảng tối ưu 6,75–7,49. Khối lượng giảm tới 32,5% ở CT4, chứng tỏ hiệu quả phân hủy cao. Chế phẩm 0,15% kết hợp rỉ mật 1% cho kết quả nổi bật nhất.

### 3.2.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ C/N ban đầu đến việc ủ vỏ cây keo thành phân hữu cơ trong điều kiện phòng thí nghiệm

Tỷ lệ C/N ban đầu của khối ủ ảnh hưởng đến một số chỉ tiêu lý hóa tính và khối lượng vỏ keo sau ủ 30 ngày được trình bày ở Bảng 3.11:

**Bảng 3.11.** Ảnh hưởng của các tỷ lệ C/N khác nhau ban đầu đến chỉ tiêu lý hóa và khối lượng của vỏ keo ủ

Công thức	OC (%)	Nts (%)	Pts (%)	K <sub>ts</sub> (%)	C/N	pH	W (%)	Khối lượng (g)
CT1 (ĐC)	40 <sup>a</sup>	2,027 <sup>a</sup>	0,038 <sup>a</sup>	0,298 <sup>a</sup>	20,9 <sup>a</sup>	6,63 <sup>a</sup>	62,64 <sup>a</sup>	239,1 <sup>a</sup>
CT2	38,57 <sup>b</sup>	2,091 <sup>ab</sup>	0,043 <sup>b</sup>	0,326 <sup>a</sup>	19,2 <sup>b</sup>	8,81 <sup>b</sup>	58,42 <sup>b</sup>	229,5 <sup>a</sup>
CT3	37,5 <sup>c</sup>	2,22 <sup>b</sup>	0,042 <sup>b</sup>	0,254 <sup>b</sup>	17,2 <sup>c</sup>	8,94 <sup>b</sup>	59,02 <sup>c</sup>	226 <sup>a</sup>

Ghi chú: \*Trung bình trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê bằng phương pháp Turkey-Kramer test ở mức  $P < 0,05$ , ( $n=9$ )

Thí nghiệm ủ vỏ keo 30 ngày với các tỷ lệ C/N khác nhau cho thấy C/N đầu vào là yếu tố then chốt quyết định hiệu quả khoáng hóa. Khi C/N giảm (CT2, CT3), OC giảm mạnh hơn, Nts tăng rõ, giúp hạ C/N sau ủ xuống 17,2 ở CT3, đạt mức compost ổn định sinh học. pH tăng vượt 8,5 do amoni hóa, cần kiểm soát để hạn chế mất N. Pts giảm nhẹ, Kts tăng rõ nhờ khoáng hóa mô thực vật. Độ ẩm được duy trì tối ưu (~60%), khối lượng giảm ~37% nhưng không khác biệt thống kê. CT3 cho chất lượng compost tốt nhất về dinh dưỡng và sự ổn định.

### 3.2.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ phân bò/vỏ keo ban đầu tới việc ủ vỏ cây keo thành phân hữu cơ

#### 3.2.3.1. Kết quả phân tích các chỉ tiêu lý hóa của các công thức ở thời điểm sau khi ủ 30 ngày

**Bảng 3.12.** Các chỉ tiêu lý hóa và khối lượng của nguyên liệu trước và sau khi ủ 30 ngày

Công thức	OM (%)	OC (%)	Nts (%)	Pts (%)	K <sub>ts</sub> (%)	C/N	pH	W (%)	Khối lượng (kg)
<i>Trước ủ</i>									
CT1 (ĐC)	52,7	44,8	0,97	0,08	0,07	20,0	8,04	56,6	1000
CT2	54,5	45,7	1,44	0,25	0,09	20,9	8,067	58,4	1000
CT3	55,7	46,0	1,76	0,36	0,11	21,99	8,085	59,6	1000
CT4	56,9	46,5	2,07	0,46	0,12	22,75	8,103	60,7	1000
<i>Sau ủ 30 ngày</i>									
CT1 (ĐC)	50,31 <sup>a</sup>	33,05 <sup>a</sup>	2,21 <sup>a</sup>	0,209 <sup>a</sup>	0,207 <sup>a</sup>	15,02 <sup>a</sup>	7,33 <sup>a</sup>	71,05 <sup>a</sup>	900 <sup>a</sup>
CT2	51,05 <sup>b</sup>	33,12 <sup>b</sup>	2,38 <sup>b</sup>	0,167 <sup>b</sup>	0,264 <sup>b</sup>	14,01 <sup>b</sup>	7,76 <sup>b</sup>	71,66 <sup>a</sup>	825 <sup>b</sup>
CT3	52,23 <sup>c</sup>	31,85 <sup>c</sup>	2,40 <sup>b</sup>	0,412 <sup>c</sup>	0,254 <sup>c</sup>	13,28 <sup>c</sup>	7,91 <sup>c</sup>	68,09 <sup>b</sup>	650 <sup>c</sup>
CT4	56,89 <sup>d</sup>	31,42 <sup>d</sup>	2,64 <sup>c</sup>	0,286 <sup>d</sup>	0,212 <sup>d</sup>	11,75 <sup>d</sup>	9,02 <sup>d</sup>	58,48 <sup>c</sup>	580 <sup>d</sup>

*Ghi chú:* Trung bình trong cùng một cột có chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê bằng phương pháp Turkey-Kramer test ở mức  $P < 0,05$ , ( $n=12$ ).

Sau 30 ngày ủ, các chỉ tiêu hóa học và vật lý của compost biến đổi rõ rệt theo tỷ lệ phối trộn. OM được duy trì cao (>50%), đặc biệt CT4 đạt 56,89%, cho thấy hiệu quả tích lũy hữu cơ tốt. OC giảm mạnh (từ 45–46% xuống 31–33%), phản ánh quá trình khoáng hóa tích cực. Nts tăng đáng kể ở tất cả công thức, cao nhất tại CT4 (2,64%) nhờ bổ sung phân bò giàu đạm. Pts đạt cao nhất ở CT3 (0,412%) nhờ pH trung tính và hoạt tính enzyme cao, trong khi CT4 bị kiềm ức chế khoáng hóa lân. Kts tăng ở tất cả công thức, nổi bật là CT2 (0,264%) do giữ ẩm và trao đổi ion tốt. C/N giảm rõ, CT4 đạt 11,75 đáp ứng chuẩn compost chín; CT3 gần đạt. pH tăng theo tỷ lệ phân bò, CT3 có pH tối ưu (7,91). Độ ẩm giảm dần, CT4 thấp nhất (58,48%), trong khi CT1–CT2 >70%. Khối lượng sau ủ giảm mạnh nhất ở CT4 (580 kg), phản ánh phân hủy hiệu quả. CT3 được xem là công thức cân bằng nhất giữa chất lượng và sản lượng.

### 3.2.3.2. Các chỉ tiêu kim loại nặng và vi sinh vật gây hại ở phân ủ sau 30 ngày

**Bảng 3.13.** Các chỉ tiêu kim loại nặng và vi sinh vật gây hại của nguyên liệu sau ủ 30 ngày

STT	Chỉ tiêu phân tích	Phương pháp phân tích	Công thức			
			CT 1(ĐC)	CT2	CT3	CT4
1	As (ppm)	TCVN 11403:2016	0,176	0,170	0,130	0,114
2	Cd (ppm)	TCVN 9291:2018	0,137	0,220	0,250	0,290
3	Pb (ppm)	TCVN 9290:2018	1,84	1,63	1,49	1,44
4	Hg	TCVN 7185:2002	KPH	<0,001	KPH	KPH
5	<i>Salmonella</i>	TCVN 6846:2007	KPH	KPH	KPH	KPH
6	<i>E. coli</i>	TCVN 6846:2007	KPH	KPH	KPH	KPH

Kết quả phân tích kim loại nặng và vi sinh vật gây hại cho thấy tất cả các công thức sau ủ đều đáp ứng QCVN 01-189:2019/BNNPTNT, an toàn cho nông nghiệp, kể cả hữu cơ. Hàm lượng As, Cd, Pb, Hg đều thấp hơn nhiều so với giới hạn cho phép; đặc biệt CT4 có giá trị thấp nhất, chứng tỏ tăng tỷ lệ phân bò không gây tích lũy kim loại. Ngược lại, lượng hữu cơ dễ phân hủy cao và C/N phù hợp đã thúc đẩy vi sinh vật hiếu khí hoạt động mạnh, góp phần ổn định kim loại qua tạo phức và tăng pH, giảm tính di động kim loại. Hg không phát hiện trong tất cả các mẫu, cho thấy nguyên liệu đầu vào sạch. Về sinh học, *Salmonella* và *E. coli* đều âm tính sau 30 ngày ủ, chứng minh quá trình ủ hiếu khí đạt hiệu quả tiêu diệt mầm bệnh. CT4 thể hiện mức an toàn cao nhất, phù hợp với các nghiên cứu về khả năng sinh nhiệt và khử mầm bệnh của compost giàu phân chuồng.

### 3.2.3.3. Đánh giá chất lượng phân hữu cơ ở các công thức so với quy chuẩn QCVN01-189-2019/BNNPTNT

**Bảng 3.14.** So sánh các chỉ tiêu chất lượng phân hữu cơ ở các công thức so với tiêu chuẩn QCVN01-189-2019/BNNPTNT

Chỉ tiêu chất lượng	Yêu cầu theo QCVN					Đánh giá so với QCVN
	01-189:2019/BNNPTNT	CT1	CT2	CT3	CT4	
(OM) (%)	≥20,0	50,31	51,05	52,23	56,89	Đạt tất cả công thức
Tỷ lệ C/N	≤12,0	15,02	14,01	13,28	11,75	CT4 đạt, CT1–CT3 chưa đạt hoàn toàn
Độ ẩm (%)	≤30,0	71,05	71,66	68,09	58,48	Chưa đạt (cần phơi hoặc kéo dài ủ)

Chỉ tiêu chất lượng	Yêu cầu theo QCVN					Đánh giá so với QCVN
	01-189:2019/ BNNPTNT	CT1	CT2	CT3	CT4	
pH	3,5 – 8,5	7,33	7,76	7,91	9,02	CT1–CT3 đạt, CT4 vượt ngưỡng tối đa (cần điều chỉnh)
<i>Salmonella</i> (CFU/g)	Không phát hiện	KPH	KPH	KPH	KPH	Đạt tất cả công thức
<i>E. coli</i> (MPN/g)	<1,1 x 10 <sup>3</sup>	KPH	KPH	KPH	KPH	Đạt tất cả công thức
Asen (ppm)	<10,0	0,176	0,170	0,130	0,114	Đạt tất cả công thức
Cadimi (ppm)	<5,0	0,137	0,220	0,250	0,290	Đạt tất cả công thức
Chì (ppm)	<200,0	1,84	1,63	1,49	1,44	Đạt tất cả công thức
Thủy ngân (ppm)	<2,0	KPH	<0,001	KPH	KPH	Đạt tất cả công thức

Hàm lượng hữu cơ (OM): Tất cả công thức vượt xa yêu cầu tối thiểu, chứng tỏ chất lượng cao. Tỷ lệ C/N: CT4 duy nhất đạt chuẩn chín hoàn toàn, các công thức khác cần kéo dài ủ thêm 10–15 ngày để giảm C/N. Độ ẩm: Toàn bộ công thức đều vượt ngưỡng 30%, cần phơi thêm hoặc kéo dài ủ để đảm bảo độ khô tiêu chuẩn. pH: CT4 vượt ngưỡng tối đa 8,5, cần xử lý hạ pH trước khi sử dụng. Kim loại nặng (As, Cd, Pb, Hg): Tất cả công thức đều rất thấp, an toàn tuyệt đối. Vi sinh vật gây bệnh: Không phát hiện *Salmonella* và *E. coli*, đảm bảo an toàn sinh học.

### 3.3. NGHIÊN CỨU HIỆU LỰC PHÂN BÓN HỮU CƠ SẢN XUẤT TỪ VỎ KEO

#### 3.3.1. Ảnh hưởng lượng phân bón hữu cơ từ vỏ keo đến sinh trưởng, năng suất, chất lượng cây cải ngọt và khả năng cải tạo đất

##### 3.3.1.1. Ảnh hưởng của phân hữu cơ từ vỏ keo đến một số chỉ tiêu sinh trưởng của cây cải ngọt

**Bảng 3.15.** Ảnh hưởng của phân hữu cơ từ vỏ keo đến một số chỉ tiêu sinh trưởng của cây cải ngọt

Phân hữu cơ (tấn/ha)	Chiều cao (cm)	Số lá (lá/cây)	Dài lá (cm)	Rộng lá (cm)	Đường kính tán (cm)	Tổng thời gian sinh trưởng (ngày)
0	22,0 <sup>b</sup>	11,4 <sup>b</sup>	13,1 <sup>b</sup>	9,4 <sup>b</sup>	26,1 <sup>c</sup>	41
5	25,3 <sup>ab</sup>	14,3 <sup>a</sup>	14,5 <sup>ab</sup>	10,9 <sup>ab</sup>	28,9 <sup>bc</sup>	40
10	25,7 <sup>ab</sup>	13,9 <sup>ab</sup>	14,3 <sup>ab</sup>	10,5 <sup>ab</sup>	31,0 <sup>ab</sup>	39
15	26,2 <sup>a</sup>	15,2 <sup>a</sup>	14,6 <sup>ab</sup>	11,1 <sup>ab</sup>	32,2 <sup>ab</sup>	38

20	27,3 <sup>a</sup>	14,9 <sup>a</sup>	15,6 <sup>a</sup>	11,9 <sup>a</sup>	33,6 <sup>a</sup>	38
<i>LSD</i> <sub>0,05</sub>	3,3	2,5	1,9	1,8	3,8	-

*Ghi chú: Các công thức giống nhau được biểu thị cùng một chữ cái; các chữ cái khác nhau biểu thị sự sai khác có ý nghĩa thống kê ở mức  $\alpha = 0,05$ .*

Phân hữu cơ từ vỏ keo có ảnh hưởng tích cực rõ rệt đến sinh trưởng của cây cải ngọt. Bón 15–20 tấn/ha giúp tăng chiều cao cây lên mức cao nhất (26,2–27,3 cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $P < 0,05$ ). Các chỉ tiêu lá (số lượng, chiều dài, chiều rộng, đường kính tán) đều tăng đáng kể khi tăng liều lượng phân, đạt cao nhất ở mức 20 tấn/ha, trong khi công thức đối chứng thấp hơn rõ rệt. Điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đây, cho thấy phân hữu cơ từ vỏ keo có C/N thấp, giàu hữu cơ, cải thiện cung cấp N, pH và EC, giúp tăng khả năng hấp thu dinh dưỡng, từ đó nâng cao sinh trưởng. Thời gian sinh trưởng của cây dao động 38–41 ngày, trong đó các công thức có bón phân giúp rút ngắn thời gian thu hoạch 1–3 ngày. Kết quả khẳng định phân hữu cơ từ vỏ keo là nguồn dinh dưỡng hiệu quả cho sản xuất cải ngọt, đặc biệt trong canh tác hữu cơ.

### 3.3.1.2. Ảnh hưởng của phân hữu cơ từ vỏ keo đến năng suất cây cải ngọt

**Bảng 3.16.** Ảnh hưởng của phân hữu cơ sản xuất từ vỏ keo đến khối lượng cây, năng suất của cây cải ngọt

Phân hữu cơ (tấn/ha)	Khối lượng (g/cây)		NSTT (tấn/ha)	NSTT tăng so với đối chứng (tấn/ha)
	Tươi	Khô		
0	47,30 <sup>b</sup>	4,8 <sup>c</sup>	15,5 <sup>c</sup>	-
5	70,21 <sup>ab</sup>	5,9 <sup>bc</sup>	22,9 <sup>b</sup>	7,4
10	77,80 <sup>ab</sup>	7,3 <sup>abc</sup>	23,5 <sup>b</sup>	8,0
15	82,40 <sup>a</sup>	8,5 <sup>ab</sup>	25,9 <sup>a</sup>	10,4
20	98,10 <sup>a</sup>	10,4 <sup>a</sup>	27,4 <sup>a</sup>	11,9
<i>LSD</i> <sub>0,05</sub>	31,8	0,22	2,4	-

*Ghi chú: Các công thức giống nhau được biểu thị cùng một chữ cái; các chữ cái khác nhau biểu thị sự sai khác có ý nghĩa thống kê ở mức  $\alpha = 0,05$ .*

Phân hữu cơ từ vỏ keo làm tăng đáng kể sinh khối và năng suất cải ngọt. Khối lượng cây tươi và khô dao động 47,1–98,1 g/cây và 4,8–10,4 g/cây, cao nhất ở liều 15–20 tấn/ha. Năng suất thực thu đạt 25,9–27,4 tấn/ha, vượt trội so với đối chứng (15,5 tấn/ha). Kết quả phù hợp với các nghiên cứu trước, cho thấy phân keo giàu nitơ và phospho, giúp phát triển rễ, tăng hấp thu dinh dưỡng, thúc đẩy tích lũy sinh khối và sinh trưởng. Điều này khẳng định hiệu quả của phân hữu cơ từ vỏ keo trong canh tác cải ngọt, đặc biệt đối với nông nghiệp hữu cơ.

### 3.3.1.3. Đánh giá chất lượng cây cải ngọt

**Bảng 3.17.** Phân tích một số chỉ tiêu trong thành phần của cây cải ngọt

Phân hữu cơ (tấn/ha)	Độ dòn (điểm)	Độ đắng (điểm)	Acid hữu cơ (%)	Vitamin C (%)	Hàm lượng nitrat (mg/l)
0	1	4	0,083	0,0205	< 10
5	2	5	0,083	0,0271	< 10
10	2	5	0,090	0,0337	< 10
15	2	5	0,145	0,0491	< 10
20	2	5	0,158	0,0506	< 10

Phân hữu cơ từ vỏ keo giúp cải ngọt giòn, ngọt hơn đối chứng, tăng hàm lượng axit hữu cơ (0,083–0,158%) và vitamin C (0,0205–0,0506%), cao nhất ở mức 20 tấn/ha. Hàm lượng nitrat <10 mg/l, đạt chuẩn an toàn theo quy định Việt Nam và quốc tế.

### 3.3.1.4. Ảnh hưởng của phân hữu cơ từ vỏ cây keo đến tính chất đất trồng cải ngọt

#### 3.3.1.4.1. Ảnh hưởng của phân hữu cơ từ vỏ keo đến một số chỉ tiêu lý hóa tính của đất trồng cải ngọt

**Bảng 3.18.** Ảnh hưởng của phân hữu cơ từ vỏ keo đến lý hóa tính đất trồng cải ngọt

Chỉ tiêu	Trước thí nghiệm	Sau thí nghiệm				
		0 tấn	5 tấn	10 tấn	15 tấn	20 tấn
Cát (%)	57,3	56,4	56,32	56,13	56,08	56,02
Limon (%)	19,8	19,9	23,12	23,23	23,45	23,32
Sét (%)	22,9	23,7	20,56	20,64	20,47	20,66
OC (%)	1,879	1,897	1,920	1,973	2,240	2,243
Nts (%)	0,121	0,126	0,129	0,138	0,143	0,145
Pts (%)	0,065	0,066	0,070	0,071	0,073	0,074
Kts (%)	0,168	0,178	0,188	0,202	0,209	0,215
CEC (cmol/kg)	1,187	1,190	1,267	1,330	1,310	1,443
EC ( $\mu$ S/cm)	18,049	18,067	20,797	21,583	22,167	23,533
pH <sub>KCl</sub>	4,97	5,00	5,06	5,08	5,14	5,27

Bón phân hữu cơ từ vỏ keo giúp cải thiện rõ rệt các tính chất đất. pH tăng 0,09–0,3 đơn vị, nhưng đất vẫn chua nhẹ nên cần bón vôi bổ sung. Hàm lượng OC tăng 1,897–2,273%, cao hơn đối chứng, nhờ cải tạo mùn đất. Hàm lượng đạm tổng số tăng, cao nhất ở mức 20 tấn/ha (0,145%). Lân tổng số tăng lên 0,066–0,074%, đạt mức trung bình, góp phần nâng độ phì. Kali tổng số vẫn nghèo nhưng tăng nhẹ 0,01–0,047%. Kết quả khẳng định hiệu quả cải tạo đất của phân hữu cơ từ vỏ keo, đặc biệt về hữu cơ, đạm và lân.

### 3.3.1.4.2. Ảnh hưởng của phân hữu cơ từ vỏ keo đến một số chỉ tiêu sinh học của đất trồng cải ngọt

**Bảng 3.19.** Số lượng vi sinh vật trong đất trước và sau thí nghiệm

Chỉ tiêu	Vi khuẩn tổng số (x 10 <sup>8</sup> CFU/ gam đất)	Vi khuẩn phân giải lân vô cơ (x 10 <sup>6</sup> CFU/gam đất)	Vi khuẩn cố định đạm tự do (x 10 <sup>6</sup> CFU/gam đất)
Trước thí nghiệm	14,15	9,12	13,03
0 tấn	21,06	11,73	16,74
Sau 5 tấn	43,85	33,04	47,53
thí 10 tấn	81,21	63,13	81,8
15 tấn	108,15	95,74	180,88
20 tấn	117,04	132,78	247,35

*Ghi chú: CFU (Colony Forming Unit): Đơn vị hình thành khuẩn lạc*

Bón phân hữu cơ từ vỏ keo giúp tăng mạnh vi sinh vật đất: vi khuẩn tổng số tăng 2,1–5,14 lần so với đối chứng; vi khuẩn phân giải lân và cố định đạm đều tăng rõ rệt sau thí nghiệm. Đất được bón phân giàu chất hữu cơ, N, P, K khả dụng và vi sinh vật có lợi, cải thiện tính chất lý – hóa – sinh học. Kết quả cho thấy bón 15–20 tấn/ha là liều lượng tối ưu, giúp cải ngọt sinh trưởng và đạt năng suất cao nhất. Tuy nhiên lượng bón 15 tấn/ha là có lợi ích nhất về hiệu quả kinh tế. Phân hữu cơ từ vỏ keo là nguồn dinh dưỡng bền vững, phù hợp cho canh tác cải ngọt hữu cơ.

### 3.3.2. Xây dựng mô hình ứng dụng phân hữu cơ từ vỏ keo trong canh tác cây cải ngọt

Công thức thí nghiệm tối ưu được lựa chọn để xây dựng mô hình sản xuất cây cải ngọt là bón 15 tấn/ha phân hữu cơ từ vỏ keo, đồng thời so sánh với mô hình sản xuất hữu cơ của nông dân sử dụng 1 tấn bánh dầu/ha nhằm đánh giá hiệu quả sinh trưởng và kinh tế.

#### 3.3.2.1. Một số chỉ tiêu sinh trưởng, phát triển của mô hình sản xuất cây cải ngọt

**Bảng 3.20.** Các chỉ tiêu sinh trưởng, phát triển của mô hình sản xuất cây cải ngọt

Mô hình	Chiều cao (cm)	Số lá (lá/cây)	Dài lá (cm)	Rộng lá (cm)	Đường kính tán (cm)	Tổng thời gian sinh trưởng (ngày)
Bánh dầu	22,4 <sup>b</sup>	12,4 <sup>b</sup>	14,1 <sup>b</sup>	10,4 <sup>b</sup>	26,9 <sup>b</sup>	40
HC-KEO	29,6 <sup>a</sup>	14,1 <sup>a</sup>	19,3 <sup>a</sup>	13,1 <sup>a</sup>	31,1 <sup>a</sup>	38
<i>P</i>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-

*Ghi chú: Các trung bình có chữ cái khác nhau trên cùng một cột chỉ sự sai khác có ý nghĩa thống kê bằng so sánh t-Test ở mức P.*

Bón 15 tấn/ha phân hữu cơ từ vỏ keo giúp cải ngọt tăng chiều cao, số lá, kích thước lá và tán lần lượt 7,2 cm; 1,7 lá; 5,2 cm; 2,7 cm; 4,2 cm so với bánh dầu, rút ngắn sinh trưởng 2 ngày, phù hợp kết quả Brito et al. (2017) và Mechergui et al. (2023).

### 3.3.2.2. Năng suất ở mô hình sản xuất cây cải ngọt

**Bảng 3.21.** Khối lượng cây và năng suất của cây cải ngọt ở mô hình

Mô hình	Khối lượng tươi (g/cây)	Khối lượng ăn được (g/cây)	Khối lượng khô (g/cây)	NSTT (tấn/ha)	NSTT so với đối chứng (tấn/ha)
Bánh dầu	59,1 <sup>b</sup>	50,5 <sup>b</sup>	5,1 <sup>b</sup>	18,2 <sup>b</sup>	-
HC-KEO	126,4 <sup>a</sup>	111,7 <sup>a</sup>	9,9 <sup>a</sup>	26,8 <sup>a</sup>	8,6
<i>P</i>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-

*Ghi chú:* Các trung bình có chữ cái khác nhau trên cùng một cột chỉ sự sai khác có ý nghĩa thống kê bằng so sánh *t*-Test ở mức *P*.

Bón 15 tấn/ha phân hữu cơ từ vỏ keo giúp cải ngọt tăng trọng lượng tươi, khô, ăn được gấp 2,1; 2,2; 1,9 lần so với đối chứng, năng suất cao hơn mô hình bánh dầu 8,6 tấn/ha. Kết quả phù hợp Musara & Chitamba (2015) với phân lá keo tăng năng suất cải dầu.

### 3.3.2.3. Đánh giá chất lượng cây cải ngọt ở mô hình

**Bảng 3.22.** Chất lượng cây cải ngọt ở mô hình

Mô hình	Độ giòn (điểm)	Độ đắng (điểm)	Acid hữu cơ (%)	Vitamin C (%)	Hàm lượng nitrat (mg/l)
Bánh dầu	1	4	0,096	0,034	< 10
HC-KEO	1	5	0,161	0,058	< 10

Việc sử dụng phân bón hữu cơ từ vỏ cây keo có ảnh hưởng đến độ đắng, hàm lượng vitamin C, hàm lượng axit hữu cơ nhưng không ảnh hưởng đến độ giòn trong cây cải ngọt và hàm lượng nitrat không vượt quá ngưỡng cho phép. Trong đó, ở cả hai mô hình cây cải đều có độ giòn là 1 điểm. Cây cải ở mô hình HC-KEO (điểm 5) có độ ngọt hơn so với mô hình Bánh dầu (điểm 4).

### 3.3.2.4. Đánh giá chất lượng đất ở mô hình

#### \* Đánh giá lý hóa tính đất trước và sau thí nghiệm của các mô hình

**Bảng 3.23.** Kết quả phân tích lý hóa tính đất ở mô hình sản xuất cây cải ngọt

Mô hình	pH <sub>KCl</sub>	OM (%)	CEC (Cmol/kg)	EC (mS/cm)	N (%)	Pts (%)	Kts (%)
Đất trước thí nghiệm	5,15	1,85	4,93	0,61	0,112	0,046	0,104
Đất sau thí nghiệm							
Bánh dầu	5,22	1,94	5,01	0,69	0,112	0,066	0,118
HC-KEO	5,57	2,31	5,39	0,75	0,130	0,072	0,119

Bón 15 tấn/ha phân hữu cơ từ vỏ keo giúp nâng pH đất từ 5,15 lên 5,57 và tăng hàm lượng hữu cơ, đạm, lân, kali so với trước thí nghiệm. Các chỉ tiêu đất ở mô hình HC-KEO cao hơn mô hình bánh dầu, phù hợp với Barky và cs. (2013).

**\* Đánh giá chỉ tiêu sinh học của đất trước và sau thí nghiệm**

**Bảng 3.24.** Số lượng vi sinh vật trong đất trước và sau thí nghiệm ở mô hình

Mô hình	Vi khuẩn tổng số (x 10 <sup>8</sup> CFU/ gam đất)	Vi khuẩn phân giải lân vô cơ (x 10 <sup>6</sup> CFU/gam đất)	Vi khuẩn cố định đạm tự do (x 10 <sup>6</sup> CFU/gam đất)
Trước thí nghiệm	13,26	8,37	14,01
Sau thí nghiệm			
Bánh dầu	54,72	36,15	67,93
HC-KEO	105,15	102,78	197,48

*Ghi chú: CFU (Colony Forming Unit): Đơn vị hình thành khuẩn lạc*

Bón 15 tấn/ha phân hữu cơ từ vỏ keo cho cây cải ngọt đã làm gia tăng đáng kể mật độ các nhóm vi sinh vật trong đất như vi khuẩn tổng số, vi khuẩn phân giải lân và vi khuẩn cố định đạm, góp phần cải thiện hệ vi sinh vật đất. Nhờ hàm lượng dinh dưỡng cao, phân hữu cơ từ vỏ keo tạo môi trường thuận lợi cho vi sinh vật và sinh vật có ích như giun đất phát triển, giúp đất tơi xốp, thoáng khí, tăng khả năng phân giải và huy động dinh dưỡng. Kết quả là tính chất lý, hóa học và sinh học của đất cát ven biển Vinh Lộc được cải thiện rõ rệt, tiến tới cân bằng và bền vững.

**3.3.2.5. Hiệu quả kinh tế của mô hình sản xuất cây cải ngọt**

**Bảng 3.25.** Hiệu quả kinh tế của mô hình sản xuất lúa cây cải ngọt

Mô hình	Tổng thu* (Triệu đồng/ha)	Tổng chi** (Triệu đồng/ha)	Lãi ròng (Triệu đồng/ha)	Lãi tăng/giảm (Triệu đồng/ha)	Tỷ suất lợi ích-chi phí (BCR)
Bánh dầu	63,700	33,319	39,481	-	1,9
HC-KEO	107,200	43,867	68,833	29,352	2,4

*Ghi chú: \* Tổng thu = năng suất thực thu x giá bán tại thời điểm thu hoạch (35.000 - 40.000 đồng/kg); \*\* Tổng chi: Giống, phân bón, công lao động, điện, nước, chi phí khác.*

Kết quả tính toán cho thấy mô hình HC-KEO có tổng thu 107,200 triệu đồng/ha, cao hơn mô hình đối chứng 43,500 triệu đồng/ha, với tỷ suất lợi nhuận tăng 0,5. Chi phí đầu tư giữa mô hình Bánh dầu và HC-KEO chênh lệch không lớn (10,549 triệu đồng/ha), nhưng lợi nhuận tăng 29,352 triệu đồng/ha. Hệ số BCR đạt 2,4, chứng tỏ mô hình bón 15 tấn/ha phân hữu cơ từ vỏ keo mang lại hiệu quả kinh tế hấp dẫn và khả thi cho người sản xuất.

## Chương 5: LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 5.1. KẾT LUẬN

(1) Tuyển chọn chế phẩm sinh học phân hủy vỏ keo: Nghiên cứu đã xác định được chế phẩm Emic là chế phẩm sinh học hiệu quả nhất trong quá trình phân hủy vỏ keo, với khả năng phân giải lignin và cellulose cao, đồng thời cải thiện đáng kể các chỉ tiêu hóa học và sinh học của nguyên liệu sau 30 ngày ủ.

(2) Nghiên cứu một số biện pháp ủ vỏ keo thành phân hữu cơ: Nghiên cứu đã xác định được công thức ủ vỏ keo thành phân hữu cơ đạt chất lượng compost tối ưu: Phối trộn vỏ keo và phân bò ở tỷ lệ 3:7, bổ sung 1,5 kg chế phẩm Emic/tấn nguyên liệu (0,15%) và 1% rỉ mật/khối lượng nguyên liệu, C/N ban đầu của vỏ keo là 20. Sau 30 ngày ủ, sản phẩm ủ đáp ứng QCVN 01-189:2019/BNNPTNT với tỷ lệ  $C/N \leq 12$ , hàm lượng chất hữu cơ và nitơ tổng số cao, pH trung tính – hơi kiềm, không phát hiện vi sinh vật gây bệnh, đảm bảo an toàn sinh học và phù hợp cho nông nghiệp hữu cơ.

(3) Hiệu lực phân hữu cơ từ vỏ keo: Phân hữu cơ được sản xuất từ công thức tối ưu đã giúp cải thiện đáng kể độ phì và tính chất đất cát: tăng hàm lượng chất hữu cơ, đạm, lân, kali; nâng pH đất từ 5,15 lên 5,57; đồng thời thúc đẩy sự phát triển hệ vi sinh vật có ích (vi khuẩn tổng số, vi khuẩn phân giải lân, vi khuẩn cố định nitơ). Khi bón 15 tấn/ha cho cây cải ngọt, năng suất tăng gấp 1,47 lần so với phương pháp sử dụng bánh dầu của nông dân, chất lượng nông sản cải thiện (giảm nitrat, tăng độ ngọt) và hiệu quả kinh tế nâng cao (lợi nhuận tăng 29,352 triệu đồng/ha, BCR đạt 2,4).

Như vậy, công thức ủ vỏ keo thành phân hữu cơ: tỷ lệ vỏ keo/phân bò (3:7), bổ sung 1,5 kg chế phẩm Emic/tấn nguyên liệu (0,15% w/w) và 1% rỉ mật/khối lượng nguyên liệu (w/w), với C/N ban đầu 20, đã cho chất lượng phân hữu cơ đáp ứng quy chuẩn QCVN 01-189:2019/BNNPTNT, rút ngắn thời gian ủ xuống 30 ngày, đảm bảo an toàn sinh học, cải thiện độ phì đất và đem lại hiệu quả kinh tế, kỹ thuật cao.

### 5.2. KIẾN NGHỊ

Kết quả nghiên cứu cho thấy công thức ủ vỏ keo thành phân hữu cơ nêu trên đạt được quy chuẩn QCVN 01-189:2019/BNNPTNT trong thời gian 30 ngày có thể áp dụng vào thực tiễn sản xuất phân hữu cơ quy mô nông hộ, trang trại và xưởng sản xuất phân bón hữu cơ. Để nâng cao hiệu quả và mở rộng ứng dụng, cần tập trung vào một số hướng nghiên cứu tiếp theo sau:

(1) Nghiên cứu các biện pháp điều chỉnh pH trong quá trình ủ nhằm hạn chế thất thoát nitơ và ổn định chất lượng compost.

(2) Đánh giá hiệu quả sử dụng phân hữu cơ từ vỏ keo trên nhiều loại đất và cây trồng khác nhau để hoàn thiện quy trình khuyến cáo.

(3) Hoàn thiện công nghệ ủ quy mô lớn, tích hợp cơ giới hóa và quản lý môi trường nhằm tăng tính khả thi khi áp dụng vào sản xuất thương mại.

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

STT	Tên bài báo	Tạp chí	Tên tác giả	Ghi chú
1	Khả năng phân hủy vỏ cây keo ( <i>Acacia</i> ) của một số chế phẩm sinh học	Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn pISSN: 2588-1191; eISSN: 2615-9708 Tập 132, Số 3D, 2023, Tr. 177–188, DOI: 10.26459/hueunijard.v132i3D.7254	Nguyễn Hoàng Linh, Trần Đăng Hòa, Trần Thị Xuân Phương	
2	Đánh giá hiệu quả phân hủy vỏ cây keo ( <i>Acacia</i> ) của một số chế phẩm sinh học trong điều kiện tự nhiên	Tạp chí khoa học và công nghệ nông nghiệp. ISSN 2588-1256 Tập 8(2)-2024: 4225-4231	Nguyễn Hoàng Linh, Trần Thị Xuân Phương	
3	Effect of the application of composted bark of <i>Acacia</i> on growth and yield of leaf mustard ( <i>Brassica integrifolia</i> ) under organic cultivation	Research on Crops 26 (2): 319-324 (2025) Printed in India ISSN: 0972-3226; eISSN: 2348-7542 DOI: 10.31830/2348-7542.2025.ROC-1185	H. L. NGUYEN, T. X. P. TRAN, D. K. TRAN, V. S. HOANG AND D. H. TRAN	

**HUE UNIVERSITY  
UNIVERSITY OF AGRICULTURE AND FORESTRY**

**NGUYEN HOANG LINH**

**RESEARCH ON THE PRODUCTION OF ORGANIC FERTILIZER  
FROM ACACIA (*Acacia mangium*) BARK AND ITS APPLICATION  
IN SWEET MUSTARD (*Brassica integrifolia*) CULTIVATION**

**ABSTRACT OF THE DOCTORAL DISSERTATION  
IN CROP SCIENCE**

**HUE – 2025**

**HUE UNIVERSITY  
UNIVERSITY OF AGRICULTURE AND FORESTRY**

**NGUYEN HOANG LINH**

**RESEARCH ON THE PRODUCTION OF ORGANIC FERTILIZER  
FROM ACACIA (*Acacia mangium*) BARK AND ITS APPLICATION  
IN SWEET MUSTARD (*Brassica integrifolia*) CULTIVATION**

**ABSTRACT OF THE DOCTORAL DISSERTATION  
IN CROP SCIENCE**

**Major:** Crop Science

**Code:** 9620110

**SCIENTIFIC SUPERVISORS:**

- 1. Prof. Dr. Tran Dang Hoa**
- 2. Assoc. Prof. Dr. Tran Thi Xuan Phuong**

**HUE – 2025**

## **I. INTRODUCTION**

### **1. Rationale of the study**

In the current context, agriculture is facing major challenges related to soil degradation, environmental pollution, and the shortage of high-quality organic fertilizers. According to FAO (2021), approximately one-third of the world's land area has been degraded as a result of excessive chemical fertilizer use and unsustainable farming practices. In Viet Nam, this problem is manifested by a decline in soil organic matter and fertility, particularly in intensive cropping systems. Therefore, the incorporation of organic materials and the partial replacement of chemical fertilizers with organic fertilizers have become an urgent requirement to restore soil health and promote sustainable agricultural production.

Viet Nam possesses substantial potential in agricultural and forestry by-products, particularly acacia bark, which is generated in large quantities but remains underutilized. With more than 2.35 million hectares of acacia plantations and an annual timber output of approximately 47 million m<sup>3</sup>, the amount of acacia bark generated is estimated at around 1.7 million tons per year, most of which is discarded. Acacia bark is rich in lignin and cellulose and thus represents a promising raw material for organic fertilizer production if appropriately processed. However, its high C/N ratio and resistance to decomposition require suitable biological solutions to shorten composting time and improve compost quality.

Sweet mustard (*Brassica integrifolia*) is a short-cycle leafy vegetable with high economic value, yet its cultivation remains heavily dependent on chemical fertilizers, leading to environmental pollution and nitrate accumulation in edible tissues. The use of high-quality organic fertilizers is expected to enhance crop productivity, improve vegetable quality, and increase soil fertility, while supporting the development of organic agriculture.

Given that acacia bark is an abundant forestry by-product that remains underutilized, the implementation of the study entitled "*Production of organic fertilizer from acacia bark (Acacia mangium) and its application in sweet mustard cultivation*" is of significant importance. This study seeks to evaluate the feasibility and nutritional efficacy of the resulting organic fertilizer, while simultaneously contributing to the reduction of production costs, the optimization of the forestry by-product value chain, and the promotion of a circular economy approach toward sustainable agricultural development in Vietnam

## **2. RESEARCH OBJECTIVES**

### **2.1. General objective**

To establish a scientific basis and develop optimal technical solutions for producing organic fertilizer from *Acacia mangium* bark residues; concurrently, to comprehensively evaluate the product's performance in terms of growth, yield, and quality of Sweet mustard (*Brassica integrifolia*), as well as soil health under cultivation

conditions in Vietnam, thereby laying the groundwork for the effective transformation of forestry biomass into a sustainable agricultural input.

## 2.2. Specific objectives

- **Selection of biological agents for acacia bark decomposition:** To identify microbial groups or enzymes with strong capabilities for degrading recalcitrant organic compounds (lignin and cellulose) present in acacia bark.

- **Optimization of the production process and evaluation of product quality:** To determine the optimal formulation of raw materials (acacia bark, cattle manure, and additives) and appropriate composting conditions to shorten the decomposition period; concurrently, to assess changes in the physical, chemical, and biological parameters of the product to ensure compliance with the quality standards specified in QCVN 01-189:2019/BNNPTNT.

- **Evaluation of the effectiveness of acacia bark–based organic fertilizer on sweet mustard and soil environment:** To analyze the effects of acacia bark–derived organic fertilizer on growth performance, yield, and marketable quality of sweet mustard (*Brassica integrifolia*), as well as on the dynamics of soil fertility in cultivated soils in Hue City.

## 3. SCIENTIFIC AND PRACTICAL SIGNIFICANCE

### 3.1. Scientific significance

This dissertation contributes to systematizing the theoretical framework for converting forestry biomass rich in recalcitrant organic compounds (lignin and cellulose) into bioavailable nutrient sources through targeted biological approaches. The findings elucidate the potential to accelerate the mineralization of high C/N materials, shortening the composting cycle to 30 days—a substantial advancement over natural decomposition processes—while establishing optimal parameters to achieve a biologically stable C/N ratio ( $\leq 12$ ).

Furthermore, the study provides important experimental evidence on crop responses and soil dynamics following the application of acacia bark–based organic fertilizer. These data not only confirm its potential to substitute for or complement chemical fertilizers in short-cycle vegetable cultivation, but also contribute a novel scientific data framework to support the development of circular agriculture strategies and sustainable soil health management in tropical ecosystems.

### 3.2. Practical significance

This study provides an integrated and feasible technical solution for the effective treatment of acacia bark residues, converting surplus biomass into high-quality organic fertilizer within a short period. The production process, based on an optimized and flexible formulation, is readily transferable and applicable across different scales, ranging from smallholder farms to industrial production facilities, thereby maximizing the use of locally available resources and minimizing environmental pollution associated with forestry waste.

The application of the product in sweet mustard cultivation not only demonstrates its effectiveness in improving crop yield and product quality in compliance with food safety standards, but also enables farmers to optimize input costs by reducing dependence on chemical fertilizers. The outcomes of this dissertation thus serve as an important foundation for the implementation of circular agriculture models, contributing to increased value along the forestry–agriculture production chain and promoting the sustainable development of organic agriculture in Vietnam.

## **4. SCOPE OF THE STUDY**

### **4.1. Temporal scope**

The study was conducted from January 2022 to June 2024, specifically as follows:

(1) **Content 1:** Selection of biological inoculants capable of efficiently decomposing acacia bark in order to identify the most effective commercial product. This phase was conducted from February to September 2022.

(2) **Content 2:** Investigation of composting strategies for converting acacia bark into organic fertilizer using the selected biological inoculant, aiming to shorten composting time, reduce the C/N ratio, and improve compost quality. This phase was carried out from March to October 2023.

(3) **Content 3:** Evaluation of the effectiveness of organic fertilizer produced from acacia bark on pak choi cultivation based on growth parameters, yield, and product quality, in order to assess its potential as a substitute input for sustainable cultivation. This phase was conducted from November 2023 to June 2024.

### **4.2. Spatial scope**

Experiments on microbial inoculant selection and composting of acacia bark were conducted at the laboratory of the Northern Mountainous Agriculture and Forestry Science and Technology Institute and at covered composting facilities in Phu Tho Province.

Pak choi cultivation experiments were carried out on coastal sandy alluvial soils in Vinh Loc Commune, Hue City, an area characterized by a typical humid tropical climate and representative of short-cycle vegetable production systems. Laboratory analyses were performed at the Faculty of Agronomy, University of Agriculture and Forestry, Hue University.

### **4.3. Content scope**

This study is confined to the following key aspects.

**In terms of production technology**, the research focuses on evaluating the biological degradation potential of recalcitrant organic compounds in acacia bark (*Acacia mangium*) through the selection of specific microbial inoculants. Emphasis is placed on optimizing technical parameters, including raw material mixing ratios and molasses supplementation, in order to accelerate the mineralization process and enhance the nutrient content of the resulting compost.

**In terms of experimental subjects and study area**, the performance of the product is experimentally assessed on sweet mustard (*Brassica integrifolia*), which is representative of short-cycle leafy vegetables with high nutrient demand. Growth parameters, actual yield, and marketable quality indicators (biological safety and nutritional value) are evaluated under the characteristic ecological conditions of Hue City.

## **5. NOVEL CONTRIBUTIONS OF THE DISSERTATION**

**(1) Advancement in accelerated biodegradation of forestry residues:** This dissertation establishes an optimized composting formulation consisting of 30% acacia bark, 70% cattle manure, 0.15% EMIC, and 1% molasses, effectively addressing the structural recalcitrance of lignin in acacia bark. The principal advancement lies in shortening the decomposition period to 30 days—approximately one third of the duration required by conventional composting approaches—while achieving a biologically stable C/N ratio ( $\leq 12$ ) and a high organic matter content (56.9%). The resulting product fully satisfies the biosafety and quality requirements stipulated in QCVN 01-189:2019/BNNPTNT.

**(2) Determination of optimal application rates for organic vegetable production:** The study identifies an optimal application rate of acacia bark-based organic fertilizer at  $15 \text{ t ha}^{-1}$ , leading to significant improvements in both yield and marketable quality of sweet mustard relative to commonly applied organic fertilizers. These results provide robust experimental evidence that acacia bark functions not merely as a bulking material, but as a viable primary feedstock capable of fully substituting chemical fertilizers in short-cycle vegetable cultivation, thereby concurrently supporting economic efficiency and environmental sustainability.

## **Chapter 1: OVERVIEW OF THE RESEARCH PROBLEM**

### **1.1. Theoretical background of the research problem**

#### *1.1.1. Overview of organic fertilizers*

1.1.1.1. History and concept of organic fertilizers

1.1.1.2. Roles of organic fertilizers

#### *1.1.2. Overview of compost*

1.1.2.1. Concept of compost and scientific basis

1.1.2.2. Role of compost in agricultural production

1.1.2.3. Raw materials for compost production

1.1.2.4. Composting technologies

### **1.2. Practical background of the research problem**

#### *1.2.1. Status of production, consumption, and use of organic fertilizers worldwide and in Viet Nam*

1.2.1.1. Production, consumption, and use of organic fertilizers worldwide

1.2.1.2. Production, consumption, and use of organic fertilizers in Viet Nam

1.2.1.3. Production, consumption, and use of organic fertilizers in Hue City

#### *1.2.2. Research findings related to the research problem*

1.2.2.1. Research findings on the application of compost in pak choi cultivation

1.2.2.2. Studies on organic fertilizer production from plant-based by-products

1.2.2.3. Studies on organic fertilizer production from acacia bark and its application in agricultural production worldwide and in Viet Nam

## Chapter 2: MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Research materials

- **Acacia bark:** Dried acacia bark (*Acacia mangium*) was collected from wood debarking facilities, ground into particles of 1–3 cm in size, with a bulk density of 250 kg m<sup>-3</sup> and moisture content of 25–40%, and used as the primary research material.

- **Biological inoculants:** EMIC, EM\*1, Sagibio, AT-YTB, and EMUNIV commercial microbial products.

- **Test crop:** Sweet mustard (*Brassica integrifolia*).

### 2.2. Research contents

#### Content 1. Selection of biological agents capable of effectively decomposing acacia bark for organic fertilizer production

- To evaluate the acacia bark decomposition efficiency of various biological agents under laboratory conditions.

- To assess the decomposition performance of selected biological agents under natural (field) conditions.

#### Content 2. Investigation of composting strategies for converting acacia bark into organic fertilizer using selected biological agents

- To examine the effects of optimal dosages of biological agents on the composting of acacia bark into organic fertilizer.

- To investigate the influence of initial C/N ratios on the composting efficiency of acacia bark.

- To evaluate the effects of initial cattle manure-to-acacia bark ratios on the composting process and product quality.

#### Content 3. Evaluation of the effectiveness of acacia bark-based organic fertilizer on the growth, yield, and quality of sweet mustard and selected soil properties

- To assess the effects of acacia bark-derived organic fertilizer on the growth performance, yield, product quality of sweet mustard (*Brassica integrifolia*), and selected properties of coastal sandy soils.

- To develop and evaluate an application model of acacia bark-based organic fertilizer for sweet mustard cultivation.

### 2.3. Research methods

#### 2.3.1. Selection of biological inoculants for acacia bark decomposition

Five biological inoculants were evaluated under laboratory conditions using a completely randomized design (CRD) with six treatments and three replications. One kilogram of acacia bark was composted in polyethylene containers at 45 °C for 30 days, with moisture adjusted to 60% and inoculant application at 1 g kg<sup>-1</sup>. Parameters monitored included C/N ratio, pH, organic matter (OM), lignin, cellulose, hemicellulose, soluble substances, mass, moisture content, and temperature at four

sampling times. Analyses were conducted according to TCVN and TAPPI standards at the Northern Mountainous Agriculture and Forestry Science and Technology Institute.

#### *2.3.1.2. Experiment 2: Field selection of biological inoculants*

Based on Experiment 1, EMIC and Sagibio were selected for field evaluation. The experiment was arranged in a CRD with three treatments and three replications. Each treatment consisted of 100 kg of acacia bark per 1 m<sup>3</sup> jumbo bag, with moisture adjusted to 50%. Turning was conducted on days 7 and 20. Samples were collected according to TCVN 9486:2018. Parameters including C/N ratio, pH, moisture, organic carbon (OC), total N, total P, total K, and mass were monitored on days 10, 20, and 30. Analyses followed TCVN standards, and compost pile mass was recorded.

#### **2.3.2. Composting strategies for converting acacia bark into organic fertilizer**

Based on the results of inoculant selection, the most effective biological inoculant was used for subsequent experiments.

##### *2.3.2.1. Experiment 3: Determination of optimal inoculant dosage*

This laboratory experiment (45 °C) aimed to determine the optimal EMIC inoculant rate. Four treatments were arranged: control and three inoculant rates (0.5, 1.0, and 1.5 kg t<sup>-1</sup> acacia bark), with moisture adjusted to 60% and 1% molasses added. Samples (200 g dry bark) were composted in PE containers. OC, C/N ratio, pH, total N, total P, total K, moisture, and mass were measured before and after 30 days.

##### *2.3.2.2. Experiment 4: Determination of optimal initial C/N ratio*

This laboratory experiment (45 °C) evaluated three initial C/N ratios: control (43.1), 25, and 20, arranged in a randomized complete design (RCD) with three replications. Samples (200 g) were adjusted to 60% moisture, supplemented with 0.15% inoculant and 1% molasses. Parameters monitored included OM, C/N ratio, pH, moisture, total N, P, K, and mass before and after 30 days.

##### *2.3.2.3. Experiment 5: Determination of optimal cattle manure/acacia bark ratio*

A field experiment was conducted using a CRD with four treatments and three replications. Compost piles (1 t each) were prepared with cattle manure/acacia bark ratios of 100:0, 70:30, 50:50, and 30:70, ensuring an initial C/N ratio around 20. The inoculant rate was 1.5 kg t<sup>-1</sup>, with 1% molasses added. Compost piles were covered and turned on days 7, 15, and 20. Parameters monitored included C/N ratio, pH, moisture, temperature, OM, total N, P, K, mass, heavy metals, and pathogenic microorganisms.

#### **2.3.3. Evaluation of acacia bark–based organic fertilizer on pak choi and soil properties**

##### *2.3.3.1. Experiment 6: Determination of optimal organic fertilizer rate*

Based on prior results, compost was produced using 3 t acacia bark + 7 t cattle manure, 1.5 kg inoculant t<sup>-1</sup>, initial C/N ratio of 20, 1% molasses, and turning on days 5, 10, and 15. A total of 10 t compost was produced and evaluated on coastal sandy soils in Vinh Loc Commune, Hue City.

The field experiment was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with five treatments and three replications: control (traditional practice), 5, 10, 15, and 20 t ha<sup>-1</sup>. Each plot was 20 m<sup>2</sup>, totaling 15 plots (300 m<sup>2</sup>). Growth, yield, and quality parameters were assessed following Vietnamese Standard 10 TCN 216-2003. Ten plants per plot were sampled.

Soil samples (0–20 cm) were collected before fertilization and at harvest following TCVN 367:1999. Chemical properties analyzed included pH, OM, EC, CEC, total N, P, and K. Biological properties (total microorganisms, N-fixing bacteria, P-solubilizing bacteria) were analyzed at 0–30 cm depth.

#### *2.3.3.2. Demonstration model*

Based on Experiment 6, the optimal rate of 15 t ha<sup>-1</sup> was applied in a large-scale demonstration model. The model was established without replication, with control comparison, at a scale of 500 m<sup>2</sup> per treatment during the spring–summer season of 2024 (March–May). Growth, yield, soil properties, and economic efficiency were evaluated.

Economic efficiency was calculated as:

- Net profit = Total revenue – Total cost
- Total revenue = Marketable yield × product price
- Total cost = Seeds + fertilizers + pesticides + labor
- **BCR (Value–Cost Ratio) = Total benefit / Total cost**

#### **2.3.4. Data analysis**

Data were analyzed using one-way ANOVA, followed by Tukey–Kramer test at  $p < 0.01$  using Excel 2016 and Statistix 10.0 software. Percentage data were arcsine square-root transformed prior to statistical analysis.

## Chapter 3: RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Selection of biological inoculants for effective acacia bark decomposition

#### 3.1.1. Evaluation of acacia bark decomposition by biological inoculants under laboratory conditions

##### 3.1.1.1. Physicochemical composition of acacia bark

Prior to composting, the physicochemical properties of acacia bark were analyzed. The results showed that the material contained 30.95% cellulose, 23.8% lignin, 48.06% organic carbon (OC), 1.12% total nitrogen (N), 0.091% total phosphorus (P), 0.252% total potassium (K), with a C/N ratio of 42.54. The contents of hot-water-soluble and alcohol-soluble substances were 15.37% and 16.6%, respectively. The initial pH was 6.46 and moisture content was 40%.

These results indicate that acacia bark is characterized by high lignin, cellulose, and organic carbon contents, while total N, P, and K levels are relatively low, which is typical of plant-derived materials. The near-neutral pH and moderate moisture content suggest that acacia bark is suitable for composting after being supplemented with nitrogen-rich materials.

##### 3.1.1.2. Lignin degradation by biological inoculants

**Table 3.1. Effect of biological inoculants on lignin content of acacia bark during composting**

Treatments	Content of lignin (%)		
	Day 10	Day 20	Day 30
CT1 (CK)	20,5 <sup>a</sup>	18,9 <sup>a</sup>	16,0 <sup>a</sup>
CT2	19,8 <sup>a</sup>	18,4 <sup>a</sup>	15,2 <sup>ab</sup>
CT3	20,4 <sup>a</sup>	18,8 <sup>a</sup>	15,2 <sup>ab</sup>
CT4	19,9 <sup>a</sup>	17,9 <sup>a</sup>	13,8 <sup>b</sup>
CT5	19,5 <sup>a</sup>	17,2 <sup>a</sup>	14,6 <sup>ab</sup>
CT6	20,5 <sup>a</sup>	17,6 <sup>a</sup>	15,9 <sup>a</sup>

**Note:** Means within the same column followed by different letters indicate statistically significant differences according to the Tukey–Kramer test at  $P < 0.01$  ( $n = 18$ ).

The initial lignin content of acacia bark was 23.8% and gradually decreased during the composting process across all treatments. After 30 days, Treatment 4 (Emic inoculant) exhibited a significantly lower lignin content than the control by 2.2% ( $P < 0.01$ ), corresponding to an overall lignin reduction of 7.8–10%.

These results are consistent with the findings of Djarwanto and Tachibana (2010), although the degradation rate observed in this study was lower than that reported for lignin decomposition by Basidiomycetes fungi (23.7–39.6%). Lignin degradation efficiency depends on chemical structure, syringyl/guaiacyl ratio, temperature, and material thickness. The substantial reduction in lignin content demonstrates the effectiveness of the biological inoculants and contributes to humus formation during composting.

### 3.1.1.3. Cellulose degradation by biological inoculants

**Table 3.2. Effect of biological inoculants on cellulose content of acacia bark during composting**

Treatments	Content of cellulose (%)		
	Day 10	Day 20	Day 30
CT1 (CK)	27,6 <sup>ab</sup>	26,3 <sup>a</sup>	24,3 <sup>a</sup>
CT2	27,8 <sup>ab</sup>	26,1 <sup>a</sup>	23,4 <sup>ab</sup>
CT3	28,6 <sup>a</sup>	26,6 <sup>a</sup>	23,8 <sup>ab</sup>
CT4	26,0 <sup>b</sup>	24,9 <sup>a</sup>	22,7 <sup>b</sup>
CT5	27,0 <sup>ab</sup>	24,7 <sup>a</sup>	23,0 <sup>ab</sup>
CT6	27,2 <sup>ab</sup>	24,5 <sup>a</sup>	22,5 <sup>b</sup>

**Note:** Means within the same column followed by different letters indicate statistically significant differences according to the Tukey–Kramer test at  $P < 0.01$  ( $n = 18$ ).

Cellulose content decreased in all treatments after 30 days of composting, with a reduction ranging from 6.65 to 8.45%. Treatments 4 (Emic; 22.7%) and 6 (Sagi Bio; 22.5%) showed significantly lower cellulose contents compared to the control (24.3%).

However, cellulose content remained above 20%, which is lower than the 26.8% reported after three months of composting using Fito-K by Le Van Tri (2016). The high crystallinity of cellulose within the natural lignin–cellulose matrix limits the rate of biodegradation (Hubbe et al., 2010), thereby constraining rapid cellulose decomposition.

### 3.1.1.4. Changes in hot-water-soluble and alcohol-soluble compounds during decomposition

**Table 3.3. Effect of biological inoculants on hot-water-soluble and alcohol-soluble contents of acacia bark during composting**

Treatments	Hot water–extractable compounds (%)			Alcohol-soluble compounds (%)		
	Day 10	Day 20	Day 30	Day 10	Day 20	Day 30
CT1 (CK)	18,4 <sup>a</sup>	17,0 <sup>ab</sup>	19,6 <sup>ab</sup>	19,2 <sup>a</sup>	18,1 <sup>abc</sup>	20,4 <sup>abc</sup>
CT2	18,9 <sup>a</sup>	17,4 <sup>ab</sup>	22,0 <sup>abc</sup>	19,6 <sup>a</sup>	19,0 <sup>abc</sup>	23,7 <sup>ab</sup>
CT3	17,2 <sup>a</sup>	22,5 <sup>c</sup>	18,7 <sup>ab</sup>	17,3 <sup>a</sup>	23,6 <sup>d</sup>	20,5 <sup>c</sup>
CT4	19,0 <sup>a</sup>	14,7 <sup>b</sup>	24,4 <sup>c</sup>	21,5 <sup>a</sup>	16,3 <sup>a</sup>	25,7 <sup>d</sup>
CT5	19,0 <sup>a</sup>	17,7 <sup>a</sup>	17,0 <sup>ab</sup>	18,1 <sup>a</sup>	19,8 <sup>c</sup>	19,0 <sup>c</sup>
CT6	20,4 <sup>a</sup>	19,6 <sup>a</sup>	20,2 <sup>abc</sup>	21,7 <sup>a</sup>	21,6 <sup>cd</sup>	21,3 <sup>abc</sup>

**Note:** Means within the same column followed by different letters indicate statistically significant differences according to the Tukey–Kramer test at  $P < 0.01$  ( $n = 18$ ).

On day 10, no statistically significant differences were observed among treatments for hot-water-soluble or alcohol-soluble substances. By day 20, Treatment 3 reached the highest hot-water-soluble content (22.5%), showing a significant difference at  $P < 0.01$ . After 30 days, Treatment 4 exhibited the highest values for both

hot-water-soluble (24.4%) and alcohol-soluble substances (25.7%), significantly higher than the control and other treatments.

Overall, hot-water-soluble substances increased by 1.63–9.03%, while alcohol-soluble substances increased by 2.4–9.1% compared to initial values, indicating the conversion of complex organic compounds into more readily available forms for microbial utilization. Treatment 5 showed the lowest increases, suggesting weaker decomposition capacity. Alcohol-soluble fractions were consistently higher than hot-water-soluble fractions, possibly due to the presence of tannins and antimicrobial compounds.

### 3.1.1.5. Changes in moisture content and pH during composting

**Table 3.4. Effect of biological inoculants on moisture content and pH of acacia bark during composting**

Treatments	Moisture content (%)			pH		
	Day 10	Day 20	Day 30	Day 10	Day 20	Day 30
CT1 (CK)	59,1 <sup>a</sup>	60,9 <sup>a</sup>	59,1 <sup>ab</sup>	6,2 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>
CT2	60,0 <sup>a</sup>	58,5 <sup>a</sup>	55,8 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>
CT3	62,6 <sup>a</sup>	64,4 <sup>a</sup>	65,1 <sup>b</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>
CT4	61,6 <sup>a</sup>	62,8 <sup>a</sup>	62,5 <sup>ab</sup>	6,2 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>
CT5	62,3 <sup>a</sup>	61,8 <sup>a</sup>	61,3 <sup>ab</sup>	6,1 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>
CT6	54,7 <sup>a</sup>	57,7 <sup>a</sup>	61,7 <sup>ab</sup>	6,2 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>

**Note:** Means within the same column followed by different letters indicate statistically significant differences according to the Tukey–Kramer test at  $P < 0.01$  ( $n = 18$ ).

Throughout the experiment, temperature was maintained at 45 °C, which is optimal for thermophilic fungi and lignin degradation. Moisture content was initially adjusted to 60% and remained within the range of 54.7–65.1%, suitable for microbial activity.

The initial pH of all treatments was 6.46 and slightly decreased during the first 10 days (6.1–6.3) due to the formation of organic acids, then gradually increased to 6.2–6.4 by day 30 as a result of protein decomposition and  $\text{NH}_4^+$  release. No significant differences in moisture content or pH were observed among treatments. These trends align with typical composting dynamics, in which pH decreases during the early acidification phase and subsequently increases toward neutrality, creating favorable conditions for effective organic matter decomposition.

### 3.1.1.6. Changes in OC, C/N ratio, and nitrogen content during composting

**Table 3.5. Effect of biological inoculants on OC, C/N ratio, and N content during composting**

Treatments	N (%)		OC (%)				C/N		
	Day 10	Day 20	Day 30	Day 10	Day 20	Day 30	Day 10	Day 20	Day 30
CT1 (CK)	1,4 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a*</sup>	1,5 <sup>a</sup>	46,7 <sup>a</sup>	39,4 <sup>ab</sup>	31,6 <sup>a</sup>	34 <sup>a</sup>	28,6 <sup>a</sup>	21,7 <sup>a</sup>

CT2	1,4 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	45,1 <sup>abc</sup>	40,3 <sup>ab</sup>	31,2 <sup>a</sup>	32,9 <sup>a</sup>	27,3 <sup>ab</sup>	21,5 <sup>a</sup>
CT3	1,4 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a</sup>	44,6 <sup>bd</sup>	39,5 <sup>ab</sup>	31,5 <sup>a</sup>	32,8 <sup>a</sup>	26,9 <sup>ab</sup>	21,9 <sup>a</sup>
CT4	1,3 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	41,5 <sup>e</sup>	37,2 <sup>a</sup>	30,7 <sup>a</sup>	31,3 <sup>a</sup>	26,6 <sup>ab</sup>	21,1 <sup>a</sup>
CT5	1,3 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a</sup>	45,7 <sup>abc</sup>	40,4 <sup>b</sup>	30,5 <sup>a</sup>	35,4 <sup>b</sup>	26,6 <sup>ab</sup>	21,2 <sup>a</sup>
CT6	1,3 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a</sup>	42,9 <sup>de</sup>	38,4 <sup>ab</sup>	30,7 <sup>a</sup>	33,9 <sup>a</sup>	26,1 <sup>b</sup>	21,7 <sup>a</sup>

**Note:** Means within the same column followed by different letters indicate statistically significant differences according to the Tukey–Kramer test at  $P < 0.01$  ( $n = 18$ ).

The initial OC content of acacia bark was high (48.06%) and decreased by 16.46–17.56% after 30 days of composting. The C/N ratio declined by 20.64–21.44 units but remained relatively high (21.1–21.9) due to low nitrogen content (1.4–1.5%), which limited microbial activity.

Lignin and cellulose contents decreased by 7.8–10% and 6.65–8.45%, respectively, with the most pronounced lignin reduction observed in Treatment 4 (Emic) and cellulose reduction in Treatment 6 (Sagi Bio). These reductions were significantly greater than those in the control. Hot-water-soluble and alcohol-soluble substances increased by 0.4–7.8% and 3.63–10.33%, respectively, with the highest values recorded in Treatment 4.

After 30 days, moisture content ranged from 55.8 to 65.1% and pH from 6.2 to 6.4, which are optimal conditions for composting. Overall, EMIC and Sagi Bio inoculants effectively enhanced organic matter decomposition, reducing OC, C/N ratio, lignin, and cellulose contents while improving the proportion of readily available organic compounds within a short composting period.

### **3.1.2. Evaluation of acacia bark decomposition by selected biological inoculants under field conditions**

#### **3.1.2.1. Changes in moisture content and pH during composting**

Moisture content strongly influences microbial activity and the rate of organic matter decomposition. Excessive moisture reduces aeration and may promote pathogenic microorganisms, whereas insufficient moisture limits microbial density and metabolic activity. The optimal moisture range for composting is 50–60%.

In this experiment, Treatment 1 (control, without inoculant) exhibited moisture contents exceeding 60% during days 10–30 (60.18–65.56%), which reduced decomposition efficiency. In contrast, Treatments 2 and 3 (with biological inoculants) maintained moisture levels within 53.91–59.57% by day 30, which is optimal for microbial activity and promotes acacia bark degradation.

The initial pH values were relatively low and gradually increased during composting. After 30 days, pH values ranged from 6.42 to 6.51 across treatments, which is suitable for composting and complies with organic fertilizer standards. These trends are consistent with previous studies, showing a slight pH decrease during the early stage due to organic acid formation, followed by an increase resulting from protein degradation and ammonia production.

**Table 3.6. Changes in moisture content and pH of acacia bark during composting**

Treatments	Moiture content (%)			pH		
	10 NSU	20 NSU	30 NSU	10 NSU	20 NSU	30 NSU
CT1 (CK)	60,18 <sup>a</sup>	65,56 <sup>a</sup>	64,01 <sup>a</sup>	6,09 <sup>ab</sup>	6,33 <sup>a</sup>	6,42 <sup>a</sup>
CT2	58,60 <sup>b</sup>	64,66 <sup>b</sup>	59,57 <sup>b</sup>	6,05 <sup>b</sup>	6,28 <sup>b</sup>	6,46 <sup>a</sup>
CT3	55,64 <sup>c</sup>	61,85 <sup>c</sup>	53,91 <sup>c</sup>	6,10 <sup>ab</sup>	6,13 <sup>b</sup>	6,51 <sup>a</sup>

*Note: CT1 (control): acacia bark only; CT2: acacia bark + Sagi Bio; CT3: acacia bark + Emic; NSU: days after composting. Different letters within the same column indicate significant differences at  $p < 0.05$  ( $n = 9$ ).*

### 3.1.2.2. Changes in acacia bark mass during composting

Mass reduction is an important indicator of the degree of organic matter decomposition. Each treatment initially contained 100 kg of acacia bark, and mass gradually decreased over time.

On day 10, Treatments 2 and 3 (with inoculants) showed significantly greater mass reduction than the control by 0.47–0.67 kg. After 30 days, Treatment 3 (Emic) exhibited the greatest mass loss, with a final mass 2.5 kg lower than that of the control.

These results are consistent with previous studies, demonstrating that biological inoculants accelerate composting processes, resulting in faster and greater mass loss compared with natural composting. This reflects enhanced microbial activity and more efficient decomposition of organic materials.

**Table 3.7. Changes in acacia bark mass during composting**

Treatments	10 NSU	20 NSU	30 NSU
CT1 (CK)	99,97 <sup>a</sup>	99,00 <sup>a</sup>	96,00 <sup>a</sup>
CT2	99,50 <sup>b</sup>	98,00 <sup>ab</sup>	95,00 <sup>ab</sup>
CT3	99,30 <sup>c</sup>	97,30 <sup>b</sup>	93,50 <sup>b</sup>

*Note: NSU: days after composting. Different letters within the same column indicate significant differences at  $p < 0.05$  ( $n = 9$ ).*

### 3.1.2.3. Changes in organic carbon (OC) content and C/N ratio during composting

Organic carbon content decreased over time in all treatments, with Treatments 2 and 3 showing significantly lower OC levels than the control at all sampling times. The reduction in OC compared with initial values ranged from 3.34% to 7.62%.

The C/N ratio also declined progressively, reaching values between 21.30 and 29.80 by day 30. Treatments 2 and 3 exhibited substantially lower C/N ratios than the control by 6.4–8.4 units (day 10), 8.0–9.9 units (day 20), and 6.0–8.5 units (day 30).

These results indicate that organic matter mineralization occurred more intensively when biological inoculants were applied, promoting carbon degradation and a faster reduction in the C/N ratio compared with natural composting.

**Table 3.8. Changes in OC content and C/N ratio of acacia bark during composting**

Treatments	OC (%)			C/N		
	10 NSU	20 NSU	30 NSU	10 NSU	20 NSU	30 NSU
CT1 (CK)	45,00 <sup>a</sup>	44,12 <sup>a</sup>	42,10 <sup>a</sup>	39,90 <sup>a</sup>	38,30 <sup>a</sup>	29,80 <sup>a</sup>
CT2	40,20 <sup>b</sup>	39,20 <sup>b</sup>	38,87 <sup>b</sup>	33,50 <sup>b</sup>	30,60 <sup>b</sup>	25,20 <sup>b</sup>
CT3	39,33 <sup>c</sup>	38,05 <sup>c</sup>	37,82 <sup>c</sup>	31,50 <sup>b</sup>	28,40 <sup>c</sup>	21,30 <sup>c</sup>

*Note: NSU: days after composting. Different letters within the same column indicate significant differences at  $p < 0.05$  ( $n = 9$ ).*

#### **3.1.2.4. Changes in total nitrogen (Nts), phosphorus (Pts), and potassium (Kts) contents during composting**

**Table 3.9. Changes in total N, P, and K contents of acacia bark during composting**

Treatments	N (%)			P <sub>ts</sub> (%)			K <sub>ts</sub> (%)		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
	NSU	NSU	NSU	NSU	NSU	NSU	NSU	NSU	NSU
CT1 (CK)	1,10 <sup>a</sup>	1,15 <sup>a</sup>	1,42 <sup>b</sup>	0,042 <sup>c</sup>	0,049 <sup>c</sup>	0,060 <sup>c</sup>	0,132 <sup>b</sup>	0,086 <sup>c</sup>	0,187 <sup>b</sup>
CT2	1,20 <sup>a</sup>	1,28 <sup>a</sup>	1,54 <sup>ab</sup>	0,058 <sup>b</sup>	0,059 <sup>b</sup>	0,112 <sup>b</sup>	0,167 <sup>a</sup>	0,109 <sup>b</sup>	0,219 <sup>a</sup>
CT3	1,25 <sup>a</sup>	1,34 <sup>a</sup>	1,76 <sup>a</sup>	0,065 <sup>a</sup>	0,077 <sup>a</sup>	0,118 <sup>a</sup>	0,134 <sup>b</sup>	0,161 <sup>a</sup>	0,219 <sup>a</sup>

*Note: NSU: days after composting. Different letters within the same column indicate significant differences at  $p < 0.05$  ( $n = 9$ ).*

Total nitrogen content increased progressively during composting, rising from an initial value of 0.91% to 0.19–0.34% (day 10), 0.24–0.43% (day 20), and 0.51–0.85% (day 30) higher than the initial level. Treatment 3 (Emic) exhibited a significantly higher total N content than the control by 0.34% at day 30.

Total phosphorus content also increased over time, reaching 1.15 times (CT1 and CT2) and 2.27 times (CT3) the initial level after 30 days. Potassium content increased as well, with Treatments 2 and 3 exceeding the control by 0.032%.

After 30 days of composting, Treatments 2 and 3 achieved moisture contents of 53.91–59.57% and pH values of 6.42–6.51. Organic carbon and C/N ratio decreased by 3.34–7.62% and 20.1–28.6 units, respectively, while mass reduction was substantial, with Treatment 3 showing a 2.5 kg greater loss than the control.

Overall, the application of the Emic biological inoculant significantly enhanced the decomposition efficiency of acacia bark under field conditions.

## **3.2. Investigation of Selected Composting Strategies for Converting Acacia Bark into Organic Fertilizer Using the Selected Biological Inoculant**

### **3.2.1. Determination of the optimal biological inoculant dosage for acacia bark composting under laboratory conditions**

Prior to composting, acacia bark samples were analyzed to determine their initial physicochemical properties. The results showed an organic carbon (OC) content of

45.8%, total nitrogen (Nts) of 0.94%, total phosphorus (Pts) of 0.0445%, total potassium (Kts) of 0.097%, a C/N ratio of 43.61, pH of 5.85, and moisture content of 27.41%.

After 30 days of composting, significant changes in physicochemical properties were observed (Table 3.10).

**Table 3.10. Effects of different inoculant dosages on physicochemical properties and mass of composted acacia bark**

Treatments	OC (%)	Nts (%)	P <sub>ts</sub> (%)	K <sub>ts</sub> (%)	C/N	pH	W (%)	Mass (g)
CT1 (CK)	39,40 <sup>a</sup>	1,565 <sup>a</sup>	0,039 <sup>a</sup>	0,270 <sup>a</sup>	25,18 <sup>a</sup>	7,49 <sup>a</sup>	53,52 <sup>a</sup>	312 <sup>a</sup>
CT2	38,54 <sup>a</sup>	1,680 <sup>a</sup>	0,038 <sup>a</sup>	0,301 <sup>a</sup>	22,92 <sup>b</sup>	6,96 <sup>b</sup>	63,02 <sup>b</sup>	287 <sup>b</sup>
CT3	39,12 <sup>a</sup>	1,720 <sup>ab</sup>	0,038 <sup>a</sup>	0,261 <sup>b</sup>	22,74 <sup>b</sup>	6,84 <sup>c</sup>	59,11 <sup>c</sup>	265 <sup>c</sup>
CT4	38,51 <sup>a</sup>	1,907 <sup>b</sup>	0,043 <sup>a</sup>	0,340 <sup>c</sup>	20,2 <sup>c</sup>	6,75 <sup>c</sup>	59,43 <sup>c</sup>	245 <sup>d</sup>

*Note: Different letters within the same column indicate significant differences at  $p < 0.05$  according to the Tukey–Kramer test ( $n = 12$ ).*

After 30 days, the chemical properties of acacia bark changed markedly under the influence of microbial inoculation. Organic carbon content decreased slightly (approximately 6–7%), indicating the initial stage of mineralization. In contrast, total nitrogen increased substantially from 0.94% to 1.91%, resulting in a reduction of the C/N ratio from 43.61 to 20.2 in Treatment 4, approaching the threshold of biologically stable compost.

Total phosphorus content decreased slightly, mainly due to leaching, whereas total potassium increased significantly, reflecting active mineral release during organic matter degradation. The pH remained within the optimal range (6.75–7.49) for composting processes. Compost mass decreased by up to 32.5% in Treatment 4, demonstrating high decomposition efficiency. Overall, the inoculant dosage of 0.15% combined with 1% molasses produced the most favorable results.

### 3.2.2. Effects of initial C/N ratio on acacia bark composting under laboratory conditions

The influence of different initial C/N ratios on physicochemical properties and mass of composted acacia bark after 30 days is presented in Table 3.11.

**Table 3.11. Effects of different initial C/N ratios on physicochemical properties and mass of composted acacia bark**

Treatments	OC (%)	Nts (%)	P <sub>ts</sub> (%)	K <sub>ts</sub> (%)	C/N	pH	W (%)	Mass (g)
CT1 (CK)	40 <sup>a</sup>	2,027 <sup>a</sup>	0,038 <sup>a</sup>	0,298 <sup>a</sup>	20,9 <sup>a</sup>	6,63 <sup>a</sup>	62,64 <sup>a</sup>	239,1 <sup>a</sup>
CT2	38,57 <sup>b</sup>	2,091 <sup>ab</sup>	0,043 <sup>b</sup>	0,326 <sup>a</sup>	19,2 <sup>b</sup>	8,81 <sup>b</sup>	58,42 <sup>b</sup>	229,5 <sup>a</sup>
CT3	37,5 <sup>c</sup>	2,22 <sup>b</sup>	0,042 <sup>b</sup>	0,254 <sup>b</sup>	17,2 <sup>c</sup>	8,94 <sup>b</sup>	59,02 <sup>c</sup>	226 <sup>a</sup>

*Note: Different letters within the same column indicate significant differences at  $p < 0.05$  according to the Tukey–Kramer test ( $n = 9$ ).*

The 30-day composting experiment demonstrated that the initial C/N ratio is a key factor governing mineralization efficiency. As the initial C/N ratio decreased (Treatments 2 and 3), organic carbon content declined more markedly, while total nitrogen increased significantly, resulting in a post-composting C/N ratio as low as 17.2 in Treatment 3, indicating biologically stable compost.

However, pH values increased above 8.5 due to ammonification, highlighting the need for pH control to minimize nitrogen losses. Total phosphorus content decreased slightly, whereas total potassium increased considerably due to mineralization of plant tissues. Moisture content was maintained at approximately 60%, and compost mass decreased by about 37%, with no statistically significant differences among treatments. Treatment 3 produced the best compost quality in terms of nutrient content and stability.

### 3.2.3. Effects of the initial cow manure-to-acacia bark ratio on composting efficiency

#### 3.2.3.1. Physicochemical properties of composts after 30 days

**Table 3.12. Physicochemical properties and mass of composting materials before and after 30 days**

Treatments	OM (%)	OC (%)	Nts (%)	Pts (%)	K <sub>ts</sub> (%)	C/N	pH	W (%)	Mass (kg)
Prior to composting									
CT1 (CK)	52,7	44,8	0,97	0,08	0,07	20,0	8,04	56,6	1000
CT2	54,5	45,7	1,44	0,25	0,09	20,9	8,067	58,4	1000
CT3	55,7	46,0	1,76	0,36	0,11	21,99	8,085	59,6	1000
CT4	56,9	46,5	2,07	0,46	0,12	22,75	8,103	60,7	1000
After 30 days of composting									
CT1 (CK)	50,31 <sup>a</sup>	33,05 <sup>a</sup>	2,21 <sup>a</sup>	0,209 <sup>a</sup>	0,207 <sup>a</sup>	15,02 <sup>a</sup>	7,33 <sup>a</sup>	71,05 <sup>a</sup>	900 <sup>a</sup>
CT2	51,05 <sup>b</sup>	33,12 <sup>b</sup>	2,38 <sup>b</sup>	0,167 <sup>b</sup>	0,264 <sup>b</sup>	14,01 <sup>b</sup>	7,76 <sup>b</sup>	71,66 <sup>a</sup>	825 <sup>b</sup>
CT3	52,23 <sup>c</sup>	31,85 <sup>c</sup>	2,40 <sup>b</sup>	0,412 <sup>c</sup>	0,254 <sup>c</sup>	13,28 <sup>c</sup>	7,91 <sup>c</sup>	68,09 <sup>b</sup>	650 <sup>c</sup>
CT4	56,89 <sup>d</sup>	31,42 <sup>d</sup>	2,64 <sup>c</sup>	0,286 <sup>d</sup>	0,212 <sup>d</sup>	11,75 <sup>d</sup>	9,02 <sup>d</sup>	58,48 <sup>c</sup>	580 <sup>d</sup>

*Note: Different letters within the same column indicate significant differences at  $p < 0.05$  according to the Tukey–Kramer test ( $n = 12$ ).*

After 30 days of composting, the physicochemical properties of the composts varied markedly depending on the mixing ratio. Organic matter (OM) content remained high (>50%) in all treatments, with the highest value observed in Treatment 4 (56.89%), indicating efficient organic matter accumulation. Organic carbon content decreased substantially (from 45–46% to 31–33%), reflecting intensive mineralization.

Total nitrogen increased significantly in all treatments, with the highest value in Treatment 4 (2.64%) due to the addition of nitrogen-rich cow manure. Total phosphorus content peaked in Treatment 3 (0.412%), likely due to optimal pH and high

enzymatic activity, whereas excessive alkalinity in Treatment 4 may have inhibited phosphorus mineralization.

Total potassium increased in all treatments, particularly in Treatment 2 (0.264%), reflecting favorable moisture conditions and cation exchange processes. The C/N ratio declined markedly, with Treatment 4 reaching 11.75, meeting the standard for mature compost, while Treatment 3 approached this threshold. Compost pH increased with increasing manure proportion; Treatment 3 exhibited the most suitable pH (7.91). Moisture content decreased progressively, with Treatment 4 showing the lowest value (58.48%), whereas Treatments 1 and 2 exceeded 70%. Compost mass loss was greatest in Treatment 4 (580 kg), indicating the highest decomposition efficiency. Overall, Treatment 3 represented the best balance between compost quality and yield.

### 3.2.3.2. Heavy metal and pathogenic microorganism contents after 30 days

**Table 3.13. Heavy metal and pathogenic microorganism contents of composts after 30 days**

No,	Analytical criteria	Methods	Treatments			
			CT 1(CK)	CT2	CT3	CT4
1	As (ppm)	TCVN 11403:2016	0,176	0,170	0,130	0,114
2	Cd (ppm)	TCVN 9291:2018	0,137	0,220	0,250	0,290
3	Pb (ppm)	TCVN 9290:2018	1,84	1,63	1,49	1,44
4	Hg	TCVN 7185:2002	KPH	<0,001	KPH	KPH
5	<i>Salmonella</i>	TCVN 6846:2007	KPH	KPH	KPH	KPH
6	<i>E. coli</i>	TCVN 6846:2007	KPH	KPH	KPH	KPH

The analysis of heavy metals and pathogenic microorganisms indicated that all treatments met the requirements of QCVN 01-189:2019/BNNPTNT and are safe for agricultural use, including organic farming. Concentrations of As, Cd, Pb, and Hg were far below permissible limits, with Treatment 4 exhibiting the lowest values, demonstrating that increasing the proportion of cow manure did not result in heavy metal accumulation.

The high content of readily degradable organic matter and suitable C/N ratios enhanced aerobic microbial activity, contributing to metal immobilization through complexation and pH elevation, thereby reducing metal mobility. Mercury was not detected in any samples, indicating clean input materials. From a biological safety perspective, both *Salmonella* and *Escherichia coli* were absent after 30 days of composting, confirming the effectiveness of the aerobic composting process in pathogen elimination. Treatment 4 exhibited the highest safety level, consistent with previous findings on the pathogen suppression capacity of manure-rich composts.

### 3.2.3.3. Evaluation of compost quality in comparison with QCVN 01-189:2019/BNNPTNT

**Table 3.14. Comparison of compost quality parameters with QCVN 01-189:2019/BNNPTNT**

Quality criteria	Requirements according to QCVN 01-189:2019/BNNPTNT	CT1	CT2	CT3	CT4	Evaluation against QCVN standards
(OM) (%)	$\geq 20,0$	50,31	51,05	52,23	56,89	Met all treatments
C/N	$\leq 12,0$	15,02	14,01	13,28	11,75	CT4 met the requirements, whereas CT1–CT3 did not fully comply
Moisture content (%)	$\leq 30,0$	71,05	71,66	68,09	58,48	Not met
pH	3,5 – 8,5	7,33	7,76	7,91	9,02	CT1–CT3 met the requirements; CT4 exceeded the maximum allowable limit
<i>Salmonella</i> (CFU/g)	Not detected (ND)	ND	ND	ND	ND	Met all treatments
<i>E. coli</i> (MPN/g)	$< 1,1 \times 10^3$	KPH	KPH	KPH	KPH	Met all treatments
Asen (ppm)	$< 10,0$	0,176	0,170	0,130	0,114	Met all treatments
Cadimi (ppm)	$< 5,0$	0,137	0,220	0,250	0,290	Met all treatments
Pb (ppm)	$< 200,0$	1,84	1,63	1,49	1,44	Met all treatments
Hg (ppm)	$< 2,0$	KPH	$< 0,001$	KPH	KPH	Met all treatments

Organic matter content in all treatments exceeded the minimum requirement, indicating high compost quality. Only Treatment 4 achieved the required C/N ratio ( $\leq 12$ ), whereas the remaining treatments would require an additional 10–15 days of composting to reach full maturity. Moisture content exceeded the allowable limit ( $\leq 30\%$ ) in all treatments, suggesting the need for further drying or extended composting.

Compost pH values in Treatments 1–3 fell within the acceptable range (3.5–8.5), while Treatment 4 exceeded the upper limit, indicating the necessity of pH adjustment prior to application. All treatments met the standards for heavy metals and pathogenic microorganisms, confirming their safety for agricultural use.

### 3.3. Evaluation of the Effectiveness of Organic Fertilizer Produced from Acacia Bark

#### 3.3.1. Effects of Acacia Bark–Derived Organic Fertilizer on Growth, Yield, Quality of Mustard Greens, and Soil Improvement

##### 3.3.1.1. Effects on Growth Characteristics of Mustard Greens

**Table 3.15. Effects of Acacia bark organic fertilizer on selected growth parameters of mustard greens**

Organic fertilizer (tons/ha)	Height (cm)	No. of leaves (leaves/plant)	Length (cm)	Leaf width (cm)	Canopy diameter (cm)	Total growth duration (day)
0	22,0 <sup>b</sup>	11,4 <sup>b</sup>	13,1 <sup>b</sup>	9,4 <sup>b</sup>	26,1 <sup>c</sup>	41
5	25,3 <sup>ab</sup>	14,3 <sup>a</sup>	14,5 <sup>ab</sup>	10,9 <sup>ab</sup>	28,9 <sup>bc</sup>	40
10	25,7 <sup>ab</sup>	13,9 <sup>ab</sup>	14,3 <sup>ab</sup>	10,5 <sup>ab</sup>	31,0 <sup>ab</sup>	39
15	26,2 <sup>a</sup>	15,2 <sup>a</sup>	14,6 <sup>ab</sup>	11,1 <sup>ab</sup>	32,2 <sup>ab</sup>	38
20	27,3 <sup>a</sup>	14,9 <sup>a</sup>	15,6 <sup>a</sup>	11,9 <sup>a</sup>	33,6 <sup>a</sup>	38
<i>LSD</i> <sub>0,05</sub>	3,3	2,5	1,9	1,8	3,8	-

**Note:** Treatments sharing the same letter are not significantly different; different letters indicate statistically significant differences at  $\alpha = 0.05$ .

Results indicate that organic fertilizer derived from acacia bark exerted a significant positive effect on mustard green growth. Application rates of 15–20 t ha<sup>-1</sup> resulted in the greatest plant height (26.2–27.3 cm), with statistically significant differences compared to the control ( $P < 0.05$ ). Leaf-related parameters, including leaf number, leaf length, leaf width, and canopy diameter, increased progressively with increasing fertilizer rates and peaked at 20 t ha<sup>-1</sup>. In contrast, unfertilized plants exhibited substantially lower growth indices.

These responses are consistent with previous studies reporting that low C/N, organic matter–rich composts improve soil pH, nutrient availability, and nutrient uptake efficiency, thereby enhancing vegetative growth. Growth duration ranged from 38 to 41 days, with fertilized treatments shortening harvest time by 1–3 days. Overall, acacia bark organic fertilizer proved to be an effective nutrient source for mustard green production, particularly under organic farming systems.

##### 3.3.1.2. Effects on Yield of Mustard Greens

**Table 3.16. Effects of acacia bark organic fertilizer on plant biomass and yield**

Organic fertilizer (tons/ha)	Mass (g/plant)		Actual yield (tons/ha)	Actual yield increased relative to the control (tons/ha)
	Fresh	Dried		
0	47,30 <sup>b</sup>	4,8 <sup>c</sup>	15,5 <sup>c</sup>	-
5	70,21 <sup>ab</sup>	5,9 <sup>bc</sup>	22,9 <sup>b</sup>	7,4
10	77,80 <sup>ab</sup>	7,3 <sup>abc</sup>	23,5 <sup>b</sup>	8,0
15	82,40 <sup>a</sup>	8,5 <sup>ab</sup>	25,9 <sup>a</sup>	10,4
20	98,10 <sup>a</sup>	10,4 <sup>a</sup>	27,4 <sup>a</sup>	11,9
<i>LSD</i> <sub>0,05</sub>	31,8	0,22	2,4	-

**Note:** Treatments sharing the same letter are not significantly different; different letters indicate statistically significant differences at  $\alpha = 0.05$ .

Application of acacia bark organic fertilizer significantly increased both fresh and dry biomass of mustard greens. Fresh biomass ranged from 47.3 to 98.1 g plant<sup>-1</sup>, while dry biomass ranged from 4.8 to 10.4 g plant<sup>-1</sup>, with the highest values observed at 15–20 t ha<sup>-1</sup>. Marketable yield reached 25.9–27.4 t ha<sup>-1</sup>, representing a substantial increase compared to the control (15.5 t ha<sup>-1</sup>).

These findings align with previous research demonstrating that nitrogen- and phosphorus-rich organic amendments enhance root development, nutrient uptake, and biomass accumulation. The results confirm the high agronomic efficiency of acacia bark organic fertilizer in mustard green cultivation, especially within organic production systems.

### 3.3.1.3. Quality Assessment of Mustard Greens

**Table 3.17. Quality parameters of mustard greens under different fertilizer rates**

Organic fertilizer (tons/ha)	Crispness (score)	Bitterness (score)	Total organic acids (%)	Vitamin C (%)	Nitrate content (mg/l)
0	1	4	0,083	0,0205	< 10
5	2	5	0,083	0,0271	< 10
10	2	5	0,090	0,0337	< 10
15	2	5	0,145	0,0491	< 10
20	2	5	0,158	0,0506	< 10

Application of acacia bark organic fertilizer improved sensory and nutritional quality of mustard greens. Fertilized treatments exhibited enhanced crispness and sweetness, along with increased organic acid (0.083–0.158%) and vitamin C contents (0.0205–0.0506%), with maximum values at 20 t ha<sup>-1</sup>. Nitrate concentrations remained below 10 mg L<sup>-1</sup> across all treatments, meeting both Vietnamese and international food safety standards.

### 3.3.1.4. Effects on Soil Properties under Mustard Green Cultivation

#### 3.3.1.4.1. Effects on Soil Physicochemical Properties

**Table 3.18. Changes in soil physicochemical properties following fertilizer application**

Parameters	Prior to the experiment	After the experiment				
		0 ton	5 tons	10 tons	15 tons	20 tons
Sand (%)	57,3	56,4	56,32	56,13	56,08	56,02
Limon (%)	19,8	19,9	23,12	23,23	23,45	23,32
Sét (%)	22,9	23,7	20,56	20,64	20,47	20,66
OC (%)	1,879	1,897	1,920	1,973	2,240	2,243
Nts (%)	0,121	0,126	0,129	0,138	0,143	0,145
Pts (%)	0,065	0,066	0,070	0,071	0,073	0,074
Kts (%)	0,168	0,178	0,188	0,202	0,209	0,215
CEC (cmol/kg)	1,187	1,190	1,267	1,330	1,310	1,443
EC (µS/cm)	18,049	18,067	20,797	21,583	22,167	23,533
pH <sub>KCl</sub>	4,97	5,00	5,06	5,08	5,14	5,27

Application of acacia bark organic fertilizer significantly improved soil quality. Soil pH increased by 0.09–0.30 units, although soils remained slightly acidic, indicating the potential need for supplementary liming. Soil organic carbon increased from 1.897% to 2.243%, reflecting improved humus accumulation. Total nitrogen content increased, reaching a maximum of 0.145% at 20 t ha<sup>-1</sup>. Total phosphorus increased to moderate levels (0.066–0.074%), while total potassium remained low but showed a gradual increase. These results confirm the soil amelioration potential of acacia bark organic fertilizer, particularly in improving soil organic matter, nitrogen, and phosphorus status.

#### 3.3.1.4.2. Effects on Soil Biological Properties

**Table 3.19. Soil microbial populations before and after the experiment**

Parameters	Total bacterial count ( $\times 10^8$ CFU g <sup>-1</sup> soil)	Inorganic phosphate-solubilizing bacteria ( $\times 10^6$ CFU g <sup>-1</sup> soil)	Free-living diazotrophic bacteria ( $\times 10^6$ CFU g <sup>-1</sup> soil)
Prior to the experiments	14,15	9,12	13,03
After the experiments			
0 ton	21,06	11,73	16,74
5 tons	43,85	33,04	47,53
10 tons	81,21	63,13	81,8
15 tons	108,15	95,74	180,88
20 tons	117,04	132,78	247,35

*Note: CFU (Colony Forming Unit)*

Application of acacia bark organic fertilizer markedly increased soil microbial populations. Total bacterial density increased by 2.1–5.14 times compared to the control, while populations of phosphate-solubilizing and free-living nitrogen-fixing bacteria increased substantially. The incorporation of organic fertilizer enriched soil organic matter and available nutrients, thereby improving soil physical, chemical, and biological properties. Application rates of 15–20 t ha<sup>-1</sup> were identified as optimal for maximizing crop performance; however, 15 t ha<sup>-1</sup> provided the best balance between agronomic and economic efficiency. Acacia bark organic fertilizer thus represents a sustainable nutrient source for organic mustard green production.

### 3.3.2. Development of an Application Model for Acacia Bark Organic Fertilizer in Mustard Green Cultivation

The optimal treatment (15 t ha<sup>-1</sup> of acacia bark organic fertilizer) was selected to establish a production model and compared with a farmer-managed organic system using 1 t ha<sup>-1</sup> of oil cake.

#### 3.3.2.1. Growth Performance in the Production Model

**Table 3.20. Growth characteristics of mustard greens under different production models**

Model	Plant height (cm)	Number of leaves (leaves/plant)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Canopy diameter (cm)	Total growth period (day)
Oil cake	22,4 <sup>b</sup>	12,4 <sup>b</sup>	14,1 <sup>b</sup>	10,4 <sup>b</sup>	26,9 <sup>b</sup>	40

Acacia fertilizer	29,6 <sup>a</sup>	14,1 <sup>a</sup>	19,3 <sup>a</sup>	13,1 <sup>a</sup>	31,1 <sup>a</sup>	38
<i>P</i>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-

**Note:** Means followed by different letters within the same column indicate statistically significant differences based on **t-test comparisons** at the **P level**.

Application of 15 t ha<sup>-1</sup> acacia bark organic fertilizer significantly increased plant height, leaf number, leaf size, and canopy diameter compared with oil cake fertilization, while shortening the growth period by two days ( $P < 0.01$ ). These results are consistent with those reported by Brito et al. (2017) and Mechergui et al. (2023).

### 3.3.2.2. Yield Performance in the Production Model

**Table 3.21. Biomass and yield of mustard greens under different production models**

Model	Fresh mass (g/plant)	Edible mass (g/plant)	Dried mass (g/plant)	Actual yield (tons/ha)	Actual yield compared with the control (tons/ha)
Oil cake	59,1 <sup>b</sup>	50,5 <sup>b</sup>	5,1 <sup>b</sup>	18,2 <sup>b</sup>	-
Acacia fertilizer	126,4 <sup>a</sup>	111,7 <sup>a</sup>	9,9 <sup>a</sup>	26,8 <sup>a</sup>	8,6
<i>P</i>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-

**Note:** Means followed by different letters within the same column indicate statistically significant differences based on **t-test comparisons** at the **P level**.

The acacia bark fertilizer model increased fresh, edible, and dry biomass by 2.1-, 1.9-, and 2.2-fold, respectively, compared with the oil cake model. Marketable yield increased by 8.6 t ha<sup>-1</sup>, confirming the superior productivity of the Acacia fertilizer model.

### 3.3.2.3. Quality Assessment under the Production Model

**Table 3.22. Quality attributes of mustard greens under different production models**

Model	Crispness (score)	Bitterness (score)	Total organic acids (%)	Vitamin C (%)	Nitrate content (mg/l)
Oil cake	1	4	0,096	0,034	< 10
Acacia fertilizer	1	5	0,161	0,058	< 10

Use of acacia bark organic fertilizer enhanced sweetness, vitamin C content, and organic acid concentration without affecting crispness or exceeding nitrate safety thresholds. Mustard greens under the Acacia fertilizer model were perceived as sweeter than those under the oil cake model.

### 3.3.2.4. Soil Quality Assessment under the Production Model

#### *Physicochemical Properties*

**Table 3.23. Soil physicochemical properties before and after the experiment**

Model	pH <sub>KCl</sub>	OM (%)	CEC (Cmol/kg)	EC (mS/cm)	N (%)	Pts (%)	Kts (%)
Soil properties prior to the experiment	5,15	1,85	4,93	0,61	0,112	0,046	0,104
Soil after the experiment							
Oil cake	5,22	1,94	5,01	0,69	0,112	0,066	0,118
Acacia fertilizer	5,57	2,31	5,39	0,75	0,130	0,072	0,119

Application of 15 t ha<sup>-1</sup> acacia bark organic fertilizer increased soil pH, organic matter, total nitrogen, phosphorus, and potassium compared to pre-experiment conditions and the oil cake model, consistent with findings reported by Barky et al. (2013).

#### *Biological Properties*

**Table 3.24. Soil microbial populations under different production models**

Model	Total bacterial count ( $\times 10^8$ CFU g <sup>-1</sup> soil)	Inorganic phosphate-solubilizing bacteria ( $\times 10^6$ CFU g <sup>-1</sup> soil)	Free-living diazotrophic bacteria ( $\times 10^6$ CFU g <sup>-1</sup> soil)
Prior to the experiments	13,26	8,37	14,01
After the experiments			
Oil cake	54,72	36,15	67,93
Acacia fertilizer	105,15	102,78	197,48

*Note: CFU (Colony Forming Unit)*

Application of acacia bark organic fertilizer significantly increased populations of total bacteria, phosphate-solubilizing bacteria, and free-living nitrogen-fixing bacteria. Enhanced nutrient availability and organic matter content created favorable conditions for beneficial soil organisms, including earthworms, thereby improving soil structure and nutrient cycling.

#### **3.3.2.5. Economic Efficiency of the Production Model**

**Table 3.25. Economic performance of mustard green production models**

Model	Total revenue (million VND ha <sup>-1</sup> )*	Total production cost (million VND ha <sup>-1</sup> )**	Net profit (million VND ha <sup>-1</sup> )	Increase/decrease in net profit (million VND ha <sup>-1</sup> )	Benefit-cost ratio (BCR)
Oil cake	63,700	33,319	39,481	-	1,9
Acacia fertilizer	107,200	43,867	68,833	29,352	2,4

**Note:** \* Gross revenue = actual yield  $\times$  market price at the time of harvest (35,000–40,000 VND/kg); \*\* Total cost includes seeds, fertilizers, labor, electricity, water, and other related expenses.

The Acacia fertilizer model achieved a total revenue of 107.2 million VND ha<sup>-1</sup>, exceeding the control by 43.5 million VND ha<sup>-1</sup>. Despite a modest increase in production costs, net profit increased by 29.35 million VND ha<sup>-1</sup>, with a value-cost ratio (BCR) of 2.4. These results demonstrate that application of 15 t ha<sup>-1</sup> acacia bark organic fertilizer is economically attractive and feasible for farmers.

## Chapter 5: DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

### 5.1. Conclusions

#### (1) Selection of biological preparations for acacia bark degradation

The study identified EMIC as the most effective biological preparation for acacia bark decomposition. EMIC exhibited high lignin and cellulose degradation capacity and significantly improved the chemical and biological properties of the raw material after 30 days of composting.

**(2) Investigation of composting strategies for converting acacia bark into organic fertilizer:** An optimal composting formula was established: mixing acacia bark and cattle manure at a ratio of 3:7, supplemented with 1.5 kg Emic per ton of raw material (0.15% w/w) and 1% molasses (w/w), with an initial C/N ratio of 20. After 30 days of composting, the product met the requirements of QCVN 01-189:2019/BNNPTNT, achieving a C/N ratio  $\leq 12$ , high organic matter and total nitrogen contents, neutral to slightly alkaline pH, and no detectable pathogenic microorganisms. The compost therefore ensured biological safety and suitability for organic agriculture.

**(3) Effectiveness of organic fertilizer produced from acacia bark:** The organic fertilizer derived from the optimal formula significantly improved soil fertility and properties of sandy soils by increasing organic matter, nitrogen, phosphorus, and potassium contents, raising soil pH from 5.15 to 5.57, and stimulating beneficial microbial communities (total bacteria, phosphate-solubilizing bacteria, and free-living nitrogen-fixing bacteria). Application of 15 t/ha to mustard greens increased yield by 1.47-fold compared with the farmer's practice using oil cake, improved product quality (lower nitrate content and higher sweetness), and enhanced economic efficiency (profit increased by 29.352 million VND/ha, with a BCR of 2.4).

Overall, the composting formula consisting of an acacia bark/cattle manure ratio of 3:7, supplemented with 0.15% EMIC and 1% molasses (w/w) at an initial C/N ratio of 20, produced organic fertilizer that complies with QCVN 01-189:2019/BNNPTNT, shortened the composting period to 30 days, ensured biological safety, improved soil fertility, and delivered high technical and economic efficiency.

### 5.2. Recommendations

The results demonstrate that the proposed composting formula can meet QCVN 01-189:2019/BNNPTNT within 30 days and is applicable to practical organic fertilizer production at household, farm, and small-scale processing levels. To enhance efficiency and broaden applicability, future studies should focus on:

(1) Developing pH adjustment strategies during composting to minimize nitrogen losses and stabilize compost quality

(2) Evaluating the effectiveness of acacia bark-based organic fertilizer across different soil types and crops to refine application recommendations.

(3) Improving large-scale composting technology by integrating mechanization and environmental management to increase feasibility for commercial production.

## LIST OF PUBLISHED SCIENTIFIC WORKS

No.	Title of articles	Journals	Authors	Notes
1	Decomposition Capacity of Acacia (Acacia spp.) Bark by Selected Biological Preparations	<p><i>Hue University Journal of Science: Agriculture and Rural Development</i>  pISSN: 2588-1191; eISSN: 2615-9708,  <b>Volume and Issue:</b>  Vol. 132, No. 3D, 2023, pp. 177–188  <b>DOI:</b>10.26459/hueunijard.v132i3D.7254</p>	<p>Nguyen  Hoang  Linh, Tran  Dang Hoa,  Tran Thi  Xuan  Phuong</p>	
2	Evaluation of the Decomposition Efficiency of Acacia (Acacia spp.) Bark by Selected Biological Preparations under Natural Conditions	<p><b>Journal:</b>  <i>Journal of Agricultural Science and Technology</i>  ISSN: 2588-1256  <b>Volume and Issue:</b>  Vol. 8(2), 2024, pp. 4225–4231</p>	<p>Nguyen  Hoang  Linh, Tran  Thị Xuan  Phuong</p>	
3	Effect of the application of composted bark of Acacia on growth and yield of leaf mustard ( <i>Brassica integrifolia</i> ) under organic cultivation	<p>Research on Crops 26 (2): 319-324  (2025) Printed in India ISSN: 0972-3226; eISSN: 2348-7542 DOI:  10.31830/2348-7542.2025.ROC-1185</p>	<p>H. L.  NGUYEN,  T. X. P.  TRAN, D.  K. TRAN,  V. S.  HOANG  AND D.  H. TRAN</p>	