

ĐẠI HỌC HUẾ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM

NGUYỄN ĐẶNG TOÀN CHƯƠNG

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ NGUỒN GEN VÀ
BIỆN PHÁP KỸ THUẬT TRỒNG CÂY
ĐỊA LIỀN (*Kaempferia galanga* L.) TẠI VƯỜN
QUỐC GIA KON KA KINH, TỈNH GIA LAI

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ
KHOA HỌC CÂY TRỒNG

HUẾ - 2025

ĐẠI HỌC HUẾ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM

NGUYỄN ĐẶNG TOÀN CHƯƠNG

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ NGUỒN GEN VÀ
BIỆN PHÁP KỸ THUẬT TRỒNG CÂY ĐỊA
LIỀN (*Kaempferia galanga* L.) TẠI VƯỜN
QUỐC GIA KON KA KINH, TỈNH GIA LAI

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

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC
GS.TS. Trần Đăng Hòa
PGS.TS. Nguyễn Đình Thi

HUẾ - 2025

PHẦN MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Việt Nam thuộc vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, có hệ sinh thái phong phú với khoảng 5.117 loài cây dược liệu đã được ghi nhận. Đây là tiềm năng lớn để phát triển ngành dược liệu thành lĩnh vực kinh tế – kỹ thuật quan trọng. Dược liệu không chỉ phổ biến trong chăm sóc sức khỏe với nhiều công dụng (chống viêm, kháng khuẩn, an thần, giảm đau, hỗ trợ tiêu hóa, tuần hoàn, hô hấp...) (Nag và cs., 2015), mà còn mang lại giá trị kinh tế qua chế biến sâu và xuất khẩu. Tuy nhiên, phát triển dược liệu ở nước ta còn hạn chế: khai thác chủ yếu dựa vào thu hái tự nhiên, thiếu gắn kết với bảo tồn, quy hoạch đất và rừng chưa hợp lý, nhiều loài quý bị suy giảm; trong khi trồng trọt, nghiên cứu và liên kết chuỗi giá trị còn manh mún. Do đó, cần đầu tư nghiên cứu, bảo tồn và phát triển dược liệu theo hướng bền vững, hiệu quả và quy mô hàng hóa.

Gia Lai là tỉnh có điều kiện thuận lợi (đất đỏ bazan, khí hậu ẩm, mưa nhiều) cùng tri thức bản địa đa dạng về cây thuốc, nên giàu tiềm năng phát triển dược liệu thành ngành kinh tế gắn với đặc thù địa phương. Vườn quốc gia Kon Ka Kinh là khu bảo tồn thiên nhiên có tính đa dạng sinh học cao đã ghi nhận có hơn 1.700 loài thực vật có mạch, nhiều loài có giá trị dược liệu và bảo tồn (Phạm Ngọc Bình, 2017). Trong đó, cây địa liên (*Kaempferia galanga* L.) là loài bản địa, được cộng đồng dân tộc Tây Nguyên dùng lâu đời để chữa bệnh tiêu hóa, hô hấp, thấp khớp.

Thời gian qua, do khai thác tự phát phục vụ thương mại, quần thể địa liên tại Kon Ka Kinh suy giảm nghiêm trọng, nhưng chưa có nghiên cứu chuyên sâu về đặc điểm sinh học, hình thái, giải phẫu, sinh thái sống hay khả năng thích nghi. Hơn nữa, các cơ sở khoa học cho sản xuất như

thời vụ, mật độ, công thức bón phân tối ưu vẫn chưa được xác lập, khiến cây địa liên chưa được đưa vào canh tác quy mô hàng hóa gắn với bảo tồn nguồn gen và đa dạng sinh học.

Xuất phát từ thực tiễn đó, luận án tiến sĩ “Nghiên cứu đánh giá nguồn gen và biện pháp kỹ thuật trồng cây địa liên (*Kaempferia galanga* L.) tại Vườn quốc gia Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai” được thực hiện nhằm xây dựng cơ sở khoa học cho bảo tồn và phát triển loài dược liệu này theo hướng phù hợp điều kiện sinh thái địa phương, hiệu quả sản xuất và bền vững lâu dài.

2. Mục tiêu nghiên cứu

2.1. Mục tiêu chung

Xác định nguồn tài nguyên cây dược liệu địa liên (*Kaempferia galanga* L.) hiện có tại VQG Kon Ka Kinh và xây dựng quy trình kỹ thuật trồng phù hợp với điều kiện tại địa phương nhằm phục vụ công tác bảo tồn và phát triển nguồn gen cây dược liệu địa liên tại tỉnh Gia Lai.

2.2. Mục tiêu cụ thể

- Xác định được sự phân bố của cây địa liên hiện có tại VQG Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.
- Xác định đặc điểm hình thái, phân tử, nông sinh học của cây địa liên hiện có tại VQG Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.
- Xác định được thời vụ và mật độ trồng cây địa liên tại VQG Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.
- Xác định được liều lượng phân bón phù hợp cho cây địa liên tại VQG Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.

3. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

3.1. Ý nghĩa khoa học

Luận án cung cấp được những thông tin khoa học có giá trị về nguồn tài nguyên cây dược liệu địa liên (*Kaempferia galanga* L.) tại VQG Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.

Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học phục vụ cho việc xây dựng quy trình kỹ thuật trồng cây địa liền phù hợp với điều kiện sinh thái tại địa phương, đồng thời bổ sung nguồn tư liệu cho các nghiên cứu, bảo tồn và phát triển các loài cây dược liệu bản địa tiếp theo tại khu vực Tây Nguyên nói chung và tỉnh Gia Lai nói riêng.

3.2. Ý nghĩa thực tiễn

Kết quả nghiên cứu của luận án góp phần cung cấp cơ sở thực tiễn trong việc đánh giá hiện trạng và tiềm năng phát triển cây dược liệu địa liền tại Vườn quốc gia Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.

Luận án đồng thời tạo nền tảng khoa học và thực tiễn cho việc xây dựng các mô hình trồng cây địa liền theo hướng sản xuất hàng hóa, phù hợp với điều kiện tự nhiên và nhu cầu phát triển kinh tế tại địa phương.

4. Những đóng góp mới của luận án

Xác lập được dữ liệu phân bố tự nhiên và đặc điểm sinh thái của cây địa liền tại VQG Kon Ka Kinh.

Đánh giá đa dạng di truyền của 10 mẫu địa liền sử dụng chỉ thị ISSR.

Xác định được tổ hợp thời vụ, mật độ trồng và công thức phân bón tối ưu (kết hợp hữu cơ vi sinh và phân hóa học) nhằm nâng cao năng suất, chất lượng dược liệu và hiệu quả kinh tế.

Chương 1. TỔNG QUAN CÁC VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Cơ sở lý luận của các vấn đề nghiên cứu

1.1.1. Nguồn gốc, vị trí phân loại và đặc điểm hình thái, sinh lý cây địa liền

1.1.2. Đánh giá đa dạng di truyền

1.1.3. Cơ sở khoa học về kỹ thuật canh tác cây địa liền

1.4. Tương quan giữa các loại phân bón và nguyên tắc sử dụng hiệu quả

1.4.1. Tương quan giữa các loại phân bón

1.4.2. Nguyên tắc sử dụng phân bón hợp lý

1.2. Cơ sở thực tiễn của vấn đề nghiên cứu

1.2.1. Khái quát về VQG Kon Ka Kinh

1.2.2. Tình hình sản xuất địa liền tại Việt Nam và tỉnh Gia Lai

1.2.3. Các nghiên cứu trong và ngoài nước.

Chương 2. ĐỐI TƯỢNG, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu

2.1.1. Đối tượng nghiên cứu

Cây địa liền (*Kaempferia galanga* L.) bản địa tại VQG Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.

Thời vụ, mật độ trồng và phân bón (phân hữu cơ vi sinh và NPK) phù hợp trong canh tác địa liền.

2.1.2. Phạm vi nghiên cứu

- Nghiên cứu về cây địa liền thu thập được tại VQG Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.

- Nghiên cứu một số biện pháp kỹ thuật trồng cây địa liền trên đất sản xuất tại vùng đệm thuộc VQG Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.

- Điều tra và thu thập mẫu cây địa liền tại VQG Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.

- Đánh giá đặc điểm hình thái, nông sinh học cây địa liền tại VQG Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.

- Đánh giá đa dạng di truyền cây địa liền thu thập được tại VQG Kon Ka Kinh và 05 mẫu địa liền thu thập được ở các nơi trên cả nước.

- Bố trí các thí nghiệm một số biện pháp kỹ thuật trồng cây địa liên tại VQG Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.

2.2.2. Nội dung nghiên cứu

2.2.1. Điều tra hiện trạng và thu thập nguồn gen cây địa liên tại VQG Kon Ka Kinh

2.2.2. Đánh giá đa dạng di truyền và đặc điểm nông sinh học của cây địa liên

2.2.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của các biện pháp kỹ thuật đến năng suất, chất lượng địa liên

- Nghiên cứu ảnh hưởng của thời vụ và mật độ trồng đến sinh trưởng, phát triển, năng suất và chất lượng địa liên.

- Nghiên cứu ảnh hưởng liều lượng phân bón N, P, K và phân bón hữu cơ vi sinh đến sinh trưởng, phát triển, năng suất và chất lượng địa liên.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp điều tra

2.3.1.1. Phương pháp điều tra thực địa

Điều tra hiện trạng phân bố: Thực hiện vào tháng 3 và tháng 5/2022 theo quy trình điều tra của Viện Dược liệu (2004), Nguyễn Nghĩa Thìn (2007), Lê Thị Thanh Hương và cs., (2016).

2.3.1.2. Phương pháp điều tra, phỏng vấn người am hiểu

Điều tra phỏng vấn cộng đồng được triển khai trên 90 hộ có sinh kế chủ yếu từ vùng đệm của VQG Kon Ka Kinh.

2.3.3.2. Phương pháp kế thừa

Kế thừa các tài liệu khoa học gồm báo cáo, bài báo, dự án đã công bố có liên quan đến cây thuốc ở VQG Kon Ka Kinh cũng như các tài liệu khác có liên quan trên nguyên tắc có chọn lọc.

2.3.3.3. Phương pháp thu mẫu phân loại và xác định đặc điểm sinh học

Thu mẫu làm tiêu bản thực vật và phân loại theo Nguyễn Nghĩa Thìn (2007). Sử dụng phương pháp so sánh hình thái, đối chiếu với khóa phân loại và bản mô tả để xác định tên khoa học cho loài.

3.3.4. Phương pháp đánh giá đa dạng di truyền của cây địa liên

- Thu thập các mẫu lá từ 5 mẫu cây địa liên tại VQG Kon Ka Kinh và cây địa liên thu thập được ở 5 tỉnh trên cả nước.

- Sử dụng 13 môi ISSR trong nghiên cứu

2.3.5. Phương pháp bố trí thí nghiệm đồng ruộng

2.3.5.1. Điều kiện thời tiết tại khu vực nghiên cứu

2.3.5.2. Thí nghiệm ảnh hưởng của thời vụ và mật độ trồng đến sinh trưởng, phát triển, năng suất và chất lượng địa liên

Thí nghiệm được bố trí theo kiểu split-plot, nhân tố chính là mật độ, nhân tố phụ là thời vụ, gồm 9 nghiệm thức, 3 lần nhắc lại.

Công thức thí nghiệm

Yếu tố thời vụ (T)	Yếu tố mật độ (M)
T1: Thời gian trồng ngày 01/4	M1: Mật độ 250.000 cây/ha (20 cm x 20 cm)
T2: Thời gian trồng ngày 01/5	M2: Mật độ 166.000 cây/ha (30 cm x 20cm)
T3: Thời gian trồng ngày 01/6	M3: Mật độ 125.000 cây/ha (40 cm x 20 cm)

2.3.5.3. Thí nghiệm ảnh hưởng liều lượng phân bón N:P:K và phân bón hữu cơ vi sinh đến sinh trưởng, phát triển, năng suất và chất lượng địa liên

Thí nghiệm được bố trí theo kiểu split-plot, nhân tố chính là tổ hợp phân N:P:K, nhân tố phụ là phân hữu cơ vi sinh.

Công thức thí nghiệm được triển khai tại thí nghiệm:

Yếu tố phân hữu cơ vi sinh	Yếu tố phân bón N:P:K
S0: không bón	P0: không bón
S1: 1 tấn/ha	P1: 150 kg N + 150 kg P ₂ O ₅ + 110 kg K ₂ O
S2: 2 tấn/ha	P2: 120 kg N + 120 kg P ₂ O ₅ + 90 kg K ₂ O
S3: 3 tấn/ha	P3: 90 kg N + 90 kg P ₂ O ₅ + 70 kg K ₂ O
	P4: 60 kg N + 60 kg P ₂ O ₅ + 50 kg K ₂ O

2.3.5.4. Các chỉ tiêu nghiên cứu và phương pháp theo dõi số liệu

2.3.5.4.1. *Các chỉ tiêu về sinh trưởng, phát triển*

Thời gian sinh trưởng, phát triển: thời gian nảy chồi, thời gian ra lá thật, thời gian đẻ nhánh, thời gian thu hoạch.

Chỉ tiêu về sinh trưởng cây: chiều dài lá, chiều rộng lá, đường kính tán lá.

Các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất: khối lượng củ, khối lượng khóm củ, năng suất lý thuyết, năng suất thực thu.

Lợi nhuận (1.000 đồng/ha) = Tổng thu - Tổng chi.

2.3.5.4.2. *Theo dõi mức độ nhiễm sâu, bệnh hại*

Trong quá trình triển khai các mô hình thí nghiệm sẽ tiến hành theo dõi sự có mặt của sâu, bệnh trong suốt thời gian tiến hành các thí nghiệm, đồng thời lấy số liệu đánh giá trong các khoảng thời gian 15 ngày/lần.

2.3.6. Phương pháp phân tích mẫu đất

Tiến hành phân tích đất trước và sau thí nghiệm, bao gồm các chỉ tiêu: pH(H₂O), hữu cơ tổng số, nitơ tổng số, photpho tổng số, kali tổng số, đạm dễ tiêu, lân dễ tiêu, kali dễ tiêu.

2.3.7. *Phương pháp xác định thành phần và hàm lượng tinh dầu của củ địa liền*

Hàm lượng tinh dầu (%): Được xác định bằng phương pháp cất kéo hơi nước theo Dược điển Việt Nam, mẫu thân rễ được cất tinh dầu ngay khi thu hoạch.

2.3.8. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu các chỉ tiêu theo dõi được nhập và mã hóa bằng phần mềm Excel 2010.

Phân tích đa dạng di truyền bằng phần mềm NTSYS version 2.0 (Numerical Taxonomy System for the Analysis of Multivariate Data).

Các thí nghiệm đồng ruộng được phân tích theo mô hình Split-Plot trên phần mềm SAS 9.1.

Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thực trạng và điều kiện sinh thái cây địa liên tại VQG Kon Ka Kinh

3.1.1. Thực trạng cây địa liên tại VQG Kon Ka Kinh

Kết quả điều tra thu được trên ÔTC cho thấy cây địa liên phân bố không đều trên các ÔDB, mỗi ô có hiện trạng cây địa liên khác nhau. Từ các kết quả điều tra, thu thập được cho thấy trên 03 tuyến điều tra không ghi nhận được vùng phân bố tập trung của cây địa liên.

3.1.2. Điều kiện sinh thái cây địa liên tại VQG Kon Ka Kinh

Kết quả điều tra cho thấy vào tháng 3 chưa phát hiện cây địa liên trong rừng tự nhiên do chưa mọc lá non và củ còn ẩn dưới đất; đến tháng 5, loài này đã xuất hiện tại nhiều vị trí. Về sinh thái, địa liên thường phân bố ở nơi sát mặt đất, giàu mùn, ẩm độ cao, địa hình thông thoáng, ánh sáng trung bình đến khá tốt, và đất có khả năng thoát nước tốt. Về thổ nhưỡng, loài chủ yếu phân bố trên địa hình dốc 21-30°, đất thịt nhẹ đến trung bình, tầng đất dày, ẩm, với lớp thảm mục phát triển tương đối, trung bình khoảng 2,2 cm.

3.1.3. Tình hình sử dụng, sản xuất, kinh doanh địa liên tại VQG Kon Ka Kinh

Từ những kết quả điều tra cho thấy rằng nhu cầu sử dụng địa liên là đang hiện hữu trong cả đời sống thường nhật lẫn chuỗi cung ứng thương mại quy mô nhỏ.

3.1.4. Đặc điểm hình thái giải phẫu cây địa liên

Kết quả phân tích cho thấy các mẫu địa liên thu thập từ các khu vực khảo sát khác nhau trong VQG có đặc điểm hình thái và cấu trúc giải phẫu tương đối đồng nhất, không ghi nhận sự sai khác rõ rệt giữa các vùng.

3.1.5. Xác định tên khoa học của các mẫu nguồn gen địa liên được thu thập

Từ kết quả phân tích đặc điểm hình thái, đối chiếu khóa phân loại trong các bộ thực vật chí và một số tiêu bản đang lưu giữ tại các bảo tàng (Bảo tàng lịch sử và tự nhiên Paris, Phòng tiêu bản của Viện Dược liệu) chúng tôi đã xác định 9 mẫu nguồn gen thu được là loài địa liên (*Kaempferia galanga* L.) thuộc họ Gừng (Zingiberaceae).

3.2. Đánh giá đa dạng di truyền của cây địa liên

Mối quan hệ di truyền giữa 10 mẫu địa liên được xác định thông qua hệ số tương đồng di truyền, với giá trị dao động từ 0,59 đến 0,97.

Dựa vào sơ đồ hình nhánh có thể chia 10 mẫu địa liên thành hai nhóm chính với chỉ số tương đồng trung bình 0,78 %.

3.3. Ảnh hưởng của thời vụ và mật độ trồng đến sinh trưởng, phát triển của cây địa liên

3.3.1. Ảnh hưởng của thời vụ và mật độ trồng đến sinh trưởng, phát triển của cây địa liên

Thời gian nảy chồi chậm nhất được ghi nhận ở nghiệm thức T1M1 (trồng ngày 01/4, mật độ 250.000 cây/ha), trong khi thời gian nảy chồi nhanh nhất thuộc về nghiệm thức T3M3 (trồng ngày 01/6, mật độ 125.000 cây/ha).

Xét về thời gian sinh trưởng tổng thể từ khi trồng đến khi thu hoạch, nghiệm thức T2M3 (trồng ngày 01/5, mật độ 125.000 cây/ha) có thời gian sinh trưởng dài nhất, đạt 315 ngày. Tuy các giai đoạn phát triển như ra lá thật, đẻ nhánh và ra hoa không có sự khác biệt đáng kể giữa các nghiệm thức (thời gian ra lá thật dao động từ 40 - 43 ngày; thời gian đẻ nhánh từ 93 - 97 ngày; thời gian ra hoa từ 116 - 130 ngày), nhưng thời gian thu hoạch ở nghiệm thức T2M3 kéo dài hơn so với các nghiệm thức khác.

Từ các kết quả thu được, có thể nhận định rằng, mặc dù thời vụ và mật độ trồng không tác động có ý nghĩa thống kê đến các giai đoạn phát triển trung gian như ra lá, đẻ nhánh, ra hoa và thu hoạch, nhưng lại có ảnh hưởng rõ đến thời gian nảy chồi, giai đoạn khởi đầu có ý nghĩa quan trọng trong sinh trưởng cây trồng.

3.3.2. Ảnh hưởng của thời vụ và mật độ trồng đến các chỉ tiêu về lá của cây địa liên

Cây địa liên trồng theo nghiệm thức T2M3 (trồng ngày 01/5 với mật độ 125.000 cây/ha) cho kết quả sinh trưởng bộ lá tốt nhất, với chiều dài và chiều rộng lá tại 180 NST lần lượt đạt 18,9 cm và 14,3 cm. Ngược lại, nghiệm thức T1M1 (trồng ngày 01/4 với mật độ 250.000 cây/ha) có bộ lá phát triển kém nhất, với chiều dài và chiều rộng lá chỉ đạt 14,5 cm và 10,9 cm tại cùng thời điểm.

Kết quả nghiên cứu cho thấy thời vụ và mật độ trồng ảnh hưởng rõ rệt đến sự phát triển bộ lá của cây địa liên, trong đó thời vụ đóng vai trò chính trong các giai đoạn đầu và mật độ ảnh hưởng rõ ở giai đoạn sinh trưởng mạnh. Nghiệm thức T2M3 (trồng ngày 01/5, mật độ 125.000 cây/ha) là tối ưu để cây đạt kích thước lá lớn nhất, từ đó nâng cao hiệu quả quang hợp và tiềm năng năng suất.

3.3.3. Ảnh hưởng của thời vụ và mật độ trồng đến các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất địa liền

Bảng 3.11. Ảnh hưởng của thời vụ và mật độ trồng đến các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất địa liền

Nghiem thức	Số củ (củ/khóm)	Khối lượng củ (g)	Khối lượng khóm củ (g)	NSLT (tấn/ha)	NSTT (tấn/ha)
T1M1	8,4 ^c	8,2 ^b	68,9 ^c	17,2 ^d	15,3 ^c
T1M2	8,9 ^c	9,5 ^b	84,6 ^c	14,0 ^{de}	12,6 ^c
T1M3	9,2 ^c	9,9 ^b	91,1 ^c	11,4 ^e	12,5 ^c
T2M1	9,3 ^c	10,5 ^b	97,7 ^c	24,4 ^c	22,3 ^b
T2M2	14,7 ^{ab}	14,9 ^a	219,0 ^b	36,4 ^a	31,5 ^a
T2M3	17,5 ^a	17,3 ^a	269,0 ^a	33,6 ^{ab}	29,8 ^a
T3M1	9,4 ^c	10,3 ^b	96,8 ^c	24,2 ^c	21,8 ^b
T3M2	13,0 ^b	14,5 ^a	205,6 ^b	34,1 ^{ab}	30,6 ^a
T3M3	14,9 ^{ab}	15,9 ^a	236,9 ^{ab}	29,6 ^{bc}	27,5 ^a
CV%	15,0	12,3	13,5	12,1	10,8
F _T	28,19*	47,75*	144,77*	147,45*	96,6*
F _M	25,54 ^{ns}	37,2*	126,49*	16,16*	10,28*
F _{T*M}	11,01*	14,23*	43,75*	27,58*	29,88*

Ghi chú: Trung bình trong cùng một cột có chữ cái giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê tại $\alpha=0,05$; *: khác biệt có ý nghĩa thống kê tại $\alpha=0,05$; ns: khác biệt không có ý nghĩa thống kê. NSLT = Năng suất lý thuyết. NSTT = Năng suất thực thu.

Số lượng củ/khóm giữa các nghiệm thức khác biệt có ý nghĩa thống kê rõ rệt. Trong đó, nghiệm thức T2M3 (trồng ngày 01/5, mật độ 125.000 cây/ha) cho số củ cao nhất, trung bình đạt 17,5 củ/khóm, trong khi nghiệm thức T1M1 (trồng ngày 01/4, mật độ 250.000 cây/ha) chỉ đạt 8,4 củ/khóm.

Khối lượng củ trung bình cũng ghi nhận sự sai khác có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức. Nghiệm thức T2M3 tiếp tục cho kết quả cao nhất với 17,3 gam/củ, trong khi nghiệm thức T1M1 đạt giá trị thấp nhất là 8,2 gam/củ.

Chỉ tiêu khối lượng khóm củ, yếu tố trực tiếp cấu thành năng suất, cũng ghi nhận sự khác biệt đáng kể giữa các công thức. Nghiệm thức T2M3 đạt khối lượng khóm củ cao nhất là 269,0 gam, trong khi nghiệm thức T1M1 đạt thấp nhất với chỉ 68,9 gam. Điều đáng chú ý là mật độ trồng thấp kết hợp với thời vụ phù hợp (đầu mùa mưa) giúp cây địa liên có điều kiện sinh trưởng tốt, dẫn đến hình thành bộ khóm củ có khối lượng lớn. Tuy nhiên, cũng cần cân nhắc rằng nếu mật độ quá thấp, tổng số khóm trên đơn vị diện tích sẽ giảm, ảnh hưởng đến năng suất chung.

Về năng suất, nghiệm thức T2M2 (trồng ngày 01/5, mật độ 166.000 cây/ha) đạt năng suất thực thu cao nhất là 31,5 tấn/ha, trong khi nghiệm thức T1M3 (trồng ngày 01/4, mật độ 125.000 cây/ha) đạt thấp nhất với chỉ 12,5 tấn/ha. Mặc dù nghiệm thức T2M3 có khối lượng khóm củ cao hơn, nhưng nghiệm thức T2M2 với mật độ trồng cao hơn đã bù lại bằng số lượng khóm trên diện tích, giúp nâng cao tổng năng suất. Năng suất lý thuyết của T2M2 đạt 36,4 tấn/ha, phản ánh tiềm năng sản xuất cao trong điều kiện canh tác hợp lý. Tuy nhiên, cần có phân tích hiệu quả kinh tế để xác định tính khả thi thực tiễn, vì mật độ cao cũng đồng nghĩa với chi phí giống và chăm sóc cao hơn.

Tổng hợp các kết quả nghiên cứu cho thấy, nghiệm thức T2M2 và T2M3 được xác định là tối ưu trong điều kiện nghiên cứu, tuy nhiên cần tiếp tục đánh giá hiệu quả kinh tế để lựa chọn mô hình canh tác phù hợp nhất cho từng mục tiêu sản xuất.

3.3.4. Tình hình theo dõi sâu, bệnh hại tại thí nghiệm

Nghiên cứu tại VQG Kon Ka Kinh cho thấy sâu ăn lá là tác nhân chính, xuất hiện ở giai đoạn đầu sinh trưởng. Không ghi nhận bệnh thối nõn và thối củ, có thể do cây địa

liền là cây trồng mới tại đây, đồng thời đồng ruộng có điều kiện thoát nước tốt nên giảm thiểu nguy cơ bệnh hại xuất hiện.

Nghiệm thức trồng tháng 6, mật độ dày (T3M1) ghi nhận sâu hại cao hơn so với trồng tháng 4 và mật độ thưa (T1M3). Mật độ dày tạo điều kiện cho sâu bệnh phát triển, trong khi nghiệm thức T1M3 (tháng 4, mật độ thưa) là tối ưu để hạn chế sâu bệnh. Việc không phát hiện bệnh trong thí nghiệm mở ra tiềm năng phát triển cây địa liền tại vùng chưa có mầm bệnh, nhưng cần cảnh giác với nguy cơ tích lũy mầm bệnh trong đất nếu canh tác liên tục.

3.3.5 Ảnh hưởng của thời vụ và mật độ trồng đến hiệu quả kinh tế trong sản xuất địa liền

Bảng 3.13. Ảnh hưởng của thời vụ và mật độ trồng đến hiệu quả kinh tế trong sản xuất địa liền

Nghiệm thức	NSTT (tấn/ha)	Tổng thu (1.000 đồng/ha)	Tổng chi (1.000 đồng/ha)	Lợi nhuận (1.000 đồng/ha)	VCR
T1M1	15,3	306.000	242.990	63.010	1,26
T1M2	12,6	252.000	174.590	77.410	1,44
T1M3	12,5	250.000	138.890	111.110	1,80
T2M1	22,3	446.000	242.990	203.010	1,84
T2M2	31,5	630.000	174.590	455.410	3,61
T2M3	29,8	596.000	138.890	457.110	4,29
T3M1	21,8	436.000	242.990	193.010	1,79
T3M2	30,6	612.000	174.590	437.410	3,51
T3M3	27,5	550.000	138.890	411.110	3,96

Ghi chú: Giá bán địa liền = 20.000 đồng/kg; Công lao động = 200.000 đồng/công; Giá địa liền giống = 45.000 đồng/kg; Phân bón = 25.840.000 đồng/ha; Thuê máy làm đất 4.000.000 đồng/ha. VCR (Value Cost Ratio) = Tổng thu/Tổng chi.

Kết quả nghiên cứu cho thấy mật độ trồng 125.000 cây/ha cho hiệu quả kinh tế vượt trội hơn so với các mật độ khác. Cụ thể, với nghiệm thức trồng vào ngày 1/5 (T2M3), tổng chi phí đầu tư giảm đáng kể do giảm lượng giống, công

chăm sóc và thu hoạch, đồng thời lợi nhuận đạt 457,11 triệu đồng/ha, tương ứng với chỉ số VCR là 4,29 là cao nhất trong các nghiệm thức được khảo sát.

3.3.6. Ảnh hưởng của thời vụ và mật độ đến chất lượng của dược liệu địa liên

Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng tinh dầu tổng số của củ địa liên dao động từ 3,10% đến 4,43%. Nghiệm thức T2M3 cho hàm lượng tinh dầu tổng số cao nhất đạt 4,43%, các mẫu còn lại đều thấp hơn. Điều đó cho thấy việc bố trí thời vụ và mật độ trồng hợp lý sẽ tối ưu hóa việc chiết xuất tinh dầu địa liên.

3.4. Ảnh hưởng của phân bón đến sinh trưởng, phát triển, năng suất, chất lượng địa liên

3.4.1. Ảnh hưởng của phân bón đến sinh trưởng, phát triển của cây địa liên

Kết quả theo dõi cho thấy thời gian nảy mầm dao động trong khoảng 22 - 24 ngày sau trồng, và không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức.

Thời gian đẻ nhánh quyết định năng suất và số củ thu hoạch; cây đẻ nhánh sớm có lợi thế tích lũy sinh khối lâu hơn. Các nghiệm thức bón phân hữu cơ vi sinh, đặc biệt ở mức cao, rút ngắn đáng kể thời gian đẻ nhánh, trong khi bón phân hóa học đơn thuần không đạt hiệu quả tương tự, cho thấy vai trò quan trọng của phân hữu cơ trong tạo điều kiện phát triển bộ rễ. Về ra hoa, cây ít hoặc không bón phân (S0P0) ra hoa sớm hơn so với cây bón phân đầy đủ (S3P4, S1P2, S2P2), phản ánh sự cạnh tranh giữa sinh trưởng sinh dưỡng và sinh thực. Tuy nhiên, ra hoa sớm làm giảm thời gian tích lũy dinh dưỡng, ảnh hưởng đến chất lượng và trọng lượng củ. Thời gian thu hoạch cũng rút ngắn ở nghiệm thức không bón phân, trong khi các nghiệm thức bón phân đầy đủ, đặc biệt S2P1, kéo dài chu kỳ sinh trưởng, giúp cây

tích lũy nhiều sinh khối hơn và nâng cao năng suất, chất lượng dược liệu.

3.4.2. Ảnh hưởng của phân bón đến các chỉ tiêu về lá của cây địa liên

Kết quả thực nghiệm cho thấy, chiều dài lá đạt giá trị cao nhất tại nghiệm thức S3P1 (nghiệm thức được bón phân với hàm lượng cao nhất) trong khi thấp nhất là nghiệm thức S0P0 (không bón phân).

Kết quả phân tích cho thấy các nghiệm thức được bón phân hữu cơ vi sinh với mức cao (đặc biệt là S3P1, S3P2) có chiều rộng lá lớn hơn rõ rệt so với nghiệm thức đối chứng.

Trong nghiên cứu này, đường kính tán đạt giá trị cao nhất ở nghiệm thức S3P1 (31,6 cm tại 180 NST), trong khi thấp nhất là S0P0 (18,8 cm).

3.4.3. Ảnh hưởng của phân bón đến các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất địa liên

Kết quả nghiên cứu cho thấy số củ trung bình trên mỗi khóm có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức. Số củ cao nhất được ghi nhận tại nghiệm thức S3P1 (17,9 củ). Trong khi đó, nghiệm thức đối chứng S0P0 chỉ đạt 5,6 củ đã cho thấy ảnh hưởng khá lớn của phân bón đến sự phát sinh cơ quan sinh sản ở cây địa liên.

Khối lượng củ, đại diện cho mức độ tích lũy chất khô, cũng cho thấy sự gia tăng rõ rệt tại các nghiệm thức được bón phân hợp lý. Nghiệm thức S3P1 tiếp tục giữ vị trí dẫn đầu với 17,5 g/củ, cao hơn hẳn so với 12,1 g/củ ở nghiệm thức đối chứng S0P0.

Khối lượng khóm củ, phản ánh đồng thời số lượng và khối lượng củ, cũng ghi nhận cao nhất tại S3P1 (281,2 g/khóm), và thấp nhất tại S0P0 (68,4 g/khóm). Kết quả này

cho thấy mối liên hệ giữa số củ, khối lượng củ và khối lượng khóm củ.

Bảng 3.19. Ảnh hưởng của phân bón đến các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất địa liên

Nghiệm thức	Số củ (củ)	Khối lượng củ (g)	Khối lượng khóm củ (g)	NSLT (tấn/ha)	NSTT (tấn/ha)
S0P0	5,6 ^g	12,1 ^d	68,4 ^f	8,6 ^f	8,6 ^g
S0P1	7,5 ^{fg}	13,4 ^{a-d}	100,1 ^f	12,6 ^f	11,8 ^g
S0P2	6,2 ^g	12,7 ^{bcd}	78,9 ^f	9,9 ^f	9,7 ^g
S0P3	5,8 ^g	12,3 ^d	74,4 ^f	8,9 ^f	8,9 ^g
S0P4	5,7 ^g	12,3 ^d	70,1 ^f	8,8 ^f	8,8 ^g
S1P0	6,0 ^g	12,4 ^{cd}	74,6 ^f	9,3 ^f	9,3 ^g
S1P1	12,5 ^{cde}	16,5 ^{ab}	199,6 ^{cde}	25,0 ^{cde}	22,6 ^{bcd}
S1P2	11,7 ^{de}	16,1 ^{a-d}	188,4 ^{de}	23,6 ^{de}	21,9 ^{b-e}
S1P3	10,5 ^{ef}	15,6 ^{a-d}	161,8 ^e	20,3 ^e	18,7 ^{de}
S1P4	10,4 ^{ef}	15,3 ^{a-d}	157,9 ^e	19,7 ^e	17,1 ^{ef}
S2P0	6,4 ^g	12,8 ^{bcd}	79,2 ^f	9,9 ^f	9,8 ^g
S2P1	15,1 ^{abc}	16,7 ^{ab}	253,1 ^{ab}	31,6 ^{ab}	26,6 ^{ab}
S2P2	14,5 ^{bcd}	16,7 ^{ab}	240,6 ^{abc}	30,1 ^{abc}	25,1 ^{bc}
S2P3	12,7 ^{cde}	16,5 ^{ab}	208,7 ^{cd}	26,1 ^{cd}	23,2 ^{bcd}
S2P4	11,6 ^{de}	15,7 ^{a-d}	179,0 ^{de}	22,4 ^{de}	20,3 ^{cde}
S3P0	8,1 ^{fg}	13,4 ^{a-d}	107,1 ^f	13,4 ^f	12,9 ^{fg}
S3P1	17,9 ^a	17,5 ^a	281,2 ^a	35,2 ^a	31,6 ^a
S3P2	17,6 ^{ab}	17,3 ^a	275,5 ^a	34,4 ^a	31,5 ^a
S3P3	16,9 ^{ab}	16,9 ^a	264,7 ^a	33,1 ^a	30,1 ^a
S3P4	13,1 ^{cde}	16,4 ^{abc}	216,8 ^{bcd}	27,1 ^{bcd}	23,5 ^{bcd}
CV%	16,7	14,0	14,2	14,2	15,28
F _s	54,54*	11,32*	112,21*	112,32*	84,76*
F _p	23,59*	5,89*	53,33*	53,37*	38,82*
F _{SP}	16,41*	2,71*	33,01*	33,02*	24,69*

*Ghi chú: Các số trong cùng một loại trung bình được kèm theo cùng một chữ cái thì khác biệt không có ý nghĩa về mặt thống kê tại $\alpha=0,05$; *: khác biệt có ý nghĩa về mặt thống kê tại $\alpha=0,05$; ns: là sai khác không có ý nghĩa thống kê. NSLT = Năng suất lý thuyết. NSTT = Năng suất thực thu.*

Năng suất lý thuyết cao nhất ghi nhận tại nghiệm thức S3P1: 35,2 tấn/ha, kế đến là S3P2: 34,4 tấn/ha, S3P3: 33,1 tấn/ha. Tương ứng, năng suất thực thu lần lượt là 31,6 tấn/ha, 31,5 tấn/ha, và 30,1 tấn/ha. Trong khi đó, nghiệm thức đối chứng S0P0 chỉ đạt 8,6 tấn/ha ở cả hai chỉ tiêu. Hiệu quả sử dụng phân bón ở ba nghiệm thức có NSLT và NSTT cao nhất (S3P1, S3P2, S3P3) cho thấy không có khác biệt lớn giữa các mức giảm nhẹ lượng NPK khi lượng hữu cơ được giữ ở mức cao (3 tấn/ha). Điều này mở ra khả năng tối ưu hóa công thức bón phân theo hướng tiết giảm chi phí mà vẫn duy trì năng suất.

3.4.4. Tình hình sâu, bệnh hại tại thí nghiệm ảnh hưởng của phân bón đến cây địa liên

Kết quả theo dõi cho thấy tỷ lệ cây bị sâu ăn lá dao động từ 2,56% đến 13,00%. Trong đó, nghiệm thức S0P1 (không bón phân hữu cơ, nhưng bón NPK liều cao) ghi nhận tỷ lệ sâu hại cao nhất (13,00%), trong khi nghiệm thức S0P0 (không bón phân) ghi nhận tỷ lệ thấp nhất (2,56%). Đáng chú ý, các nghiệm thức có sử dụng phân hữu cơ vi sinh kết hợp với hàm lượng NPK trung bình đến thấp (như S3P3: 3,97%; S3P4: 3,14%) cho thấy mức độ nhiễm sâu hại thấp rõ rệt so với các nghiệm thức bón NPK đơn thuần. Sự gia tăng sâu hại ở các nghiệm thức bón NPK cao có thể liên quan đến hàm lượng nitơ trong mô thực vật, đây là yếu tố được biết đến có khả năng thu hút và nuôi dưỡng nhiều loài sâu ăn lá, đặc biệt là các loài thuộc bộ cánh vảy Lepidoptera.

3.4.5. Ảnh hưởng của phân bón đến hiệu quả kinh tế trong sản xuất địa liên

Kết quả cho thấy, hai nghiệm thức đạt hiệu quả kinh tế cao nhất là S3P1 và S3P2, với lợi nhuận lần lượt là 490,89 triệu đồng/ha và 491,16 triệu đồng/ha, cùng với VCR tương ứng là 4,48 và 4,54. Trong khi năng suất thực

thu giữa hai nghiệm thức này không có sự chênh lệch đáng kể (S3P1: 31,6 tấn/ha; S3P2: 31,5 tấn/ha), nghiệm thức S3P2 - với lượng phân hóa học thấp hơn (120:120:90 kg/ha) lại cho hiệu quả kinh tế cao hơn một ít, do chi phí đầu tư thấp hơn (138,84 triệu đồng so với 141,11 triệu đồng ở S3P1).

Bảng 3.21. Ảnh hưởng của phân bón đến hiệu quả kinh tế trong sản xuất địa liên

Nghiem thức	NSTT (tấn/ha)	Tổng thu (triệu đồng)	Tổng chi (1000 đồng)	Lợi nhuận (1000 đồng)	VCR
S0P0	8,6	172	113,05	58,95	1,52
S0P1	11,8	236	124,61	111,39	1,89
S0P2	9,7	194	122,34	71,66	1,59
S0P3	8,9	178	120,07	57,93	1,48
S0P4	8,8	176	117,8	58,2	1,49
S1P0	9,3	186	118,55	67,45	1,57
S1P1	22,6	452	130,11	321,89	3,47
S1P2	21,9	438	127,84	310,16	3,43
S1P3	18,7	374	125,57	248,43	2,98
S1P4	17,1	342	123,3	218,7	2,77
S2P0	9,8	196	124,05	71,95	1,58
S2P1	26,6	532	135,61	396,39	3,92
S2P2	25,1	502	133,34	368,66	3,76
S2P3	23,2	464	131,07	332,93	3,54
S2P4	20,3	406	128,8	277,2	3,15
S3P0	12,9	258	129,55	128,45	1,99
S3P1	31,6	632	141,11	490,89	4,48
S3P2	31,5	630	138,84	491,16	4,54
S3P3	30,1	602	136,57	465,43	4,41
S3P4	23,5	470	134,3	335,7	3,50

Ghi chú: Công lao động tại địa phương = 200.000 đồng/công; giá bán địa liên khi thu hoạch = 20.000 đồng/kg; giá mua địa liên giống = 45.000 đồng/kg; tiền thuê máy làm đất = 4.000.000 đ/ha. VCR (Value Cost Ratio) = Tổng thu/tổng chi.

Điều này chỉ ra rằng việc giảm bớt lượng phân hóa học trong khi vẫn duy trì mức bón hữu cơ hợp lý (3 tấn/ha) không làm suy giảm năng suất mà còn nâng cao hiệu quả đầu tư, giảm thiểu chi phí đầu vào và tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm môi trường đất. Đây là xu hướng phù hợp với định hướng phát triển nông nghiệp sinh thái, tiết kiệm tài nguyên và tăng hiệu quả sử dụng phân bón tại Việt Nam hiện nay. Bên cạnh các nghiệm thức hiệu quả cao, cũng cần lưu ý rằng một số nghiệm thức bón nhiều phân hóa học nhưng không kèm phân hữu cơ (như S0P1, S0P2) cho thấy năng suất và lợi nhuận thấp, chứng tỏ khả năng sử dụng dinh dưỡng của cây địa liên bị hạn chế trong điều kiện đất chưa được cải tạo hoặc chưa có hệ vi sinh vật phát triển tốt. Từ các phân tích nêu trên, có thể khẳng định rằng S3P2 là công thức bón phân tối ưu nhất trong nghiên cứu này, vừa đạt được năng suất cao, vừa mang lại lợi nhuận cao nhất với chi phí hợp lý. Đây cũng là công thức có tính ứng dụng thực tiễn cao nhờ tiết kiệm lượng phân hóa học, từ đó góp phần giảm thiểu ô nhiễm đất, tăng độ bền hệ sinh thái và phù hợp với mô hình canh tác bền vững.

3.4.6 Ảnh hưởng của phân bón đến chất lượng của dược liệu địa liên

Nghiệm thức S3P1 đạt hàm lượng tinh dầu cao nhất là 4,49%, trong khi nghiệm thức S0P0 (không bón phân) chỉ đạt 3,07%..

Tỷ lệ Tr-p đạt cao nhất tại S3P1 (66,69%), kế đến là S3P2 (66,57%), thấp nhất là S0P0 (51,38%). 1,3-Isobenzofurandion (1,3-Iso): Một hợp chất có hoạt tính chống oxy hóa và kháng khuẩn, đạt tỷ lệ cao nhất ở S3P1 (25,32%) và S3P2 (25,30%). Isoborneol và Eucalyptol (Iso, Eu): Hai thành phần dễ bay hơi có trong tinh dầu, được biết đến với tác dụng giảm đau và thư giãn. Hàm lượng cao nhất

lần lượt là 7,91% và 6,65% ở S3P1, so với mức thấp 1,67% và 2,14% ở nghiệm thức không bón phân. Trans-2,3-Epoxynonane (Tr-2,3-Ep) và Gamma-Elementene (Ga-El): Hai thành phần ít phổ biến hơn nhưng cũng đóng góp vào tính được lý tổng hợp. Đặc biệt, S3P2 cho hàm lượng Tr-2,3-Ep (9,82%) và Ga-El (2,35%) cao nhất trong số tất cả các nghiệm thức.

3.4.7. Tính chất đất trước và sau khi thực hiện các thí nghiệm tại địa điểm nghiên cứu

Sau một mùa vụ canh tác, các chỉ tiêu hóa học đất đã có biến động theo hướng tích cực ở những nghiệm thức có sử dụng phân hữu cơ vi sinh. Trong đó, chất hữu cơ và đạm tổng số là hai yếu tố cải thiện rõ rệt nhất, đóng vai trò thiết yếu trong việc duy trì độ phì lâu dài của đất. Mức pH đất cũng được ổn định tốt hơn ở các nghiệm thức có bón hữu cơ, tạo điều kiện thuận lợi cho vi sinh vật đất phát triển. Ngược lại, các nghiệm thức không bón hoặc chỉ sử dụng phân hóa học cho thấy xu hướng suy giảm OM, pH và các chỉ tiêu hấp thu dinh dưỡng, từ đó tiềm ẩn nguy cơ suy thoái đất nếu duy trì liên tục trong thời gian dài.

Chương 4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

4.1. Kết luận

Ở Vườn quốc gia Kon Ka Kinh, vì bị khai thác không có quy hoạch và không có biện pháp bảo tồn, phát triển bền vững nên cây địa liền trong tự nhiên đã bị suy kiệt nghiêm trọng.

Quần thể địa liền được thu thập có độ đa dạng di truyền tương đối cao, với hệ số tương đồng trung bình đạt 0,78. Các mẫu được phân thành hai nhóm di truyền rõ rệt, phản ánh sự phân hóa gen theo nguồn gốc địa lý.

Cây địa liền tại Kon Ka Kinh có chu kỳ sinh trưởng 9 - 10 tháng, thích nghi với điều kiện sinh thái địa phương. Các đặc điểm hình thái, giải phẫu lá, thân, rễ được mô tả rõ nét, giúp xác định đặc điểm nhận diện và phục vụ công tác chọn giống.

Trồng địa liền vào đầu tháng 5 với mật độ 125.000 cây/ha (khoảng cách 40 cm x 20 cm) không chỉ cho năng suất (29,8 tấn/ha) và chất lượng củ cao mà còn mang lại hiệu quả kinh tế vượt trội (VCR đạt 4,29). Mật độ và thời vụ còn tác động đáng kể đến hàm lượng hoạt chất, khẳng định vai trò của các yếu tố kỹ thuật trong việc nâng cao giá trị dược liệu cây địa liền.

Bón kết hợp 3 tấn phân hữu cơ vi sinh/ha với liều lượng 120 kg N + 120 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O kg/ha giúp cây sinh trưởng mạnh, cho củ lớn và đồng đều, năng suất đạt 31,5 tấn/ha, hiệu quả kinh tế tốt (VCR đạt 4,54) và hàm lượng hoạt chất cao. Việc phối hợp giữa phân hữu cơ và phân hóa học với mức hợp lý không chỉ nâng cao hiệu quả canh tác mà còn góp phần cải thiện cấu trúc và độ phì nhiêu của đất, hướng đến canh tác bền vững.

4.2. Đề nghị

Sử dụng các dữ liệu điều tra hiện trạng sinh thái và kết quả đánh giá đa dạng di truyền làm cơ sở khoa học cho việc bảo tồn tại chỗ và lưu giữ nguồn gen cây địa liền tại Vườn quốc gia Kon Ka Kinh. Ưu tiên lựa chọn những dòng bản địa có đặc điểm hình thái ổn định, di truyền đặc trưng để nhân giống, phục vụ phát triển các mô hình trồng dược liệu gắn với bảo tồn tài nguyên rừng.

Tiếp tục nghiên cứu xây dựng mô hình trồng cây địa liền vào tháng 5 với mật độ 125.000 cây/ha và sử dụng phối hợp phân hữu cơ vi sinh (3 tấn/ha) với liều lượng 120 kg N -

120 kg P_2O_5 - 90 kg K_2O kg/ha ở vùng đệm Vườn Quốc gia Kon Ka Kinh và các khu vực tương đồng về điều kiện sinh thái.

Cần tiến hành thêm một số nghiên cứu như kỹ thuật chăm sóc sau trồng, phòng trừ sâu bệnh, thời điểm thu hoạch, phương pháp sơ chế - bảo quản cũng như đánh giá hàm lượng hoạt chất theo các giai đoạn sinh trưởng để hoàn thiện quy trình kỹ thuật trồng cây địa liên cho năng suất và hiệu quả cao phù hợp với điều kiện sinh thái đặc thù của Vườn quốc gia Kon Ka Kinh.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN

STT	Tên bài báo	Tạp chí	Tên tác giả	Ghi chú
1	Nguồn gen cây địa liên (<i>Kaempferia galanga</i> l.) tại Vườn quốc gia Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai	Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Tập 132, Số 3B, 2023, Tr.59-78, DOI:10.26459/hueunijard.v132i3B.7091	Nguyễn Đăng Toàn Chương, Trần Đăng Hòa, Nguyễn Đình Thi, Hoàng Kim Toàn.	
2	Nghiên cứu ảnh hưởng của thời vụ và mật độ trồng đến cây địa liên (<i>Kaempferia galanga</i> L.) tại Vườn quốc gia Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.	Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Trường Đại học Nông Lâm Huế. Tập 9(1)-2025: 4598-4608	Nguyễn Đăng Toàn Chương, Trần Đăng Hòa, Nguyễn Đình Thi.	
3	Evaluation of the genetic diversity of germplasms of <i>Kaempferia galanga</i> collected in Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province, Viet Nam	SCIREA Journal of Agriculture. Volume 9, Issue 1, February 2025 PP. 1-13. 10.54647/agriculture210424. https://doi.org/10.54647/agriculture210424	Nguyen Dang Toan Chuong, Tran Dang Hoa, Nguyen Dinh Thi, Nghiem Tien Chung.	
4	Effect of Organic and NPK Fertilizer Rates on the Growth and Yield of Sand Ginger (<i>Kaempferia galanga</i> L.)	Gaurav Publications - Research on Crops. Volume 26, issue 2, June 2025. ROC – 1190. DOI: 10.31830/2348-7542.2025.ROC-1190 . Scientifical Journal Ranking(SJR): Scopus Q3, SJR 2024: 0.27	D. T. C. Nguyen, D. T. Nguyen and D. H. Tran	

HUE UNIVERSITY
UNIVERSITY OF AGRICULTURE AND FORESTRY

NGUYEN DANG TOAN CHUONG

**EVALUATION OF GENETIC RESOURCES
AND CULTIVATION PRACTICES FOR
Kaempferia galanga L. AT KON KA KINH
NATIONAL PARK, GIA LAI PROVINCE**

SUMMARY OF THE DOCTORAL DISSERTATION IN CROP SCIENCE
DISCIPLINE: CROP SCIENCE
DISCIPLINE CODE: 9620110

ACADEMIC SUPERVISORS
Prof. Dr. Tran Dang Hoa
Assoc. Prof. Dr. Nguyen Dinh Thi

HUE - 2025

INTRODUCTION

1. Rationale for the Study

Vietnam lies in the tropical monsoon zone, with rich ecosystems and diverse plant resources, including approximately 5,117 recorded medicinal plant species. This represents substantial potential to develop the medicinal-plant sector into an important technical–economic field. Medicinal plants are widely used in health care for multiple purposes anti-inflammatory, antibacterial, sedative, analgesic, and for supporting digestive, circulatory, and respiratory functions (Nag et al., 2015) [153] and they also generate economic value through value-added processing and export. However, the current development of medicinal resources in Viet Nam remains inadequate. Exploitation is still predominantly based on wild harvesting and is not aligned with long-term conservation strategies. Unplanned use of land, forests, and biological resources, together with spontaneous extraction, has led to a serious decline in many valuable medicinal species. Meanwhile, cultivation, research and development, and value-chain linkages for medicinal-plant products remain fragmented and poorly coordinated. In this context, investment in research, conservation, and development of medicinal resources, toward sustainability, efficiency, and commercial scale, is urgently required.

Gia Lai is a mountainous province in the Central Highlands, endowed with favorable natural conditions such as fertile basaltic red soils, a humid tropical climate, high rainfall, and rich ethnic cultural diversity with indigenous knowledge of medicinal plant use. These attributes offer significant potential to develop medicinal plants into an important economic and technical sector that reflects local characteristics. Recognizing this role, Gia Lai Province has issued a number of policies and programs to promote the development of medicinal resources in recent years.

Kon Ka Kinh National Park is one of Gia Lai's representative nature reserves and lies within a biodiversity rich area of the Central Highlands. A 2017 survey recorded more than 1,700 vascular plant species, many of which have high medicinal value and high conservation value (Pham Ngoc Binh, 2017) [40]. *Kaempferia galanga* L. is indigenous to this area and has long been widely used in folk medicine, especially among ethnic minority communities in the Central Highlands, to treat disorders of the digestive and respiratory systems and rheumatism.

In recent years, however, harvesting by local residents for sale to traders has placed *K. galanga* in Kon Ka Kinh at risk of a serious decline in both abundance and distribution. Prolonged and uncontrolled collection from the wild, together with the absence of conservation and restoration measures, has caused substantial damage to natural populations. Notably, no study to date has provided a comprehensive assessment of the species' biology, morphology, anatomical structure, habitat ecology, or adaptive growth under the park's specific ecological conditions.

Beyond these gaps in basic research, the scientific foundations for production have not been established, including appropriate planting seasons, suitable planting densities, and rational fertilization regimes to achieve optimal growth, yield, and medicinal quality. As a result, *Kaempferia galanga* L. has not yet been integrated into cropping systems at scale for commercial production that could support agricultural economic development while sustainably conserving indigenous germplasm and forest biodiversity.

For these reasons, the PhD dissertation titled “Evaluation of genetic resources and cultivation practices for *Kaempferia galanga* L. at Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai province” is conducted to clarify the scientific bases for conserving and developing this medicinal species in ways suited to the area’s distinctive ecological conditions, thereby ensuring production efficiency and long term sustainability.

2. Study objectives

2.1. Overall Objective

To identify the existing medicinal-plant resources of *Kaempferia galanga* L. at Kon Ka Kinh National Park and to develop a cultivation protocol suited to local conditions in order to support the conservation and germplasm development of *K. galanga* in Gia Lai Province.

2.2. Specific Objectives

- Determine the distribution of *Kaempferia galanga* L. within Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province.
- Determine the morphological, molecular, and agrobiological characteristics of *Kaempferia galanga* L. populations in Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province.
- Determine the appropriate planting season and planting density for *Kaempferia galanga* L. at Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province.
- Determine suitable fertilizer application rates for *Kaempferia galanga* L. at Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province.

3. Scientific and Practical Significance

3.1. Scientific Significance

The dissertation provides valuable scientific information on the medicinal plant resources of *K. galanga* in Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province. By determining the current distribution, ecological characteristics, levels of genetic diversity, and technical factors that influence growth, yield, and quality, the study clarifies the biological traits and application potential of this medicinal species.

The findings furnish a scientific basis for developing a cultivation protocol for *K. galanga* that is suited to local ecological conditions, while also enriching the evidence base for subsequent research, conservation, and development of indigenous medicinal plant species in the Central Highlands in general and Gia Lai Province in particular. The scientific evidence generated by the study helps guide the sustainable utilization of *K. galanga* germplasm within strategies to develop the medicinal plant economy in tandem with biodiversity conservation.

3.2. Practical Significance

The dissertation’s findings provide a practical basis for assessing the current status and development potential of the medicinal plant *K. galanga* in Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province. This serves as the foundation for proposing measures for the conservation, restoration, and sustainable development of valuable indigenous genetic resources.

The dissertation also establishes scientific and practical foundations for developing market-oriented cultivation models for *K. galanga* that are suited to local natural conditions and economic development needs. Integrating this species into cropping systems can enhance land-use efficiency and

diversify agricultural products, aligning with Gia Lai Province's agricultural restructuring toward value addition and sustainability.

In particular, the rational utilization of *K. galanga* can bring tangible benefits to buffer-zone communities, especially ethnic minorities, through the development of under-canopy medicinal-plant cultivation models. This not only increases incomes and improves livelihoods but also fosters forest protection awareness, thereby preserving and enhancing the value of natural resources effectively and over the long term.

4. Original Contributions of the Dissertation

The dissertation establishes baseline data on the natural distribution and ecological characteristics of *K. galanga* in Kon Ka Kinh National Park. This provides important ecological evidence to support conservation, restoration, and sustainable development of this indigenous medicinal species in the Central Highlands in general and Gia Lai Province in particular.

It assesses the genetic diversity of ten *K. galanga* samples using ISSR markers. This represents the first genetic dataset to inform cultivar selection and germplasm conservation of *K. galanga* in the Central Highlands.

It identifies the optimal combination of planting season, planting density, and fertilization regime, combining organic microbial and mineral fertilizers, to enhance yield, medicinal quality, and economic efficiency. This is a practical contribution to developing commercial scale production models for *K. galanga* suited to local conditions.

Chapter 1. LITERATURE REVIEW

1.1. Theoretical foundations of the research

1.1.1. Origin, taxonomic position, and morphological and physiological characteristics of *Kaempferia galanga* L.

1.1.2. Assessment of genetic diversity

1.1.3. Scientific basis for cultivation techniques for *Kaempferia galanga* L.

1.1.4. Relationships among fertilizer types and principles for efficient use

1.1.4.1. Relationships among fertilizer types

1.1.4.2. Principles for rational fertilizer use

1.2. Practical foundations of the research

1.2.1. Overview of Kon Ka Kinh National Park

1.2.2. Current status of *Kaempferia galanga* L. cultivation in Viet Nam and Gia Lai Province

1.2.3. Previous studies in Viet Nam and internationally

Chapter 2. SUBJECTS, CONTENT, AND RESEARCH METHODS

2.1. Research subjects and scope

2.1.1. Research subjects

The indigenous *K. galanga* at Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province.

Appropriate cropping seasons, planting densities, and fertilizers (bio-organic and NPK) in the cultivation of *Kaempferia galanga*.

2.1.2. Scope of the research

Study of *K. galanga* collected at Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province.

Investigation of certain cultivation techniques for *K. galanga* on production land in the buffer zone of Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province.

Survey and collection of *K. galanga* samples at Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province.

Evaluation of morphological and agro-biological characteristics of *K. galanga* at Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province.

Assessment of genetic diversity of *K. galanga* collected at Kon Ka Kinh National Park and five additional samples collected from other regions across the country.

Arrangement of experimental trials on selected cultivation techniques for *K. galanga* at Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province.

2.2.2. Research content

2.2.1. Survey of the current status and collection of *K. galanga* genetic resources at Kon Ka Kinh National Park

2.2.2. Evaluation of genetic diversity and agro-biological characteristics of *K. galanga*.

2.2.3. Study on the effects of cultivation techniques on the yield and quality of *K. galanga*.

- Investigation of the effects of cropping seasons and planting densities on the growth, development, yield, and quality of *K. galanga*.

- Investigation of the effects of application rates of N, P, K fertilizers and bio-organic fertilizers on the growth, development, yield, and quality of *K. galanga*.

2.3. Research methods

2.3.1. Survey Methods

2.3.1.1. Field survey methods

Survey of Distribution Status: Conducted in March and May 2022 following the survey protocols of the Institute of Materia Medica (2004), Nguyễn Nghĩa Thìn (2007), and Lê Thị Thanh Hương et al. (2016). Accordingly, the survey was carried out in areas where *Kaempferia galanga* L. is distributed within the study site.

In each area, surveys were conducted along transects appropriate to the topographical characteristics and the actual distribution of *K. galanga* populations. Transects were georeferenced using GPS devices, and all distribution points of *K. galanga* were recorded.

Establishment of Standard Plots (SPs): Along the transects, at sites where *K. galanga* occurred, three SPs per transect were established, with each SP covering 1,000 m² (20 × 50 m), totaling nine plots (three SPs per district). Within each SP, ecological parameters were collected, including coordinates, elevation, slope, topographical position, aspect, canopy cover (%), soil type, and litter layer thickness (cm).

Establishment of Quadrat Subplots: Within the nine SPs, 45 quadrat subplots (QSPs) were established for investigating *K. galanga*, each with an area of 25 m² (5 × 5 m). In these QSPs, the number of *K. galanga* individuals was counted according to morphological characteristics, and the level of harvesting was recorded.

2.3.1.2. Methods of survey and interviews with key informants

Community interviews were conducted with 90 households whose livelihoods primarily depend on the buffer zone of Kon Ka Kinh National Park. A semi-structured interview approach was applied following the ethnobotanical survey methodology of Nguyen Tap (2006). The predetermined information collected included locations where *K. galanga* grows and is commonly harvested, harvesting periods, harvesting methods, and the annual harvested quantities. In addition, survey methods involving interviews on the collection and use of *K. galanga* within the community were applied using the Rapid Rural Appraisal (RRA) and Participatory Rural Appraisal (PRA) approaches, along with interviews of forest rangers.

2.3.3.2. Method of literature inheritance

Inheritance of scientific documents included reports, articles, and published projects related to medicinal plants in Kon Ka Kinh National Park, as well as other relevant materials, based on the principle of selective use. The set of criteria for *K. galanga* developed by Nguyen Dinh Thi et al. (2020) was consulted to evaluate the morphological characteristics of the plant. The anatomical and morphological characteristics of *K. galanga* were examined according to the textbook “Plant Morphology and Anatomy” by Hoang Thi San (1998).

2.3.3.3. Methods of sample collection, classification, and determination of biological characteristics

Samples were collected for the preparation of herbarium specimens and classified following Nguyen Nghia Thin (2007). From three to five specimens were collected at each site, ensuring that all necessary plant organs were included. Information on the species was recorded, such as preliminary descriptions of stem and leaf morphology. Photographs were taken of the habitat and environment where the plants grow, capturing either entire or partial populations.

The morphological comparison method was used, in which classification keys and species descriptions were consulted to identify the scientific name of the species. This method is based on the morphological characteristics of both vegetative and reproductive organs.

3.3.4. Methods for assessing the genetic diversity of *Kaempferia galanga* L.

Leaf samples were collected from five *K. galanga* plants at Kon Ka Kinh National Park and from *K. galanga* plants obtained in five provinces across the country.

Thirteen ISSR primers were used in the study.

2.3.5. Methods of field experiment design

2.3.5.1. Weather conditions in the study area

2.3.5.2. Experiment on the effects of cropping seasons and planting densities on the growth, development, yield, and quality of *Kaempferia galanga* L.

The experiment was arranged in a split-plot design, with planting density as the main factor and cropping season as the sub-factor, consisting of nine treatments with three replications. The area of each experimental plot was 6 m², and the total experimental area was $9 \times 3 \times 6 = 162$ m² (excluding protective borders).

Experimental treatments

Cropping Season Factor (T)	Planting Density Factor (M)
T1: Planting date on 01/4	M1: Density of 250,000 plants/ha (20 cm x 20 cm)
T2: Planting date on 01/5	M2: Density of 166.000 plants/ha (30 cm x 20cm)
T3: Planting date on 01/6	M3: Density of 125.000 plants/ha (40 cm x 20 cm)

The experiment was arranged in a split-plot design, with planting density as the main factor and cropping season as the sub-factor, consisting of nine treatments with three replications. The area of each experimental plot was 6 m², and the total experimental area was $9 \times 3 \times 6 = 162$ m² (excluding protective borders).

The experiment followed the production protocol issued by Hue University of Agriculture and Forestry under Decision No. 505/QĐ-ĐHNL-KHCN dated June 16, 2020.

2.3.5.3. Experiment on the effects of N:P:K fertilizer rates and bio-organic fertilizers on the growth, development, yield, and quality of *Kaempferia galanga* L.

The experiment was arranged in a split-plot design, with the N:P:K fertilizer combination as the main factor and the bio-organic fertilizer as the sub-factor. The area of each experimental plot was 6 m², and the total experimental area was $5 \times 4 \times 3 \times 6 = 360$ m² (excluding plot paths and protective borders).

The fertilizer used was Song Gianh HC15 bio-organic fertilizer produced by Song Gianh Corporation (Moisture: 30%; Organic matter: 15%; Humic acid: 2.5%. Secondary nutrients: Ca: 1.0%; Beneficial microorganisms including *Bacillus* 1×10^6 CFU/g; *Azotobacter* 1×10^6 CFU/g; *Aspergillus* sp. 1×10^6 CFU/g). The chemical fertilizers included urea, potassium chloride, and superphosphate.

The experimental treatments were implemented as follows:

Bio-organic fertilizer factor	N:P:K fertilizer factor
S0: no fertilization	P0: no fertilization
S1: 1 tons/ha	P1: 150 kg N + 150 kg P ₂ O ₅ + 110 kg K ₂ O
S2: 2 tons/ha	P2: 120 kg N + 120 kg P ₂ O ₅ + 90 kg K ₂ O
S3: 3 tons/ha	P3: 90 kg N + 90 kg P ₂ O ₅ + 70 kg K ₂ O
	P4: 60 kg N + 60 kg P ₂ O ₅ + 50 kg K ₂ O

2.3.5.4. Research indicators and methods of data monitoring

2.3.5.4.1. Indicators of growth and development

Growth and development duration: sprouting time, true leaf emergence time, tillering time, and harvesting time.

Growth indicators of the plant: leaf length, leaf width, and canopy diameter.

Yield components and yield: rhizome weight, clump rhizome weight, theoretical yield, and actual yield.

Profit (1,000 VND/ha) = Total revenue – Total cost.

2.3.5.4.2. Monitoring the incidence of pests and diseases

During the implementation of the experimental models, the presence of pests and diseases was monitored throughout the experimental period, and data were collected and evaluated at 15 day intervals.

2.3.6. Methods of Soil Sample Analysis

Soil analyses were conducted before and after the experiment, including the following parameters: pH(H₂O), total organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, available nitrogen, available phosphorus, and available potassium.

2.3.7. Methods for determining the composition and content of essential oils in the rhizomes of *Kaempferia galanga* L.

Essential oil content (%): Determined by the steam distillation method according to the Vietnamese Pharmacopoeia; rhizome samples were distilled for essential oil immediately after harvest.

2.3.8. Methods of Data Processing

The data of the monitored indicators were entered and coded using Excel 2010 software.

To analyze the genetic diversity of the collected *K. galanga* samples, the ISSR banding data obtained were coded into a binary matrix (0/1) based on the presence or absence of DNA bands. This data matrix was processed and analyzed using NTSYS version 2.0 (Numerical Taxonomy System for the Analysis of Multivariate Data). Based on the similarity matrix, a dendrogram was constructed using the UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) method to evaluate the genetic relationships among the studied samples.

The field experiments were analyzed using a Split-Plot model in SAS 9.1 software. Analysis of variance (ANOVA) was performed to assess the differences among treatments; when statistically significant differences ($p < 0.05$) were detected, mean comparisons were carried out using Duncan's test.

Chapter 3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Current status and ecological conditions of *Kaempferia galanga* L. in Kon Ka Kinh National Park

3.1.1. Current status of *Kaempferia galanga* L. in Kon Ka Kinh National Park

Based on survey questionnaires and direct interviews with forest rangers and local people, three transects for investigating *K. galanga* were identified and designed. Along each transect, at points where *K. galanga* occurred, standard plots (20 × 50 m) were established, and five subplots (5 × 5 m) were randomly selected at the four corners and one at the center. The results obtained from the standard plots indicated that *K. galanga* was unevenly distributed across the subplots, with each subplot showing different conditions of occurrence. From the survey and collected data, it was found that no concentrated distribution areas of *K. galanga* were recorded along the three transects.

3.1.2. Ecological conditions of *Kaempferia galanga* L. in Kon Ka Kinh National Park

Survey results indicated that in March, *K. galanga* was not observed in natural forests, as the plants had not yet produced new leaves and the rhizomes remained underground, making them undetectable. However, by the survey period in May, the species had appeared in many locations.

Ecologically, *K. galanga* prefers to grow close to the ground surface, in areas with humus-rich soils, high moisture, open terrain, and medium to relatively good light conditions. The soil environments at the recorded sites all exhibited good drainage capacity.

Regarding edaphic conditions, the distribution sites of *K. galanga* were mainly located on terrain with slopes ranging from 21° to 30°. The prevalent soil type was light to medium loam, with a thick soil layer, high moisture content, and particularly a relatively well-developed litter layer, with an average thickness of about 2.2 cm.

3.1.3. Status of utilization, cultivation, and trade of *Kaempferia galanga* L. in Kon Ka Kinh National Park

Survey results indicate that the demand for *K. galanga* exists both in daily life and within small-scale commercial supply chains. However, due to the lack of technical support systems, policies, and specific development orientations, the management and conservation of this resource remain neglected. In the context of declining forest resources, the development of *K. galanga* cultivation models in the buffer zone, linked to local livelihoods and adapted to local conditions, is among the practical solutions that provide dual benefits, both economic and biodiversity conservation, for Kon Ka Kinh National Park.

3.1.4. Morphological and anatomical characteristics of *Kaempferia galanga* L.

The analysis results showed that the *K. galanga* samples collected from different survey sites within the National Park exhibited relatively uniform morphological and anatomical characteristics, with no significant differences recorded among the regions. Nevertheless, these findings provide an important preliminary dataset for subsequent studies aimed at assessing genetic diversity or potential genetic variations among *K. galanga* populations in different ecological zones of the National Park, thereby supporting the development of appropriate conservation strategies.

3.1.5. Identification of the scientific names of *Kaempferia galanga* L. germplasm samples collected

Based on the analysis of morphological characteristics, in comparison with classification keys in various floras and with reference to several specimens preserved in herbaria (the Paris Museum of Natural History and the Herbarium of the Institute of Materia Medica), we identified the nine germplasm samples collected as *K. galanga*, belonging to the Zingiberaceae family.

3.2. Assessment of the genetic diversity of *Kaempferia galanga* L.

The genetic relationships among the 10 *K. galanga* samples were determined through genetic similarity coefficients, which ranged from 0.59 to 0.97. This relatively wide variation reflects a considerable level of genetic diversity among the samples. The differences in similarity coefficients can be explained by the different geographical origins of the collected samples, demonstrating the influence of ecological and environmental conditions on genetic variation within *K. galanga* populations.

Based on the dendrogram, the 10 *K. galanga* samples can be divided into two main groups with an average similarity index of 0.78%. Group 1 consisted of the Me Linh, Kon Ka Kinh 1, and Kon Ka Kinh 2 samples. Kon Ka Kinh 1 and Kon Ka Kinh 2 had the closest similarity coefficient of 0.93, which was the same as that between Me Linh and Kon Ka Kinh 1, and between Me Linh and Kon Ka Kinh 2. This indicates that the three *K. galanga* samples in Group 1 are genetically very closely related.

Group 2 consisted of the remaining seven *K. galanga* samples: Kon Ka Kinh 3, Kon Ka Kinh 4, Kon Ka Kinh 5, Hiep Hoa, Hue, Dong Hy, and RCMP. Kon Ka Kinh 3 and Kon Ka Kinh 4 had the closest genetic similarity coefficient of 0.97, whereas Kon Ka Kinh 3 and Hiep Hoa were the most distantly related, with a similarity coefficient of 0.67. The other samples in Group 2 Kon Ka Kinh 4, Kon Ka Kinh 5, Hue, Dong Hy, and RCMP were relatively closely related, with similarity coefficients ranging from 0.76 to 0.93.

3.3. Effects of Cropping Seasons and Planting Densities on the Growth and Development of *Kaempferia galanga* L.

3.3.1. Effects of Cropping Seasons and Planting Densities on the Growth and Development of *Kaempferia galanga* L.

The physiological development and growth of crops are the results of complex interactions between genetic factors and external conditions. Among these, cultivation conditions such as cropping season, planting density, soil characteristics, climate, and technical measures have significant impacts on growth indicators, development, and yield. For *K. galanga*, determining the optimal cropping season and planting density is essential to achieve the highest cultivation efficiency in each specific ecological zone.

Among the surveyed factors, cropping season had a significant effect on the sprouting stage of *K. galanga*, whereas planting density did not have a statistically significant impact on this indicator. Specifically, the slowest sprouting was recorded in treatment T1M1 (planted on April 1, density of 250,000 plants/ha), while the fastest sprouting occurred in treatment T3M3 (planted on June 1, density of 125,000 plants/ha). This reflects the sensitivity of the sprouting process to external conditions, particularly soil moisture and ambient temperature, which are decisive factors for water and oxygen absorption and the initiation of physiological activity in the rhizomes.

In April, at the end of the dry season in the Kon Ka Kinh area, the climate remained arid and the soil had not yet reached sufficient moisture, limiting water absorption by the rhizomes and slowing sprouting. In contrast, by June, the region had entered the rainy season for about one month, and soil moisture had reached an optimal level, creating favorable conditions for rapid sprouting.

Regarding the overall growth duration from planting to harvest, treatment T2M3 (planted on May 1, density of 125,000 plants/ha) had the longest growth period, reaching 315 days. Although intermediate developmental stages such as true leaf emergence, tillering, and flowering did not show significant differences among treatments (true leaf emergence ranged from 40 to 43 days; tillering from 93 to 97 days; flowering from 116 to 130 days), the harvest time in treatment T2M3 was extended compared with other treatments. This may be due to the lower density and favorable planting season, which allowed prolonged growth and delayed leaf senescence, resulting in a later harvest date.

From these results, it can be concluded that although cropping season and planting density did not significantly affect intermediate developmental stages such as leaf emergence, tillering, flowering, and harvesting, they clearly influenced the sprouting stage, the critical initial phase in crop growth. Properly scheduling planting seasons in accordance with local climatic conditions plays an essential role in ensuring a high sprouting rate, thereby laying the foundation for uniform development of the crop population in the field.

3.3.2. Effects of cropping seasons and planting densities on the leaf indicators of *K. galanga*.

The planting season had a significant effect on the leaf morphological indicators of *K. galanga*. Specifically, leaf length and width showed statistically significant variations across all growth stages. This reflects the sensitivity of *K. galanga* to planting time, which is strongly influenced by external conditions such as temperature, rainfall, and soil moisture at each period.

Meanwhile, planting density did not show a clear effect during the early stages, but at 120–150 days after planting (DAP), differences in leaf size among treatments began to reach statistical significance. This indicates that planting density affects leaf development indirectly, through competition for growth space, light, and nutrients during the vigorous stem and leaf development stage.

In particular, *K. galanga* grown under treatment T2M3 (planted on May 1 at a density of 125,000 plants/ha) exhibited the best leaf development, with leaf length and width at 180 DAP reaching 18.9 cm and 14.3 cm, respectively. Conversely, treatment T1M1 (planted on April 1 at a density of 250,000 plants/ha) showed the poorest leaf development, with leaf length and width at only 14.5 cm and 10.9 cm at the same time point. These differences can be explained by the factors of planting season and density: April marks the end of the dry season, when soil moisture is insufficient for initial growth; at the same time, dense planting causes competition for light and space, thereby limiting photosynthesis and leaf development.

Low planting density under adequate soil moisture conditions (as in May) created favorable conditions for maximum leaf development, due to reduced competition and increased light capture for individual plants. This result is consistent with the physiological characteristics of *K. galanga*, which has a shallow root system and depends greatly on surface soil conditions and diffuse light.

The research results demonstrate that planting season and planting density significantly affect the leaf development of *K. galanga*, with season playing a dominant role in the early stages and density

showing clearer effects during vigorous growth. Treatment T2M3 (planted on May 1 at a density of 125,000 plants/ha) was found to be optimal for achieving the largest leaf size, thereby enhancing photosynthetic efficiency and yield potential.

3.3.3. Effects of cropping seasons and planting densities on the yield components and yield of *Kaempferia galanga* L.

Yield and its components are important indicators reflecting both biological and economic efficiency in crop production. For *K. galanga*, growth indicators related to the number of rhizomes, rhizome weight, and clump rhizome weight play a key role in determining the final harvest yield.

The study on the effects of cropping seasons and planting densities on the yield components and rhizome yield of *K. galanga* in the buffer zone of Kon Ka Kinh National Park showed that both cropping season and planting density had significant impacts on the number of rhizomes per clump, average rhizome weight, clump rhizome weight, as well as theoretical and actual yields.

Table 3.11. Effects of Cropping Seasons and Planting Densities on Yield Components and Yield of *Kaempferia galanga* L.

Treatment	rhizomes/clump	Rhizome weight (g)	Clump rhizome weight (g)	Theoretical yield (tons/ha)	Actual yield (tons/ha)
T1M1	8,4 ^c	8,2 ^b	68,9 ^c	17,2 ^d	15,3 ^c
T1M2	8,9 ^c	9,5 ^b	84,6 ^c	14,0 ^{de}	12,6 ^c
T1M3	9,2 ^c	9,9 ^b	91,1 ^c	11,4 ^e	12,5 ^c
T2M1	9,3 ^c	10,5 ^b	97,7 ^c	24,4 ^c	22,3 ^b
T2M2	14,7 ^{ab}	14,9 ^a	219,0 ^b	36,4 ^a	31,5 ^a
T2M3	17,5 ^a	17,3 ^a	269,0 ^a	33,6 ^{ab}	29,8 ^a
T3M1	9,4 ^c	10,3 ^b	96,8 ^c	24,2 ^c	21,8 ^b
T3M2	13,0 ^b	14,5 ^a	205,6 ^b	34,1 ^{ab}	30,6 ^a
T3M3	14,9 ^{ab}	15,9 ^a	236,9 ^{ab}	29,6 ^{bc}	27,5 ^a
CV%	15,0	12,3	13,5	12,1	10,8
F _T	28,19*	47,75*	144,77*	147,45*	96,6*
F _M	25,54 ^{ns}	37,2*	126,49*	16,16*	10,28*
F _{T*M}	11,01*	14,23*	43,75*	27,58*	29,88*

Note: Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at $\alpha = 0.05$; : significant difference at $\alpha = 0.05$; ns: not significantly different. NSLT = Theoretical yield. NSTT = Actual yield.

Specifically, the number of rhizomes per clump differed significantly among treatments. Treatment T2M3 (planted on May 1 at a density of 125,000 plants/ha) produced the highest number of rhizomes, with an average of 17.5 rhizomes/clump, while treatment T1M1 (planted on April 1 at a density of 250,000 plants/ha) recorded only 8.4 rhizomes/clump. This reflects the close relationship between early-season growing conditions and rhizome formation capacity. Treatments planted in May and June, coinciding with the onset of the rainy season in Gia Lai, benefited from high and stable soil moisture, providing favorable conditions for root development and rhizome formation. In contrast, treatments planted in April, at the end of the dry season, often faced early-season water shortages, resulting in slower growth and reduced rhizome formation.

Average rhizome weight also showed statistically significant differences among treatments. Treatment T2M3 again gave the highest value, at 17.3 g/rhizome, whereas treatment T1M1 had the lowest, at only 8.2 g/rhizome. The strong development of leaves and canopy in the May and June plantings enhanced photosynthetic efficiency, thereby allowing greater accumulation of organic matter in the rhizomes, the primary organs forming the harvestable product. Moreover, treatments with lower planting densities produced heavier rhizomes compared with higher-density plantings, as plants experienced less competition for light, water, and nutrients, creating favorable conditions for the comprehensive development of individual plants.

Clump rhizome weight, a direct yield component, also differed significantly among treatments. Treatment T2M3 achieved the highest clump weight of 269.0 g, whereas treatment T1M1 recorded the lowest at only 68.9 g. Notably, lower planting density combined with appropriate planting season (early rainy season) provided favorable growth conditions, resulting in clumps with greater rhizome weight. However, it should be considered that if planting density is too low, the total number of clumps per unit area decreases, which can negatively affect overall yield.

Regarding yield, treatment T2M2 (planted on May 1 at a density of 166,000 plants/ha) achieved the highest actual yield of 31.5 tons/ha, whereas treatment T1M3 (planted on April 1 at a density of 125,000 plants/ha) had the lowest yield, only 12.5 tons/ha. Although treatment T2M3 produced heavier clump weights, treatment T2M2, with its higher planting density, compensated by having more clumps per unit area, thereby increasing total yield. The theoretical yield of T2M2 reached 36.4 tons/ha, indicating high production potential under suitable cultivation conditions. However, economic efficiency analysis is needed to determine practical feasibility, as higher planting density also entails increased costs for planting material and crop management.

Overall, the results indicate that cropping season and planting density significantly affect the yield components and rhizome yield of *K. galanga*. Planting season, through early-season climatic conditions—particularly soil moisture—strongly influences sprouting, rhizome formation, and development. Planting density regulates competition among individuals, thereby affecting rhizome size and weight. Treatments T2M2 and T2M3 were identified as optimal under the study conditions; however, further evaluation of economic efficiency is required to select the most appropriate cultivation model for specific production objectives.

3.3.4. Monitoring of pests and diseases in the experiment

Research conducted in Kon Ka Kinh National Park showed that leaf-eating insects were the primary pests, appearing during the early growth stage. No cases of shoot rot or rhizome rot were recorded, possibly because *K. galanga* is a newly introduced crop in the area and the fields had good drainage conditions, thereby reducing the risk of disease occurrence.

The treatment planted in June with high density (T3M1) recorded higher pest incidence compared with the treatment planted in April with low density (T1M3). High planting density created favorable conditions for pest development, whereas treatment T1M3 (April planting, low density) was optimal for limiting pest damage. The absence of disease in the experiment highlights the potential for developing *K. galanga* cultivation in areas free from pathogens, though caution is needed regarding the risk of pathogen accumulation in the soil under continuous cultivation.

3.3.5 Effects of cropping seasons and planting densities on the economic efficiency of *Kaempferia galanga* L. production

In modern agricultural production, the ultimate goal of all cultivation practices is to maximize economic efficiency for producers, in which technical factors play a pivotal role. The selection and application of cultivation techniques depend not only on biological feasibility but also on economic indicators such as investment costs, yield, net profit, and the value-cost ratio (VCR).

Table 3.13. Effects of Cropping Seasons and Planting Densities on the Economic Efficiency of *Kaempferia galanga* L. Production

Treatment	Actual yield (tons/ha)	Total revenue (1,000 VND/ha)	Total cost (1,000 VND/ha)	Profit (1,000 VND/ha)	VCR
T1M1	15,3	306.000	242.990	63.010	1,26
T1M2	12,6	252.000	174.590	77.410	1,44
T1M3	12,5	250.000	138.890	111.110	1,80
T2M1	22,3	446.000	242.990	203.010	1,84
T2M2	31,5	630.000	174.590	455.410	3,61
T2M3	29,8	596.000	138.890	457.110	4,29
T3M1	21,8	436.000	242.990	193.010	1,79
T3M2	30,6	612.000	174.590	437.410	3,51
T3M3	27,5	550.000	138.890	411.110	3,96

Note: Selling price of *K. galanga* = 20.000 VND/kg; Labor cost = 200.000 VND/day; Seed rhizomes price = 45.000 VND/kg; Fertilizer = 25.840.000 VND/ha; Land preparation by machine = 4.000.000 VND/ha. VCR (Value Cost Ratio) = Total revenue / Total cost.

The research results showed that a planting density of 125.000 plants/ha provided superior economic efficiency compared with other densities. Specifically, in treatment T2M3 (planted on May 1), total investment costs were significantly reduced due to lower requirements for seed rhizomes, labor for care, and harvesting, while profit reached 457,11 million VND/ha, corresponding to the highest VCR value of 4,29 among the treatments tested. Another important aspect recorded was that pest and disease incidence during the entire study period was negligible, which minimized the use of plant protection chemicals. It is evident that lower planting density not only facilitates better absorption of light and nutrients but also makes monitoring and controlling pests easier if they occur.

An additional factor that cannot be overlooked is the effect of planting density on product morphology and size. Observations from the experiment indicated that *K. galanga* rhizomes grown at lower densities tended to be larger and more uniform, which enhanced both sensory value and market price. This is an important factor, as consumers often assess product quality based on rhizome size and uniformity.

Beyond density, planting time also played a crucial role in optimizing yield and profit. Treatments planted in May produced better results compared with other planting times in the year. This can be explained by the favorable weather conditions in May in the study area (temperature, humidity, and rainfall), which were highly suitable for sprouting and early growth, allowing the plants to develop vigorously and accumulate greater biomass.

From the above analysis, it can be concluded that choosing a planting density of 125,000 plants/ha combined with planting in early May is the optimal cultivation technique for *K. galanga* in the study area. This method not only delivers high economic efficiency, with profits reaching 457,11 million VND/ha and a VCR of 4,29, but also reduces input costs, enhances market value, and facilitates pest management. These results are consistent with and supported by many studies both domestically and internationally, confirming the feasibility and broad applicability of this cultivation model for large-scale commercial production of *K. galanga*.

3.3.6. Effects of cropping seasons and planting densities on the quality of *Kaempferia galanga* L. medicinal materials

The analysis and evaluation of the effects of cropping seasons and planting densities on the essential oil content and major chemical constituents of *K. galanga* medicinal materials are crucial in research, since optimization should address not only yield but also quality. The results showed that the total essential oil content of *K. galanga* rhizomes ranged from 3.10% to 4.43%. Treatment T2M3 recorded the highest total essential oil content at 4.43%, while all other samples were lower. This indicates that an appropriate arrangement of cropping season and planting density can optimize the extraction of *K. galanga* essential oil.

A suitable combination of cropping season and planting density corresponds to favorable conditions of temperature, humidity, rainfall, and light, allowing the plants to maximize the utilization of ecological factors, particularly in nutrient competition. High planting density leads to nutrient deficiency and reduced photosynthetic capacity, whereas very low density causes inefficient use of resources and affects yield. Thus, appropriate planting season and density ensure optimal nutrient utilization and photosynthesis, promoting dry matter accumulation and thereby enhancing both yield and quality. These findings indicate that planting in May at a density of 125,000 plants/ha is the most suitable arrangement, yielding the highest values across all phytochemical indicators of *K. galanga*.

3.4. Effects of fertilization on the growth, development, yield, and quality of *Kaempferia galanga* L.

3.4.1. Effects of fertilization on the growth and development of *Kaempferia galanga* L.

In modern agricultural production systems, fertilizers play a pivotal role in regulating crop growth and development processes. For medicinal plants such as *K. galanga*, the duration of each growth stage depends not only on genetic factors but is also significantly influenced by external conditions, among which fertilizers, particularly bio-organic fertilizers, are central to improving soil structure, enhancing nutrient exchange, and supporting soil microbiota.

Germination time is the first indicator in the developmental sequence of *K. galanga*. Monitoring results showed that germination occurred within 22-24 days after planting, with no statistically significant differences among treatments. This suggests that the breaking of dormancy in *K. galanga* rhizomes is primarily affected by endogenous factors and environmental conditions such as temperature and soil moisture, rather than fertilizers. This perspective is supported by recent studies, which indicate that the germination stage of rhizomatous plants in general is not significantly influenced by soil nutrient availability but relies more on the internal reserves of vegetative organs.

However, from the true leaf emergence stage onward, the influence of fertilization became more evident. Although statistical analysis did not reveal significant differences among treatments, those with bio-organic fertilizer application, particularly at higher levels such as S3P1 and S3P2, showed noticeably earlier leaf emergence compared with the unfertilized treatment (S0P0). This reflects the role of bio-organic fertilizers in improving soil structure, maintaining moisture, and enhancing nutrient absorption by young roots during early growth.

Tillering time, which is closely associated with yield and the total number of rhizomes at harvest, followed. Plants that tillered earlier had longer biomass accumulation periods, contributing to greater rhizome yield and quality. The analysis indicated that treatments with bio-organic fertilizer application, especially at higher levels, shortened tillering time compared with treatments with little or no fertilization. However, treatments using only chemical fertilizers at high levels, such as S3P1 and S3P2, did not demonstrate equivalent effectiveness, highlighting the role of bio-organic fertilizers not only in nutrient supply but also in creating favorable conditions for vigorous root development.

For flowering time, experimental results revealed an interesting phenomenon: plants with little or no fertilization flowered earlier than those adequately fertilized. Treatments such as S0P0 exhibited markedly earlier flowering compared with treatments such as S3P4, S1P2, or S2P2. This may be explained by the trade-off between vegetative and reproductive growth. When nutrient supply is insufficient, vegetative growth is suppressed, prompting plants to shift prematurely to the reproductive stage in order to complete their life cycle.

However, early flowering is not always a positive sign, particularly for rhizome-harvested crops such as *K. galanga*. A shortened developmental period means reduced nutrient accumulation, which negatively impacts the quality and weight of the final product. This directly relates to the final and most important indicator: harvest time. Monitoring results showed that the unfertilized treatment (S0P0) had the shortest duration from planting to harvest, whereas treatments with adequate fertilization, particularly S2P1, had longer harvest durations. Prolonged harvest time allowed plants more time to accumulate biomass, resulting in higher yield and improved quality.

3.4.2. Effects of Fertilization on the Leaf Indicators of *Kaempferia galanga* L.

Experimental results showed that leaf length reached its highest value in treatment S3P1 (the treatment with the highest fertilizer application), while the lowest was recorded in treatment S0P0 (no fertilization). The difference between these treatments was statistically significant at the 95% confidence level ($p < 0.05$). This demonstrates the clear role of bio-organic and chemical fertilizers in stimulating apical meristem development and leaf blade expansion.

Leaf width contributes to determining canopy area, influencing light interception and transpiration capacity. Analysis results indicated that treatments with high levels of bio-organic fertilizer (particularly S3P1 and S3P2) had significantly greater leaf width compared with the control treatment. The differences in leaf width between the bio-organic and non-organic groups were statistically significant, confirming the positive biological effects of organic fertilizers in expanding leaf area during growth.

Canopy diameter reflects the development of individual leaves as well as the plant's ability to expand its living space. In this study, canopy diameter was highest in treatment S3P1 (31.6 cm at 180

DAP) and lowest in S0P0 (18.8 cm). From 90 days after planting, canopy diameter in fertilized treatments stabilized and continued to increase, while unfertilized or lightly fertilized groups showed slower growth. This phenomenon can be explained by the positive effects of bio-organic fertilizer on soil structure and the root system. When soil is porous and rich in organic matter, the root system of *K. galanga* develops more vigorously, absorbs nutrients more efficiently, and supports leaf development. This is a key factor enabling canopy expansion and enhancing photosynthetic capacity.

Overall, leaf growth indicators such as length, width, and canopy diameter exhibited an increasing trend corresponding to fertilizer levels, most pronounced in treatments with high bio-organic fertilizer application. This relationship highlights the important role of nutrition in promoting leaf growth, which is crucial for photosynthetic efficiency and biomass accumulation. The findings are consistent with experimental observations and align with recent international scientific publications, thereby confirming the effectiveness and sustainability of integrated fertilization strategies in the cultivation of medicinal plants such as *K. galanga*.

3.4.3. Effects of fertilization on yield components and yield of *Kaempferia galanga* L.

Crop yield is the cumulative result of biological factors, in which yield components such as the number of reproductive organs, the weight of harvested products, and the degree of dry matter accumulation play decisive roles. For *Kaempferia galanga* L., a medicinal plant primarily harvested for its rhizomes, indicators such as the number of rhizomes, rhizome weight, clump rhizome weight, theoretical yield, and actual yield are the core yield components. These indicators are strongly influenced by ecological conditions, particularly nutrient availability and soil structure, where the root system and rhizomes develop.

Table 3.19. Effects of fertilization on yield components and yield of *Kaempferia galanga* L.

Treatment	Number of rhizomes	Rhizome weight (g)	Clump rhizome weight (g)	Theoretical yield (tons/ha)	Actual yield (tons/ha)
S0P0	5,6 ^g	12,1 ^d	68,4 ^f	8,6 ^f	8,6 ^g
S0P1	7,5 ^{fg}	13,4 ^{a-d}	100,1 ^f	12,6 ^f	11,8 ^g
S0P2	6,2 ^g	12,7 ^{bcd}	78,9 ^f	9,9 ^f	9,7 ^g
S0P3	5,8 ^g	12,3 ^d	74,4 ^f	8,9 ^f	8,9 ^g
S0P4	5,7 ^g	12,3 ^d	70,1 ^f	8,8 ^f	8,8 ^g
S1P0	6,0 ^g	12,4 ^{cd}	74,6 ^f	9,3 ^f	9,3 ^g
S1P1	12,5 ^{cde}	16,5 ^{ab}	199,6 ^{cde}	25,0 ^{cde}	22,6 ^{bcd}
S1P2	11,7 ^{de}	16,1 ^{a-d}	188,4 ^{de}	23,6 ^{de}	21,9 ^{b-e}
S1P3	10,5 ^{ef}	15,6 ^{a-d}	161,8 ^e	20,3 ^e	18,7 ^{de}
S1P4	10,4 ^{ef}	15,3 ^{a-d}	157,9 ^e	19,7 ^e	17,1 ^{ef}
S2P0	6,4 ^g	12,8 ^{bcd}	79,2 ^f	9,9 ^f	9,8 ^g
S2P1	15,1 ^{abc}	16,7 ^{ab}	253,1 ^{ab}	31,6 ^{ab}	26,6 ^{ab}
S2P2	14,5 ^{bcd}	16,7 ^{ab}	240,6 ^{abc}	30,1 ^{abc}	25,1 ^{bc}
S2P3	12,7 ^{cde}	16,5 ^{ab}	208,7 ^{cd}	26,1 ^{cd}	23,2 ^{bcd}
S2P4	11,6 ^{de}	15,7 ^{a-d}	179,0 ^{de}	22,4 ^{de}	20,3 ^{cde}
S3P0	8,1 ^g	13,4 ^{a-d}	107,1 ^f	13,4 ^f	12,9 ^{fg}
S3P1	17,9 ^a	17,5 ^a	281,2 ^a	35,2 ^a	31,6 ^a
S3P2	17,6 ^{ab}	17,3 ^a	275,5 ^a	34,4 ^a	31,5 ^a

S3P3	16,9 ^{ab}	16,9 ^a	264,7 ^a	33,1 ^a	30,1 ^a
S3P4	13,1 ^{cde}	16,4 ^{abc}	216,8 ^{bcd}	27,1 ^{bcd}	23,5 ^{bcd}
CV%	16,7	14,0	14,2	14,2	15,28
F_s	54,54*	11,32*	112,21*	112,32*	84,76*
F_p	23,59*	5,89*	53,33*	53,37*	38,82*
F_{SP}	16,41*	2,71*	33,01*	33,02*	24,69*

Note: Means within the same category followed by the same letter are not statistically different at $\alpha = 0.05$; : statistically significant difference at $\alpha = 0.05$; ns: not statistically significant. NSLT = Theoretical yield. NSTT = Actual yield.

The research results showed that the average number of rhizomes per clump differed significantly among treatments. The highest number of rhizomes was recorded in treatment S3P1 (17.9 rhizomes), while the control treatment S0P0 produced only 5.6 rhizomes, clearly demonstrating the substantial effect of fertilization on the formation of reproductive organs in *K. galanga*. The main reason is that organic fertilizer improves soil structure, increases porosity and water retention, thereby creating favorable conditions for root development and rhizome differentiation. Chemical fertilizers, particularly nitrogen (N) and potassium (K), also play important roles in promoting cell division and expansion, contributing to an increase in rhizome number.

Rhizome weight, representing the level of dry matter accumulation, also showed a marked increase in appropriately fertilized treatments. Treatment S3P1 again achieved the highest value with 17.5 g/rhizome, compared with only 12.1 g/rhizome in the control treatment S0P0.

Clump rhizome weight, which reflects both the number and weight of rhizomes, was also highest in S3P1 (281.2 g/clump) and lowest in S0P0 (68.4 g/clump). This result highlights the close relationship among rhizome number, rhizome weight, and clump rhizome weight.

Theoretical yield and actual yield serve as indicators reflecting the combined effects of growth factors and cultivation practices. In this study, the highest theoretical yield was recorded in treatment S3P1: 35.2 tons/ha, followed by S3P2: 34.4 tons/ha, and S3P3: 33.1 tons/ha. Correspondingly, actual yields were 31.6 tons/ha, 31.5 tons/ha, and 30.1 tons/ha, respectively. Meanwhile, the control treatment S0P0 achieved only 8.6 tons/ha for both indicators. The efficiency of fertilizer use in the three treatments with the highest theoretical yield and actual yield (S3P1, S3P2, S3P3) showed no major differences when NPK levels were slightly reduced while organic fertilizer was maintained at a high rate (3 tons/ha). This opens the possibility of optimizing fertilization formulas to reduce costs while maintaining yield.

Comparing the three treatments with the highest yields (S3P1, S3P2, S3P3), it was observed that the yield increase tended to plateau as the amount of chemical fertilizer decreased from P1 to P3. This indicates that S3P1 is not only optimal in terms of yield but also provides the best overall balance between organic and inorganic fertilizers. However, considering economic factors (fertilizer cost, labor, etc.) and environmental impacts, S3P2 or S3P3 may be more practical options for production in areas with lower investment capacity, while still maintaining actual yields above 30 tons/ha.

3.4.4. Pest and disease incidence in the fertilization experiment on *Kaempferia galanga* L.

Monitoring results showed that the proportion of *K. galanga* plants damaged by leaf-eating insects ranged from 2.56% to 13.00%. Among the treatments, S0P1 (no organic fertilizer, but high-rate

NPK application) recorded the highest pest incidence (13.00%), while S0P0 (no fertilization) recorded the lowest (2.56%). Notably, treatments that combined bio-organic fertilizer with medium to low NPK levels (such as S3P3: 3.97% and S3P4: 3.14%) exhibited significantly lower pest infestation compared with treatments using NPK alone. The increased pest incidence in high-NPK treatments may be associated with elevated nitrogen content in plant tissues, which is known to attract and sustain various leaf-feeding insect species, particularly those belonging to the order Lepidoptera.

3.4.5. Effects of fertilization on the economic efficiency of *Kaempferia galanga* L. production

The results showed that the two treatments with the highest economic efficiency were S3P1 and S3P2, with profits of 490.89 million VND/ha and 491.16 million VND/ha, respectively, and corresponding VCR values of 4.48 and 4.54. While the actual yields between these two treatments did not differ significantly (S3P1: 31.6 tons/ha; S3P2: 31.5 tons/ha), treatment S3P2—with a lower chemical fertilizer input (120:120:90 kg/ha)—achieved slightly higher economic efficiency due to lower investment costs (138.84 million VND compared with 141.11 million VND in S3P1). This indicates that reducing chemical fertilizer inputs while maintaining an appropriate level of organic fertilization (3 tons/ha) does not decrease yield but instead enhances investment efficiency, reduces input costs, and minimizes the risk of soil pollution. This aligns with the current trend in Vietnam toward ecological agriculture development, resource efficiency, and improved fertilizer use efficiency.

Table 3.21. Effects of fertilization on the economic efficiency of *Kaempferia galanga* L. production

Treatment	Actual yield (tons/ha)	Total revenue (million VND)	Total cost (1,000 VND)	Profit (1,000 VND)	VCR
S0P0	8,6	172	113,05	58,95	1,52
S0P1	11,8	236	124,61	111,39	1,89
S0P2	9,7	194	122,34	71,66	1,59
S0P3	8,9	178	120,07	57,93	1,48
S0P4	8,8	176	117,8	58,2	1,49
S1P0	9,3	186	118,55	67,45	1,57
S1P1	22,6	452	130,11	321,89	3,47
S1P2	21,9	438	127,84	310,16	3,43
S1P3	18,7	374	125,57	248,43	2,98
S1P4	17,1	342	123,3	218,7	2,77
S2P0	9,8	196	124,05	71,95	1,58
S2P1	26,6	532	135,61	396,39	3,92
S2P2	25,1	502	133,34	368,66	3,76
S2P3	23,2	464	131,07	332,93	3,54
S2P4	20,3	406	128,8	277,2	3,15
S3P0	12,9	258	129,55	128,45	1,99
S3P1	31,6	632	141,11	490,89	4,48
S3P2	31,5	630	138,84	491,16	4,54
S3P3	30,1	602	136,57	465,43	4,41
S3P4	23,5	470	134,3	335,7	3,50

Note: Means within the same category followed by the same letter are not statistically different at $\alpha = 0.05$; : statistically significant difference at $\alpha = 0.05$; ns: not statistically significant. NSLT = Theoretical yield. NSTT = Actual yield.

In addition to the high-efficiency treatments, it should be noted that some treatments with high levels of chemical fertilizer but without organic input (such as S0P1 and S0P2) resulted in lower yields and profits, indicating that the nutrient uptake capacity of *K. galanga* is limited under soil conditions that are not improved or lack a well-developed microbial community.

From the above analyses, it can be concluded that S3P2 is the optimal fertilization formula in this study, as it achieved both high yield and the highest profit with reasonable costs. This formula also has strong practical applicability, as it reduces chemical fertilizer use, thereby contributing to reduced soil pollution, enhanced ecosystem sustainability, and alignment with sustainable cultivation models.

3.4.6 Effects of fertilization on the quality of *Kaempferia galanga* L. medicinal materials

In medicinal plant production, beyond biological yield, an essential criterion is the quality of the medicinal material, which is determined by the content and composition of characteristic active compounds. For *K. galanga*, product quality after harvest largely depends on the content and structure of essential oils. Therefore, studying the effects of fertilization on essential oil content and major chemical constituents is a crucial step in developing effective cultivation techniques.

The analysis showed that total essential oil content ranged from 3.07% to 4.49%, reflecting significant variation influenced by both the type and amount of fertilizer. Treatment S3P1 produced the highest essential oil content at 4.49%, while the unfertilized treatment S0P0 recorded only 3.07%. A positive correlation between fertilization and essential oil content was also evident in treatments with bio-organic fertilizer, particularly when combined with moderate to high levels of chemical fertilizers.

The essential oil of *K. galanga* is evaluated not only by its total content but also by the proportion of key active compounds, including cinnamaldehyde derivatives and cyclic compounds with pronounced pharmacological effects:

- Trans-p-methoxy-ethyl-cinnamate (Tr-p): The most important principal component, with anti-inflammatory, analgesic activity, and COX-2 inhibition. The highest proportion was observed in S3P1 (66.69%), followed by S3P2 (66.57%), and the lowest in S0P0 (51.38%).

- 1,3-Isobenzofurandione (1,3-Iso): A compound with antioxidant and antibacterial activity, reaching the highest levels in S3P1 (25.32%) and S3P2 (25.30%).

- Isoborneol (Iso) and Eucalyptol (Eu): Two volatile constituents known for analgesic and relaxing properties. Their highest proportions were 7.91% and 6.65% in S3P1, compared with low levels of 1.67% and 2.14% in the unfertilized treatment.

- Trans-2,3-Epoxy-nonane (Tr-2,3-Ep) and Gamma-Elementene (Ga-El): Less common components but contributing to overall pharmacological effects. Notably, S3P2 recorded the highest contents of Tr-2,3-Ep (9.82%) and Ga-El (2.35%) among all treatments.

The results also indicated that increasing fertilizer inputs had positive effects only up to a certain threshold. From S0P0 to S3P2, essential oil content and major components consistently increased. However, in S3P3 and S3P4, despite higher overall fertilizer levels, slight declines were observed in some indicators (Tr-p, Iso, 1,3-Iso...), suggesting a “biological limit” in the plant’s nutrient absorption capacity.

Considering both total essential oil content and the content of principal active constituents, treatment S3P2 emerged as the most optimal option, achieving values nearly equivalent to S3P1 but with lower chemical fertilizer input. This provides dual benefits: improving economic efficiency and reducing the risk of chemical residues, thereby promoting safe and sustainable medicinal plant production. These findings are of practical significance in developing cultivation protocols for *K. galanga* aimed at producing high-quality essential oils.

3.4.7. Soil properties before and after the experiments at the study site

After one cropping season, the soil chemical indicators showed positive changes in treatments with bio-organic fertilizer application. Among them, organic matter (OM) and total nitrogen were the most notably improved factors, playing essential roles in maintaining the soil's long-term fertility. Soil pH was also better stabilized in the organic treatments, creating favorable conditions for soil microbial development. In contrast, treatments without fertilization or with chemical fertilizers alone showed a tendency toward decreased OM, pH, and nutrient uptake indicators, posing a potential risk of soil degradation if maintained continuously over the long term.

From the study results, it can be affirmed that combining bio-organic fertilizer with chemical fertilizer at appropriate levels is an effective solution to maintain and improve soil quality for *K. galanga* cultivation. This forms the foundation for sustainable farming strategies, while simultaneously enhancing yield and medicinal quality under practical production conditions.

In summary, the research results demonstrated that fertilization, particularly the combination of bio-organic fertilizer with NPK, had clear effects on the growth stages of *K. galanga*. The germination stage was not significantly influenced by fertilization; however, from the true leaf emergence stage onward, indicators such as tillering time, flowering, leaf development, and canopy expansion all showed notable improvement in treatments with sufficient bio-organic fertilizer and NPK. Treatment S3P1 (3 tons bio-organic fertilizer + 150:150:110 NPK) produced the largest canopy diameter, leaf length, and leaf width, reflecting superior photosynthetic capacity and biomass accumulation.

Regarding yield components, fully fertilized treatments also produced the highest rhizome numbers, rhizome weights, and clump rhizome weights. The highest theoretical and actual yields were recorded in treatments S3P1 and S3P2, both reaching approximately 31–35 tons/ha. Treatment S3P2, with a lower chemical fertilizer input, reduced production costs while generating the highest profit (491.16 million VND/ha), demonstrating strong economic efficiency and practical applicability.

In terms of quality, total essential oil content ranged from 3.07% to 4.49%, with the highest observed in S3P1. The concentrations of major essential oil components such as trans-p-methoxy-ethylcinnamate, isoborneol, and eucalyptol were also highest in treatments combining bio-organic fertilizer with NPK. However, when NPK input levels were too high, the contents of these compounds tended to decrease slightly, indicating a limit to the plant's nutrient absorption capacity.

Notably, throughout the experimental period, no major diseases were recorded, except for leaf-eating insect damage, which reached its highest incidence (13%) in treatment S0P1—where no bio-organic fertilizer was applied but NPK was used at a high rate. Conversely, treatments with bio-organic fertilizer showed much lower pest incidence, demonstrating the role of bio-organic inputs in improving plant resistance and reducing pest attractiveness.

Overall, considering growth, yield, quality, and pest resistance, treatment S3P2 emerged as the most optimal option, suitable for recommendation in the technical protocol for *K. galanga* cultivation toward safe, sustainable, and economically efficient production.

Chapter 4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

4.1. Conclusions

In Kon Ka Kinh National Park, due to unplanned exploitation and the absence of conservation and sustainable development measures, wild populations of *Kaempferia galanga* L. have been severely depleted.

The collected populations exhibited relatively high genetic diversity, with an average similarity coefficient of 0.78. The samples were divided into two distinct genetic groups, reflecting genetic differentiation based on geographical origins.

Kaempferia galanga L. in Kon Ka Kinh has a growth cycle of 9–10 months and is well adapted to the local ecological conditions. The morphological and anatomical characteristics of leaves, stems, and roots were clearly described, providing essential traits for identification and breeding purposes.

Planting *K. galanga* in early May at a density of 125,000 plants/ha (40 cm × 20 cm spacing) not only yielded high productivity (29.8 tons/ha) and superior rhizome quality but also delivered outstanding economic efficiency (VCR of 4.29). Planting density and season also significantly affected the levels of bioactive compounds, confirming the role of technical factors in enhancing the medicinal value of *K. galanga*.

Fertilization with a combination of 3 tons/ha of bio-organic fertilizer and 120 kg N + 120 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O per hectare promoted vigorous growth, resulting in large, uniform rhizomes, with a yield of 31.5 tons/ha, high economic efficiency (VCR of 4.54), and elevated bioactive compound content. The integration of organic and chemical fertilizers at appropriate levels not only improved cultivation efficiency but also contributed to enhancing soil structure and fertility, thereby supporting sustainable cultivation.

4.2. Recommendations

Using ecological survey data and genetic diversity assessment results as the scientific basis for in situ conservation and germplasm preservation of *Kaempferia galanga* L. in Kon Ka Kinh National Park. Priority should be given to selecting local lines with stable morphological traits and distinct genetic characteristics for propagation, thereby supporting the development of medicinal plant cultivation models linked to forest resource conservation.

Further research should focus on establishing cultivation models for *K. galanga* planted in May at a density of 125,000 plants/ha, using a combination of 3 tons/ha of bio-organic fertilizer with 120 kg N – 120 kg P₂O₅ – 90 kg K₂O per hectare in the buffer zone of Kon Ka Kinh National Park and other regions with similar ecological conditions.

Additional studies are needed on post-planting care techniques, pest and disease management, harvest timing, preliminary processing and storage methods, as well as evaluating bioactive compound content at different growth stages. These will contribute to completing a technical cultivation protocol for *K. galanga* that ensures high yield and efficiency, adapted to the specific ecological conditions of Kon Ka Kinh National Park.

LIST OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS OF THE DISSERTATION

STT	Tên bài báo	Tạp chí	Tên tác giả	Ghi chú
1	Nguồn gen cây địa liên (<i>Kaempferia galanga</i> L.) tại Vườn quốc gia Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai	Hue University Journal of Science: Agriculture and Rural Development. Vol. 132, No. 3B, 2023, pp. 59–78, DOI:10.26459/hueunijard.v132i3B.7091	Nguyễn Đăng Toàn Chương, Trần Đăng Hòa, Nguyễn Đình Thi, Hoàng Kim Toàn.	
2	Nghiên cứu ảnh hưởng của thời vụ và mật độ trồng đến cây địa liên (<i>Kaempferia galanga</i> L.) tại Vườn quốc gia Kon Ka Kinh, tỉnh Gia Lai.	Journal of Agricultural Science and Technology, Hue University of Agriculture and Forestry. Vol. 9(1)–2025: 4598–4608.	Nguyễn Đăng Toàn Chương, Trần Đăng Hòa, Nguyễn Đình Thi.	
3	Evaluation of the genetic diversity of germplasms of <i>Kaempferia galanga</i> collected in Kon Ka Kinh National Park, Gia Lai Province, Viet Nam	SCIREA Journal of Agriculture. Volume 9, Issue 1, February 2025 PP. 1-13. 10.54647/agriculture210424. https://doi.org/10.54647/agriculture210424	Nguyen Dang Toan Chuong, Tran Dang Hoa, Nguyen Dinh Thi, Nghiem Tien Chung.	
4	Effect of Organic and NPK Fertilizer Rates on the Growth and Yield of Sand Ginger (<i>Kaempferia galanga</i> L.)	Gaurav Publications - Research on Crops. Volume 26, issue 2, June 2025. ROC – 1190. DOI: 10.31830/2348-7542.2025.ROC-1190 . Scientifical Journal Ranking(SJR): Scopus Q3, SJR 2024: 0.27	D. T. C. Nguyen, D. T. Nguyen and D. H. Tran	