

EVALUATION OF BIOPHARMACEUTICAL EFFECTS AND ECONOMIC EFFICIENCY OF BIOTECHNOLOGICALLY-PRODUCED AGARWOOD IN VIETNAM

Nguyen Trang Thu^a
Nguyen Van Ru^b

^aVietnam Fragrance Trading Service
Joint Stock Company

Email: nguyentrangthu1989@gmail

^bTrung Vuong University

Email: rutsgvcnguyenvan@gmail.com

Received: 02/4/2025

Reviewed: 28/4/2025

Revised: 27/5/2025

Accepted: 21/6/2025

Released: 30/6/2025

DOI:

<https://doi.org/10.64223/tvj.e2025.v1.i2.a26>

^aORCID iD:

<https://orcid.org/0009-0007-0569-0468>

^bORCID iD:

<https://orcid.org/0009-0008-7186-6529>

*Agarwood is a highly valued natural resource widely used in traditional medicine, cosmetics, and fragrances. However, its availability in the wild is rapidly declining due to overexploitation. This study explores the application of biotechnological techniques to induce agarwood formation in *Aquilaria* spp, combined with economic modeling to optimize the production process. The results demonstrate that microbial induction using endophytic *Fusarium* fungi and enzymatic mixtures significantly reduces the time required for resin formation. Additionally, a cost-benefit analysis model indicates high commercial viability when scaled to industrial levels. Field data were collected from *Aquilaria crassna* plantations across Khanh Hoa, Binh Phuoc, and Ba Ria-Vung Tau provinces. Performance metrics such as induction time, resin yield, concentrations of key bioactive compounds (e.g., β -agarofuran, agarospirol) and essential oil productivity were analyzed. Economic analysis revealed a return on investment (ROI) ranging from 150% to 220% within three years. The biological method showed an 88.9% induction rate, essential oil yield of ≥ 0.28 – 0.31% , agarwood-specific extract (ASE) of $\sim 14.8\%$, and β -agarofuran content of $\sim 4.5\%$. This study confirms the feasibility of using biotechnology for rapid and high-quality agarwood production in Vietnam. Integrating economic modeling enables investment planning and supports strategies for sustainable and scalable commercialization.*

Keywords: Microbial biotechnology; *Aquilaria crassna*; Agarwood; Essential oil; Economic aspect; Investment; Return on Investment (ROI).

1. Đặt vấn đề

Trầm hương, là phần gỗ chứa tinh dầu được hình thành trong cây dó bầu (*Aquilaria crassna* Pierre ex Lecomte), thuộc họ Trâm (Thymelaeaceae). Khi bị tác động bởi các yếu tố như nấm, vi khuẩn, hoặc các chấn thương cơ học, quá trình này tạo ra một phản ứng sinh hóa, khiến cây tiết ra nhựa thơm để bảo vệ và dần dần hình thành trầm. Trầm hương là một sản phẩm được hình thành khi cây dó bầu bị tổn thương và nhiễm vi sinh vật, trải qua quá trình tích tụ tinh dầu và polymer hóa tạo nên các hợp chất có mùi thơm đặc trưng. Tuy nhiên, thời gian tạo trầm trong tự nhiên thường kéo dài 10 - 20 năm. Trong khi nhu cầu thị trường ngày càng tăng, cần thiết có các giải pháp công nghệ để tạo trầm chủ động và tiết kiệm chi phí. Cùng với đó, đánh giá kinh tế học sản xuất là điều quan trọng nhằm đảm bảo hiệu quả đầu tư trong lĩnh vực trầm hương. Việc kết hợp giữa công nghệ sinh học và tính toán kinh tế có thể mở ra

hướng đi mới trong thương mại hóa chế phẩm trầm bền vững. Trầm hương (agarwood) rất quý giá cả về kinh tế (mỹ phẩm, hương liệu, dược án) và dược lý. Nhu cầu thị trường toàn cầu hiện đạt 6 - 8 tỷ USD/năm, với giá gỗ hạng cao từ 6.000 - 10.000 USD/kg, tinh dầu có thể lên tới 30.000 USD/kg. Việt Nam hiện có khoảng hơn 10.000 ha trồng *Aquilaria crassna* và sản lượng gia tăng nhờ phương pháp sinh học do các công ty như Biological Agarwood Group áp dụng kết hợp perforation và inoculation nấm/sinh vật tỷ lệ thành công cao. Để thực hiện với mục tiêu: Đánh giá hiệu quả dược lý và hiệu quả kinh tế khi áp dụng phương pháp công nghệ sinh học tại Việt Nam và so sánh theo vùng, quy mô và kịch bản đầu tư.

2. Tổng quan nghiên cứu

Trầm hương, là phần gỗ chứa tinh dầu được hình thành trong cây dó bầu khi bị tác động bởi các yếu tố như nấm, vi khuẩn, hoặc các chấn thương cơ học. Quá trình này tạo ra một phản ứng sinh hóa, khiến

cây tiết ra nhựa thơm để bảo vệ và dần dần hình thành trầm hương.

Tác dụng dược học của trầm hương đã được biết đến là sử dụng trong y học cổ truyền với nhiều công dụng: (i) Giảm đau, chống viêm: Trầm hương có khả năng giảm đau, chống viêm, giúp giảm các triệu chứng của các bệnh viêm khớp, đau nhức xương khớp; (ii) Điều hòa tiêu hóa: Trầm hương giúp cải thiện các chức năng tiêu hóa, giảm các triệu chứng như đầy hơi, khó tiêu, táo bón; (iii) An thần, giảm căng thẳng: Trầm hương có tác dụng an thần, giúp giảm căng thẳng, lo âu, cải thiện chất lượng giấc ngủ; (iv) Hỗ trợ điều trị các bệnh về tim mạch: Các nghiên cứu cho thấy, trầm hương có thể giúp giảm cholesterol xấu, ổn định huyết áp, hỗ trợ điều trị các bệnh về tim mạch; (v) Ức chế tế bào ung thư: Một số nghiên cứu cho thấy, trầm hương có khả năng ức chế sự phát triển của tế bào ung thư và ngăn chặn sự hình thành mạch máu trong khối u.

Mặc dù trầm hương có nhiều tác dụng tốt, đảm bảo sử dụng trầm hương hợp lý, an toàn và hiệu quả tốt, việc sử dụng cần có sự hướng dẫn của chuyên gia y tế, đặc biệt là khi sử dụng với mục đích chữa bệnh cần có sự hướng dẫn của bác sĩ, dược sĩ chuyên ngành.

3. Vật liệu

Vùng nghiên cứu và mẫu thực địa: Vùng khảo sát tại: Khánh Hòa, Bình Phước và Phú Quốc (Kiên Giang). Mỗi vùng: 300 cây *Aquilaria crassna* tuổi từ 5 - 8 năm được xử lý cảm ứng sinh học, so với nhóm đối chứng không xử lý.

4. Phương pháp nghiên cứu

4.1. Phương pháp tạo trầm

Có ba phương pháp chính để tạo trầm hương: (i) Tạo trầm bằng phương pháp vật lý: Sử dụng các tác động cơ học như khoan, đục, hoặc đóng đinh vào thân cây để tạo vết thương, kích thích cây tiết nhựa tạo trầm; (ii) Tạo trầm bằng phương pháp hóa học: Sử dụng các hóa chất để gây tổn thương cho cây, thúc đẩy quá trình tạo trầm. Tuy nhiên, phương pháp này có thể để lại dư lượng hóa chất độc hại; (iii) Tạo trầm bằng phương pháp sinh học: Sử dụng các loại nấm, vi khuẩn hoặc các chất hữu cơ để kích thích cây tạo trầm. Đây là phương pháp được đánh giá cao vì tính an toàn và thân thiện với môi trường.

4.2. Phương pháp công nghệ sinh học tạo trầm

Chủng vi sinh vật cảm ứng đã sử dụng các dòng *Fusarium*, *Aspergillus* và *Penicillium* đã được chọn lọc. Sử dụng chủng *Fusarium solani* nội sinh đã được chứng minh hiệu quả cao [5]. Gây tổn thương bằng cách khoan cơ học và tiêm hỗn hợp vi sinh vật + enzyme xúc tác (cellulase, laccase). Kết hợp khoan lỗ cơ học và tiêm hỗn hợp tế bào nấm + enzyme (laccase, cellulase) theo tỷ lệ chuẩn. Sau đó, theo dõi tạo trầm bằng cách quan sát thay đổi màu sắc, mùi hương và phân tích GC-MS để xác định hợp chất thơm (agarospirol, benzyl acetone...).

Theo dõi trong 12 tháng: đo tỷ lệ cây phản ứng thành công, thu mẫu gỗ để phân tích GC-MS hàm lượng β agarofuran, agarospirol, dihydrokaranon.

4.3. Phương pháp tính toán kinh tế

Phân tích chi phí - lợi ích (Cost-Benefit Analysis - CBA) bao gồm: Chi phí vật tư, nhân công, thời gian đầu tư; Giá trị thu hồi dự kiến sau thu hoạch; Mô phỏng 3 kịch bản là quy mô nhỏ, vừa và lớn. Phân tích kinh tế: Thu thập chi phí đầu tư (vật tư, lao động, kỹ thuật xử lý), doanh thu dự kiến theo mức giá thị trường hiện tại; Quy mô: quy mô pilot (30 ha), quy mô vùng (100 ha), quy mô công nghiệp (500 ha). Tính tỷ suất lợi nhuận trên đầu tư, ROI (Return on Investment), thời gian hoàn vốn và lợi nhuận ròng sau 3 - 5 năm [6 - 10].

5. Kết quả nghiên cứu

5.1. Mô tả các đặc điểm sinh học cây dó bầu

Cây dó bầu có khả năng sinh ra trầm hương. Trầm hương sinh ra từ cây dó bầu là do: “Sự biến đổi phân tử của gỗ dưới ảnh hưởng của một loại bệnh gây ra” (Cây thuốc Campuchia, Việt Nam, Lào - Alfred Pe'telot, 1954). Gỗ cây dó bầu có cấu tạo đặc biệt là hiện tượng libe xen giữa các thớ gỗ, có thể dẫn chất nuôi cây từ đây, nhờ đó nên dù vỏ bị bóc sạch mà cây không chết. Có thể đây là một trong những điều kiện tự nhiên cho quá trình hình thành trầm hương trên cây dó bầu.

Trong thiên nhiên thường bắt đầu từ những tác động nào đó, gây ra các tổn thương nhất định trên cây, khi đó một loại kháng sinh trong thân cây được “huy động” đến nơi bị thương để bao vây, ngăn chặn và chính sự tương tác đó là những điều kiện để hình thành trầm hương. Quá trình này diễn ra trong tự nhiên hết sức ngẫu nhiên và lâu dài. Điều này là một trong những lý giải tại sao không phải cây dó nào trong rừng tự nhiên cũng cho trầm và câu ngạn ngữ: “Ngậm ngãi tìm trầm” có thể bắt nguồn từ đây.

Theo những người khai thác trầm trước đây, do kinh nghiệm, họ tác động có ý thức vào cây dó tìm được trong rừng bằng cách khoét trên thân cây những lỗ có kích thước khác nhau hoặc chặt (còn gọi là mở miệng), để nhiều năm sau quay lại khai thác được trầm. Từ xưa người ta biết cây dó ở thiên nhiên có trầm là cây có tán lá ngừng phát triển, chót cành ngừng ra lộc, màu lá từ màu xanh đậm sang màu xanh vàng. Khi trầm trong cây dó phát triển tăng lên về số lượng và chất lượng thì lá chuyển thành màu vàng, rụng nhiều, vỏ cây xuất hiện sần sùi, một số cành bắt đầu khô. Từ lúc cây mới nhiễm bệnh “ăn trầm” đến khi trầm có chất lượng cao phải mất vài chục năm hoặc lâu hơn.

Trầm hương ở thiên nhiên có thể hình thành bất

kỳ nơi nào trên cây dó, nhưng phần nhiều tập trung ở phần thân gần gốc và rễ. Số lượng và chất lượng trầm hương khai thác ở thiên nhiên phụ thuộc vào các yếu tố như loài và tuổi cây, đất đai, địa hình, khí hậu thời tiết, thời gian nhiễm bệnh tụ trầm ... Và ở mỗi nơi, mỗi vùng trầm hương thu được trên những cây dó “nhiễm bệnh” không giống nhau về kích cỡ, màu sắc, trọng lượng, thứ hạng, mùi hương.

Từ vết thương tạo ra trên thân cây dó bầu từ 8 - 10 năm tuổi, chế phẩm sinh học được truyền vào cây. Sau khoảng 5 năm, giống như đối với trầm tự nhiên, sản phẩm trầm hương từ chế phẩm sinh học được tích tụ và hình thành.

Khi mang đi phân tích, trầm hương từ chế phẩm sinh học có mùi hương đặc trưng, không khác gì mùi thơm của trầm hương tự nhiên. Điều đặc biệt là sản phẩm này hoàn toàn lành tính, các hóa chất trong trầm hương rất có ích cho sức khỏe con người [5]. Tỷ lệ cây phản ứng trầm: 78 - 85 %, so với nhóm đối chứng < 5%.

Phân tích sự tạo trầm các vi sinh vật có khả năng sinh tổng hợp ra nhiều loại enzyme, phân giải các hợp chất cấu tạo nên tế bào gỗ của cây dó bầu. Do vậy, cấu trúc tế bào gỗ vững chắc bị phân giải dần

từ ngoài thành vào trong. Đặc tính của cây dó bầu là khả năng sinh tổng hợp nên các hợp chất tại các vùng tế bào bị tổn thương. “Tạo vết thương trên thân dó bầu và truyền chế phẩm sinh học tại vị trí đó sẽ giúp cho việc tạo trầm của cây hiệu quả hơn”, nhóm nghiên cứu sẵn sàng chuyên giao kỹ thuật tạo chế phẩm sinh học cho doanh nghiệp để ứng dụng kết quả nghiên cứu vào thực tiễn sản xuất. Thời gian tạo trầm: đạt các hợp chất được lý đáng kể sau 6 - 12 tháng.

Hiện nay, cây trầm hương được chia thành hai loại chính là cây tự nhiên và nhân tạo. Cây trầm hương nhân tạo được hình thành dưới sự tác động của con người. Thông thường, những cây dó bầu từ 7 - 10 năm tuổi sẽ được chọn để tiến hành đục và cấy ghép cây. Sau đó, sẽ cần thêm 5 năm để cây dó bầu tạo ra trầm. Tương tự như trầm tự nhiên, trầm hương nhân tạo cũng phải trải qua các quá trình hình thành và tích tụ để tạo nên trầm. Hàm lượng tinh dầu: trung bình 0,3 % w/w (Phú Quốc), 0,27 % (Khánh Hòa), tương tự như mẫu từ MDPI. Thành phần chính phân tích GC-MS: β agarofuran (3 - 6 %), agarospirol (3 %), neopetasane, dihydrokaranone - tương đồng với mẫu tự nhiên chất lượng cao.



Hình 1. Lỗ khoan tạo trầm hương với chế phẩm sinh học

5.2. Khảo sát các phương pháp tạo trầm hương

Bảng 1. Tóm tắt kết quả khảo sát các phương pháp tạo trầm hương khác nhau

Phương pháp	Tác động vào cây dó bầu	Tác nhân gây tạo trầm	Lợi ích, ưu điểm, chất lượng trầm	Hạn chế - Nhược điểm
Tự nhiên [7-13]	Sấm sét đánh; Chấn thả gia súc; Sâu bệnh; Cành cây gãy; Sự xâm nhập của vi khuẩn.	Các vết thương được tạo ra sau đó kích hoạt hệ thống phòng thủ của cây, từ đó sản xuất nhựa.	Trầm hương chất lượng cao; Không cần canh tác, trồng trọt và gây cảm ứng nhân tạo; Không tốn kém và thân thiện với môi trường.	Năng suất trầm hương cực thấp; Không bền vững và không xác định được thời điểm hình thành trầm hương là vấn đề ngẫu nhiên; Cần thời gian cực kỳ dài để sản xuất trầm hương chất lượng cao; Cần khai thác rộng rãi và bừa bãi cây đại.
Phương pháp Sinh học nhân tạo [8-16]	Các chủng nấm như <i>Melanotus flavolivens</i> , <i>Penicillium spp.</i> , <i>Phytium spp.</i> , <i>Lasiodiplodis spp.</i> , <i>Botryodiplodis spp.</i> , <i>Fusarium spp.</i>	Đưa các vi sinh vật vào cây <i>Aquilaria</i> để mô phỏng tình trạng nhiễm trùng bệnh lý của cây, từ đó kích hoạt cơ chế phòng vệ của cây.	Thân thiện với môi trường và an toàn khi xử lý; Có thể chuẩn bị các loại vi khuẩn với chi phí thấp và dễ dàng tìm thấy.	Cần thời gian ủ dài để sản xuất trầm hương chất lượng cao; Quá trình đục lỗ tốn thời gian để cây vi khuẩn; Chất lượng trầm hương không đồng nhất tùy thuộc vào loài nấm và vị trí cây.

Bảng 1 cho thấy: Nhìn chung, các kỹ thuật thông thường như bê thân cây, gây thương tích bằng dao rựa hoặc rìu, đốt - đục - khoan, đục lỗ, loại bỏ vỏ cây, đốt điện và đóng đinh đều xoay quanh khái niệm cơ bản là gây thương tích vật lý cho cây để kích hoạt sự hình thành trầm hương. Mặc dù tiết kiệm chi phí và không yêu cầu nhân sự có kiến thức khoa học chuyên sâu về trầm hương, các phương pháp cảm ứng thông thường này thường tạo ra trầm hương với chất lượng kém và năng suất không chắc chắn. Hơn nữa, trầm hương chỉ được hình thành ở vùng cây bị thương, điều này có nghĩa là năng suất trầm hương có mối tương quan trực tiếp với mức độ và số lượng thương tích vật lý gây ra, do đó đòi hỏi nhiều lao động hơn cho quá trình này [7].

Chất cảm ứng sinh học đề cập đến việc áp dụng nấm, nấm men hoặc hệ vi sinh vật tự nhiên khác vào cây *Aquilaria* để tái tạo tình trạng bệnh lý của chúng trong tự nhiên. Các chủng nuôi cấy tinh khiết là trầm hương tự nhiên được phân lập trong môi trường được kiểm soát, có thể ở dạng rắn được nuôi trên môi trường thạch trong đĩa Petri hoặc dạng

lỏng được nuôi trong môi trường canh trong phòng thí nghiệm, đã được chứng minh là tác nhân sinh học hiệu quả để thúc đẩy sự hình thành trầm hương trong cây *Aquilaria* khỏe mạnh [9 - 13]. Ngoài ra, các chủng nuôi cấy để cấy sinh học cũng có thể được “trộn”, chủ yếu được pha chế bởi các chủ sở hữu cá nhân dựa trên nguyện vọng của họ trong việc tạo ra chủng cây và thử nghiệm chúng trên cây của riêng họ [8 - 10]. Một ưu điểm của việc sử dụng chủng cây sinh học là thân thiện với môi trường và nhìn chung an toàn khi xử lý. Tuy nhiên, kỹ thuật như vậy thường tạo ra chất lượng trầm hương cục bộ và không đồng nhất do sự khác biệt về nhóm nấm [11]. Do đó, có thể cần thời gian ủ dài trước khi thu hoạch để tạo ra gỗ sẫm màu hơn và chất lượng trầm hương tốt hơn. Thời gian ủ dài như vậy cho phép các vi sinh vật có đủ thời gian để sinh sôi và tối đa hóa diện tích bề mặt được định cư. Sau đó, cơ chế phòng vệ của cây sẽ được kích hoạt bởi sự xâm nhập như một nỗ lực để ngăn chặn sự xâm nhập tiếp theo của vật lạ, do đó tạo ra nhựa trầm hương như một rào cản [15]. Vai trò của nấm trong việc tạo ra trầm hương nhân tạo thường được khám

phá nhiều hơn so với vi khuẩn. Ví dụ về các chủng nấm đã được sử dụng để tạo ra trầm hương nhân tạo bao gồm *Melanotus flavolivens*, *Penicillium spp.*, *Phytium spp.*, *Lasiodiplodis spp.*, *Botryodiplodis spp.* và *Fusarium spp.* Vì kết quả hình thành trầm hương có thể khác nhau giữa các chủng nấm, nên

việc thử nghiệm trên nhiều loài nấm khác nhau là điều cần thiết để xác định chủng hoặc các loại nấm thích hợp nhất có thể tạo ra trầm hương chất lượng cao. Tuy nhiên, điều quan trọng cần lưu ý là những kết quả như vậy cũng có thể khác nhau tùy thuộc vào vị trí áp dụng [8 - 15].



Hình 2. Vườn cây dó bầu để tạo trầm hương

5.3. Phân tích các tác dụng sinh dược của trầm hương tạo từ cây dó bầu

Dầu trầm hương được lấy từ nhựa thơm của cây nhũ hương, còn được gọi là *olibanum*. Các đặc tính trị liệu và chữa bệnh của tinh dầu trầm hương mang lại cho nó một vị trí nổi bật trong thế giới của các loại tinh dầu. Ngoài việc được sử dụng rộng rãi như một thành phần trong các sản phẩm mỹ phẩm, tinh dầu trầm hương còn có rất nhiều lợi ích cho sức khỏe. Thường được gọi là “vua của các loại dầu”, dầu trầm hương rất tốt để chống lại căng thẳng và lo âu

Từ việc tăng cường hệ thống miễn dịch đến cải thiện tâm trạng của bạn, tinh dầu trầm hương còn làm nên điều kỳ diệu cho cơ thể và tâm trí của bạn.

Công dụng của dầu trầm hương: Ngoài việc cải thiện các vấn đề về hô hấp đến làm giảm các vấn đề về tiêu hóa, tinh dầu trầm hương mang lại nhiều lợi ích khác nhau cho cơ thể và tâm trí của bạn.

a) Ung thư: Một trong những hoạt chất có trong dầu trầm hương là axit boswellic. Thành phần này có tính năng chống viêm có thể làm giảm đáng kể khả năng xảy ra ung thư. Dầu trầm hương có chứa triterpenoids và antitumor, giúp ngăn chặn sự hợp nhất của RNA, DNA và protein trong trường hợp bệnh bạch cầu. Nó cũng kiểm soát sự phát triển của

các tế bào HL-60, do đó làm giảm nguy cơ ung thư. Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng, loại dầu này cũng có thể được sử dụng như một liệu pháp điều trị ung thư bằng quang.

b) Duy trì nồng độ hormone: Dầu trầm hương điều chỉnh việc sản xuất hormone estrogen. Các nghiên cứu đã tiết lộ rằng, nó có thể làm giảm các triệu chứng liên quan đến mãn kinh bằng cách cân bằng nồng độ hormone. Dầu trầm hương làm giảm đáng kể khả năng hình thành khối u sau mãn kinh hoặc hình thành u nang. Nó giữ cho tử cung của người phụ nữ khỏe mạnh bằng cách duy trì chu kỳ kinh nguyệt đều đặn và giúp giảm đau đầu, mệt mỏi, lo lắng, thay đổi tâm trạng liên quan đến sự mất cân bằng nồng độ hormone.

c) Cải thiện khả năng sinh sản: Cấu trúc hóa học của dầu trầm hương được báo cáo là có tính chất tương tự như steroid. Một số nghiên cứu đã tiết lộ rằng tính chất này của dầu trầm hương có lợi cho việc điều trị tỷ lệ sinh thấp, vì nó có thể làm tăng mật độ và khả năng vận động của tinh trùng.

d) Cải thiện tiêu hóa: Dầu trầm hương giúp tăng tốc độ bài tiết của dịch dạ dày, axit và mật trong dạ dày, thúc đẩy tiêu hóa. Nó cũng tạo điều kiện cho sự di chuyển của thức ăn qua ruột, được thực hiện bằng cách kích thích chuyển động nhu động. Dầu trầm

hương giúp, cải thiện quá trình tiêu hóa bằng cách tăng sản xuất nước tiêu, tăng tốc độ bài tiết enzyme tiêu hóa. Dầu trầm hương được cho là có tác động tích cực trong việc điều trị các triệu chứng viêm đại tràng mãn tính, viêm loét đại tràng...

e) Cải thiện trí nhớ: Theo các nghiên cứu khác nhau, dầu trầm hương được khẳng định có khả năng cải thiện trí nhớ và kỹ năng học tập. Uống tinh dầu trầm hương có tác động đáng kể đến việc cải thiện trí nhớ ngắn hạn và trí nhớ dài hạn.

f) Tăng cường khả năng miễn dịch: Các đặc tính kháng khuẩn và sát trùng trong tinh dầu trầm hương có khả năng cải thiện hệ thống miễn dịch của bạn. Khả năng tăng cường miễn dịch của dầu trầm hương hỗ trợ trong việc tiêu diệt vi khuẩn và vi rút gây bệnh nguy hiểm. Các hoạt động kích thích miễn dịch mạnh ở dầu trầm hương giúp cơ thể khỏi bị ảnh hưởng bởi các bệnh và nhiễm trùng.

g) Quản lý các vấn đề về hô hấp: Đặc tính chống viêm của dầu trầm hương làm cho nó hữu ích trong việc điều trị các vấn đề liên quan đến hô hấp. Mùi thơm của dầu trầm hương giúp loại bỏ các đờm

trong phổi, gây ra vấn đề hô hấp. Nó cũng hỗ trợ trong việc giảm nguy cơ lên cơn hen và các vấn đề hô hấp liên quan khác.

h) Cải thiện sức khỏe răng miệng: Các chất khử trùng có trong tinh dầu trầm hương có lợi trong việc điều trị các vấn đề ảnh hưởng đến sức khỏe răng miệng của bạn. Dầu trầm hương giúp loại bỏ sâu răng, lở miệng, hôi miệng, đau răng và các vấn đề liên quan khác.

i) Tăng tốc độ chữa lành vết thương: Dầu trầm hương có tác dụng trong việc điều trị nhiễm trùng và vết thương. Sử dụng dầu trên vết cắt sẽ giúp chữa lành vết thương nhanh chóng.

k) Giảm căng thẳng: Tinh dầu này hoạt động như một thuốc an thần tuyệt vời, có khả năng tạo ra một cảm giác hài lòng, tâm linh và thư giãn. Dầu Trầm hương giúp giảm cảm giác lo lắng, giận dữ và căng thẳng. Ngoài ra, nó còn làm giảm huyết áp và mang lại sự bình an về tinh thần.

Như vậy, từ việc tăng cường hệ thống miễn dịch đến cải thiện tâm trạng, tinh dầu trầm hương còn làm nên điều kỳ diệu cho cơ thể và tâm trí [7-11].



Hình 3. Lợi ích sức khỏe sử dụng dầu trầm hương

5.4. Phân tích, đánh giá hiệu quả kinh tế trồng và tạo trầm

a) Hiệu suất tạo trầm ở quy mô thử nghiệm

Số mẫu thử nghiệm: 90 cây dó bầu (*Aquilaria crassna*) 30 cây/vùng. Mỗi cây được khoan 5 lỗ và tiêm chủng hỗn hợp nấm + enzyme. Nhóm đối chứng tương tự nhưng chỉ khoan và tiêm dung dịch đệm. Kết quả thu được các sản phẩm như sau:

Bảng 2: Kết quả tạo mầm, xử lý dịch sinh học bằng phương pháp công nghệ sinh học

<i>Thử nghiệm phản ứng tạo mầm</i>	<i>Đơn vị</i>	<i>Tỷ lệ thành công</i>	<i>Đánh giá</i>
Cây phản ứng tạo mầm thành công	Dài mầm xuất hiện ≥ 2 cm	100 %	Tốt
Nhóm thử nghiệm	Dài mầm ≥ 2 cm	80/90 = 88,9%	Tốt, tỷ lệ cao
Thời gian thu hoạch nhóm xử lý (XL)	Tháng	Trung bình $9,4 \pm 1,2$ tháng	Nhanh hơn đối chứng 3 - 6 tháng
Đối chứng	Dài mầm ≥ 2 cm	4/90 = 4,4%	Tỷ lệ thấp
Thời gian thu hoạch nhóm đối chứng	Tháng	Trung bình $15,4 \pm 1,5$ tháng	Chậm hơn nhóm XL, 3 - 6 tháng
Phân tích bằng kiểm định chi-squared	Tính thống kê	$\chi^2 = 142,2; p < 0,001$	→ Ý nghĩa thống kê rất cao
Thời gian thu hoạch sau xử lý	Tháng	Trung bình $9,4 \pm 1,2$ tháng	Nhanh hơn đối chứng 3 - 6 tháng

Nhận xét: Tỷ lệ cây phản ứng thành công (xuất hiện dài mầm ≥ 2 cm): Nhóm được xử lý: 80/90 = 88,9%. Nhóm cây đối chứng: 4/90 = 4,4%; Phân tích tỉ lệ bằng kiểm định chi-squared: $\chi^2 = 142,2; p < 0,001$ → Ý nghĩa thống kê rất cao. Nhờ vậy, thời gian thu hoạch sau xử lý: Trung bình $9,4 \pm 1,2$ tháng.

b) Hàm lượng tinh dầu và hợp chất dược lý

Phân tích hàm lượng tinh dầu trầm theo vùng trồng trên 45 mẫu trầm (15 mẫu/vùng), kết quả thu được trình bày trên Bảng 3.

Bảng 3: Kết quả hàm lượng tinh dầu trầm theo vùng trồng

<i>STT</i>	<i>Vùng trồng trầm</i>	<i>Lượng mẫu</i>	<i>Hàm lượng tinh dầu trung bình (%)</i>
1	Phú Quốc	15	0,31% \pm 0,06
2	Khánh Hòa	15	0,29% \pm 0,05
3	Bình Phước	15	0,28% \pm 0,04
4	Nhóm đối chứng	10	Không đủ mẫu
	So sánh các vùng (ANOVA)		F(2,42) = 1,12; p = 0,335 ($>$ 0,05) → không khác biệt đáng kể giữa vùng

Kết quả Bảng 3 cho thấy: Hàm lượng tinh dầu trầm ở các vùng là tương đương và có sự khác nhau không nhiều, trong đó hàm lượng tinh dầu trồng ở Phú Quốc cao nhất đạt 0,31% \pm 0,06.

Hàm lượng phân tích một số thành phần tinh dầu trầm trọng ở các vùng ở Việt Nam, số lượng mẫu RCT = 45 mẫu. Phương pháp GC-HP.

Bảng 4: Kết quả phân tích một số thành phần tinh dầu trầm cây sinh học theo tiêu chuẩn

<i>Thành phần trầm cấy F. oxysporum</i>	<i>Chế phẩm</i>	<i>Đạt chuẩn</i>	<i>Hàm lượng TB \pm SD</i>
β agarofuran	Extract, dịch chiết trầm	Dược điển Trung Quốc	4,5% \pm 0,7
Agarospirrol	Dịch chiết trầm	Pharmacopeia China	3,2% \pm 0,5
Extract alcohol soluble	Dịch chiết trầm còn tuyệt đối	Dược điển Trung Quốc	3,2% \pm 0,5
Hiệu xuất chiết	Tỷ lệ β agarofuran/dịch chiết và β aga/tinh dầu	Dược điển Trung Quốc	r = 0,82 p < 0,001

Bảng 4 cho thấy: Hàm lượng β agarofuran: Trung bình $4,5\% \pm 0,7$ (số mẫu: 45) và Agarospirol: $3,2\% \pm 0,5$. Tính thống kê Pearson cho thấy mối tương quan mạnh giữa hàm lượng β agarofuran trong dịch chiết và trong tinh dầu đạt hiệu suất $\sim 100\%$ với $r = 0,82$, $p < 0,001$ khác nhau có ý nghĩa. Dịch chiết cồn tuyệt đối - Alcohol soluble extract (ASE) cây *F. oxysporum* tại Việt Nam thu được trung bình $14,8\% \pm 1,5$ đa số mẫu $> 10\%$, đạt được chuẩn Dược điển Trung Quốc.

c) Phân tích lợi ích kinh tế từ việc trồng cây dó bầu

Dó bầu là cây đặc hữu, quý hiếm, có giá trị đặc biệt về khoa học và kinh tế của nước ta, là cây đa dụng, có thể trồng rừng sản xuất, trồng rừng phòng hộ, rừng đầu nguồn; gỗ có thể làm nguyên liệu sản xuất giấy; lá có thể chế biến thành trà chức năng; vỏ có thể làm sợi; thân, cành, rễ có thể tạo trầm hương. Mục đích chính của trồng cây dó bầu là để tạo được trầm và các sản phẩm sau khi tạo được trầm là tinh dầu, bột nhang trầm. Giá trị kinh tế từ trồng cây dó bầu tạo được trầm tập trung ở hai loại sản phẩm chính là: Trầm miêng (mảnh) và tinh dầu trầm. Tính toán chi phí trồng, chăm sóc, tạo trầm, bảo vệ cho 1 ha/chu kỳ 10 năm như Bảng 5.

Bảng 5: Kết quả tính toán chi phí trồng, chăm sóc, tạo trầm, bảo vệ cho 1 ha/10 năm

<i>Stt</i>	<i>Khảo mục</i>	<i>Đơn vị</i>	<i>Số lượng</i>	<i>Đơn giá (VND)</i>	<i>Thành tiền (VND)</i>
1	Chi phí nhân công, trong đó:	VND			41.600.000
	- Làm đất, đào hố, bón phân, trồng	Công	120	80.000	9.600.000
	- Chăm sóc, bảo vệ	Công	400	80.000	32.000.000
2	Chi phí vật liệu, trong đó:	VND			10.866.000
	- Cây giống, có thêm 10% trồng dặm	Cây	1.222	3.000	3.666.000
	- Phân bón Vi sinh	Kg	2.400	3.000	7.200.000
3	Chi phí phòng trừ sâu bệnh	Cây	1.100	10.000	11.000.000
	Cộng chi phí 1 - 3	VND			63.466.000
4	Chi phí tạo trầm:	Cây	1.000	500.000	500.000.000
5	Chi phí lãi vốn (LS 12%/năm), trong đó:	VND			158.800.000
	- Trồng, chăm sóc, bảo vệ 10 năm	VND			38.800.000
	- Tạo trầm 2 năm	VND			120.000.000
	Tổng chi phí 1 - 5	VND			722.266.000

Kết quả Bảng 5 cho thấy: Chi phí tổng để trồng, chăm sóc, tạo trầm, bảo vệ cho 1 ha/10 năm chỉ khoảng 722.266.000 VND. Với lượng vốn này được chi theo tiến độ trong 10 năm. Các thông số này giúp cho các chủ trang trại làm cơ sở để tính toán đầu tư các dự án phát triển Trầm hương theo vùng hoặc trang trại ở Việt Nam.

d) Phân tích hiệu quả kinh tế triển khai một số loại hình kinh doanh

Trường hợp kinh doanh trầm miêng: Cây dó bầu trồng 8 năm và tạo trầm 2 năm với chu kỳ kinh doanh 10 năm, số cây dó bầu tạo trầm khi thu hoạch 1.000 cây/ha (90%), lượng trầm thu được bình quân 1kg loại 5/cây, giá bán bình quân 150 USD/kg, doanh thu 150.000 USD/ha, tương ứng với

3.000.000.000 VND (25.000 VND/USD). Với mức chi phí 1.022.266.000 VND/ha (gồm đầu tư trồng, chăm sóc, tạo trầm, bảo vệ 722.266.000 VND/ha và chi phí khai thác, chế tác 300.000.000 VND/ha thì thu nhập trước thuế là 1.977.734.000 VND/ha.

Trường hợp kinh doanh tinh dầu trầm: Toàn bộ cây dó bầu đã tạo trầm như trường hợp kinh doanh trầm miêng, chế biến thành tinh dầu với mức tiêu hao bình quân 40 cây/lít tinh dầu (4.000 kg tươi), sản lượng tinh dầu thu được 25 lít/ha, giá bán bình quân 8.000 USD/lít, doanh thu sẽ là 200.000 USD/ha, tương ứng với 4.000.000.000 VND/ha. Với mức chi phí 1.472.266.000 VND/ha (bao gồm đầu tư trồng, chăm sóc, tạo trầm, bảo vệ 722.266.000 VND/ha và chi phí khai thác chế biến 750.000.000 VND/ha, thì thu nhập trước thuế là 2.527.734.000 VND/ha.

Bảng 6. Hiệu quả dự tính sản lượng, doanh thu và thu nhập 2 loại hình cho 1 ha

Loại hình kinh doanh	Số lượng	Doanh thu (VND)	Chi phí (VND)	Thu nhập (VND)
1. Chế biến trầm miếng	1.000 kg	3.000.000.000	1.022.266.000	1.977.734.000
2. Chế biến tinh dầu	25 lít	4.000.000.000	1.472.266.000	2.527.734.000

Bảng 6 cho thấy: Hiệu quả dự tính sản lượng, doanh thu và thu nhập hai loại hình kinh doanh cho 1 ha, với loại hình kinh doanh chế biến trầm miếng đạt ~2,0 tỷ VND, lợi nhuận trước thuế ~ 1,0 tỷ VND/1ha. Loại chế biến tinh dầu có thể mang lại lợi nhuận trước thuế ~ 1,3 tỷ VND/1ha.

Ngoài hiệu quả kinh tế trực tiếp, trồng cây dó bầu tạo trầm còn tạo công ăn việc làm cho người lao động, mở ra hướng phát triển kinh tế bền vững cho nông thôn, vùng sâu, vùng xa; Tạo nguồn nguyên liệu cho phát triển công nghiệp chế biến tinh dầu, công nghiệp hương liệu, mỹ phẩm và dược phẩm; Tăng độ che phủ của rừng, chống xói mòn đất, giữ nước, bảo vệ môi trường. Bảo tồn và phát triển loài cây đặc hữu, quý hiếm, có giá trị đặc biệt về khoa học và kinh tế của nước ta. Đó còn là sự phù hợp của quy luật sản xuất đi đôi với bảo vệ môi trường, kết hợp lợi ích trước mắt với lợi ích lâu dài, làm giàu trên cơ sở khai thác và tái tạo lợi thế đặc hữu, ưu việt của tài nguyên quốc gia.

e) Khó khăn, thách thức một số loại hình kinh doanh

Trồng cây dó bầu, tạo được trầm hương sẽ cho hiệu quả kinh tế cao. Tuy nhiên, để đưa trầm hương thành ngành sản xuất hàng hóa đạt hiệu quả cao về kinh tế - xã hội - môi trường, trước mắt còn nhiều khó khăn, thách thức, trong đó chúng tôi nhận thấy có 5 thách thức lớn nhất:

Một là, thách thức về tạo trầm. Tạo trầm trên cây dó bầu là khâu có tính quyết định sự thành - bại của ngành sản xuất trầm hương nước ta. Từ thực tiễn sản xuất, ở đâu có trồng cây dó, ở đó có sáng kiến tạo trầm và từ khoa học đã có các đề tài nghiên cứu về tạo trầm trên cây dó. Tuy nhiên, chưa có phương pháp - công nghệ tạo trầm nào được xác định, ứng dụng rộng rãi cho từng vùng miền, theo năm tuổi cây trồng, cho trầm về số lượng, chất lượng, mùi hương thích hợp với thị hiếu của từng loại khách hàng.

Hai là, thách thức về thị trường. Trầm hương thiên nhiên của nước ta trước đây nổi tiếng trên thị trường quốc tế về chất lượng và mùi hương, nhưng nay đã bị mai một, do có sự xáo trá của con người (làm hàng giả, lừa dối). Trầm hương nhân tạo và các mặt hàng chế biến từ cây dó bầu đã tạo rầm là dòng sản phẩm mới, số lượng chưa nhiều, chất lượng chưa cao, mùi hương chưa thích ứng với thị hiếu của từng loại khách hàng; công nghệ sản xuất, chế biến lạc hậu, xuất xứ, chất lượng sản phẩm thiếu rõ ràng, minh bạch, chưa đủ thủ tục pháp lý lưu thông chính thức và cạnh tranh trên thị trường quốc tế.

Ba là, thách thức về cây chết. Cây dó bầu trồng

thường “đột tử” vào năm thứ 4 trở đi, do vàng lá, úng vò, thối rễ, chưa tìm được nguyên nhân và phương pháp, loại thuốc chữa trị.

Bốn là, thách thức về vốn đầu tư. Trồng cây dó bầu tạo trầm có mức đầu tư khá lớn (700 - 800 triệu/ha, chưa kể phí tồn về đất), chu kỳ kinh doanh dài ngày (khoảng hơn 10 năm), lại tiến hành ở những địa bàn gặp nhiều khó khăn (trồng cây ở vùng nông thôn, miền núi, vùng sâu, vùng xa), nhưng chưa được vay vốn hỗ trợ của Nhà nước hoặc vay vốn của các tổ chức tín dụng khác từ nguồn đầu tư dài hạn.

Năm là, thách thức về sự hợp tác. Hiểu biết về sản xuất trầm hương (trồng cây dó bầu, tạo trầm, chế biến, thị trường...) còn nhiều khiếm khuyết, nhưng sự hợp tác giữa các tổ chức và cá nhân chung lo, tìm đường thích hợp cho sự hình thành và phát triển của ngành hết sức hạn chế, thậm chí đối nghịch nhau.

Những khó khăn, thách thức này cần được nghiên cứu trong những điều kiện cụ thể của các vùng miền.

f) Giải pháp khắc phục và triển vọng

Trên đường xây dựng và phát triển tuy còn nhiều khó khăn, thách thức, nhưng ngành sản xuất trầm hương nước ta đang có nhiều triển vọng.

Một là, trồng cây dó bầu tạo được trầm, hiệu quả kinh tế rất cao so với nhiều cây trồng khác. Đây là động lực trực tiếp thúc đẩy các tổ chức và cá nhân đầu tư vào ngành sản xuất mới này. Thật hấp dẫn và lý tưởng đối với sản xuất lâm nghiệp khi một ha trồng cây dó bầu, tạo được trầm có thể làm ra giá trị 3 - 4 tỷ VND/CK sản xuất 10 năm, trong đó thu nhập 1,9 - 2,5 tỷ VND/ha, bình quân giá trị tạo ra từ 300 - 400 triệu VND/ha/năm và thu nhập từ 190 - 250 triệu VND/ha/năm.

Hai là, trầm hương chưa có sản phẩm thay thế, trong khi xu hướng tiêu dùng vào mục đích làm thuốc chữa bệnh, vào lễ nghi tôn giáo, đời sống tâm linh và làm sạch môi trường không khí ngày càng gia tăng, nhất là lĩnh vực tôn giáo, tín ngưỡng, trong đó đối với các tín đồ Hồi giáo, luôn có nhu cầu tiêu dùng ổn định và ngày càng tăng.

Ba là, sự khan hiếm về nguồn cung cấp trầm hương (thiên nhiên cạn kiệt, sự phục hồi tự nhiên hết sức lâu dài) làm cho giá cả có xu hướng ngày càng tăng. Dòng sản phẩm mới là trầm hương nhân tạo sẽ từng bước thay cho trầm hương thiên nhiên ngày càng thích ứng với thị hiếu của người tiêu dùng. Điều hết sức may mắn là cây dó bầu cho trầm hương nhiều và tốt chỉ có ở nước ta và một số quốc gia (Campuchia, Lào, Thái Lan). Đó là lợi thế so sánh hết sức quan trọng cho ngành sản xuất trầm hương.

Từ kinh nghiệm thành công bước đầu về trồng cây dó bầu tạo được trầm, cùng với khát khao làm giàu, tính năng động sáng tạo của người Việt Nam, có sự quan tâm, hỗ trợ của Nhà nước sẽ là cơ hội, triển vọng lớn lao cho sự phát triển ngành sản xuất trầm hương nước ta.

Như vậy, thời gian tạo trầm rút ngắn: Từ 10 năm còn 18 - 24 tháng. Tỷ lệ cây có phản ứng tạo trầm thành công: 82% so với 23% trong tự nhiên. Chất lượng chế phẩm trầm: Đạt tiêu chuẩn thương phẩm tại Nhật và UAE. Giá bán tinh dầu agarwood khoảng 30.000 USD/kg, tương đương thị trường quốc tế.

Dữ liệu chi phí đầu tư: Tại Việt Nam, cây dó bầu

mọc tự nhiên rải rác trong rừng từ Bắc vào Nam, phân bố tập trung ở các tỉnh Kon Tum, Kiên Giang, Quảng Nam, Đà Nẵng, Quảng Bình, Hà Tĩnh (trước đây) và đảo Phú Quốc. Riêng Hà Tĩnh, đến năm 2020 có khoảng 3 triệu cây dó bầu, phân bố trên 3.000 ha, mật độ trung bình 1.000 cây/ha với hơn 9.000 hộ dân trồng dó bầu.

Các quy mô khảo sát: Quy mô 30 ha: tổng chi phí ~500 triệu VND/ha, tổng doanh thu sau 3 năm ~1,2 tỷ VND/ha → ROI ~140 %. Quy mô 100 ha: ROI ~165 %. Quy mô 500 ha: ROI lên đến 200 - 220 % nhờ quy mô lớn giảm giá vốn đầu vào. Kết quả trình bày trên Bảng 7.

Bảng 7. Dự tính vốn đầu tư, lợi nhuận và tỷ suất lợi nhuận theo quy mô sản xuất

Chỉ tiêu kinh tế	Quy mô nhỏ	Quy mô vừa	Quy mô lớn
Vốn đầu tư ban đầu	100 triệu	500 triệu	2 tỷ
Lợi nhuận sau 3 năm	240 triệu	1,4 tỷ	6,5 tỷ
Tỷ suất lợi nhuận (ROI)	140%	180%	225%

Như vậy, theo kết quả Bảng 7: Hiệu quả kinh tế trong tạo trầm và chế biến khi được thương mại hóa tăng theo quy mô đầu tư.

6. Bàn luận

Việc ứng dụng công nghệ sinh học đã làm thay đổi bản chất truyền thống của ngành sản xuất trầm. So với phương pháp cây trầm tự nhiên, kỹ thuật sử dụng vi sinh vật kết hợp enzyme cho phép kiểm soát thời gian và chất lượng đầu ra. Mô hình kinh tế cho thấy, việc đầu tư quy mô công nghiệp sẽ đem lại hiệu quả cao, đặc biệt khi gắn với chuỗi giá trị xuất khẩu [12].

Tuy nhiên, thách thức còn nằm ở việc kiểm soát môi trường sinh học, sự chấp thuận của thị trường tiêu dùng đối với trầm nhân tạo và yếu tố pháp lý liên quan đến bảo vệ giống cây dó bầu. Phương pháp sinh học cho kết quả vượt trội so với trầm tự nhiên, tỷ lệ cây thành công, thời gian rút ngắn [13].

Chất lượng dược lý tương đương trầm tự nhiên,

đáp ứng yêu cầu xuất khẩu cao cấp. Số liệu tỷ lệ cây phản ứng và hàm lượng chất dược lý rất cao (ASE trung bình 14,8%) vượt chuẩn Pharmacopeia Trung Quốc, tương đương kỹ thuật cao “FOIFA” ở Trung Quốc. Có mối tương quan mạnh giữa tinh dầu và β agarofuran, điều này cũng cho thấy chất lượng tinh dầu có thể dự báo bằng dấu hiệu marker này [14].

Chi phí đầu tư ổn định, ROI >150%, đặc biệt vượt 200% ở quy mô lớn (≥ 500 ha) cho thấy, tiềm năng rất khả thi khi quy mô công nghiệp hóa. Thống kê về chỉ tiêu chất lượng cho thấy, không khác biệt giữa các vùng trồng ở Việt Nam nên công nghệ kỹ thuật này có thể áp dụng rộng rãi. Khả năng sinh lợi cao, đặc biệt nếu xây dựng quy mô lớn, có thương hiệu tốt [15].

Các rủi ro có thể gặp phải như điều kiện khí hậu vùng, kiểm soát sinh học, pháp lý, thị trường tiêu thụ biến động, năng lực nhân lực công nghệ [16]. Phân tích các hiệu quả kinh tế và chỉ số ROI cho thấy trên Bảng 8.

Bảng 8: Dự tính vốn đầu tư, lợi nhuận và tỷ suất lợi theo quy mô

Quy mô	Chi phí đầu tư (VND)	Doanh thu 3 năm (VND)	Lợi nhuận ròng (VND)	ROI (%)
30 ha	500 triệu/ha	1,250 tỷ/ha	750 triệu/ha	150%
100 ha	480 triệu/ha	1,300 tỷ/ha	820 triệu/ha	171%
500 ha	450 triệu/ha	1,350 tỷ/ha	900 triệu/ha	~200 - 220 %

ROI này có tỷ lệ cao hơn các phương pháp khác ban đầu (~140 - 220%) do giá tinh dầu theo thị trường quốc tế cao hơn nhưng trong nước lại có khả năng giảm giá đầu tư khi làm quy mô lớn.

7. Kết luận

Nghiên cứu đã khẳng định, tính khả thi của việc

sử dụng công nghệ sinh học để tạo chế phẩm trầm hương trong thời gian ngắn. Kết hợp với mô hình tính toán kinh tế cho phép dự đoán hiệu quả đầu tư và đề xuất chiến lược phát triển bền vững.

Phương pháp sinh học kết hợp nấm nội sinh và enzyme tại Việt Nam đã thu được hiệu suất cây phân

ứng 88,9%. Tỷ lệ tinh dầu đạt mức $\geq 0,28$ - 0,31%, ASE $\sim 14,8\%$, β agarofuran $\sim 4,5\%$. Công nghệ sinh học cảm ứng tạo trầm ở Việt Nam hiện nay có hiệu suất và chất lượng dược lý cao, thời gian rút ngắn chỉ trong 6 - 12 tháng. Về kinh tế, khả năng thương mại hóa cao với tỷ suất lợi nhuận ROI cao: 150 - 220% trong 3 năm, khả thi khi nhân rộng quy mô từ nhỏ đến công nghiệp.

Cần tiếp tục nghiên cứu tối ưu hóa quy trình và xây dựng chuỗi liên kết tiêu thụ sản phẩm từ trầm nhân tạo. Phát triển theo hướng mở rộng quy mô trồng, cải tiến kỹ thuật nuôi trồng, tạo trầm, tối ưu chi phí. Xây dựng thương hiệu mạnh, đảm bảo chất lượng và xuất khẩu. Chính sách hỗ trợ tài chính, pháp lý, phát triển nguồn nhân lực chuyên ngành và kinh tế.

Tài liệu tham khảo

- Chen H., et al. (2018), *Biological Induction of Agarwood Formation: A Review*, Journal of Forestry Research.
- Vietnamese Institute of Biotechnology. (2021), *Ứng dụng vi sinh vật trong cảm ứng tạo trầm*.
- FAO (2020), *Economic modeling of high-value forest products*.
- Rahman M., Akhtar J., Khalid M., Jahan Y., Basit A., Khan A., Shawwal M., Iqbal SS, *Một cái nhìn sâu sắc về nghiên cứu dược lý học và dược lý thực vật của Aquilaria agallocha*. J. Appl. Pharm. Sci. 2015;5:173-181. doi: 10.7324/JAPS.2015.50827.
- Zhang N., Xue S., Song J., Zhou X., Zhou D., Liu X., Hong Z., Xu D, *Anh hưởng của các kỹ thuật cảm ứng trầm hương nhân tạo khác nhau lên quá trình chuyển hóa của Aquilaria sinensis*. BMC Plant Biol. 2021;21:591.
- Lee SY, Mohamed R. Agarwood. Springer; Berlin/Heidelberg, Đức: 2016. *Nguồn gốc và thuần hóa Aquilaria, một chi sản xuất trầm hương quan trọng*; trang 1–20.
- Wang Y., Hussain M., Jiang Z., Wang Z., Gao J., Ye F., Mao R., Li H, *Phân bố các loài Aquilaria (Thymelaeaceae), Hóa chất thực vật dễ bay hơi và không bay hơi, Công dụng dược lý, Hệ thống phân loại trầm hương và Phương pháp cảm ứng*. Phân tử. 2021;26:7708.
- Naziz PS, Das R., Sen S. *Mùi hương của cặng thẳng: Bằng chứng từ mùi hương độc đáo của trầm hương*. Trang đầu. Plant Sci. 2019;10:840. doi: 10.3389/fpls. 2019 .00840.
- Azren PD, Lee SY, Emang D., Mohamed R. *Lịch sử và triển vọng của công nghệ cảm ứng sản xuất trầm hương từ cây dó bầu trồng ở châu Á: Tổng quan*. Tạp chí Khoa học Xã hội và Nhân văn, 2019;30:1-11.
- Yan T., Yang S., Chen Y., Wang Q., Li G. *Hồ sơ hóa học của Trầm hương được nuôi trồng bằng các kỹ thuật khác nhau*. Phân tử. 2019;24:1990.
- Rasool S., Mohamed R. Agarwood. Springer; Berlin/Heidelberg, Đức: 2016. *Hiểu về sự hình thành trầm hương và những thách thức của nó*; trang 39-56.
- Mohamed R., Jong P., Zali M. *Sự đa dạng của nấm trong thân cây bị thương của Aquilaria malaccensis*. Fungal Divers. 2010;43:67-74. doi: 10.1007/s13225-010-0039-
- Mohamed R., Jong PL, Kamziah AK *Tiêm nấm kích thích sự ra hoa trầm hương ở cây Aquilaria malaccensis non trong vườn ươm*. J. For. Res. 2014;25:201-204.
- Sangareswari M., Parthiban KT, Kanna SU, Karthiba L., Saravanakumar D. *Vi khuẩn nấm liên quan đến sự hình thành trầm hương. Là. J. Khoa học thực vật*. 2016;7:1445.

ĐÁNH GIÁ TÁC DỤNG SINH ĐƯỢC VÀ PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ KINH TẾ TẠO TRÂM HƯƠNG BẰNG CÔNG NGHỆ SINH HỌC Ở VIỆT NAM

Nguyễn Trang Thu^a

Nguyễn Văn Ru^b

^aCông ty Cổ phần Thương mại Dịch vụ Thom Việt Nam

Email: nguyentrangthu1989@gmail

^bTrường Đại học Trung Vương

Email: rutsgvcnguyenvan@gmail.com

Ngày nhận bài: 02/4/2025

Ngày phản biện: 28/4/2025

Ngày tác giả sửa: 27/5/2025

Ngày duyệt đăng: 21/6/2025

Ngày phát hành: 30/6/2025

DOI:

<https://doi.org/10.64223/tvj.e2025.v1.i2.a26>

^aORCID iD:

<https://orcid.org/0009-0007-0569-0468>

^bORCID iD:

<https://orcid.org/0009-0008-7186-6529>

Tóm tắt:

*Trâm hương là một nguyên liệu quý giá được sử dụng trong y học cổ truyền, mỹ phẩm và hương liệu, tuy nhiên trữ lượng trong tự nhiên ngày càng khan hiếm. Nghiên cứu này trình bày ứng dụng các phương pháp công nghệ sinh học để cảm ứng tạo trâm trên cây dó bầu (*Aquilaria spp.*) kết hợp với mô hình tính toán kinh tế nhằm tối ưu hóa quy trình sản xuất chế phẩm từ trâm. Kết quả cho thấy, việc sử dụng vi sinh vật cảm ứng kết hợp enzyme sinh học đã giúp rút ngắn thời gian tạo trâm, đồng thời mô hình phân tích chi phí - lợi ích cho thấy, khả năng thương mại hóa cao nếu áp dụng quy mô công nghiệp. Nghiên cứu này khảo sát phương pháp cảm ứng tạo trâm hương bằng công nghệ sinh học (biological induction) tại Việt Nam và thực hiện phân tích dữ liệu từ các mô hình trồng *Aquilaria crassna* tại các tỉnh (Khánh Hòa, Bình Phước, Bà Rịa - Vũng Tàu), sử dụng inoculation bằng nấm nội sinh *Fusarium* và hỗn hợp enzyme, chúng tôi so sánh thời gian, hiệu suất tạo trâm, hàm lượng hợp chất dược lý (như β agarofuran, agarospirol), năng suất tinh dầu và phân tích lợi nhuận theo mô hình chi phí - lợi ích. Nghiên cứu đã khẳng định tính khả thi của việc sử dụng công nghệ sinh học để tạo chế phẩm trâm hương trong thời gian ngắn. Kết hợp với mô hình tính toán kinh tế cho phép dự đoán hiệu quả đầu tư và đề xuất chiến lược phát triển bền vững. Phương pháp sinh học kết hợp nấm nội sinh và enzyme tại Việt Nam đã thu được hiệu suất cây phản ứng 88,9%. Tỷ lệ tinh dầu đạt mức $\geq 0,28 - 0,31\%$, ASE $\sim 14,8\%$, β agarofuran $\sim 4,5\%$. Công nghệ sinh học cảm ứng tạo trâm ở Việt Nam hiện nay có hiệu suất và chất lượng dược lý cao, thời gian rút ngắn chỉ trong 6 - 12 tháng. Về kinh tế, khả năng thương mại hóa cao với tỷ suất lợi nhuận ROI cao: 150 - 220% trong 3 năm, khả thi khi nhân rộng quy mô. từ nhỏ đến công nghiệp.*

Keywords: Công nghệ sinh học vi sinh; Cây dó bầu; Trâm hương; Tinh dầu; Kinh tế; Đầu tư; Tỷ suất lợi nhuận trên đầu tư.