

GIẢI PHÁP GIẢM PHÁT THẢI TRONG QUY TRÌNH CHẾ BIẾN BỘT KHOAI MỠ TRẮNG MỘNG LINH (*DIOSCOREA ALATA L.*) HƯỚNG TỚI NÔNG NGHIỆP XANH

NGUYỄN HUY HOÀNG¹, TRẦN ĐĂNG KHOA¹, NGUYỄN DANH NGÔN¹,
LƯU THỊ VÂN HÀ¹, TRƯƠNG THÀNH PHÚC², ĐẶNG XUÂN CƯỜNG², NGUYỄN LỮ PHƯƠNG³,
HUỲNH THỊ NGỌC HÂN³, NGUYỄN XUÂN HOÀN²

¹Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Đại học Cần Thơ

Tóm tắt

Nghiên cứu này tập trung ứng dụng sản xuất sạch hơn cho bột khoai mỡ Mộng Linh. Nghiên cứu đã trực tiếp khảo sát các lò làm bột truyền thống để làm rõ hiện trạng môi trường (từ lượng nước thải, rác hữu cơ đến điện năng tiêu thụ). Kết quả cho thấy, cách làm của quy trình cũ gây lãng phí lớn, thất thoát nguyên liệu và tiêu tốn nhiều năng lượng. Để khắc phục, nhóm đã thử nghiệm mô hình cải tiến bằng cách: tận dụng triệt để phụ phẩm, tối ưu nguồn nước, dùng máy sấy tiết kiệm điện và thay hóa chất bằng các phương pháp sinh học an toàn. Các giải pháp như tối ưu hóa sử dụng nước, tái sử dụng phụ phẩm, ứng dụng sấy tiết kiệm năng lượng và thay thế hóa chất bằng xử lý sinh học đã giảm đáng kể TSS, COD, BOD5, lượng chất thải hữu cơ và CO₂ tương đương, đồng thời nâng cao chất lượng bột. Nghiên cứu khuyến nghị nhân rộng mô hình sản xuất sạch hơn cho các cơ sở quy mô nhỏ và vừa.

Từ khóa: Chỉ số ô nhiễm, Khoai mỡ Mộng Linh, Nông nghiệp xanh, Sản xuất sạch hơn, Tối ưu hóa quy trình.

Ngày nhận bài: 29/12/2025; **Ngày sửa chữa:** 14/1/2026; **Ngày duyệt đăng:** 22/1/2026.

Emission reduction strategies in Mong Linh white yam (*Dioscorea Alata L.*) flour processing towards green agriculture

Abstract

This study focuses on identifying a cleaner production pathway for Mong Linh white yam flour. By directly investigating traditional processing facilities, we assessed the current environmental impact, ranging from wastewater discharge and organic waste to total energy consumption. The findings indicate that conventional methods result in significant inefficiencies, including substantial raw material loss and high energy demands. To address these challenges, an improved model was piloted, featuring the comprehensive recycling of by-products, water usage optimization, the integration of energy-efficient dryers, and the replacement of synthetic chemicals with safe biological alternatives. These interventions led to a marked reduction in TSS and COD levels, organic waste volume, and CO₂ equivalent emissions, while simultaneously enhancing the overall quality of the flour. Based on these results, the study recommends scaling up this cleaner production model for small and medium-sized enterprises (SMEs) in the sector.

Keywords: Cleaner production, Emission reduction, Green agriculture, Mong Linh white yam, Process optimization.

JEL Classifications: Q23, Q25, Q56, Q57.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu đang trở thành thách thức toàn cầu, Việt Nam đã khẳng định quyết tâm theo đuổi các mục tiêu phát triển bền vững (SDGs) và lộ trình trung hòa các-bon đầy tham vọng. Nông nghiệp, với vai trò là một trụ cột đảm bảo an ninh lương thực và dinh dưỡng, hiện nay đang phải đứng trước áp lực phải quá độ chuyển dịch mạnh mẽ sang mô hình sản xuất xanh, tuần hoàn và ít phát thải hơn (World Bank, 2025). Tuy nhiên, một "điểm nghẽn" khá lớn trong chuỗi giá trị này chính là giai đoạn chế

biến sau thu hoạch - nơi thường xuyên tiêu tốn nguồn năng lượng khổng lồ, sử dụng nước lãng phí và phát sinh lượng chất thải lớn ra môi trường (Niguse et al., 2022). Điều này đặt ra yêu cầu về một diện mạo mới cho nông nghiệp Việt Nam là: (i) Sinh thái, (ii) Trách nhiệm và bền vững hơn, (iii) Hướng tới cột mốc Net Zero vào năm 2050. Theo Chiến lược phát triển nông nghiệp và nông thôn bền vững giai đoạn 2021-2030, trọng tâm không chỉ nằm ở việc tăng trưởng sản lượng mà còn phải tối ưu hóa giá trị gia tăng và tiết giảm chi phí đầu vào thông qua việc sử dụng tài nguyên hiệu



quả (Ipsard, 2022). Do đó, việc tái cấu trúc và tối ưu hóa các quy trình chế biến nông sản không còn là lựa chọn, mà là một đòi hỏi tất yếu để hiện thực hóa các cam kết về môi trường và kinh tế.

Khoai mỡ trắng Mộng Linh (*Dioscorea alata* L.), hay còn gọi là củ cái, khoai vạc, là loại cây trồng đặc hữu mang đậm giá trị kinh tế tại vùng đệm U Minh Thượng (An Giang – Việt Nam). Giống khoai này gây ấn tượng bởi kích thước củ vượt trội (trung bình 4–5 kg, thậm chí đạt 20 kg) cùng hàm lượng tinh bột cao và khả năng thích nghi mạnh mẽ với thổ nhưỡng địa phương (Kiengiang.gov.vn, 2019). Với chứng nhận OCOP 3 sao và định hướng phát triển chuỗi liên kết gần đây, khoai mỡ Mộng Linh đang đứng trước cơ hội lớn để chuyển mình từ nông sản thô sang các sản phẩm chế biến sâu, đặc biệt là bột khoai mỡ (Baoangiang.com.vn, 2025). Tuy nhiên, thực trạng sản xuất hiện nay vẫn đối mặt với nhiều rào cản như việc bảo quản khó khăn và các kênh tiêu thụ hạn hẹp khiến giá thành thiếu bình ổn. Đáng quan ngại hơn, các cơ sở chế biến bột vẫn duy trì phương thức truyền thống vốn tiêu tốn nhiều tài nguyên nước, điện năng và xả thải trực tiếp phụ phẩm ra môi trường, gây ô nhiễm và phát thải khí nhà kính (Hình 1).

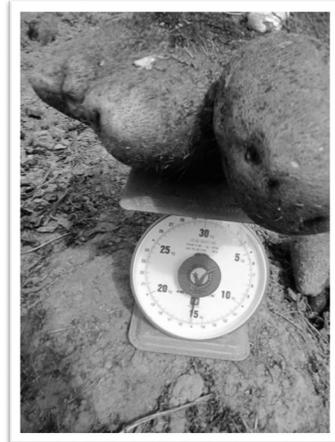
Cơ hội để giải quyết các vấn đề hạn chế này chính là dựa vào các đặc tính tự nhiên của nguyên liệu: khoai mỡ trắng Mộng Linh sở hữu nhiệt độ hồ hóa thấp và tính ổn định nhiệt tốt – những thông số lý tưởng để thiết kế quy trình chế biến tiết kiệm năng lượng (Oliveira et al., 2021). Đồng thời, các phụ phẩm như vỏ và bã xơ hoàn toàn có thể trở thành nguyên liệu đầu vào cho các mô hình kinh tế tuần hoàn (Omuku et al., 2025).

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm xây dựng một quy trình sản xuất bột khoai mỡ đảm bảo chất lượng, đồng thời giảm thiểu tối đa dấu chân các-bon. Bằng cách phân tích toàn diện từ khâu sơ chế đến sấy và đóng gói, nhóm tác giả đã đề xuất việc tích hợp công nghệ sạch, tái sử dụng sinh khối và tối ưu hóa vận hành. Đây không chỉ là giải pháp kỹ thuật đơn thuần mà còn là hướng đi chiến lược giúp nâng tầm giá trị nông sản đặc thù của Đồng bằng sông Cửu Long, hài hòa giữa tăng trưởng kinh tế nông thôn và mục tiêu Net Zero toàn cầu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại vùng đệm U Minh Thượng, Kiên Giang - là khu vực trọng



Hình 1. Khoai mỡ trắng Mộng Linh ở vùng đệm rừng U Minh Thượng – An Giang.

điểm canh tác khoai mỡ trắng Mộng Linh theo mô hình hợp tác xã và liên kết doanh nghiệp. Nhóm tác giả đã tiến hành khảo sát thực địa tại các cơ sở chế biến quy mô vừa và nhỏ nhằm đảm bảo tính đại diện cho thực trạng sản xuất tại địa phương.

Nghiên cứu này tập trung bóc tách các điểm phát thải chính trong bốn công đoạn cốt lõi: rửa làm sạch, nghiền, sấy khô và đóng gói. Các yếu tố nằm ngoài dây chuyền sản xuất tại xưởng như kỹ thuật canh tác tiền thu hoạch, logistics vận chuyển và mạng lưới phân phối sản phẩm cuối cùng sẽ không nằm trong phạm vi định lượng phát thải của nghiên cứu này.

2.2. Phương pháp thực hiện

Dữ liệu nghiên cứu được thu thập từ khảo sát thực địa và phỏng vấn trực tiếp các hộ canh tác, cơ sở chế biến tại địa phương. Nhóm tác giả tập trung định lượng mức tiêu thụ năng lượng và tài nguyên theo tiêu chuẩn GHG Protocol (2021) xuyên suốt từ khâu tiếp nhận nguyên liệu đến thành phẩm. Trên cơ sở đó, các giải pháp cải tiến được thử nghiệm ở quy mô pilot nhằm so sánh đối chứng với quy trình truyền thống về hiệu quả giảm phát thải, tiết kiệm tài nguyên và tính khả thi kinh tế.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Diện tích trồng và sản lượng khoai mỡ trắng Mộng Linh

Khoai mỡ trắng Mộng Linh hiện đang là cây trồng chủ lực tại vùng đệm Vườn Quốc gia U Minh Thượng, chúng tập trung chủ yếu ở hai xã Minh Thuận và An Minh Bắc (huyện U Minh Thượng, Kiên Giang). Sự phát triển của giống khoai này gắn liền với hệ thống hạ tầng thủy lợi được cải thiện, giúp xổ phèn và thoát úng hiệu quả trên diện tích hơn 3.200 ha đất canh tác rau màu của địa phương (Baoangiang.com.vn, 2025). Bên cạnh đó, khoai Mộng Linh có ưu thế vượt trội về năng suất nhờ tương thích đặc biệt với thổ nhưỡng. Thống kê thực tế ghi nhận mức sản lượng dao động từ 42 đến 70 tấn/ha, cao gấp nhiều lần so với các giống khoai mỡ tại những vùng trọng điểm khác như Thạnh Hóa, Long An

Bảng 1. Diện tích trồng và sản lượng khoai mỡ tím và khoai mỡ trắng Mộng Linh ở xã Minh Thuận và xã An Minh Bắc

Năm trồng	Xã Minh Thuận		Xã An Minh Bắc		Tổng diện tích trồng (ha)	Sản lượng (tấn)
	Khoai mỡ tím (ha)	Khoai trắng Mộng Linh (ha)	Khoai mỡ tím (ha)	Khoai trắng Mộng Linh (ha)		
2023	63.0	2.0	0.0	6.0	71.0	1775
2024	59.5	3.5	0.0	16.5	79.5	1987.5
2025	71.1	0.0	0.0	7.0	78.1	1952.5

Nguồn: Nhóm tác giả

(Kiangiang.gov.vn, 2019). Đặc tính sinh học của giống này cho củ dạng chùm với trọng lượng lớn, trung bình từ 4-5 kg và có thể lên tới 15 kg đối với những cá thể loại 1. Với quy trình canh tác ít phụ thuộc vào hóa chất, khoai mỡ trắng Mộng Linh không chỉ mang lại giá trị thương mại cao mà còn khẳng định vị thế là mô hình nông nghiệp bền vững, góp phần nâng cao sinh kế cho hàng trăm nông hộ tại địa phương này (Bảng 1).

Sản lượng khoai trắng sụt giảm vào năm 2025 chủ yếu do tình trạng xâm nhập mặn kéo dài và biến đổi khí hậu gây ảnh hưởng trực tiếp đến vùng nguyên liệu trọng điểm. Đồng thời, việc tái quy hoạch nông nghiệp và luân canh cây trồng tại địa phương nhằm cải tạo đất cũng góp phần thu hẹp diện tích canh tác, làm thay đổi nguồn cung đầu vào cho quy trình sản xuất.

3.2. Tiềm năng chế biến bột khoai mỡ trắng Mộng Linh

Việc chuyển dịch kinh doanh từ củ tươi sang sản xuất bột khoai không chỉ là sự thay đổi về hình thái mà còn là chiến lược tối ưu hóa chuỗi giá trị nông sản theo hướng phát triển bền vững. Khoai mỡ trắng Mộng Linh tươi chứa đến 70% nước, nên chúng có thời hạn bảo quản ngắn (3-7 ngày) và dễ phát sinh khí nhà kính (CH₄, CO₂) trong quá trình phân hủy (Khanal et al., 2023). Qua thực nghiệm, nhóm nghiên cứu nhận thấy việc chế biến bột khoai sẽ giúp kéo dài thời gian lưu kho có thể lên đến 12 tháng, đồng thời tận dụng triệt để những củ không đạt quy cách về hình dáng, từ đó giảm thiểu đáng kể tỷ lệ thất thoát sau thu hoạch.

Xét về logistics, sản phẩm dạng bột có khả năng

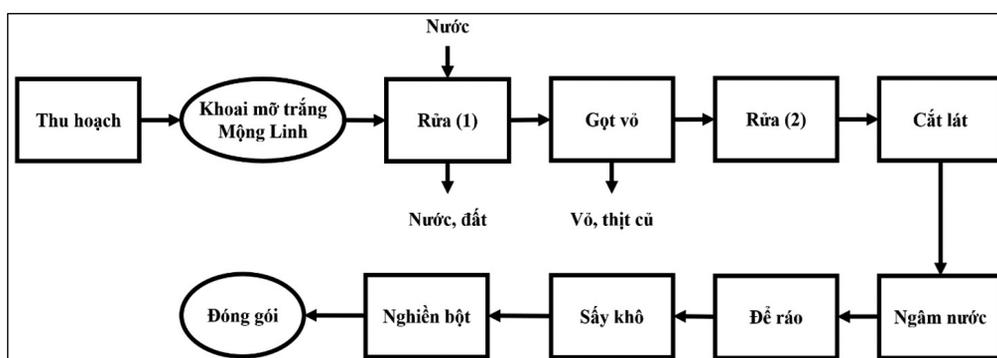
cắt giảm 70-80% trọng lượng và thể tích, trực tiếp làm giảm "dấu chân các-bon" trong quy trình vận chuyển và loại bỏ nhu cầu bảo quản lạnh tốn kém điện năng. Thêm vào đó, đặc tính sinh hóa của khoai Mộng Linh với hàm lượng tinh bột cao (60-85%), nhiệt độ hồ hóa thấp (69,6°C) và tính ổn định nhiệt tốt cũng là những lợi thế kỹ thuật giúp tiết kiệm năng lượng đáng kể trong quá trình chế biến công nghiệp (Oliveira et al., 2021).

Mô hình chế biến tập trung này còn cho phép đưa ra một chu trình kinh tế tuần hoàn, cụ thể: các phụ phẩm như vỏ khoai và nước thải hữu cơ được thu gom để sản xuất phân bón hoặc sinh khối thay vì thải bỏ gây ô nhiễm vào môi trường. Đây là bước chuyển quan trọng từ "tư duy sản xuất" sang "tư duy kinh tế tích hợp đa giá trị" (Ipsard, 2022), điều này mở ra cơ hội xuất khẩu chính ngạch và tạo sinh kế bền vững cho nông dân vùng đệm U Minh Thượng.

3.3. Hiện trạng quy trình chế biến bột khoai mỡ và các nguồn phát thải

Thực trạng công tác chế biến bột khoai mỡ trắng truyền thống (Hình 2) hiện đối mặt với nhiều rào cản về hiệu quả tài nguyên và tác động sinh thái. Thao tác ngâm rửa chúng làm tiêu tốn lượng nước lớn nhưng lại thiếu hệ thống tuần hoàn, dẫn đến xả thải trực tiếp các chất hữu cơ hòa tan, dễ gây nguy cơ phú dưỡng hóa nguồn nước địa phương. Đặc biệt, công đoạn sấy nhiệt truyền thống đang là vấn đề cần chú ý chính.

Hiện nay, các cơ sở vẫn phụ thuộc vào lò điện trở hoặc đốt nhiên liệu hóa thạch, nó không chỉ gây lãng



Hình 2. Quy trình sản xuất bột khoai mỡ trắng Mộng Linh (truyền thống) ở vùng đệm rừng U Minh Thượng - An Giang.

Bảng 2. Khảo sát hiệu suất sử dụng phần ăn được của khoai mỡ trắng Mộng Linh

Mẫu	$m_{\text{ban đầu}}$ (g)	$m_{\text{vỏ}}$ (g)	$m_{\text{còn lại}}$ (g)	Hiệu suất (%)
M1	1100	172	928	84,4
M2	1000	146	854	85,4
M3	2076	186	1890	91

phí năng lượng mà còn phát thải lượng lớn khí CO₂ và khói bụi. Việc chúng ta chưa tận dụng được lợi thế nhiệt độ hồ hóa thấp của khoai Mộng Linh cùng sự cản trở từ hàm lượng chất nhầy tự nhiên đã làm kéo dài thời gian hơn khi sấy, làm biến tính các hoạt chất quý như Dioscin và làm giảm giá trị thương phẩm. Ngoài ra, việc thải bỏ hơn 20% khối lượng vỏ và bã xơ ra môi trường thay vì tái sử dụng đã làm gia tăng chất thải rắn và khí nhà kính (CH₄, CO₂) là điều không thể tránh. Những hạn chế này đã cho thấy quy trình cũ không còn phù hợp với định hướng nông nghiệp xanh, và đang tạo ra dấu chân các-bon lớn trong chuỗi giá trị.

3.4. Hiệu quả của các giải pháp giảm phát thải được đề xuất

Nhờ có công cụ địa phương - dao hai lưỡi có thể điều chỉnh khoảng cách giữa hai lưỡi dao mà hiệu suất sử dụng phần ăn được của củ khoai mỡ trong nghiên cứu này dao động trong khoảng 84,4 – 91%.

Kết quả thí nghiệm cho thấy, củ có khối lượng lớn hơn thì tỷ lệ phần sử dụng được cũng nhiều hơn, cụ thể là những củ gần 2100g có tỷ lệ phần dùng được trên 91%. Với lượng vỏ khoai (khoảng 10 - 15% khối lượng củ tươi) nếu không được tận dụng hiệu quả, bị thải bỏ sẽ gây ô nhiễm môi trường và phát thải khí nhà kính.

Để ngăn chặn lại các quá trình oxy hóa hợp chất dinh dưỡng và duy trì màu sắc tự nhiên cho thịt củ, nhóm nghiên cứu đã tiến hành ngâm lát khoai mỡ trong dung dịch acid citric. Thử nghiệm thực hiện với các nồng độ từ 0,1% đến 0,9% ở tỷ lệ dung dịch/nguyên liệu là 6:1 trong vòng 5 phút. Kết quả cho thấy, nồng độ 0,5% là điểm tối ưu để nhóm kiểm soát độ nhớt bề mặt và bảo toàn được màu sắc; trong khi các mức thấp hơn (0,1-0,3%) thì không đủ hiệu lực và các mức cao hơn cũng không đem lại khác biệt rõ rệt. Ngoài ra, vai trò của NaCl trong cơ chế tách chiết chất nhớt sẽ được tiếp tục được theo dõi.

Dựa trên kết quả thực nghiệm tại Hình 4 và Bảng 3, nghiên cứu xác định độ dày lát cắt là yếu tố then chốt chi phối trực tiếp đến hiệu quả nhiệt năng và cấu trúc sản phẩm (Hình 5).

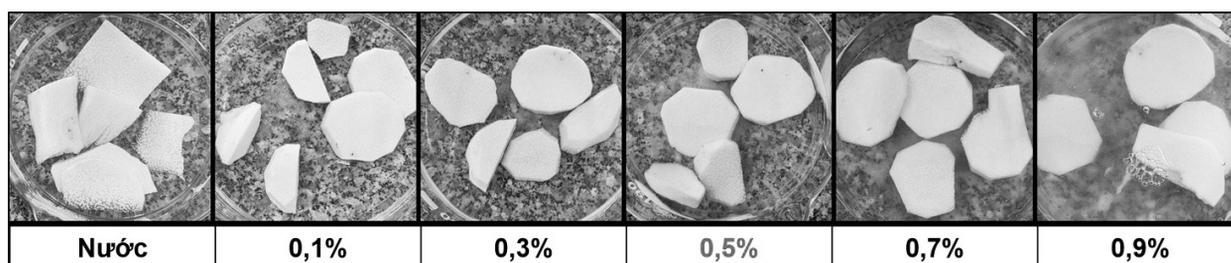
Độ dày lát cắt không chỉ quyết định thời gian hấp chín mà còn ảnh hưởng đến tốc độ tách ẩm trong giai đoạn sấy kế tiếp. Cụ thể, việc sử dụng lát cắt quá mỏng tuy rút ngắn thời gian hấp nhưng lại làm gia tăng độ ướt bề mặt, khiến hàm ẩm cục bộ tăng cao và gây khó khăn cho việc xử lý ở các công đoạn sau. Ngược lại, những lát cắt quá dày làm phát sinh trở lực nhiệt, kéo dài thời gian chế biến và gây lãng phí nhiên liệu không cần thiết. Do đó, việc xác lập một độ dày tối ưu là yêu cầu bắt buộc để cân bằng giữa hiệu suất thu hồi và tính kinh tế của quy trình.

Qua khảo sát và đánh giá cảm quan, mẫu 5mm có điểm cảm quan cao nhất và trung bình các nghiệm thức khác biệt có ý nghĩa thống kê. Do đó, ở nghiên cứu này nhóm chọn độ dày lát cắt là 5mm và thời gian hấp là 15 phút.

Từ Bảng 3 và Hình 3 cho thấy, ở nhiệt độ 65°C trong 150 phút có cảm quan đạt yêu cầu, độ ẩm đạt yêu cầu. Do đó chúng tôi chọn chế độ sấy là 65°C trong 150 phút.

3.5. Hiệu quả giảm phát thải của quy trình đã tối ưu so với quy trình truyền thống

Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng, những thay đổi căn bản trong quy trình sản xuất bột khoai mỡ trắng Mộng Linh đã hướng tới mục tiêu giảm phát thải. Hiệu quả giảm phát thải của quy trình tối ưu so với quy trình truyền thống, cụ thể như ở giai đoạn đầu, thay vì sử dụng nước sạch, quy trình mới tận dụng nước sông để rửa nguyên liệu kết hợp với việc sử dụng dao gọt hai lưỡi có thể điều chỉnh. Cải tiến này không chỉ giảm lượng nước sạch tiêu thụ mà còn giảm tỷ lệ hao hụt vỏ và thịt củ từ 20% xuống còn 10–15%, qua đó trực tiếp tiết giảm chi phí xử lý chất thải hữu cơ ban đầu.



Hình 3. Khảo sát nồng độ acid citric ảnh hưởng đến độ nhớt trên bề mặt khoai

Bảng 3. Kết quả nhiệt độ và thời gian sấy bột khoai mỡ

Thông số	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C
Thời gian sấy (phút)	180	165	150	135	120
Độ ẩm (%)	4.00	4.00	3.90	4.00	3.95

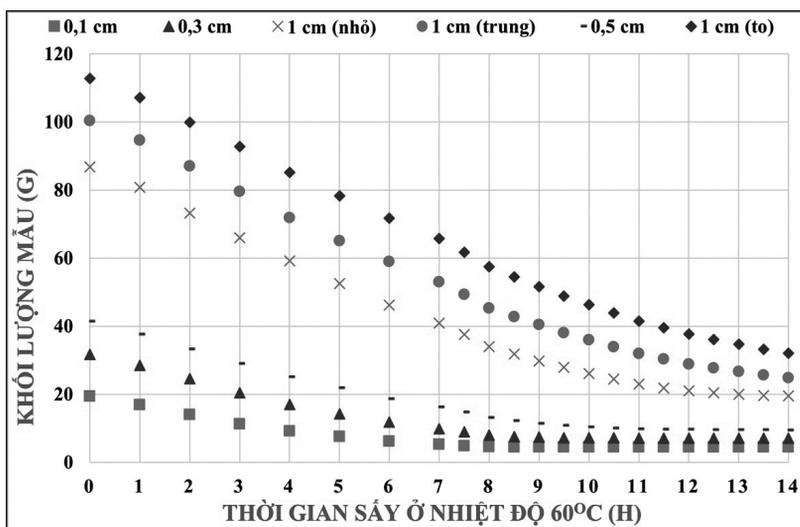
(Nguồn: Nhóm tác giả)

Trong các công đoạn tiếp theo, các quy trình tối ưu thiết lập độ dày lát cắt cố định ở mức 5 mm và bổ sung bước ngâm trong dung dịch acid citric 0,5%. Giải pháp này giúp loại bỏ độ nhớt bề mặt đạt hiệu quả, tạo điều kiện thuận lợi cho việc để ráo và thu hồi chất nhớt như một loại phụ phẩm có giá trị. Đặc biệt, phương pháp sấy nhiệt truyền thống gây biến tính tinh bột đã được thay thế bằng kỹ thuật hấp diệt

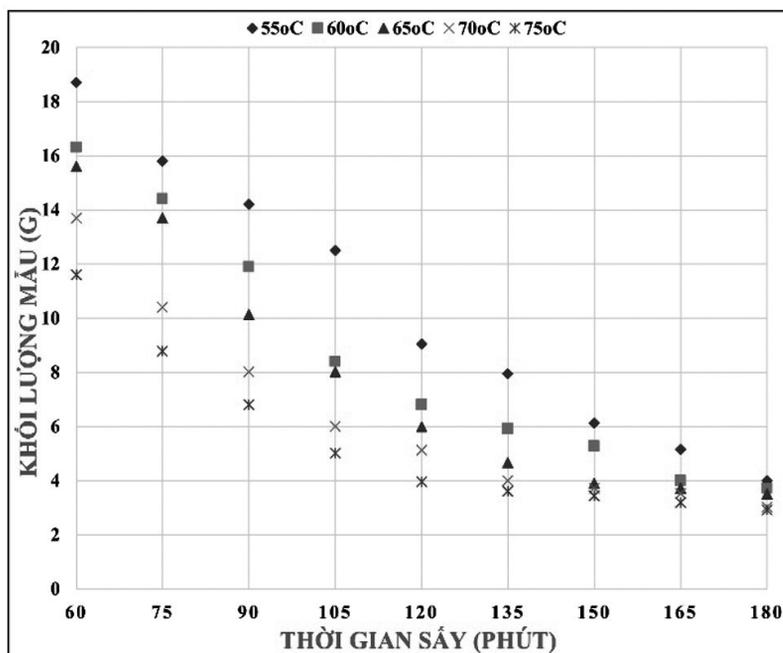
khối phối hợp sấy lạnh ở 65°C. Sự kết hợp này giúp bảo toàn hàm lượng dinh dưỡng, rút ngắn thời gian chế biến và giảm đáng kể điện năng tiêu thụ khá nhiều.

Tại giai đoạn hoàn thiện, việc có lát cắt đồng nhất giúp quá trình nghiền bột diễn ra dễ dàng và tiết kiệm năng lượng hơn so với các lát cắt tùy tiện của phương pháp cũ. Cuối cùng, hệ thống chuyển đổi từ bao bì nhựa truyền thống sang bao bì nhựa sinh học, góp phần giảm thiểu rác thải nhựa khó phân hủy và thân thiện hơn với môi trường.

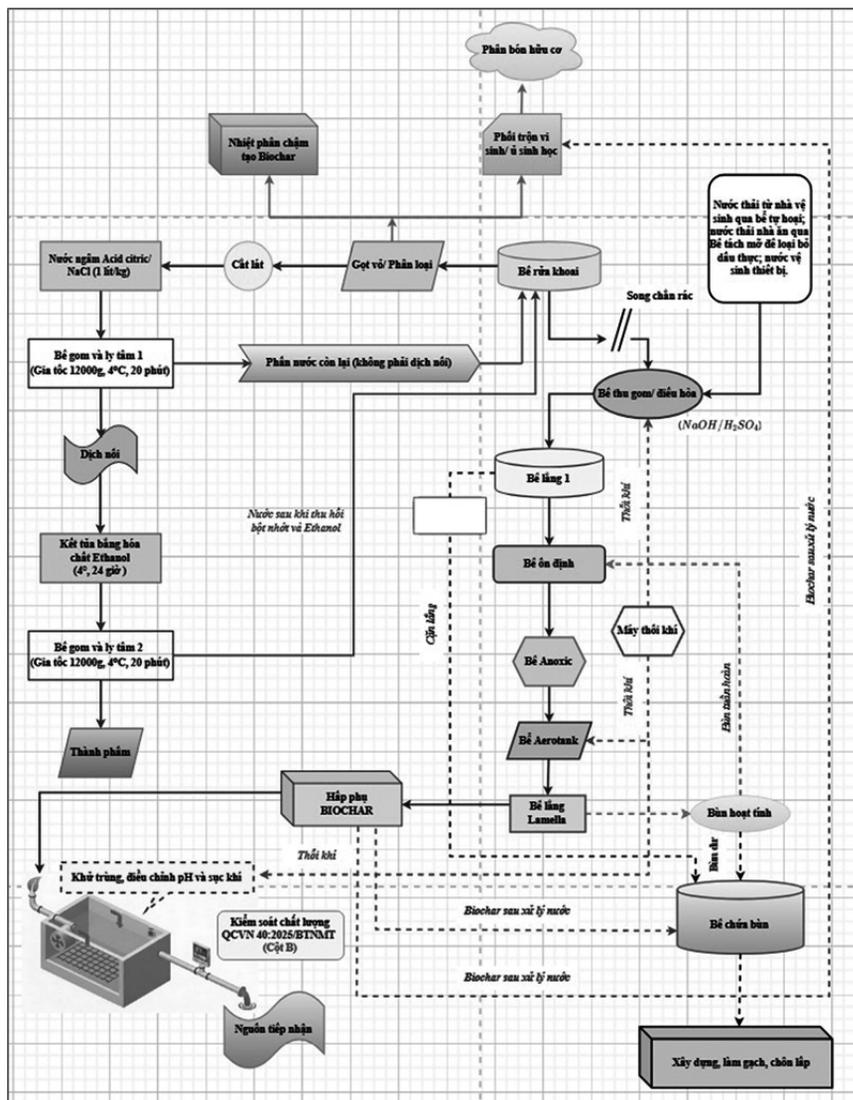
Mặc dù quy trình sản xuất bột khoai mỡ trắng Mộng Linh đã được tối ưu hóa toàn diện, các dòng thải thứ cấp vẫn tồn tại, bao gồm 10-15% phụ phẩm vỏ/thịt củ và các nguồn nước thải từ khâu ngâm rửa khoai. Nhằm giải quyết triệt để vấn đề này, nhóm nghiên cứu đã đề xuất mô hình kinh tế tuần hoàn (Hình 6): phụ phẩm rắn được nhiệt phân chậm thành than sinh học (biochar). Biochar này đóng vai trò là chất hấp phụ để xử lý nước thải sản xuất, sau đó tiếp tục được tái thu hồi làm chất độn cho nhựa tái chế. Giải pháp này không chỉ xử lý ô nhiễm mà còn cải thiện đáng kể đặc tính cơ lý cho vật liệu mới. Trong thực tế, trong nhiều quy trình sản xuất, mức độ ô nhiễm trong nước thải chế biến tinh bột truyền thống thường nồng độ COD cao (Mironescu, 2011). Tuy nhiên, các công bố khoa học cho thấy, bằng cách áp dụng thu hồi Ethanol (Karunanithi et al., 2023) có thể thực hiện mô hình kinh tế tuần hoàn và chuyển hóa phụ phẩm rắn thành Biochar (Lehmann & Joseph, 2012), quy trình được cải tiến không chỉ giảm thiểu đáng kể tải lượng chất thải mà còn tối ưu hóa việc tái sử dụng tài nguyên theo các vòng lặp khép kín (Cafforio et al., 2025). Hệ thống xử lý tích hợp Anoxic-Aerotank đảm bảo hiệu quả loại bỏ hữu cơ vượt trội, đưa chất lượng nước đầu ra đạt các tiêu chuẩn xả thải nghiêm ngặt (Metcalf & Eddy, 2014).



Hình 4. Khảo sát sự ảnh hưởng của độ dày cắt lát đến thời gian sấy của khoai



Hình 5. Khảo sát sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến thời gian sấy của khoai



Hình 6. Sơ đồ quy trình tận dụng và xử lý chất thải trong quy trình sản xuất bột khoai

Hệ thống xử lý nước thải và tái chế phụ phẩm tại nhà máy khoai mỡ Mộng Linh được nhóm nghiên cứu thiết kế dựa trên nguyên lý kinh tế tuần hoàn, tích hợp các công nghệ hóa lý và sinh học nhằm tối ưu hóa giá trị tài nguyên có được. Quy trình vận hành chi tiết bao gồm các phân đoạn sau:

(1) Thu hồi hoạt chất và tiền xử lý tại nguồn nước thải chính phát sinh từ công đoạn ngâm khoai (tỷ lệ 1 lít dung dịch Acid Citric/NaCl trên 1 kg nguyên liệu) được đưa vào hệ thống ly tâm 2 giai đoạn (gia tốc 12.000g ở 4°C) để tách chiết dịch nhớt. Hoạt chất sau đó được kết tủa bằng Ethanol trong 24 giờ để thu hồi sản phẩm sấy khô. Song song đó, các phụ phẩm rắn từ thao tác gọt vỏ và phân loại được chuyển qua nhiệt phân chậm nhằm tạo Biochar hoặc phối trộn thêm vi sinh làm phân bón hữu cơ.

(2) Các nguồn thải phụ bao gồm nước thải sinh hoạt (đã qua bể tự hoại và tách mỡ), nước vệ sinh thiết bị và nước rửa khoai (đã loại bỏ tạp chất thô tại song chắn) được tập trung tại bể thu gom và điều hòa. Tại đây, các nước thải được sục khí và trung hòa pH bằng NaOH hay H₂SO₄ để chuẩn bị cho các phản ứng sinh học tiếp theo.

(3) Xử lý sinh học và hóa lý: Hệ thống sử dụng mô hình sinh học kết hợp Anoxic – Aerotank để khử triệt để các hợp chất hữu cơ (COD, BOD) và các thành phần dinh dưỡng (Ni tơ, Phot pho). Nước thải lần lượt đi qua các bể ổn định, bể thiếu khí (Anoxic) và bể hiếu khí (Aerotank) với sự hỗ trợ oxy từ máy thổi khí. Hỗn hợp sau phản ứng sinh học được tách pha tại bể lắng Lamella; bùn hoạt tính được tuần hoàn để duy trì sinh khối của hệ thống, phần nước được tiếp tục dẫn qua tháp hấp phụ Biochar. Vật liệu Biochar nội bộ đóng vai trò lọc tinh, loại bỏ các vết ô nhiễm hữu cơ khó phân hủy và kim loại nặng (nếu có).

(4) Kiểm soát đầu ra và tái sử dụng bùn: Công đoạn cuối cùng bao gồm khử trùng, sục khí và hiệu chỉnh pH để đảm bảo dòng thải đạt tiêu chuẩn QCVN 40:2025/BTNMT (Cột B) trước khi xả ra nguồn tiếp nhận. Toàn bộ bùn dư và Biochar sau khi bảo hòa được tập trung tại bể chứa bùn để chuyển hóa thành vật liệu xây dựng hoặc làm phân bón (Biochar bảo hòa), khép kín hoàn toàn chu trình phát thải nước thải và chất thải rắn. Quy trình được nghiên cứu để xuất phù hợp với quy mô sản xuất bán công nghiệp có công suất thải nước 30-50 m³/ngày.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy, việc chuyển đổi từ phương pháp truyền thống sang quy trình chế biến xanh là mắt xích cốt lõi để nâng cao chuỗi giá trị của khoai mỡ trắng Mộng Linh. Bằng cách tích hợp các giải pháp công nghệ sấy tiết kiệm năng lượng và mô hình kinh tế tuần hoàn từ phụ phẩm, hệ thống không chỉ triệt tiêu các "điểm nóng" phát thải mà còn tối ưu hóa sinh kế cho

cộng đồng vùng đệm U Minh Thượng. Kết quả này là minh chứng rõ ràng và thực tiễn cho sự chuyển dịch sang tư duy kinh tế nông nghiệp bền vững, góp phần hiện thực hóa mục tiêu Net Zero vào năm 2050 và đáp ứng các tiêu chuẩn xuất khẩu khắt khe khác■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn – Viện Chính sách và Chiến lược Phát triển Nông thôn (IPSARD). (2022). *Tài liệu hỏi đáp: Chiến lược phát triển nông nghiệp và nông thôn bền vững giai đoạn 2021–2030, tầm nhìn đến năm 2050*. Hà Nội.
2. Cafforio, F., Franco, S., & Giannoccaro, I. (2025). *Bridging Micro and Macro Perspectives in Circular Business Model Studies: An Integrated Literature Review. Business Strategy and the Environment*.
3. Daiuto, E., Cereda, M., Sarmento, S., & Vilpoux, O. (2005). *Effects of extraction methods on yam (Dioscorea alata) starch characteristics*. *Starch/Stärke*, 57(3-4), 153–160. <https://doi.org/10.1002/star.200400324>
4. Fortuna, D., Mardjan, S. S., Sunarti, T. C., Darmawati, E., Widayati, S. M., & Purwanti, N. (2020). *Extraction and characteristic of Dioscorea alata mucilage*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 542, 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/542/1/012016>
5. GHG Protocol. (2021). *Agricultural guidance for value chains*. WRI.
6. HTX SX - DV nông nghiệp Kênh 10 phát triển trồng Khoai trắng Mộng Linh. (2019, 13 tháng 5). *Kiengiang.gov.vn*. Liên minh Hợp tác xã tỉnh Kiên Giang. <https://lmhtx.kiengiang.gov.vn/trang/TinTuc/56/1536/HTX-SX---DV-nong-nghiep-Kenh-10-phat-trien-trong-Khoai-trang-Mong-Linh.html>
- 7]. IPCC. (2006). *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
8. Karunanithi, S., Kapoor, A., Senthil Kumar, P., Balasubramanian, S., & Rangasamy, G. (2023). *Solvent extraction of acetic acid from aqueous solutions: A review*. *Separation Science and Technology*, 58(11), 1985–2007.
9. Khanal, S., Karimi, K., Majumdar, S., Kumar, V., Verma, R., Bhatia, S. K., Kuca, K., Esteban, J., & Kumar, D. (2023). *Sustainable utilization and valorization of potato waste: State of the art, challenges, and perspectives*. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14, 23335–23360. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04521-1>
10. Khoai mỡ trắng Mộng Linh “gia nhập” OCOP. (2025, 10 tháng 1). *Baoangiang.com.vn*. <https://baoangiang.com.vn/khoai-mo-trang-mong-linh-gia-nhap-ocop-a468673.html>
11. Lebot, V., Lawac, F., & Legendre, L. (2022). *The greater yam (Dioscorea alata L.): A review of its phytochemical content and potential for processed products and biofortification*. *Scientia Horticulturae*, 295, 110860. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110860>
12. Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2012). *Biochar for environmental management: science and technology*. Routledge.
13. Metcalf & Eddy, A. E. C. O. M. (2014). *Wastewater engineering treatment and resource recovery*. McGraw-Hill Education.
14. Mironescu, M. (2011). *Investigations on wastewaters at potato processing and starch recovery and characterisation*. *J. Agroalim. Proc. Tech*, 17(2), 134–138.
15. Niguse, G., Iticha, B., Kebede, G., & Chimdi, A. (2022). *Contribution of coffee plants to carbon sequestration in agroforestry systems of Southwestern Ethiopia*. *The Journal of Agricultural Science*, 160(6), 440–447. <https://doi.org/10.1017/S0021859622000624>
16. Nông dân Kiên Giang thu lời hàng trăm triệu đồng từ trồng khoai. (2024, 18 tháng 3). *Vca.org.vn*. <https://vca.org.vn/nong-dan-kien-giang-thu-loi-hang-tram-trieu-dong-tu-trong-khoai-a31499.html>
17. Obidiegwu, J. E., Lyons, J. B., & Chilaka, C. A. (2020). *The Dioscorea genus (Yam)—An appraisal of nutritional and therapeutic potentials*. *Foods*, 9(9), 1304. <https://doi.org/10.3390/foods9091304>
18. Oliveira, A. R., Chaves Ribeiro, A. E., Gondim, Í. C., Alves dos Santos, E., Resende de Oliveira, É., Mendes Coutinho, G. S., & Caliar, M. (2021). *Isolation and characterization of yam (Dioscorea alata L.) starch from Brazil*. *LWT*, 149, 111843. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111843>
19. Omuku, P. E., Ibe, F. N., Obianeli, C. S., & Ezechukwu, C. M.-J. (2025). *Preparation and characterization of yam peel biomass for decontamination of pollutants from hair-dressing saloon wastewater within Awka metropolis*. *Chemical Research and Technology*, 2, 108–114. <https://doi.org/10.22034/CHEMRESTEC.2025.495702.1036>
20. Pharmacy. (2025, tháng 7). *Khám phá tác dụng tuyệt vời của khoai mỡ trắng với sức khỏe và làm đẹp*. *Pharmacy.vn*. <https://www.pharmacy.vn/kham-pha-tac-dung-tuyet-voi-cua-khoai-mo-trang-voi-suc-khoe-va-lam-dep.htm>
21. Sản phẩm Khoai mỡ Bến Kè Long An đã được cấp Chỉ dẫn địa lý số 6-00118. (2025). *Vnidcheck.vn*. <https://vnidcheck.vn/post/51-san-pham-khoai-mo-ben-ke-long-an-da-duoc-cap-chi-dan-dia-ly-so-6-00118>
22. World Bank. (2025). *Việt Nam 2045: Tăng trưởng xanh hơn – Con đường hướng tới tương lai bền vững*. Washington, DC.