

PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ KINH TẾ VÀ TÁC ĐỘNG MÔI TRƯỜNG CỦA MÔ HÌNH KINH TẾ TUẦN HOÀN TRONG CANH TÁC RAU MÁ THỦY CANH (*CENTELLA ASIATICA* (L.) URBAN) TẠI VIỆT NAM

● LƯƠNG MINH CỪ¹ - VƯƠNG BẢO THY¹ - VÕ THANH BEO¹
- TRẦN HỮU THANH HUY¹ - NGUYỄN NGỌC QUÍ¹ - BÙI THẾ VINH¹

¹Trường Đại học Cửu Long

TÓM TẮT:

Bài nghiên cứu đánh giá hiệu quả kinh tế và môi trường của mô hình kinh tế tuần hoàn khép kín, bao gồm tái sử dụng dung dịch dinh dưỡng, chế biến phụ phẩm dây và củ rau má thành bột, trà túi lọc và ủ phân hữu cơ vi sinh. Phân tích chi phí - lợi ích (CBA) và đánh giá vòng đời (LCA) được thực hiện trên mô hình thực tế quy mô 1.000 m² tại Hoàng Long Farm, Đồng Tháp. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình này giúp tiết kiệm 28,9% chi phí nước, 26,6% chi phí phân bón và giảm 60% chi phí xử lý nước thải, và tổng chi phí vận hành giảm 27% so với thủy canh hở. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy, mô hình kinh tế tuần hoàn tích hợp là giải pháp then chốt để phát triển nông nghiệp bền vững, tối ưu hóa thu nhập cho nông dân, đồng thời hiện thực hóa cam kết giảm phát thải quốc gia (NDC). Mô hình có tiềm năng nhân rộng cho các cây được liệu khác.

Từ khóa: kinh tế tuần hoàn, rau má thủy canh, phụ phẩm nông nghiệp, phát triển bền vững.

1. Đặt vấn đề

Sự gia tăng dân số toàn cầu cùng với áp lực ngày càng lớn lên tài nguyên đất, nước và hệ thống lương thực đã đặt ra yêu cầu cấp thiết phải phát triển các mô hình nông nghiệp bền vững, sử dụng hiệu quả tài nguyên và giảm phát thải. Trong bối cảnh đó, các hệ thống canh tác tiên tiến như thủy canh, khí canh và nông nghiệp thẳng đứng được xem là giải pháp triển vọng nhờ khả năng giảm phụ thuộc vào đất, tối ưu hóa đầu vào và cho phép sản xuất quanh năm. Tuy nhiên,

ngay cả thủy canh cũng phát sinh lượng lớn phụ phẩm hữu cơ và nước thải giàu dinh dưỡng, nếu không được quản lý đúng cách sẽ gây lãng phí tài nguyên và ô nhiễm môi trường. (Das & Mishra, 2026).

Kinh tế tuần hoàn (KTTH) trong nông nghiệp được định nghĩa là mô hình sản xuất và tiêu dùng bền vững, trong đó các hoạt động thiết kế, sản xuất và tiêu dùng được tổ chức theo hướng giảm khai thác nguyên liệu đầu vào, kéo dài vòng đời sản phẩm, hạn chế chất thải phát sinh và tác động xấu đến môi trường (Ellen,

2013; Minh Hiền và các cộng sự, 2024b). Khác với mô hình tuyến tính “khai thác - sản xuất - thải bỏ”, KTTH nhấn mạnh việc tái sử dụng, tái chế và hoàn trả phụ phẩm trở lại chuỗi giá trị (Tuyết, 2025; Jun & Xiang, 2011).

Rau má (*Centella asiatica* (L.) Urban) là cây dược liệu quý chứa các saponin triterpenoid (asiaticoside, madecassoside) có tác dụng kháng viêm, kháng khuẩn, chống oxy hóa và hỗ trợ lành vết thương (Bylka et al., 2014). Tại Việt Nam, sản xuất rau má đang chuyển dịch từ thổ canh truyền thống sang thủy canh công nghệ cao nhằm kiểm soát chất lượng và năng suất. Tuy nhiên, phụ phẩm từ rau má thủy canh - đặc biệt là dây (thân bò) và củ - chiếm tới 40-60% tổng sinh khối nhưng hiện bị đốt bỏ hoặc thải ra môi trường, gây phát thải khí nhà kính nghiêm trọng (Trịnh, 2021). Bên cạnh đó, nước thải thủy canh giàu nitơ và photpho nếu xả trực tiếp sẽ gây phú dưỡng hóa nguồn nước (Sánchez et al., 2022).

Trước bối cảnh Chính phủ Việt Nam ban hành các chính sách thúc đẩy KTTH như Quyết định số 687/QĐ-TTg (2022) và Quyết định số 540/QĐ-TTg (2024) đặt mục tiêu đến năm 2030 có 50% phụ phẩm nông nghiệp chủ lực được tái chế, tái sử dụng, việc xây dựng mô hình sản xuất rau má “không chất thải” (zero-waste) là vô cùng cấp thiết.

Do vậy, bài nghiên cứu “Phân tích hiệu quả kinh tế và tác động môi trường của mô hình kinh tế tuần hoàn trong canh tác rau má thủy canh (*Centella asiatica* (L.) Urban) tại Việt Nam” nhằm: (i). định lượng hiệu quả kinh tế của mô hình KTTH tích hợp (tái sử dụng dung dịch dinh dưỡng, sản xuất bột từ dây/củ, ủ phân hữu cơ từ lá hư và giá thể) và (ii). đánh giá tác động môi trường, đặc biệt là dấu chân carbon, so với các phương thức canh tác và xử lý phụ phẩm truyền thống, qua đó cung cấp cơ sở khoa học cho phát triển nông nghiệp bền vững tại Việt Nam. (Hình 1)

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

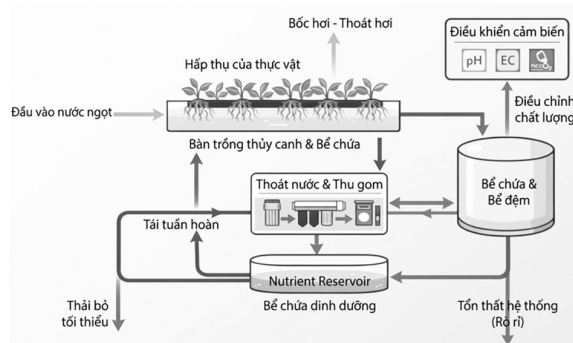
Nghiên cứu được tiến hành từ tháng 09/2024 đến tháng 03/2026 tại hệ thống rau má thủy canh giàn chữ A quy mô 1.000 m² tại Hoàng Long Farm.

2.2. Thiết kế mô hình kinh tế tuần hoàn

Mô hình KTTH được xây dựng tích hợp 3 hợp phần chính:

Mô hình 1 (MH1 - Thủy canh khép kín): Đối tượng

Hình 1: Mô hình rau má thủy canh theo định hướng KTTH



Nguồn: Das & Mishra (2026)

nghiên cứu là mô hình canh tác rau má (*Centella asiatica* (L.) Urban) trong hệ thống thủy canh tuần hoàn trên diện tích sản 1000 m². Hệ thống được thiết kế khép kín, bao gồm bể chứa dung dịch dinh dưỡng, bơm tuần hoàn, máng trồng và hệ thống thu hồi dung dịch sau vùng rễ. Rau má được trồng với mật độ 3-5 cây/rổ, sử dụng giá thể trợ (xơ dừa) để cố định rễ và hỗ trợ hấp thu nước, chất dinh dưỡng. Dung dịch được tuần hoàn liên tục từ bể chứa qua vùng rễ và trở lại bể, giảm thiểu thất thoát tài nguyên. Nước thải từ máng trồng được thu gom, lắng cặn, lọc sinh học qua than hoạt tính và đã chứa vi sinh vật có lợi (EM, *Trichoderma*), sau đó kiểm tra và bổ sung N, P, K, pH, EC trước khi bơm trở lại hệ thống. Hệ thống vận hành với lưu lượng 2-3 m³/giờ, kiểm soát chặt chẽ pH, EC, nhiệt độ dung dịch và lưu lượng để tối ưu hóa sinh trưởng cây trồng. Nước và dinh dưỡng được bổ sung định kỳ bù đắp hao hụt do bay hơi và hấp thu. (Hình 2)

Mô hình 2 (MH2 - Sản xuất bột từ phụ phẩm): Mô hình MH2 tập trung đánh giá khả năng tận dụng dây và củ rau má sau thu hoạch làm nguồn sinh khối, nhằm tạo sản phẩm bột có giá trị, giảm lãng phí tài nguyên, hạn chế chất thải và nâng cao hiệu quả kinh tế của hệ thống thủy canh rau má. Dây và củ rau má thu hoạch ở thời điểm tối ưu (dây: 30-35 ngày; củ: 6 tháng) được rửa sạch, chần ở 70°C trong 45 giây, sấy lạnh bơm nhiệt ở 60°C trong 7 giờ (độ ẩm sản phẩm ≈ 6%), nghiền mịn qua rây 0,2 - 0,5 mm để tạo bột nguyên chất. (Hình 3)

Mô hình 3 (MH3 - Ủ phân hữu cơ vi sinh): Lá hư, rễ già,... được phối trộn với phân chuồng (bò) và chất độn (xơ dừa) theo tỷ lệ thể tích 5:2:3. Bổ sung chế

Hình 2: Mô hình rau má thủy canh (A) và sản phẩm rau má (B)**Hình 3: Các phụ phẩm từ rau má: Dây (A); Củ (B)**

phẩm *Trichoderma* spp. (1 lít dung dịch/m³ nguyên liệu) và mật mía (1 kg/m³). Ủ hiếu khí trong 60-90 ngày, đảo trộn 15 ngày/lần, duy trì độ ẩm 50-60%. (Hình 4)

2.3. Phân tích chi phí - lợi ích

Phân tích chi phí - lợi ích (Cost-Benefit Analysis - CBA) được thực hiện nhằm so sánh hiệu quả tài chính giữa các kịch bản sản xuất và xử lý phụ phẩm trong mô hình kinh tế tuần hoàn. Các kịch bản bao gồm: (i). canh tác rau má thủy canh hở (xả thải trực tiếp) làm đối chứng; (ii). canh tác thủy canh tuần hoàn khép kín (tái sử dụng dung dịch dinh dưỡng); (iii). sản xuất bột từ phụ phẩm dây và củ; và (iv) ủ phân hữu cơ vi sinh từ lá hư, rễ và giá thể thải.

Đối với mô hình thủy canh (kịch bản (i) và (ii)), chi phí vận hành được tổng hợp bao gồm chi phí nước, phân bón, xử lý nước thải, bảo trì hệ thống. Doanh thu được tính dựa trên sản lượng lá rau má thương phẩm và giá bán thực tế tại thị trường địa phương. Đối với sản xuất bột từ phụ phẩm (kịch bản (iii)), các khoản chi phí được ghi nhận bao gồm thu gom, vận chuyển, chần, sấy lạnh (sấy bơm nhiệt), nghiền và đóng gói. Hiệu suất thu hồi bột (tỷ lệ khối lượng bột thành phẩm trên nguyên liệu tươi) được xác định bằng thực nghiệm. Giá bán sản phẩm bột được tham khảo từ giá thị trường các sản phẩm thảo dược tương tự. Đối với ủ phân (kịch bản (iv)), chi phí bao gồm phân chuồng, chế phẩm vi sinh, mật mía và

Hình 4: Công nhân đang phân loại rau (A); Chế phẩm sinh học được sử dụng (B)



nhân công. Sản phẩm phân hữu cơ được định giá theo giá bán phân bón hữu cơ thương mại trên thị trường. Lợi nhuận ròng được tính bằng tổng doanh thu trừ tổng chi phí. Số liệu đầu vào cho phân tích được thu thập từ 3 vụ sản xuất liên tiếp (mỗi vụ tương ứng với chu kỳ thu hoạch lá/dây là 30-35 ngày, chu kỳ thu củ là 6 tháng) tại Hoàng Long Farm, Đồng Tháp.

2.4. Đánh giá vòng đời (Life Cycle Assessment - LCA) cho dấu chân carbon

Dấu chân carbon (carbon footprint) của các kịch bản xử lý phụ phẩm và vận hành hệ thống thủy canh được ước tính theo phương pháp đánh giá vòng đời dựa trên hướng dẫn của IPCC (2021). Phạm vi phân tích bao gồm phát thải trực tiếp khí nhà kính (CO_2 , CH_4 , N_2O) từ các hoạt động: đốt phụ phẩm ngoài đồng, chôn lấp, ủ phân hiếu khí, sản xuất bột và xử lý nước thải thủy canh. Các hệ số phát thải mặc định được tham khảo từ các cơ sở dữ liệu và nghiên cứu đã công bố (IPCC, 2006, 2019, 2021; Andreae & Merlet, 2001; Bernal et al., 2009; Boldrin et al., 2009). Đối với kịch bản sản xuất bột, giá trị lưu giữ carbon được ước tính dựa trên khả năng thay thế phân bón hóa học và cố định carbon trong sản phẩm dạng bột có tuổi thọ dài (theo phương pháp bù trừ thay thế - substitution method). Đối với nước thải thủy canh, phát thải CH_4 được suy ra từ hàm lượng COD của nước thải trước và sau xử lý, sử dụng hệ số chuyển đổi mặc định của IPCC; phát thải N_2O được suy ra từ hàm lượng nitơ tổng. Kết quả được biểu thị bằng kg CO_2 tương đương ($\text{kg CO}_2 \text{ eq}$) trên một đơn vị khối lượng phụ phẩm (tấn tươi) hoặc trên một đơn vị thể

tích nước thải (1.000 m^3). Dấu chân carbon của toàn bộ mô hình thủy canh tuần hoàn sau đó được so sánh với dấu chân carbon của canh tác thổ canh truyền thống dựa trên các kịch bản sử dụng năng lượng và phân bón đặc trưng.

2.5. Xử lý số liệu

Số liệu được thu thập từ 3 vụ canh tác liên tiếp, mỗi vụ có 3 lần lặp lại. Số liệu được phân tích bằng phần mềm Minitab 19. Sự khác biệt giữa các nghiệm thức được đánh giá thông qua phân tích phương sai (ANOVA) và kiểm định LSD.

3. Kết quả

3.1. Hiệu quả kinh tế của mô hình thủy canh tuần hoàn - MH1

So sánh giữa hệ thống thủy canh hở (xả thải trực tiếp) và hệ thống thủy canh tuần hoàn khép kín (tái sử dụng dung dịch dinh dưỡng sau xử lý sinh học) được thực hiện trên quy mô 1.000 m^2 tại Hoàng Long Farm. Kết quả ở Bảng 1 cho thấy, mô hình tuần hoàn giúp giảm lần lượt 28,9% chi phí nước và 26,6% chi phí phân bón so với hệ thống hở. Chi phí xử lý nước thải cũng giảm 60% nhờ việc tái sử dụng nước sau lọc sinh học. Mặc dù chi phí bảo trì hệ thống bơm và lọc tăng nhẹ (khoảng 33%), tổng chi phí vận hành của mô hình tuần hoàn chỉ còn 28,1 triệu VNĐ/vụ, thấp hơn 27,0% so với hệ thống hở (38,5 triệu VNĐ/vụ). Năng suất lá rau má thương phẩm đạt 3.000-3.500 kg/vụ , ổn định qua các chu kỳ.

3.2. Hiệu quả kinh tế từ chế biến phụ phẩm thành bột - MH2

Việc tận dụng dây rau má (thu hoạch sau 30-35

Bảng 1. So sánh chi phí vận hành giữa thủy canh hở và thủy canh tuần hoàn (MH1)

Hạng mục	Thủy canh hở (triệu VNĐ)	Thủy canh tuần hoàn (triệu VNĐ)	Tiết kiệm (%)
Chi phí nước	12,5	8,9	28,9
Chi phí phân bón	18	13,2	26,6
Chi phí xử lý nước thải	5	2	60
Chi phí bảo trì	3	4	-33,3
Tổng chi phí vận hành	38,5	28,1	27

Nguồn: Khảo sát thực địa tại Hoàng Long Farm.

ngày) và củ rau má (thu hoạch sau 6 tháng) để sản xuất bột giàu hoạt chất sinh học mang lại lợi nhuận ròng đáng kể (Bảng 2). Hiệu suất thu hồi bột từ nguyên liệu tươi đạt 6,5% đối với dây và 20% đối với củ. Với giá bán bột dây là 1.100.000 VNĐ/kg và bột củ (dùng làm trà túi lọc) là 750.000 VNĐ/kg, lợi nhuận ròng trên một tấn phụ phẩm tươi lần lượt đạt 39,4 triệu VNĐ (dây) và 111,5 triệu VNĐ (củ). Trên quy mô trang trại 1.000 m², tổng lượng phụ phẩm dây hàng năm khoảng 18-21 tấn (10 vụ) và củ khoảng 2 tấn (2 vụ), ước tính tổng lợi nhuận từ chế biến phụ phẩm đạt 617 triệu VNĐ/năm, giúp gia tăng giá trị chuỗi sản xuất thêm 30-40% so với chỉ bán lá tươi.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, mô hình thủy canh tuần hoàn kết hợp tận dụng phụ phẩm không chỉ cải thiện hiệu quả sử dụng tài nguyên mà còn tạo ra các dòng doanh thu mới có giá trị cao. Mức tiết kiệm tổng chi phí vận hành trong nghiên cứu này là phù hợp với các báo cáo trước đây về hệ thống thủy canh khép kín (Bortolini et al., 2017), nhưng nghiên cứu này bổ sung một lượng giá định lượng cho lợi ích từ xử lý nước thải và tái sử dụng phụ phẩm. Đặc biệt, lợi nhuận ròng từ chế biến củ rau má (111,5 triệu VNĐ/tấn), khẳng định chiến lược “biến phụ phẩm

thành sản phẩm chính” là động lực kinh tế quan trọng để thúc đẩy KTTH trong nông nghiệp.

3.3. Hiệu quả kinh tế từ tái chế phụ phẩm thành phân hữu cơ vi sinh MH3

Phối trộn lá hư, rễ già và giá thể xơ dừa cũ với phân chuồng (tỷ lệ 5:2:3) cùng chế phẩm *Trichoderma* sau 2-3 tháng ủ hiếu khí tạo ra phân hữu cơ vi sinh chất lượng tốt.

Bảng 3 cho thấy, với mỗi mẻ ủ 2 tấn hỗn hợp nguyên liệu, chi phí sản xuất (phân chuồng, chế phẩm, nhân công) là 1,6 triệu VNĐ, trong khi sản phẩm thu được 1,2 tấn phân thành phẩm (hiệu suất 60%). Với giá bán 5.000 VNĐ/kg, doanh thu đạt 6,0 triệu VNĐ, mang lại lợi nhuận ròng 4,4 triệu VNĐ/mẻ. Ngoài ra, việc tự sản xuất phân bón giúp trang trại tiết kiệm chi phí mua phân hóa học ước tính 5-7 triệu VNĐ/năm.

3.4. Dấu chân carbon của các kịch bản xử lý phụ phẩm và nước thải

3.4.1. Xử lý phụ phẩm rắn

Bảng 4 trình bày dấu chân carbon (kg CO₂-eq) của 1 tấn phụ phẩm rau má tươi theo các phương thức xử lý khác nhau. Đốt ngoài đồng có mức phát thải cao nhất (+850 đến +1.500 kg CO₂-eq/tấn) do phát sinh

Bảng 2. Phân tích chi phí - lợi ích sản xuất bột từ phụ phẩm rau má (tính cho 1 tấn nguyên liệu tươi)

Chỉ tiêu	Đơn vị	Dây rau má	Củ rau má
Sản lượng bột thành phẩm	kg/tấn	65	200
Giá bán	1.000 VNĐ/kg	1.100	750
Tổng doanh thu	triệu VNĐ/tấn	71,5	150
Tổng chi phí (thu gom, sấy, nghiền, nhân công)	triệu VNĐ/tấn	32,1	38,5
Lợi nhuận ròng	triệu VNĐ/tấn	39,4	111,5

Nguồn: Khảo sát thực địa tại Hoàng Long Farm.

Bảng 3. Phân tích chi phí - lợi ích sản xuất phân hữu cơ từ phụ phẩm (tính cho 2 tấn hỗn hợp ủ)

Hạng mục	Giá trị (triệu VNĐ)
Chi phí đầu vào	
Phân chuồng (0,4 tấn)	0,4
Chế phẩm Trichoderma + mật mía	0,2
Nhân công và vận hành	1
Phụ phẩm rau má + xơ dừa cũ	0 (tận dụng)
Tổng chi phí	1,6
Doanh thu (1,2 tấn phân × 5.000 VNĐ/kg)	6
Lợi nhuận ròng	4,4

Nguồn: Khảo sát thực địa tại Hoàng Long Farm.

đồng thời CO₂, CH₄, N₂O và black carbon. Chôn lấp không thu khí có phát thải thấp hơn (+450 đến +600 kg CO₂-eq/tấn) chủ yếu từ CH₄. Ngược lại, ủ phân hiếu khí có kiểm soát (MH3) giúp chuyển phát thải ròng sang giá trị âm nhẹ (-30 đến -80 kg CO₂-eq/tấn) nhờ lưu giữ carbon trong đất và thay thế phân bón hóa học. Kịch bản sản xuất bột (MH2) đạt hiệu quả giảm phát thải cao nhất, với phát thải ròng từ -100 đến -300 kg CO₂-eq/tấn, do carbon được cố định dài hạn trong sản phẩm bột và thay thế các sản phẩm có nguồn gốc hóa thạch.

canh tuần hoàn tích hợp với việc tận dụng triệt để phụ phẩm từ rau má thủy canh. Cụ thể:

- Mô hình giúp tiết kiệm 27% chi phí vận hành nhờ tái sử dụng nước và dinh dưỡng, đồng thời tạo ra các sản phẩm có giá trị gia tăng cao: lợi nhuận ròng từ bột củ đạt 111,5 triệu VNĐ/tấn và từ bột dây đạt 39,4 triệu VNĐ/tấn. Bên cạnh đó, việc chuyển hóa lá hư, rễ và giá thể thải thành phân hữu cơ vi sinh không chỉ giảm chi phí phân bón hóa học mà còn mang lại thêm một nguồn thu nhập phụ đáng kể.

- Về mặt môi trường: Phân tích vòng đời (LCA)

3.4.2. Xử lý nước thải của quá trình trồng thủy canh

Hệ thống bể lọc sinh học (MH1) giúp giảm 90% COD trong nước thải (từ 300-500 mg/L xuống 30-50 mg/L), kéo theo giảm phát thải CH₄ và N₂O. Bảng 5 ước tính cho quy mô 1.000 m³ nước thải/năm: tổng phát thải khí nhà kính giảm từ 4.221 kg CO₂-eq/năm (khi xả thẳng) xuống còn 559 kg CO₂-eq/năm (sau xử lý tuần hoàn), tương ứng mức giảm 3.662 kg CO₂-eq/năm.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã chứng minh tính khả thi kinh tế của mô hình thủy

Bảng 4. Dấu chân carbon từ xử lý 1 tấn phụ phẩm rau má tươi (kg CO₂-eq/tấn)

Kịch bản	Phát thải trực tiếp	Lưu giữ carbon	Phát thải ròng
Đốt ngoài đồng	+850 ÷ +1.500	0	+850 ÷ +1.500
Chôn lấp	+450 ÷ +600	0	+450 ÷ +600
Ủ phân hiếu khí (MH3)	+80 ÷ +120	-150 ÷ -200	-30 ÷ -80
Sản xuất bột (MH2)	+200 ÷ +250	-350 ÷ -500	-100 ÷ -300

Nguồn: Khảo sát thực địa tại Hoàng Long Farm.

Bảng 5. Phát thải khí nhà kính từ nước thải thủy canh (quy mô 1.000 m³/năm)

Chỉ tiêu	Xả thẳng	Bể lọc sinh học	Giảm
COD (mg/L)	300-500	30-50	90%
CH ₄ (kg CO ₂ -eq/năm)	~2.856	~286	90%
N ₂ O (kg CO ₂ -eq/năm)	~1.365	~273	80%
Tổng phát thải	~4.221	~559	~3.662

Nguồn: Khảo sát thực địa tại Hoàng Long Farm. Hệ số GWP100 theo IPCC AR6 (CH₄=27,2; N₂O=273)

cho thấy mô hình giúp chuyển đổi dấu chân carbon từ mức phát thải dương sang mức phát thải ròng âm, với lượng carbon được lưu giữ ước đạt từ -350 đến -500 kg CO₂-eq cho mỗi tấn phụ phẩm được chế biến thành bột. Điều này đóng góp trực tiếp vào việc hiện thực hóa các cam kết Đóng góp do quốc gia tự quyết định (NDC) của Việt Nam về giảm nhẹ phát thải khí nhà kính. Với tiềm năng nhân rộng trên quy mô 1.000 ha thủy canh, mô hình có thể giảm hàng trăm nghìn tấn CO₂ tương đương mỗi năm. Đặc biệt, hệ thống bể lọc sinh học được áp dụng có hiệu suất khử COD đạt 90% với chi phí đầu tư và vận hành thấp, hoàn toàn phù hợp với quy mô sản xuất vừa và nhỏ tại Việt Nam.

Từ những kết quả đạt được, nghiên cứu khuyến nghị các cơ quan quản lý cần sớm triển khai các chính sách hỗ trợ theo tinh thần Quyết định số 540/QĐ-TTg (2024), bao gồm:

(i). Hỗ trợ 30-50% chi phí đầu tư ban đầu cho hệ thống lọc sinh học và thiết bị sấy lạnh;

(ii). Xây dựng tiêu chuẩn quốc gia cho sản phẩm bột được liệu và phân hữu cơ từ phụ phẩm thủy canh;

(iii). Khuyến khích hình thức liên kết cụm trang trại để thu gom và chế biến tập trung, qua đó giảm chi phí logistics và nâng cao hiệu quả kinh tế.

Mặc dù mang lại những kết quả khả quan, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế nhất định. Các ước lượng phát thải khí nhà kính được tính dựa trên hệ số mặc định của IPCC thay vì số liệu đo đạc trực tiếp tại hiện trường. Bên cạnh đó, phân tích chưa xét đến lượng phát thải phát sinh từ khâu vận chuyển nguyên liệu và sản phẩm, cũng như chưa đánh giá được hiệu quả của mô hình trong dài hạn dưới tác động của biến động giá cả và chính sách. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo cần thực hiện đánh giá vòng đời (LCA) hoàn chỉnh với bộ dữ liệu đo đạc thực địa, đồng thời mở rộng mô hình thử nghiệm cho các đối tượng cây được liệu có giá trị khác (như đinh lăng, sâm bố chính) nhằm tạo ra một hệ sinh thái nông nghiệp tuần hoàn đa dạng và bền vững ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- Mai Văn Trịnh (2021). Chất thải nông nghiệp và tiềm năng phát triển nông nghiệp theo hướng kinh tế tuần hoàn. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, Kỳ 1 - Tháng 10/2021, tr. 10-15.
- Nguyễn Thị Minh Hiền, Mai Lan Phương, Nguyễn Văn Song, Mai Thanh Cúc, Phạm Ngọc Thạch, Võ Hữu Công, Nguyễn Đình Hà, Nguyễn Thị Thu Phương, Đỗ Thanh Huyền & Phạm Thị Hoà (2024b). Đề tài: Đánh giá thực trạng và đề xuất giải pháp phát triển nông nghiệp tuần hoàn. *Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*.
- Trần Thị Tuyết (2025). Giải pháp phát triển mô hình kinh tế tuần hoàn trong nông nghiệp ở Việt Nam. *HNUE Journal of Science*, 70(3), 133-142. Truy cập tại <https://doi.org/10.18173/2354-1067.2025-0045>.
- Andreae, M. O., & Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 955-966. <https://doi.org/10.1029/2000GB001382>.
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *Bioresour. Technol.*, 100(22), 5444-5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>.
- Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009). Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8), 800-812. <https://doi.org/10.1177/0734242X09345275>.
- Bortolini, M., Gamberi, M., Mora, C., Pilati, F., & Regattieri, A. (2017). Design, Prototyping, and Assessment of a Wastewater Closed-Loop Recovery and Purification System. *Sustainability*, 9(11), 1938. <https://doi.org/10.3390/su9111938>.
- Bylka, W., Znajdek-Awiżeń, P., Studzińska-Sroka, E., & Brzezińska, M. (2013). Centella asiatica in cosmetology. *Postepy dermatologii i alergologii*, 30(1), 46-49. <https://doi.org/10.5114/pdia.2013.33378>.
- Das, A., & Mishra, S. (2026). Integration of circular economy and zero-waste practices with hydroponics for sustainable agriculture. *Green Technology, Resilience, and Sustainability*, 6(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s44173-026-00030-2>.
- Ellen MacArthur Foundation (2013). Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition. Truy cập từ: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>.

IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.

IPCC. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report.

Jun, H. & Xiang, H. (2011). Development of circular economy is a fundamental way to achieve agriculture sustainable development in China. *Energy Procedia*, 5, 1530-1534. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.262>.

Sánchez, M., Laca, A., Laca, A. & Díaz, M. (2022). Towards food circular economy: hydrothermal treatment of mixed vegetable and fruit wastes to obtain fermentable sugars and bioactive compounds. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22486-y>.

Ngày nhận bài: 2/4/2026

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 12/4/2026

Ngày chấp nhận đăng bài: 28/4/2026

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF A CIRCULAR ECONOMY MODEL IN HYDROPONIC CULTIVATION OF CENTELLA ASIATICA (L.) URBAN IN VIETNAM

- LUONG MINH CU¹
- VUONG BAO THY¹
- VO THANH BEO¹
- TRAN HUU THANH HUY¹
- NGUYEN NGOC QUI¹
- BUI THE VINH¹

¹Mekong University

ABSTRACT:

This study evaluates the economic and environmental performance of a closed-loop circular economy model that integrates nutrient solution reuse, the processing of by-products from *Centella asiatica* vines and tubers into powder and tea products, and microbial composting. Cost-benefit analysis (CBA) and life cycle assessment (LCA) were applied to a 1,000 m² production system at Hoang Long Farm, Dong Thap province. The results demonstrate that, compared with open hydroponic systems, the model reduces water costs by 28.9%, fertilizer costs by 26.6%, and wastewater treatment costs by 60%, leading to an overall reduction of 27% in operating expenses. These findings highlight the effectiveness of an integrated circular economy approach in enhancing resource efficiency and environmental performance, while supporting income optimization and contributing to national emission reduction commitments (NDCs). The model also shows strong potential for replication across other medicinal plant production systems.

Keywords: circular economy, hydroponic pennywort, agricultural by-products, sustainable development.