



ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH SINH THÁI KHÉP KÍN KẾT HỢP MỘT SỐ CÔNG NGHỆ 4.0 ĐƠN GIẢN CHO HỘ DÂN TRỒNG CÂY THANH LONG VÀ CHĂN NUÔI GIA SÚC QUY MÔ NÔNG HỘ

NGUYỄN VIỆT THẮNG¹, TRẦN THỊ HIỆU¹, NGUYỄN THỊ PHƯƠNG THẢO¹, TRẦN TRUNG KIÊN¹

¹Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt

Nghiên cứu này nhằm đánh giá hiệu quả kinh tế và môi trường của hệ thống tuần hoàn chất thải cho một hộ dân canh tác cây thanh long kết hợp với chăn nuôi bò thịt quy mô nông hộ bằng công cụ đánh giá vòng đời (LCA – Life cycle assessment). Các giải pháp trong mô hình chủ yếu bao gồm việc chuyển đổi sinh khối thanh long và phân xanh thành phân hữu cơ, sau đó được bón cho quá trình canh tác thanh long nhằm giảm nhu cầu phân bón hóa học. Ngoài ra, nước thải phát sinh từ quá trình chăn nuôi được xử lý qua hệ thống Biogas, bể lắng – lọc và ao sinh học, sau đó được tái sử dụng để tưới cho cây thanh long. Đánh giá LCA dựa trên dữ liệu thu thập được từ các cuộc khảo sát thực địa của các hộ chăn nuôi thanh long, bò thịt và các hệ số phát thải hiện có. Kết quả cho thấy, tổng lượng phát thải khí nhà kính của mô hình đề xuất là 998,748578 kgCO₂, lượng phát thải này chủ yếu trong năm đầu tiên khi triển khai xây dựng mới các hạng mục xử lý chất thải và vận hành, kết quả này thấp hơn so với hệ thống xử lý khác. Trong đó, phát thải chiếm tỉ lệ lớn trong hệ thống liên quan đến xi măng sử dụng trong giai đoạn xây dựng, chiếm tỉ lệ 68,94% so với các giai đoạn khác.

Từ khóa: Trồng thanh long, chăn nuôi gia súc, hệ thống tuần hoàn chất thải, quy mô hộ gia đình, đánh giá vòng đời (LCA).

Ngày nhận bài: 14/1/2026; **Ngày sửa chữa:** 5/2/2026; **Ngày duyệt đăng:** 28/2/2026.

Proposing a closed-loop ecological model combining some simple 4.0 technologies for households growing dragon fruit and raising livestock on a small-scale farm

Abstract

This study aims to evaluate the economic and environmental effectiveness of a waste recycling system for a household engaged in dragon fruit cultivation combined with beef cattle farming on a small-scale farm using a life cycle assessment (LCA) tool. The solutions in the model primarily involve converting dragon fruit biomass and green manure into organic fertilizer, which is then applied to dragon fruit cultivation to reduce the need for chemical fertilizers. Additionally, wastewater generated from the livestock farming process is treated through a biogas system, sedimentation and filtration tanks, and biological ponds, before being reused to irrigate the dragon fruit plants. The LCA assessment is based on data collected from field surveys of dragon fruit and beef cattle farming households and existing emission factors. The results show that the total greenhouse gas emissions of the proposed model are 998,748578 kgCO₂. These emissions are mainly generated in the first year of construction and operation of the new waste treatment facilities, a figure lower than other treatment systems. Of these, the largest proportion of emissions are related to the cement used during the construction phase, accounting for 68,94% compared to other phases.

Keywords: Dragon fruit cultivation, livestock farming, waste recycling system, household scale, Life Cycle Assessment (LCA).

JEL Classifications: O13, Q52, Q53, Q55.

ĐẶT VẤN ĐỀ

Phương pháp đánh giá vòng đời (LCA) giúp phân tích các tác động toàn diện đến môi trường bắt đầu từ quá trình sản xuất cho tới khi sản phẩm được sử dụng và tạo thành các loại chất thải, bằng cách xác định đầu vào là nguyên liệu thô và đầu ra là sản phẩm chất thải và khí thải trong toàn bộ vòng đời, có thể cung cấp một bức tranh hoàn chỉnh về tổng tác động môi trường [1]. Việc áp dụng đánh giá vòng đời của sản phẩm có thể

cho phép cải tiến công nghệ, hỗ trợ về quyết định trong việc cải thiện môi trường trong tương lai [2]. LCA là một công cụ mạnh mẽ dựa trên cơ sở khoa học có thể đo lường và đánh giá các sản phẩm và mô hình kinh doanh đến từ nền kinh tế tuần hoàn [3].

Nghiên cứu của E. Aleisa và cộng sự đã sử dụng công cụ LCA nhằm đánh giá chất lượng của các chất dinh dưỡng được tuần hoàn từ bùn thải đã qua xử lý bằng cách bón vào đất nông nghiệp thay vì chôn lấp

hoặc đốt. Đơn vị chức năng được xác định theo lượng nitơ (N), phốt pho (P) và kali (K) được tuần hoàn từ bùn thải đã xử lý. Kết quả cho thấy, tổng cộng 95% mức giảm được thực hiện bằng cách tránh sản xuất nitơ nguyên chất và một lượng đáng kể khí thiên nhiên, than đá, N₂O và đồng được tiêu thụ trong quá trình sản xuất phân đạm nguyên chất [4].

Trong nông nghiệp, nghiên cứu của S.K Awassthi và cộng sự đã đưa ra các hướng nghiên cứu đa tiêu chí về việc phát triển một nhà máy xử lý chất thải gia súc theo hướng kinh tế tuần hoàn. Từ góc độ đánh giá vòng đời (LCA) và chiến lược của các mô hình kinh doanh, quản lý chất thải trong bối cảnh bền vững về kinh tế và môi trường [5]. Tại Việt Nam, tác giả Nguyễn Thị Thanh Hiền và cộng sự đã áp dụng phương pháp LCA để đánh giá tác động môi trường của hoạt động chăn nuôi bò thịt, kết quả cho thấy việc sản xuất nguồn thức ăn (cỏ, bột bắp, cám hỗn hợp) cho bò là nguyên nhân chính làm giảm tuổi thọ, gây suy giảm số lượng loài sinh vật trong tự nhiên và tiêu tốn tài nguyên thiên nhiên hữu hạn [6]. Tuy nhiên, vẫn chưa thấy nghiên cứu về áp dụng phương pháp LCA để đánh giá về phát thải khí nhà kính cho hệ thống xử lý chất thải chăn nuôi, đặc biệt là phát thải từ các công trình phụ trợ.

Ngành chăn nuôi và trồng trọt ở Việt Nam đã có nhiều đóng góp quan trọng cho sự phát triển kinh tế - xã hội của đất nước. Theo Niên giám thống kê năm 2024, tổng đàn bò cả nước đạt 6.212,2 nghìn con. Bên cạnh đó, cây thanh long là một trong những cây ăn trái quan trọng của nước ta, đóng góp đáng kể cho kim ngạch xuất khẩu hoa quả tươi của Việt Nam trong những năm gần đây [7, 8]. Theo Trung tâm Thông tin Công nghiệp và Thương mại (Bộ Công Thương), diện tích thanh long cả nước còn hơn 50.000 ha với sản lượng thu hoạch thanh long ước đạt 147,3 nghìn tấn [8]. Tuy nhiên, hoạt động sản xuất thanh long và chăn nuôi một lượng lớn nước thải và phân thải gây ảnh hưởng tiêu cực cho môi trường. Hàm lượng chất dinh dưỡng trong nước và phân khá cao, vì vậy việc tận dụng được một phần chất dinh dưỡng là cần thiết nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường. Trong đó, phân gia súc là một loại chất thải có thể sản sinh lợi nhuận nếu được xử lý hợp lý.

Một số cách tiếp cận đã được áp dụng trên toàn cầu để giải quyết các vấn đề liên quan đến môi trường, năng lượng và kinh tế. Xử lý chất thải chăn nuôi bò bằng Biogas được xem như giải pháp công nghệ “xanh” [9], nhiều nghiên cứu cũng cho thấy việc sử dụng Biogas, ủ phân hữu cơ trong xử lý chất thải nuôi bò quy mô nông hộ phổ biến ở một số vùng nông thôn Việt Nam [10]. Trong chăn nuôi đã có nhiều giải pháp xử lý chất thải mang lại hiệu quả cao, chẳng hạn như các hệ thống

nông nghiệp tích hợp như mô hình kết hợp giữa trồng trọt – ao [11], trồng trọt – chăn nuôi [12, 13], trồng trọt – ao – chăn nuôi [14], và hệ thống trồng trọt – ao – chăn nuôi – khí sinh học đã đóng vai trò quan trọng trong lưu thông vật chất và giảm ô nhiễm môi trường.

Bài viết này nhằm đánh giá tính bền vững về mặt môi trường và tính toán hiệu quả kinh tế của các giải pháp được sử dụng trong cùng một hệ thống tuần hoàn chất thải cho hộ nông dân trồng thanh long kết hợp chăn nuôi bò quy mô nông hộ dựa trên công cụ đánh giá vòng đời (LCA - Life Cycle Assessment) tập trung đánh giá phát thải khí nhà kính kết hợp với đánh giá chi phí vòng đời (LCC - Life Cycle Costing) cho các sản phẩm sau thu hồi là nước thải sau hệ thống xử lý nhằm tái sử dụng tưới cây thanh long, phân ủ từ cành thanh long tía bỏ kết hợp phân chuồng.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Nghiên cứu này sẽ đánh giá vòng đời và chi phí vòng đời của các giải pháp thu hồi chất thải trong mô hình tuần hoàn chất thải cho hộ nông dân có sinh kế chính là trồng thanh long kết hợp chăn nuôi bò tại xã Tân Tiến, tỉnh Lâm Đồng. Khu vực nghiên cứu có diện tích khoảng 12.000m², diện tích trồng thanh long là 6.000m² (900 trụ thanh long), diện tích chuồng trại là 80m², diện tích trồng cỏ voi là 4.000m², diện tích nhà là 100m² và diện tích còn lại là đất trống. Đặc điểm của hộ được thể hiện tại Bảng 1 và Hình 1.

Bảng 1. Đặc điểm của nông hộ

Hạng mục	Diện tích (S, m ²)
Trồng thanh long	6.000
Chuồng trại	80
Trồng cỏ voi	4.000
Nhà	100
Đất trống	1.820

Trong hệ thống canh tác hiện tại, 6.000m² trồng thanh long (900 trụ) trên 5 năm tuổi. Trung bình mỗi năm hộ dùng khoảng 18 tấn bón phân hữu cơ (phân chuồng) cho 2 lần bón, toàn bộ lượng phân dùng sử dụng từ phân chuồng của hộ.

Hình 2 cho thấy hiện trạng môi trường của hộ như sau: Đối với chất thải rắn: phát sinh chủ yếu từ quá trình chăn nuôi, trồng trọt. Phân bò được thu gom và lưu trữ, bón cho cây thanh long. Cành thanh long tía bỏ mỗi năm 1 lần, trung bình 150 cành/trụ, tương ứng khoảng 50kg/trụ, như vậy mỗi năm phát thải ra môi trường gần 45 tấn cành tía bỏ.

Nước thải của khu vực chủ yếu là nước thải từ quá trình vệ sinh chuồng trại chăn nuôi, nước thải này hiện



Khu vực chăn nuôi bò



Vườn cây thanh long

Hình 1. Hiện trạng sinh kế của hộ dân điển hình tỉnh Lâm Đồng



Khu vực lưu chứa phân chuồng



Cành thanh long tĩa bỏ



Nước thải từ chuồng vào mương thoát



Nước thải chăn nuôi chảy tràn

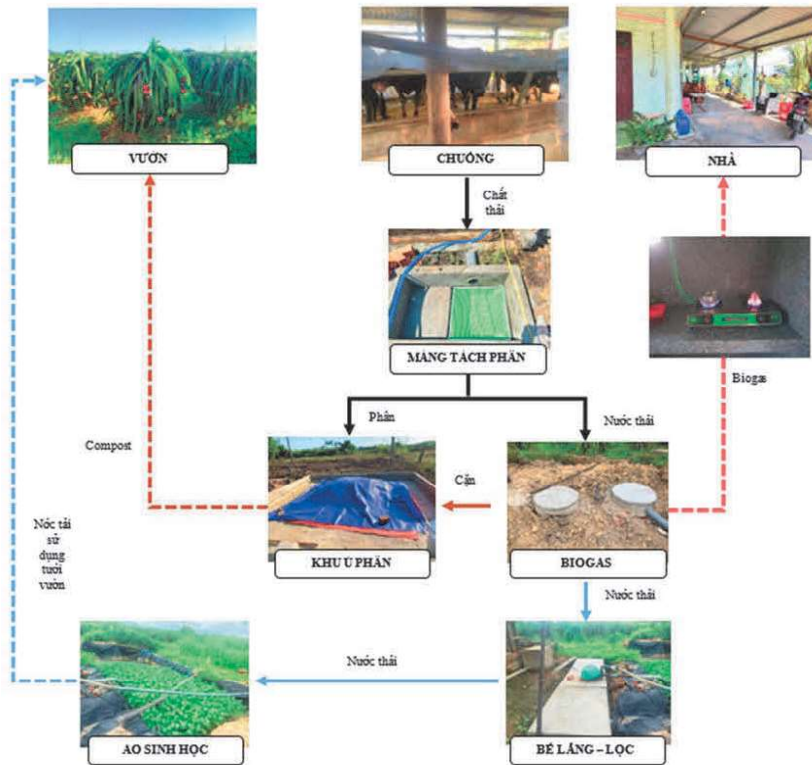
Hình 2. Hiện trạng môi trường của hộ điển hình

tại chưa được xử lý và cho chảy tràn trực tiếp ra môi trường. Vị trí tiếp nhận nước thải là mương thoát nước tưới thanh long của khu vực. Mùi hôi, ruồi, muỗi phát sinh chủ yếu là do nước thải tồn đọng.

Mô hình được đề xuất dựa trên các số liệu thu thập về hiện trạng sinh kế của hộ như Hình 3. Giải pháp về ủ phân hữu cơ: 45 tấn cành thanh long tĩa bỏ của hộ dân sẽ phối trộn với 11,25 tấn phân bò từ chuồng bổ sung 112,5 lít chế phẩm sinh học Biofert UPC. Sau thời gian từ 10 – 20 ngày, phân hữu cơ đạt 16,87 tấn (tỉ lệ khoảng 30% khối lượng ban đầu). Lượng phân bò còn lại (khoảng 33,46 tấn/năm) sẽ được dùng ủ phân hữu cơ với chế phẩm sinh học EM (Effective

microorganisms) theo tỉ lệ 2-3 lít chế phẩm/tấn. Sau thời gian 30 ngày, phân được ủ sẽ đạt tỉ lệ khoảng 60% khối lượng ban đầu (khoảng 20,08 tấn phân hữu cơ). Phân hữu cơ ủ được sẽ được bón cho cây thanh long.

Nước thải từ chuồng nuôi khoảng 0,21 m³/ngày, đem được thu gom toàn bộ vào Biogas 7m³. Nước thải sau Biogas được dẫn và Bể lắng – lọc 3 ngăn thể tích trữ nước 3m³ theo độ cao địa hình, tại đây đảm bảo lắng, lọc cặn cũng như giảm nồng độ COD, BOD₅, TSS sau biogas. Sau đó, toàn bộ nước thải sẽ được dẫn vào Ao sinh học thể tích 20m³ đảm bảo khả năng lưu nước từ 30-50 ngày trước khi tái sử dụng. Tại Ao sinh học nuôi thêm cá tạp và trồng các loại cây thủy sinh bản địa



Hình 3. Mô hình tuần hoàn chất thải cho hộ dân trồng thanh long kết hợp chăn nuôi bò quy mô nông hộ tại xã Tân Tiến, tỉnh Lâm Đồng

có thể sử dụng dụng để xử lý nước thải như lục bình, bèo, rau muống,... Nước tại Ao sinh học được tuần hoàn tưới cho cây thanh long. Cá thu được tại Ao sinh học sẽ dùng làm ụ đậm cá, đậm cá được dùng cung cấp chất dinh dưỡng cho cây thanh long. Ngoài ra, khí sinh học sinh ra từ Biogas sẽ dùng cung cấp cho nhu cầu nấu ăn của gia đình (Hình 3).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Đánh giá vòng đời (LCA - Life Cycle Assessment)

Công cụ đánh giá vòng đời (LCA) được áp dụng để đánh giá những tác động môi trường của mô hình tuần hoàn chất thải cho hộ dân trồng thanh long kết hợp chăn nuôi bò quy mô nông hộ, đánh giá gồm 4 bước: Xác định mục tiêu, phạm vi đánh giá, phân tích kiểm kê và đánh giá tác động.

Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá phát thải CO₂ và chi phí vòng đời của các giải pháp tuần hoàn chất thải trong mô hình tuần hoàn chất thải áp dụng cho nông hộ trồng thanh long kết hợp chăn nuôi bò. Nghiên cứu đánh giá dựa trên các giải pháp tuần hoàn tài nguyên nước và chất thải rắn trong quá trình xử lý môi trường của hộ dân, không can thiệp vào quá trình canh tác, chăn nuôi của hộ.

Hình 4 mô tả ranh giới của hệ thống. Phạm vi của nghiên cứu tập trung vào việc đánh giá vòng đời và chi

phí vòng đời của mô hình ở giai đoạn xây dựng các hạng mục và vận hành để sản xuất phân hữu cơ và tái sử dụng nước thải. Đầu vào là nước thải, phân thải, năng lượng sử dụng và các vật liệu xây dựng các hạng mục. Đầu ra là phân hữu cơ và nguồn nước được tuần hoàn.

Đơn vị chức năng (FU) trong nghiên cứu này được xác định là “1 kg” đối với các phương án xử lý chất thải rắn và “1 m³” đối với các giải pháp tuần hoàn nước thải.

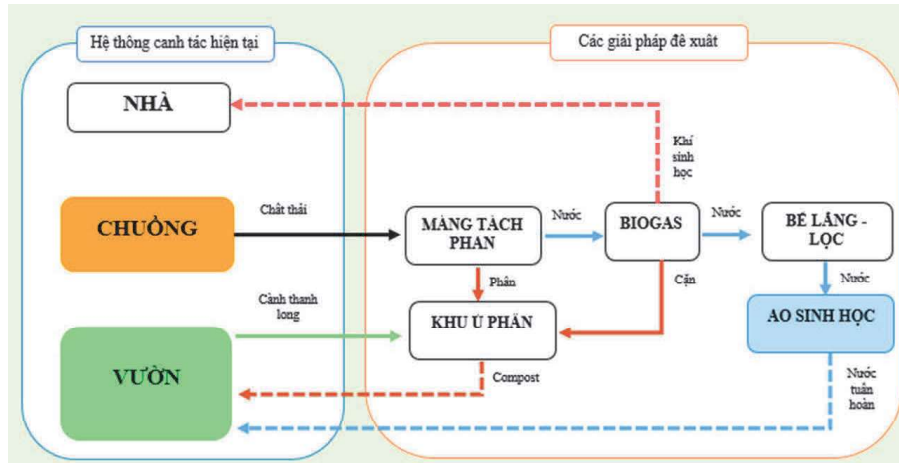
Lượng phát thải CO₂ của hệ thống sẽ liên quan đến nguyên liệu và tiêu thụ năng lượng: Việc ước lượng phát thải CO₂ liên quan đến vật liệu xây dựng các hạng mục thu, ủ phân hữu cơ và tiêu thụ điện để bơm nước.

Công thức từ (1) và (2) được sử dụng để tính lượng phát thải CO₂ trong hệ thống các giải pháp được đề xuất gồm tính toán lượng phát thải CO₂ liên quan đến các nguyên vật liệu, hóa chất sử dụng trong quá trình sản xuất phân hữu cơ và tái sử dụng nước thải và tính toán lượng phát thải CO₂ liên quan đến tiêu thụ điện.

Lượng phát thải CO₂ liên quan đến các nguyên vật liệu tham gia vào quá trình xây dựng, vận hành hệ thống:

$$P_{CO_2, i} = Q_i \times EFi \quad (1)$$

Trong đó: Q_i là khối lượng vật liệu đã được sử dụng (kg), EFi là hệ số phát thải CO₂ từ việc sản xuất vật liệu đó. Ví dụ về i là loại vật liệu gạch, xi măng, cát, Composite và lượng phân thải từ bò.



Hình 4. Ranh giới LCA của hệ thống

Lượng phát thải CO₂ liên quan đến tiêu thụ điện (P_{CO₂}, điện) được xác định bằng công thức:

$$P_{CO_2, \text{điện}} = E_{\text{tiêu thụ}} \times EF \quad (2)$$

Trong đó: E_{tiêu thụ} là sản lượng điện tiêu thụ (kW); EF là hệ số phát thải CO₂ từ việc sản xuất điện.

2.2.2. Đánh giá chi phí vòng đời (LCC)

Để giải quyết hiệu quả kinh tế của các giải pháp tuần hoàn chất thải trong xử lý chất thải của cây thanh long kết hợp với chăn nuôi bò, LCC đã được tiến hành song song với LCA. Nghiên cứu này dựa trên dòng tiền thực tế để tránh chong chéo giữa LCA môi trường và LCC [15]. LCC bao gồm tất cả các chi phí liên quan đến hoạt động xử lý chất thải của hộ nông dân đối với phế phẩm canh thanh long và chất thải chăn nuôi. Dữ liệu kiểm kê thu được trong quá trình LCA có thể được sử dụng để xác định hầu hết các chi phí này. Dòng nguyên liệu và năng lượng thu được trong giai đoạn kiểm kê LCA có thể được nhân với đơn giá bán của sản phẩm sản xuất được hoặc nhân với giá thị trường của sản phẩm mua. Lợi nhuận của mô hình đề xuất được tính bằng công thức (3). Do sử dụng mốc thời gian là 1 năm nên công thức (3) không áp dụng lãi suất.

$$L = \Sigma B - \Sigma C \quad (3)$$

Trong đó: L là lợi nhuận của mô hình, C là chi phí, B là doanh thu.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá vòng đời (LCA - Life Cycle Assessment)

3.1.1. Phân tích kiểm kê

Các dữ liệu được thu thập trong giai đoạn phân tích kiểm kê gồm: khối lượng nguyên vật liệu dùng để xây dựng các hạng mục, phân thải đầu vào, nguồn nước thải, lượng thất thoát và tiêu thụ điện. Các dữ liệu được thu thập từ hộ dân, đảm bảo độ tin cậy cao.

Lượng điện tiêu thụ cho quá trình vận hành hệ

thống xử lý được ghi nhận bằng đồng hồ ghi chỉ số riêng, bao gồm điện tiêu thụ cho việc vận hành các thiết bị, ở đây mô hình chỉ sử dụng thiết bị điện cho hệ thống máy bơm nước từ hệ thống xử lý đến vườn. Các giải pháp không sử dụng hóa chất. Khối lượng nguyên liệu sản xuất phân hữu cơ (từ cành cây thanh long, phân chuồng) được tính toán dựa vào số liệu thực tế do hộ dân cung cấp.

Các số liệu thu thập được về khối lượng chất thải cũng như kích thước các hạng mục hỗ trợ được sử dụng cho mô hình được tóm tắt như Bảng 2.

3.1.2. Đánh giá phát thải khí nhà kính

Hệ số phát thải nguyên vật liệu sử dụng trong mô hình tuần hoàn chất thải được dựa trên định mức phát thải như Bảng 3.

Kết quả kiểm kê phát thải KNK của mô hình tuần hoàn chất thải của hộ trồng thanh long kết hợp chăn nuôi bò được thể hiện ở Bảng 4.

Khối lượng KNK từ nguyên liệu, lượng năng tiêu thụ cho 1m³ được tái sử dụng và 1kg phân hữu cơ được sản xuất được sơ đồ hóa bằng sơ đồ Hình 5.

Ứng dụng LCA cho mô hình tuần hoàn chất thải cho thanh long kết hợp chăn nuôi bò cho thấy để sản xuất ra phân hữu cơ yêu cầu phải lắp đặt, xây dựng các hạng mục phụ trợ vì vậy phát thải 1 lượng CO₂ vào môi trường. Theo kết quả tính toán, để sản xuất ra 1 kg phân hữu cơ yêu cầu phải sử dụng 0,009472 kg xi măng (tương đương 0,007672 kgCO₂), 0,022082 kg gạch (tương đương 0,000004 kgCO₂), 0,028415 kg cát (tương đương 0,000002 kgCO₂), 0,000649 kg ống nhựa PVC (tương đương 0,001325 kgCO₂), 1,209999 kg phân (tương đương 0,000149 kgCO₂). Bên cạnh đó, để tái sử dụng 1m³ nước thải yêu cầu phải sử dụng 1,450432 kg Composite (tương đương 2,799333 kgCO₂), 0,232069 kg ống nhựa PVC (tương đương 0,473421 kgCO₂), 7,252158 kg xi măng (tương đương 5,874248 kgCO₂),

Bảng 2. Tóm tắt các thông số điều tra về các hạng mục đã được xây dựng

STT	Hạng mục	Đơn vị	Kết quả
Định mức chung	Số lượng bò	con	7
	Lượng nước sử dụng trong 1 ngày	lít	210
	Tổng lượng nước trong 1 năm	m ³	76,65
	Khối lượng phân bò	kg	57487,5
	Khối lượng cành thanh long	kg	45000
	Khối lượng phân hữu cơ	kg	36952,25
	Trọng lượng 1 viên gạch	kg	1,6
	Khối lượng 1 bao xi măng	kg	50
	Khối lượng hầm Composite (7m ³)	Kg	100
	Khối lượng HDPE	kg/m ²	0,3
	Khối lượng 1 ống nhựa PVC	Kg	8
Máng tách phân (Kích thước: 1,4m x 0,7m x 0,7m)	Số lượng gạch	cái	60
	Khối lượng gạch	kg	96
	Khối lượng xi măng	kg	50
	Khối lượng cát	kg	150
	Số lượng ống	cái	3
	Khối lượng ống	kg	24
Biogas (Kích thước: 7 m ³ Đường kính bể: 2,25 m)	Khối lượng bồn	kg	100
	Số lượng ống	cái	1
	Khối lượng ống	kg	8
Bể lắng lọc (Kích thước: 3,0m x 1,0m x 1,0m)	Số lượng gạch	cái	648
	Khối lượng gạch	kg	1036,8
	Khối lượng xi măng	kg	500
	Khối lượng cát	kg	1500
	Số lượng ống	cái	1
	Khối lượng ống	kg	8
Ao sinh học (Kích thước: 4,0m x 5,0m x 1,0m)	Diện tích bạt HDPE	m ²	56,0
	Khối lượng bạt HDPE	kg	16,8
	Ống nhựa PVC	kg	8
	Máy bơm 1hp	Cái	1
	Máy bơm trong 1 giờ	m ³	18
	Số nước cần bơm trong 1 năm	kw	68,945
	Số điện cần thiết sử dụng	kw	3,83
Khu ủ phân (Kích thước: 3m x 3m x 0,5m)	Số lượng gạch	cái	450
	Khối lượng gạch	kg	720
	Khối lượng xi măng	kg	300
	Khối lượng cát	kg	900

Bảng 3. Hệ số phát thải nguyên vật liệu

Giai đoạn LCA		Nguyên vật liệu sử dụng CO ₂	Hệ số phát thải (đơn vị/FU)		
			CH ₄	N ₂ O	
Lắp đặt	Máng tách phân (*)	Xi măng	0.81 kg/kg [16]	-	-
		Gạch	1.80E-04 kg/kg [17]	-	-
		Cát xây dựng	0,000063 kg/kg	-	-
		Ống nước (nhựa PVC)	2,04 kg/kg [18]	-	-
	Biogas (**)	Composite	1.93 kg/kg [19]	-	-
		Ống nước (nhựa PVC)	2,04 kg/kg [18]	-	-
	Bể lắng – lọc (**)	Xi măng	0.81 kg/kg [16]	-	-
		Gạch	1.80E-04 kg/kg [17]	-	-
		Cát xây dựng	0,000063	-	-
		Ống nước (nhựa PVC)	2,04 kg/kg [18]	-	-
	Ao sinh học (**)	Bạt lót ao (HDPE)	1,60 kg/kg [18]	-	-
	Khu ủ phân (*)	Xi măng	1.80E-04 kg/kg [17]	-	-
		Gạch	0.81 kg/kg [16]	-	-
		Cát xây dựng	0,000063 kg/kg	-	-
Vận hành	Máng tách phân (*)	-	-	-	
	Biogas (**)	-	-	-	
	Bể lắng – lọc (**)	-	-	-	
	Ao sinh học (**)	Điện (máy bơm nước)	0,7221 kg/kW [20]	-	-
	Khu ủ phân (*) (***)	Phân bò	-	0.0044 g/kg VSa [21]	0.0044 g/kg VSa [21]

15,038074 kg gạch (tương đương 0,002707 kgCO₂), 21,756473 kg cát (tương đương 0,001371kgCO₂), 0,243672 kg màng chống thấm HDPE (tương đương 0,389876 kgCO₂), 0,055556 kW điện (tương đương 0,040117 kgCO₂), điện được dùng để vận hành máy bơm nước từ Ao xử lý sinh học để tưới cây thanh long.

3.1.3. Đánh giá chung

Quá trình khảo sát, kiểm kê, thu thập số liệu tại hộ dân trồng thanh long kết hợp chăn nuôi bò trên địa bàn xã Tân Tiến, tỉnh Lâm Đồng được thực hiện đầy đủ, đảm bảo độ tin cậy cao. Các số liệu tính toán phát thải CO₂ được tính toán đảm bảo độ chính xác. Trong đó, phát thải chiếm tỉ lệ lớn trong hệ thống liên quan đến xi măng sử dụng trong giai đoạn xây dựng, chiếm tỉ lệ 68,94% so với các giai đoạn khác. Trong 1 năm, hệ thống xử lý chất thải của hộ điển hình được

để xuất đã phát thải 998,748578 kgCO₂/năm cho quá trình xử lý chất thải, kết quả này thấp hơn so với hệ thống xử lý khác.

3.2. Đánh giá chi phí vòng đời (LCC)

Chi phí, doanh thu và lợi nhuận của các hạng mục để xuất trong mô hình được tổng hợp như Bảng 5.

Bảng 5 cho thấy các giải pháp tuần hoàn nước thải và chất thải rắn trong canh tác thanh long và chăn nuôi bò tạo ra các sản phẩm có giá trị như phân hữu cơ, khí sinh học. Nhìn chung, các giải pháp này mang lại lợi nhuận cho hộ dân, cụ thể với 1m³ nước được tái sử dụng người dân được hưởng lợi 19.584,76 đồng và 1kg phân hữu cơ người dân được hưởng lợi 3.949,93 đồng.

4. KẾT LUẬN

Các hoạt động của mô hình tuần hoàn chất thải tại các hộ dân trồng thanh long và chăn nuôi bò mang lại



Bảng 4. Kết quả kiểm kê phát thải KNK của mô hình tuần hoàn chất thải

Giai đoạn LCA		Nguyên vật liệu sử dụng	Lượng nguyên vật liệu sử dụng trên mỗi đơn vị chức năng (unit/FU)	Khí thải mỗi đơn vị chức năng (KgCO ₂ /FU)	Tổng phát thải CO ₂ (KgCO ₂ /vụ)	
Lắp đặt	Máng tách phân (*)	Xi măng	0,001353	0,001096	40,500	
		Gạch	0,002598	0,0000005	0,017280	
		Cát xây dựng	0,004059	0,0000003	0,009450	
		Ống nước (nhựa PVC)	0,000649	0,001325	48,960	
	Biogas (**)	Composite	1,450432	2,799333	193,000	
		Ống nước (nhựa PVC)	0,116035	0,236710	16,3200	
	Bể lắng – lọc (**)	Xi măng	7,252158	5,874248	405,00	
		Gạch	15,038074	0,002707	0,186624	
		Cát xây dựng	21,756473	0,001371	0,094500	
		Ống nước (nhựa PVC)	0,116035	0,236710	16,320	
	Ao sinh học (**)	Bạt lót ao (HDPE)	0,243672	0,389876	26,880	
	Khu ủ phân (*)	Xi măng	0,008119	0,006576	243,000	
		Gạch	0,019484	0,000004	0,129600	
		Cát xây dựng	0,024356	0,000002	0,056700	
	Vận hành	Máng tách phân (*)	-	-	-	-
		Biogas (**)	-	-	-	-
Bể lắng – lọc (**)		-	-	-	-	
Ao sinh học (**)		Điện (máy bơm nước)	0,055556	0,040117	2,765844	
Khu ủ phân (*) (***)		Phân bò	1,209999	0,000149	5,508580	
					998,748578	

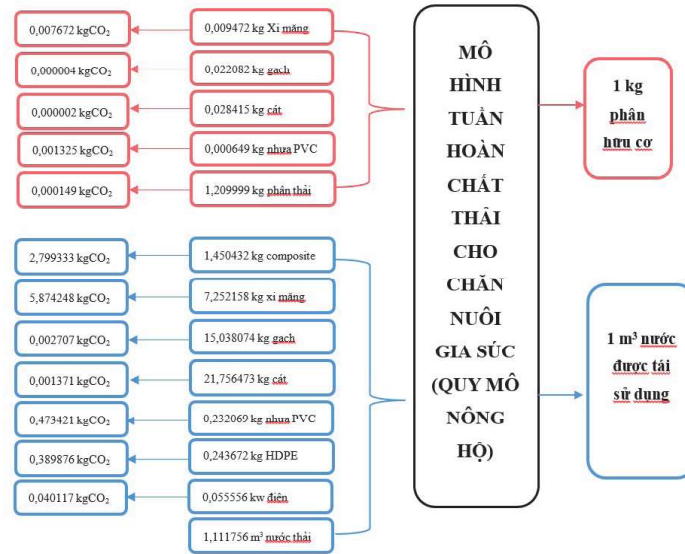
Ghi chú:

(*) Đơn vị chức năng (FU) là 1 kg.

(**) Đơn vị chức năng (FU) là 1 m³.

(***) Với hệ số sinh khí đối với 1kg chất thải rắn từ chất thải (bò) là 0.0044 g/kgCH₄ [21].

Theo giá trị quy đổi tiềm năng ấm lên toàn cầu (Global Warming potentials - GWP), 1 tấn khí CH₄ gây hiệu ứng KNK, 1 tấn CH₄ gây hiệu ứng khí nhà kính tương đương 28 tấn CO₂ [22].



Hình 5. Khối lượng nguyên liệu, lượng năng tiêu thụ cho 1m³ được tái sử dụng và 1kg phân hữu cơ được sản xuất

Bảng 5. Hiệu quả kinh tế của các giải pháp tuần hoàn chất thải

Phương án xử lý	Giá trị kinh tế							
	Theo giá trị thực tế				Theo đơn vị chức năng			
	Chi phí đầu tư (đồng)		Doanh thu (đồng)	Lợi nhuận	Chi phí đầu tư (đồng/FU)		Doanh thu (đồng/ FU)	Lợi nhuận
	Xây dựng	Vận hành			Xây dựng	Vận hành		
Máng tách phân ^(*)	800.200	0	0	-800.200	21,65	0	0	-21,65
Biogas ^(**)	15.200.000	0	12.000.000	-3.200.000	220.465,59	0	156.555,77	-46.413,81
Bể lắng - lọc ^(**)	1.827.600	0	0	-1.827.600	26.508,09	0	0	-26.508,09
Ao sinh học ^(**)	3.616.000	6.128	10.000.000	6.377.872	52.447,60	88,89	130.463,14	92.506,66
Khu ủ phân ^(*)	1.050.000	0	147.810.000	146.760.000	28,41	0	4.000	3.971,59
Tổng	22.493.800	6.128	169.810.000	147.310.072	-	-	-	-

các tác động môi trường khác nhau. Trong đó việc sử dụng vật liệu để lắp đặt, xây dựng các công trình phụ trợ có ảnh hưởng mạnh mẽ đến GWP khi đánh giá khả năng phát thải KNK của chúng dựa trên LCA. Quá trình xây dựng, sử dụng xi măng gây phát thải lượng lớn CO₂. Bên cạnh đó, hệ thống các giải pháp tuần hoàn chất thải cho hộ trồng thanh long kết hợp chăn nuôi bò điển hình tại tỉnh Lâm Đồng cho thấy lợi ích kinh tế khi với 1m³ nước được tái sử dụng người dân được hưởng lợi 19.584,76 đồng và 1kg phân Compost người dân được hưởng lợi 3.949,93 đồng.

Từ những kết quả nghiên cứu, Nhóm tác giả đưa ra một số khuyến nghị hướng đến giảm khí nhà kính trong xử lý chất thải nông nghiệp: Về phía Nhà nước, cần đẩy mạnh hơn nữa việc thực hiện chiến lược phát triển ngành chăn nuôi theo hướng bền vững và hỗ trợ chi phí xây dựng liên quan đến tuần hoàn chất thải nhằm giảm lượng phát thải khí nhà kính, bảo vệ nguồn tài nguyên nước và đất ở các khu vực canh tác, chăn nuôi. Về phía hộ dân, cần áp dụng công nghệ xử lý hiện đại, các giải pháp mang tính tuần hoàn chất thải nhằm xử lý phân, nước thải chăn nuôi và phụ phẩm nông nghiệp nhằm tái sử dụng nguồn tài nguyên nước và phân bón hữu cơ.



Giới hạn của nghiên cứu này là tính toán lượng phát thải khí nhà kính cho mô hình xử lý chất thải theo hướng sinh thái khép kín theo giả định hệ số phát thải, phạm vi chỉ 1 năm và chưa xem xét các chỉ số LCA khác (như axit hóa, phú dưỡng). Tính toán lượng phát thải CO₂ của các công trình phụ trợ được tính cho năm đầu tiên. Khi mô hình vận hành ổn định cho những năm tiếp theo, lượng phát thải CO₂ sẽ giảm đi đáng kể do không xây dựng mới.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ đề tài mã số C2023-24-01 ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Kloepffer, W., *Life cycle sustainability assessment of products. The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2008. 13(2): p. 89-95.
- Vũ Thị Thúy, *Đánh giá vòng đời trong hệ thống xử lý nước cấp tại nhà máy cấp nước Long Hậu 1 - KCN Long Hậu (Long An). Tạp chí Khoa học trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, Tập 17, Số 6 (2020): 1113-1124, 2022.*
- Tóth Szita, K., *The application of life cycle assessment in circular economy. Hungarian Agricultural Engineering*, 2017. 31: p. 5-9.
- Aleisa, E., A. Alsulaili, and Y. Almuzaini, *Recirculating treated sewage sludge for agricultural use: Life cycle assessment for a circular economy. Waste Management*, 2021. 135: p. 79-89.
- Awasthi, S.K., et al., *Multi-criteria research lines on livestock manure biorefinery development towards a circular economy: From the perspective of a life cycle assessment and business models strategies. Journal of Cleaner Production*, 2022. 341: p. 130862.
- Nguyễn Thị Thanh Huyền and Nguyễn Thị Thùy Linh, *Đánh giá tác động môi trường sử dụng phương pháp đánh giá vòng đời (LCA) của hoạt động chăn nuôi bò thịt: Nghiên cứu trường hợp chăn nuôi bò Blanc Blue Belgium tại ba Vì, Việt Nam. Tạp chí Kinh tế và Phát triển, (336), 74-85, 2025.*
- Trần Danh Sứ và cộng sự, *Kỹ thuật trồng và chăm sóc cây thanh long. Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam. 2017.*
- Trung tâm Thông tin Công nghiệp và Thương mại (Bộ Công Thương), *Phân tích tình hình cung cầu và dự báo mặt hàng thanh long, tháng 10 và 10 tháng năm 2024.*
- Pham, C.H., et al., *Biogas production from steer manures in Vietnam: Effects of feed supplements and tannin contents. Waste Management*, 2017. 69: p. 492-497.
- Nguyen, H.T., S.N. Thach, and V.C.N.J.J.o.V.E. Nguyen, *Cow raising in the Mekong Delta-The current status of waste treatment and risk of greenhouse gas emissions. 2018. 10(1): p. 56-65.*
- Rodríguez-Ortega, T., et al., *Does intensification result in higher efficiency and sustainability? An emergy analysis of Mediterranean sheep-crop farming systems. 2017. 144: p. 171-179.*
- Mukhlis, M., et al., *The integrated farming system of crop and livestock: a review of rice and cattle integration farming. 2018. 42(3): p. 68-82.*
- Paolotti, L., et al., *Combining livestock and tree crops to improve sustainability in agriculture: a case study using the Life Cycle Assessment (LCA) approach. 2016. 131: p. 351-363.*
- Engle, C.R.J.J.o.t.W.A.S., *Optimal product mix for integrated livestock-fish culture systems on limited resource farms. 1987. 18(3): p. 137-147.*
- Klöppfer, W., *Life cycle sustainability assessment of products: (with Comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95). The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2008. 13: p. 89-95.
- Bernstein, L., J. Roy, K. C. Delhotal, J. Harnisch, R. Matsushashi, L. Price, K. Tanaka, E. Woresource recoveryell, F. Yamba, Z. Fengqi, *Industry. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.*
- Ecoinvent, *Life Cycle Inventories of Building Products - Ecoinvent report No.7 - Data V2.0. 2007.*
- Recio, J.M.B., et al., *Estimate of energy consumption and CO₂ emission associated with the production, use and final disposal of PVC, HDPE, PP, ductile iron and concrete pipes. 2005.*
- Report, E., *European Environment Agency - European Topic Centre on Waste and Materials in a Green Economy Greenhouse gas emissions and natural capital implications of plastics (including biobased plastics). 2021.*
- Cục Biển đổi Khí hậu and Bộ Tài nguyên và Môi trường, *Công văn số 1278/BĐKH-TTBVTOD về việc công bố kết quả tính toán hệ số phát thải của lưới điện Việt Nam năm 2021.*
- IPCC, *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the Nati. 2006.*
- Ministry of Natural Resources and Environment, *Third Biennial Update Report to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Dan Tri Publishing House, Hanoi, Vietnamese. 2020.*