



ĐÁNH ĐỒI PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH ĐỂ ĐẠT ĐƯỢC HIỆU QUẢ TÀI CHÍNH TỪ MÔ HÌNH CANH TÁC ỚT VÀ CẢI XANH TẠI HUYỆN HÒN ĐẤT, TỈNH KIÊN GIANG

Nguyễn Thị Kim Phước¹ và Lê Trần Thanh Liêm^{2*}

¹Khoa Tài nguyên – Môi trường, Trường Đại học Kiên Giang

²Khoa Phát triển Nông thôn, Trường Đại học Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Lê Trần Thanh Liêm (email: lttliem@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 15/12/2022

Ngày nhận bài sửa: 12/02/2023

Ngày duyệt đăng: 04/04/2023

Title:

Greenhouse gases emission tradeoffs to achieve financial efficiency value from chili and green mustard cultivation in Hon Dat District, Kien Giang Province, Vietnam

Từ khóa:

Cải xanh, hiệu quả tài chính, khí nhà kính, ớt, phát thải từ trồng trọt

Keywords:

Chili, emission from horticulture, financial efficiency, greenhouse gases, green mustard

ABSTRACT

The research evaluated the greenhouse gases (GHGs) emission tradeoff for financial efficiency gained from chili and green mustard cultivation based on the emissions and the cultivation models' profit. The life cycle assessment methodology with an approach defined as "cradle-to-gate" and a 100-year framework as the assessment period for all calculations through MiLCA software was used to estimate total GHGs emission through agricultural inputs production. Green mustard cultivation emitted 11,249.7 kg-CO₂e ha⁻¹ yr⁻¹ which was higher than the emission from chili cultivation (7,455.5 kg-CO₂e ha⁻¹ yr⁻¹). However, base-on the fresh commercial products' weight, chili fruit's emission calculation was higher than commercial green mustard ones (246.5 kg-CO₂e t⁻¹ and 107.4 kg-CO₂e t⁻¹, respectively). In the research period and estimated for the year 2022, the profit from chili cultivation (535.676 ± 101.118 million VND ha⁻¹ yr⁻¹) was 1.37 times higher than green mustard cultivation's profit (392.386 ± 124.570 million VND ha⁻¹ yr⁻¹). In the current cultivation, to achieve a profit of 1.000 VND, green mustard cultivation must trade off 28.67 g-CO₂e, which was 2.1 times higher than chili cultivation (13.92 g-CO₂e).

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá lượng phát thải cần đánh đổi để đạt giá trị hiệu quả tài chính trong canh tác ớt và cải xanh dựa trên sự phát thải khí nhà kính và lợi nhuận đạt được. Phương pháp đánh giá vòng đời với cách tiếp cận "cradle-to-gate" và khung đánh giá 100-năm bằng phần mềm MiLCA được sử dụng để ước lượng khí nhà kính phát thải thông qua hoạt động sản xuất vật tư nông nghiệp đầu vào. Mô hình trồng cải xanh phát thải 11.249,7 kg-CO₂e ha⁻¹ năm⁻¹, cao hơn mô hình trồng ớt (7.455,5 kg-CO₂e ha⁻¹ năm⁻¹). Tuy nhiên, tính trên khối lượng sản phẩm, ớt có mức phát thải cao hơn cải xanh thương phẩm (246,5 kg-CO₂e t⁻¹ và 107,4 kg-CO₂e t⁻¹). Ở thời điểm nghiên cứu và ước tính cho năm 2022, canh tác ớt đạt lợi nhuận ($535,676 \pm 101.118$ triệu đồng ha⁻¹ năm⁻¹) cao hơn 1,37 lần so với canh tác rau cải xanh ($392,386 \pm 124.570$ triệu đồng ha⁻¹ năm⁻¹). Trong thực tế canh tác, để đạt được 1.000 đồng lợi nhuận, trồng cải xanh đã phát thải 28.67 g-CO₂e, cao hơn 2,1 lần so với trồng ớt (13,92 g-CO₂e đồng⁻¹).

1. GIỚI THIỆU

Nông nghiệp có vai trò vô cùng quan trọng đối với kinh tế – xã hội của Việt Nam khi đóng góp 24% GDP, sử dụng hơn 47% lực lượng lao động của quốc gia (Lâm, 2020). Trồng trọt là một trong những lĩnh vực quan trọng hàng đầu của ngành nông nghiệp. Giá trị sản xuất của ngành trồng trọt chiếm từ 64 đến 68% giá trị sản xuất của toàn ngành nông nghiệp (Tổng cục Thống kê [GSO], 2022). Trong đó, các mặt hàng rau quả có đóng góp quan trọng khi chiếm 13,1% tổng giá trị sản xuất khâu của các mặt hàng nông nghiệp và chỉ đứng sau giá trị sản xuất khâu lúa gạo (GSO, 2022). Tốc độ tăng trưởng trung bình xuất khẩu rau quả của Việt Nam trong giai đoạn 2013–2019 là 24%, cao gấp đôi so với tốc độ tăng trưởng xuất khẩu trung bình của Việt Nam trong cùng giai đoạn (Huệ & Trang, 2021). Tốc độ xuất khẩu hàng rau quả đã qua chế biến của Việt Nam đều tăng trưởng ở mức hai con số (Bộ Công Thương Việt Nam, 2021). Do đó, diện tích trồng rau quả liên tục tăng trong những năm gần đây, tốc độ tăng trưởng bình quân khoảng 6%/năm (Huệ & Trang, 2021).

Theo thông kê của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn (2019), Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là vùng có diện tích trồng rau quả lớn nhất cả nước, chiếm gần 48,2% tổng diện tích trồng rau cả nước. Riêng tỉnh Kiên Giang có 9.410 ha diện tích trồng rau màu, chiếm hơn 48% diện tích gieo trồng cây hàng năm (trừ lúa) (Cục Thống kê tỉnh Kiên Giang, 2020). Để thực hiện chủ trương của Chính phủ về đa dạng hóa cây trồng trên đất lúa và thích ứng với biến đổi khí hậu, tỉnh Kiên Giang đã có nhiều chủ trương chuyển đổi diện tích trồng lúa kém hiệu quả sang các mô hình như tôm – lúa, lúa – màu, đặc biệt là mô hình chuyên màu. Do vậy, năm 2020 tỉnh Kiên Giang có diện tích trồng rau các loại đạt 3.189 ha, tăng 3,34% so với năm 2019 và có xu hướng tiếp tục tăng trong những năm tiếp theo (Cục Thống kê tỉnh Kiên Giang, 2021). Huyện Hòn Đất là huyện đứng thứ 5 của tỉnh Kiên Giang về hiệu quả sử dụng đất trồng trọt (Phòng Nông nghiệp và Phát triển nông thôn huyện Hòn Đất, 2020). Ngoài các loại rau lấy củ, rau ăn lá (như cải xanh) đã được canh tác nhiều năm, trong những năm gần đây, nông dân huyện Hòn Đất đã chuyển sang trồng ớt vì đây được đánh giá là mô hình mang lại hiệu quả kinh tế cao (Lộc và ctv., 2015; An & Lộc, 2017).

Hoạt động sản xuất nông nghiệp lại là nguồn phát thải khí nhà kính quan trọng (Praveen, 2019). Cụ thể, các hoạt động này đã trực tiếp hoặc gián tiếp

phát thải từ 10 đến 20% tổng lượng khí nhà kính nhân tạo vào bầu khí quyển (Malyan et al., 2021; Tubiello et al., 2020). Trong các loại khí nhà kính, ngành nông nghiệp phát thải 42% tổng lượng khí CH₄ và 75% tổng lượng khí N₂O trên toàn cầu trong 1 năm (Tubiello et al., 2020). Theo kết quả kiểm kê khí nhà kính của Việt Nam năm 2016, tổng lượng phát thải trong lĩnh vực nông lâm nghiệp là 98,6 triệu tấn CO₂, chiếm trên 30% tổng lượng phát (Hinh, 2022). Với tỉ lệ tăng trưởng trung bình 9,3% trong giai đoạn từ năm 1991 đến năm 2018 (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2021), ngành nông nghiệp Việt Nam vẫn được coi là nguồn phát thải khí nhà kính quan trọng. Phát thải khí nhà kính trong sản xuất nông nghiệp tập trung chủ yếu ở các lĩnh vực: trồng lúa nước, chăn nuôi và quản lý đất canh tác, sử dụng phân bón, quản lý chất thải và đốt sinh khối thực vật (Hinh, 2022). Như vậy, việc tăng cường tiêu thụ vật tư nông nghiệp để đáp ứng quá trình thăm canh như hiện nay có khả năng làm tăng nguy cơ phát thải khí nhà kính. Ở Việt Nam, các công trình nghiên cứu và các giải pháp giảm thiểu phát thải trong trồng trọt chủ yếu tập trung vào mô hình canh tác lúa nước (Tín và ctv., 2012; Hà & Chung, 2014; Nguyễn, 2020; Văn và ctv., 2020; Thuận, 2022). Những đối tượng cây trồng khác còn rất hạn chế, đặc biệt là rau màu.

Tại COP26, Việt Nam đã cùng gần 150 quốc gia cam kết đưa mức phát thải ròng về “0” vào năm 2050. Bên cạnh đó, Thủ tướng Chính phủ đã phê duyệt Chiến lược phát triển nông nghiệp và nông thôn bền vững giai đoạn 2021 – 2030, tầm nhìn đến năm 2050 (Thủ tướng Chính phủ, 2022). Để thực hiện được những mục tiêu này, những nghiên cứu đánh giá về mối quan hệ giữa các yếu tố kinh tế, xã hội và môi trường cần phải được thực hiện trước tiên. Cụ thể là những nghiên cứu đánh giá sự chi trả (đánh đổi) phát thải để đạt hiệu quả tài chính trong các mô hình sản xuất nông nghiệp. Từ những vấn đề đã được phân tích trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đóng góp cơ sở khoa học để đưa ra các quyết định về quy hoạch sản xuất nông nghiệp ở các địa phương trên địa bàn tỉnh Kiên Giang và các tỉnh ở ĐBSCL có điều kiện sản xuất tương tự.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thu thập số liệu sơ cấp

Ở Huyện Hòn Đất, xã Mỹ Thuận và Mỹ Thái lần lượt là hai xã tập trung canh tác rau cải xanh (*Brassica juncea* L.) và ớt chì thiền (*Capsicum annuum* L.). Do đó, xã Mỹ Thuận và Mỹ Thái đã được lựa chọn trở thành địa điểm nghiên cứu trong nghiên cứu này. Nông hộ có diện tích sản xuất từ

bằng hoặc lớn hơn 1.000 m² được lựa chọn tham gia nghiên cứu. Trong quá trình nghiên cứu, các chủ hộ hoặc người tham gia sản xuất chính được phỏng vấn mà không phân biệt về giới, thậm niên, độ tuổi, hay sự khác biệt trong quan điểm về mối quan hệ giữa phát triển kinh tế và bảo vệ môi trường của người tham gia nghiên cứu. Số liệu nghiên cứu được thu thập từ 30 nông hộ trồng cài xanh (chiếm 93,7% tổng số nông hộ canh tác cài xanh) và 30 nông hộ trồng ót (chiếm 83,3% tổng số nông hộ canh tác ót) đủ điều kiện về diện tích canh tác để tham gia nghiên cứu. Nông dân tham gia nghiên cứu được phỏng vấn trực tiếp theo biểu phỏng vấn với các câu hỏi đã được chuẩn bị sẵn trong khoảng thời gian từ tháng 02 đến tháng 7 năm 2022. Biểu phỏng vấn bao hàm các câu hỏi nhằm thu thập thông tin về nguồn lực của nông hộ, thông tin chi tiết về quá trình canh tác như: Lượng và chi phí của từng loại vật tư nông nghiệp; Lượng và chi phí các loại hình năng lượng; Chi phí công lao động; Năng suất và giá bán sản phẩm. Các thông tin về sản xuất được thu thập trong vụ canh tác gần nhất. Vì canh tác ót và cài xanh có số ngày canh tác trong một vụ trồng khác nhau. Chính vì vậy, các phép so sánh đã được đồng nhất khi quy về tổng số vụ canh tác trong 1 năm trên cùng 1 đơn vị diện tích (ha). Cụ thể, trong 1 năm nông dân trồng ót canh tác 02 vụ và nông dân trồng cài xanh canh tác 06 vụ. Trong đó, 1 vụ canh tác ót được xác định từ thời điểm gieo trồng đến khi kết thúc quá trình thu hoạch để sản xuất vụ trồng mới.

2.2. Phương pháp phân tích

2.2.1. Phương pháp phân tích số liệu

Phương pháp thống kê mô tả bằng phần mềm SPSS phiên bản 22.0 đã được sử dụng để tính toán lượng vật tư nông nghiệp đầu vào, các khoản mục chi phí, doanh thu, lợi nhuận, chi số tài chính và được thể hiện dưới giá trị trung bình, độ lệch chuẩn.

Chi phí đầu tư cho mô hình bao gồm: Tổng của các khoản mục chi cho hoạt động sản xuất như: chuẩn bị đất, giống, phân bón, nông dược, chăm sóc, nhiên liệu và thu hoạch. Thu nhập từ mô hình được tính toán bằng tích số giữa năng suất thương phẩm và giá bán sản phẩm (tại ruộng hoặc cơ sở thu mua). Lợi nhuận của mô hình bằng thu nhập trừ tổng chi phí. Bên cạnh đó, một số chỉ số như thu nhập/chí phí, lợi nhuận/chí phí, lợi nhuận/thu nhập cũng được tính toán.

2.2.2. Phương pháp ước lượng phát thải GHGs

Phương pháp đánh giá vòng đời (Life Cycle Assessment – LCA) với cách tiếp cận “cradle-to-gate” và khung đánh giá 100-năm bằng phần mềm

MiLCA. Với cách tiếp cận “cradle-to-gate”, “cradle” được hiểu là nơi sản xuất ra các nguyên vật liệu phục vụ canh tác và “gate” là trang trại nơi sử dụng các vật tư nông nghiệp đó. Tuy nhiên, phạm vi nghiên cứu đã được giới hạn bằng việc bỏ qua giai đoạn vận chuyển nguyên liệu từ nơi sản xuất đến nơi các nông trại. Như vậy, lượng khí nhà kính phát thải từ quá trình khai thác nguyên liệu thô đến sản xuất ra các sản phẩm thương mại đã được ước lượng trong nghiên cứu này. Trong quá trình kiểm toán vật tư nông nghiệp sử dụng, thông tin của các nguyên vật liệu phục vụ sản xuất được thu thập bao gồm trọng lượng nguyên chất của các loại phân bón (phân đậm được tính bằng kg-N, phân lân được tính bằng kg-P₂O₅ và phân kali kg-K₂O), trọng lượng thuốc bảo vệ thực vật (tính theo hoạt chất), lượng nhiên liệu/điện dùng trong làm đất, tưới tiêu và phun xịt thuốc bảo vệ thực vật. Các dữ liệu được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho phân tích bằng phần mềm MiLCA phiên bản 2.3 (Toray Industries incorporated and Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI), Tokyo, Japan). MiLCA là phần mềm hỗ trợ đánh giá vòng đời được phát triển bởi tổ chức Thúc đẩy quản lý phát triển bền vững của Nhật Bản (Sustainable Management Promotion Organization – SuMPO). MiLCA có thể đáp ứng các yêu cầu tính toán cần thiết cho nghiên cứu đánh giá vòng đời, bao gồm kiểm toán đầu vào và đánh giá tác động. Ngoài ra, một cơ sở dữ liệu kiểm toán tiêu chuẩn được cung cấp cho phân tích trong nghiên cứu (SuMPO, 2014).

Để tính toán lượng phát thải khí nhà kính, phần mềm MiLCA sử dụng mô hình đánh giá 100-year GWP (IPCC, 2013) theo cơ sở các kết quả nghiên cứu đã công bố và dữ liệu được tổng hợp từ các quy trình sản xuất công nghiệp. Các dữ liệu đầu vào của phần mềm MiLCA là lượng vật tư nông nghiệp được sử dụng cho canh tác. Phần mềm sẽ lượng hóa các tác động và đưa ra các kết quả đánh giá tác động dưới dạng tổng hợp cuối cùng của tất cả các đầu vào. Trong nghiên cứu này, kết quả sau khi phân tích là tổng lượng phát thải khí nhà kính tương ứng với lượng vật tư nông nghiệp đầu vào đã sử dụng được thể hiện dưới dạng lượng khí nhà kính phát thải trên 1 đơn vị diện tích canh tác (kg-CO₂e ha⁻¹) hoặc lượng GHGs phát thải khi sản xuất ra 1 khối lượng sản phẩm thương mại của cài xanh và ót (kg-CO₂e t⁻¹). Các loại vật tư nông nghiệp khác như hạt giống và các loại phân bón lót dạng hữu cơ thông thường (phân chuồng và tro trấu) đã không được tính toán, vì những giới hạn trong cơ sở dữ liệu của phần mềm.

Trong lĩnh vực trồng trọt, phần mềm MiLCA đã được sử dụng để đánh giá phát thải khí nhà kính của

các hệ thống sau đây: Trồng cọ dầu trên đất than bùn (Agusta et al., 2022), chanh không hạt (Liem et al., 2022), trồng mía (Nakashima & Ishikawa, 2016), lúa gạo (Myo et al., 2017).

2.2.3. Phân tích đánh giá phát thải – hiệu quả tài chính

Trong mô hình canh tác hạnh nhân, Martin-Gorriz et al. (2020) đã sử dụng chỉ số lợi nhuận/ phát thải ($\text{€ kg-CO}_2\text{e}^{-1}$) để so sánh hiệu quả canh tác của các giải pháp canh tác khác nhau thông qua sự khác biệt trong cách thức quản lý đất trồng. Eskander and Nitschke (2021) đã sử dụng chỉ số phát thải trên tổng thu nhập từ tất cả các hoạt động kinh tế ($\text{kg-CO}_2\text{e } \text{£}^{-1}$) như là một trong những biến quan sát để đánh giá tiến độ hoàn thành mục tiêu phát thải ròng bằng 0 của các trường đại học ở Vương quốc Anh. Nghiên cứu này được thực hiện bằng cách sử dụng chỉ số đánh giá phát thải ($\text{g-CO}_2\text{e}$) để đạt được hiệu quả tài chính (lợi nhuận, 1.000 đồng) với đơn vị $\text{g-CO}_2\text{e}$ 1.000 đồng lợi nhuận⁻¹; so sánh mức phát thải cho các hạng mục đầu tư phục vụ sản xuất như: năng lượng, phân bón hóa học, nông dược và tống chi phí cũng sẽ được tính toán ($\text{g-CO}_2\text{e}$ 1.000 đồng đầu tư⁻¹).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thông tin chung về nông hộ

Ở cả hai mô hình canh tác, đại diện nông hộ – người tham gia sản xuất chính – chủ yếu là nam giới (chiếm trên 80%) với độ tuổi trung bình là 50 tuổi (thấp nhất là 36 tuổi và cao nhất là 75 tuổi) ở mô hình trồng ót và 42 tuổi (thấp nhất là 25 tuổi và cao nhất là 67 tuổi) ở mô hình trồng cải xanh, trong đó, tập trung nhiều nhất ở nhóm tuổi từ 30 đến 60 tuổi. Đây là nhóm tuổi còn trong tuổi lao động nên có thể đáp ứng các điều kiện về sức khỏe cũng như kinh nghiệm trong quá trình sản xuất. Đồng thời, họ vẫn

còn khả năng tiếp thu những kiến thức sản xuất, các tiến bộ khoa học kỹ thuật. Số lao động gia đình khá ít, ở cả hai mô hình số lao động này trung bình khoảng 2 – 3 người trong một hộ, nhiều nhất là 4 người và số lao động nữ trung bình chỉ khoảng 1 người/hộ. Điều này cho thấy, trong quá trình sản xuất, nhu cầu thuê mướn lao động của nông hộ là khá cao. Thâm niên canh tác trung bình của chủ hộ ở mô hình trồng cải xanh là 16 năm (cao nhất là 36 năm và thấp nhất là 4 năm) và ở mô hình trồng ót là 3,5 năm (cao nhất là 4 năm và thấp nhất là 1 năm), do mô hình ót ở huyện Hòn Đất chỉ mới được người dân đưa vào sản xuất một vài năm gần đây.

3.2. Lượng khí nhà kính phát thải thông qua sử dụng vật tư đầu vào trong canh tác ót và cải xanh

Nhu cầu sử dụng vật tư đầu vào có ảnh hưởng trực tiếp và gián tiếp đến sự phát thải khí nhà kính trong canh tác nông nghiệp. Vì vậy, việc phân tích hiện trạng sử dụng vật tư đầu vào phục vụ quá trình canh tác ót và cải xanh xanh là cần thiết. Từ đó, tổng lượng khí nhà kính phát thải trong quy trình canh tác có thể được ước lượng.

3.2.1. Hiện trạng sử dụng vật tư đầu vào trong canh tác ót và cải xanh

Trong quá trình sản xuất ót và cải xanh, vật tư đầu vào được nông hộ sử dụng bao gồm các loại vật tư nông nghiệp (giống, phân hữu cơ, phân vô cơ, nông dược), các loại nhiên liệu (xăng, dầu) và điện. Tuy nhiên, vì giới hạn trong cơ sở dữ liệu của phần mềm MiLCA nên hạt giống và các loại phân bón lót dạng hữu cơ sản xuất theo quy mô hộ gia đình đã không được tính toán. Do đó, các vật tư nông nghiệp đầu vào được tập trung phân tích và đánh giá bao gồm: Khối lượng các loại phân bón vô cơ, nông dược; Thể tích của xăng và dầu; Số Kw điện.

Bảng 1. Lượng vật tư nông nghiệp sử dụng trong canh tác ót và cải xanh

Phân bón (tính theo dạng nguyên chất)				Nông dược (tính theo hoạt chất)				DVT: $\text{kg ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$
	Đạm	Lân	Kali	Diệt cỏ	Trừ sâu	Nấm bệnh		
Ót	$579,85 \pm 88,47$	$901,57 \pm 200,62$	$297,21 \pm 75,7$	$9,46 \pm 2,08$	$0,62 \pm 0,21$	$18,02 \pm 5,62$		
Cải xanh	$1.212 \pm 208,87$	$725,34 \pm 151,44$	KSD	$9,16 \pm 2,29$	$30,06 \pm 7,2$	KSD		

Ghi chú: KSD: Không sử dụng

Bảng 1 cho thấy trong canh tác ót, nhu cầu sử dụng phân lân cao nhất ($901,57 \text{ kg ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$) trong các loại phân bón và nhu cầu sử dụng thuốc phòng trừ nấm bệnh cao nhất ($18,02 \text{ kg ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$) trong các loại nông dược. Theo kinh nghiệm sản xuất của nông dân, trong canh tác ót việc bón phân lân sẽ giúp

phát triển hệ rễ của cây. Từ đó, cây hấp thụ được nước và dinh dưỡng dễ dàng hơn. Bên cạnh đó, một hệ thống rễ phát triển tốt còn có thể giúp cây hạn chế được đỗ ngã khi mang trái, có thể gây ảnh hưởng nồng suất.Thêm vào đó, việc bón phân lân còn hỗ trợ quá trình ra hoa ở cây ót và làm tăng nồng suất

thu hoạch ở những lần thu hoạch sau trong vòng đời khai thác của cây ót. Trong khi đó, cải xanh có nhu cầu sử dụng đạm ($1.212 \text{ kg ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$) và các loại thuốc trừ sâu ($30,06 \text{ kg ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$) cao nhất. Nông hộ không sử dụng phân kali và hoạt chất phòng trừ nấm bệnh trong sản xuất cải xanh. Lượng phân lân sử dụng trong sản xuất ót cao hơn 1,24 lần so với sản xuất cải xanh. Tuy nhiên, lượng phân đạm và hoạt chất thuốc trừ sâu trong sản xuất cải xanh được sử dụng cao hơn nhiều lần so với sản xuất ót. Trong đó, lượng thuốc trừ sâu sử dụng trong mô hình cải xanh cao gấp 48,48 lần so với mô hình trồng ót. Riêng nhu cầu sử dụng thuốc diệt cỏ ở cả hai mô hình tương đương nhau (khác biệt không có ý nghĩa thống kê, mức ý nghĩa 5%).

Lượng phân bón theo từng loại sử dụng ở mô hình trồng cải xanh và ót cao hơn nhiều lần so với khuyến cáo (Quyền và ctv., 2000; Dật, 2003; Chính & Nghĩa, 2007; Cúc, 2007; Giao, 2009; Thi và ctv., 2009; Phương và ctv., 2010; Huyền, 2016). Trong đó, mô hình trồng ót có lượng phân đạm cao hơn từ

2,8 đến 7,1 lần, phân lân cao hơn từ 4,6 đến 11 lần và lượng kali cao hơn từ 1,9 đến 2,8 lần; ở mô hình trồng rau cải xanh, lượng phân đạm cao hơn từ 2,5 đến 10 lần, phân lân cao hơn từ 3 – 9 lần và hàm lượng kali sử dụng cao hơn từ 1,3 – 2,5 lần. Tuy nhiên, liều lượng phân bón ở mô hình trồng rau ăn lá trong cùng khu vực nghiên cứu ($223,87 \text{ kg-N}, 189,24 \text{ kg-P}_2\text{O}_5, 38,0 \text{ kg-K}_2\text{O}$) (Liêm & Phước, 2021) và thấp hơn ở Trung Quốc (Zhang et al., 2021). Như vậy, để hướng đến một nền sản xuất thân thiện hơn với môi trường và an toàn cho người sử dụng, các cơ quan khuyến nông và hội nông dân địa phương cần tích cực tuyên truyền và hướng dẫn nông dân sử dụng hóa nông theo nguyên tắc 4 đúng: Đúng thuốc, đúng liều lượng, đúng lúc và đúng cách.

Nhiên liệu và điện năng được dùng trong các công đoạn lên liếp và phun xịt hóa chất bảo vệ thực vật cũng như tưới tiêu. Nhu cầu sử dụng các loại nhiên liệu và điện năng được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Lượng nhiên liệu, điện tiêu thụ trong canh tác ót và cải xanh

	Dầu (L $\text{ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$)	Xăng (L $\text{ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$)	Điện (Kwh $\text{ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$)	Tổng tiêu thụ năng lượng (MJ $\text{ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$)
Ót	$54,67 \pm 7,42$	$404,37 \pm 115,46$	$1.528 \pm 309,48$	29.981,56
Cải xanh	KSD	$112,93 \pm 15,49$	$3.221 \pm 512,21$	28.196,55

Ghi chú: KSD: Không sử dụng

Trong canh tác ót, dầu diesel được sử dụng cho hoạt động lên liếp, xăng được dùng vào hoạt động phun xịt hóa chất bảo vệ thực vật và tưới tiêu, do đó mức tiêu thụ xăng cao hơn dầu 7,4 lần. Trong khi đó, sản xuất cải xanh không tiêu thụ dầu, chỉ sử dụng xăng cho hoạt động phun xịt và lên liếp. Điện được nông hộ chọn sử dụng cho hoạt động tưới tiêu ở cả hai mô hình canh tác. Nhu cầu tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch trong sản xuất ót cao hơn sản xuất cải xanh 3,3 lần và đều cao hơn sản xuất lúa ở DBSCL [$88,6 - 184,3 \text{ L-xăng dầu ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$ (Phong & Lợi, 2012; $104,94 - 151,95 \text{ L-dầu ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$ (Phong & Tâm, 2015)]. Tuy nhiên, nhu cầu cần được tưới nước của cải xanh cao hơn ót nên lượng điện tiêu thụ trong sản xuất cải xanh cao gấp 2 lần sản xuất ót. Tổng nhu cầu tiêu thụ khi chuyển đổi lượng nhiên liệu và điện năng sang MJ tương đương bằng phần mềm MilCA, kết quả cho thấy canh tác ót cần nhiều năng lượng hơn so với cải xanh ($29.981,56 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$ so với $28.196,55 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$).

3.2.2. Sự phát thải khí nhà kính trong canh tác ót và cải xanh

Từ kết quả về hiện trạng tiêu thụ các loại vật tư nông nghiệp đầu vào, dữ liệu được phân tích bởi

phần mềm MilCA nhằm ước tính lượng khí nhà kính đã phát thải trong quá trình sản xuất cải xanh và ót. Nhìn chung, nhu cầu tiêu thụ vật tư đầu vào trong sản xuất ót cao hơn cải xanh, chỉ có nhu cầu sử dụng phân đạm, thuốc trừ sâu và điện ở mô hình cải xanh cao hơn mô hình ót. Tuy nhiên, kết quả phân tích cho thấy trong một năm sản xuất, tổng lượng khí nhà kính phát thải trên 1 ha đất canh tác cải xanh là $11.249,7 \text{ kg-CO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$, cao hơn 1,5 lần trên cùng diện tích canh tác ót ($7.455,5 \text{ kg-CO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$). Điều này có thể được giải thích rằng phân đạm có hệ số đóng góp lượng phát thải nhà kính cao hơn các loại phân bón khác (Phong & Lợi, 2012; Trang và ctv., 2021; Zhang et al., 2021; Zhu & Huo, 2022) và nhóm hoạt chất thuốc trừ sâu có tỉ lệ phát thải cao hơn các hoạt chất nông dược còn lại (Reicosky et al., 2000; Audsley et al., 2009). Tuy nhiên, khi xét trên 1 tấn sản phẩm được tạo ra, mô hình trồng ót phát thải $246,5 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$, cao hơn 2,3 lần so với sản xuất 1 tấn cải xanh ($107,4 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$). Điều này được giải thích do năng suất của cải xanh cao hơn của ót 3,46 lần (kết quả được trình bày ở Bảng 3).

Bảng 3. Lượng khí nhà kính phát thải trong canh tác ót và cải xanh

	Năng lượng		Phân bón		Nông dược		Tổng phát thải	
	kg-CO ₂ e ha ⁻¹ năm ⁻¹	kg-CO ₂ e tấn ⁻¹	kg-CO ₂ e ha ⁻¹ năm ⁻¹	kg-CO ₂ e tấn ⁻¹	kg-CO ₂ e ha ⁻¹ năm ⁻¹	kg-CO ₂ e tấn ⁻¹	kg-CO ₂ e ha ⁻¹ năm ⁻¹	kg-CO ₂ e tấn ⁻¹
Ót	1.150,0	38,0	5.957,0	197,0	348,5	11,5	7.455,5	246,5
Cải xanh	1.969,7	18,8	8.713,8	83,2	566,3	5,4	11.249,7	107,4

Cường độ phát thải khí nhà kính tính trên 1 ha đất canh tác trong một vụ của sản xuất ót ($3.727,8 \text{ kg-CO}_2\text{e ha}^{-1}$) và cải xanh ($1.875 \text{ kg-CO}_2\text{e ha}^{-1}$) đều thấp hơn so với sản xuất rau màu ở Trung Quốc $1,5 - 3,3$ lần (Zhang et al., 2021) và ở Úc $2,3 - 4,9$ lần (Maraseni et al., 2010), nhưng cao hơn sản xuất rau màu ở Nam Phi $1,2 - 2,7$ lần (Tongwane et al., 2016). Mô hình trồng cải xanh phát thải khí nhà kính tương đương mô hình trồng xà lách ở Hy Lạp (Foteinis & Chatzisymeon, 2016) và mô hình trồng ót phát thải khí nhà kính tương đương mô hình trồng dưa leo ở Paskitan (Ali & Khan, 2019). Khi xét trên khối lượng sản phẩm, lượng khí nhà kính phát thải trong sản xuất 1 tấn ót ($246,5 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$) cao hơn sản xuất rau ở Trung Quốc ($116 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$). Lượng phát thải của ót và cải xanh ($107,4 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$) đều cao hơn rau vụ Đông không sử dụng hệ thống sưởi ở Úc ($90 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$), sản xuất dưa leo ở Paskitan ($19,63 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$) và thấp hơn nhiều so với sản xuất xà lách ở Hy Lạp ($2.170 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$) (Theurl et al., 2017; Ali & Khan, 2019; Barla et al., 2020; Zhang et al., 2021).

Khi đối sánh thải lượng khí nhà kính trên 1 tấn sản phẩm của mô hình trồng ót ($246,5 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$) và cải xanh ($107,4 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$) với một số mô hình trồng trọt ở Việt Nam cho thấy cả hai mô hình này thấp hơn các mô hình sản xuất lúa theo phương pháp truyền thống ($1.091 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$), cánh đồng mẫu lớn hay sản xuất theo tiêu chuẩn thực hành nông nghiệp tốt (Good Agricultural Practice – GAP) ($1.008 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$) ở DBSCL (Phong & Tâm, 2018).

Bảng 4. Các khoản mục chi phí trong sản xuất ót và cải xanh

Khoản mục	Ót	Cải xanh	Chênh lệch (lần)
Chi phí chuẩn bị đất	29.595 ± 11.724	95.834 ± 28.999	3,24
Chi phí giống	10.271 ± 2.956	2.931 ± 741.926	3,5
Chi phí phân bón	34.764 ± 11.661	28.779 ± 8.220	1,21
Chi phí nông dược	101.488 ± 29.663	23.770 ± 5.318	4,27
Chi phí chăm sóc	40.200 ± 3.662	94.900 ± 9.136	2,36
Chi phí thu hoạch	332.791 ± 103.094	15.067 ± 3.697	22,09
Chi phí năng lượng	10.288 ± 6.447	8.407 ± 1.160	1,27

2015), trồng chanh không hạt ($273 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$) ở Hậu Giang (Liem et al., 2022), trồng bưởi ($1.009 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$) và xoài ($748,7 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$) ở DBSCL (Phong & Lợi, 2014), trồng cà phê ($935 - 1220 \text{ kg-CO}_2\text{e t}^{-1}$) ở Đăk Lăk và Lâm Đồng (Nab & Maslin, 2020; Trinh et al., 2020).

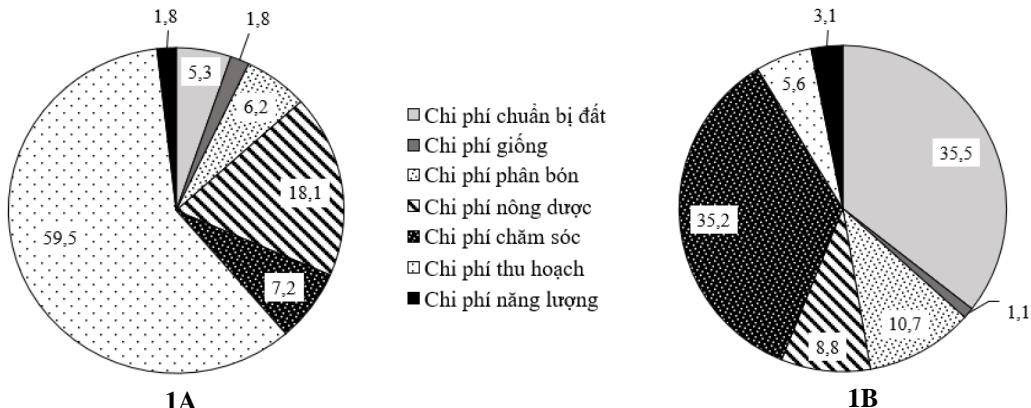
3.3. Phân tích và so sánh hiệu quả tài chính của mô hình trồng ót và cải xanh

Hiệu quả tài chính của hai mô hình trồng ót và cải xanh được phân tích và so sánh trên 1 ha đất canh tác trong thời gian một năm. Trong một năm canh tác, nông hộ tại khu vực nghiên cứu có thể trồng được 2 vụ ót hoặc 6 vụ rau cải xanh.

Bảng 4 cho thấy hầu hết các khoản mục chi phí của mô hình trồng ót đều cao hơn so với mô hình trồng cải xanh (trừ chi phí chuẩn bị đất và chăm sóc). Chi phí năng lượng trong nghiên cứu này được định nghĩa là chi phí sử dụng các loại nhiên liệu (xăng, dầu) và chi phí sử dụng điện trong hoạt động tưới nước, phun xịt thuốc bảo vệ thực vật. Chi phí thu hoạch có sự chênh lệch lớn nhất khi mô hình trồng ót gấp 22 lần so với mô hình trồng cải xanh. Điều này có thể được giải thích do ót được thu hoạch trung bình 32 đợt vụ⁻¹, trong khi đó cải xanh chỉ thu hoạch 1 đợt vụ⁻¹. Do đó, chi phí thu hoạch ót cao hơn nhiều lần so với chi phí thu hoạch cải xanh. Ngoài ra, các loại chi phí khác như chi phí giống, chi phí nông dược, chi phí chăm sóc của mô hình trồng ót cũng cao hơn nhiều lần so với mô hình trồng cải xanh.

Kết quả phân tích tỉ lệ các khoản mục chi phí so với tổng chi phí (Hình 1) cho thấy mô hình sản xuất ớt (Hình 1A) có chi phí thu hoạch chiếm tỉ lệ cao nhất (59,5%), tiếp đến là chi phí nông dược (18,1%), các khoản mục chi phí khác chiếm tỉ lệ không đáng kể (thấp hơn 8%). Tuy nhiên, ở mô hình sản xuất cải

xanh (Hình 1B), chi phí thu hoạch lại thuộc nhóm chiếm tỉ lệ thấp (thấp hơn 6%). Khoản mục chi phí có tỉ lệ cao nhất là chi phí chăm sóc và chi phí chuẩn bị đất (hơn 35%), tiếp đến là chi phí phân bón (10,7%). Chi phí giống và chi phí năng lượng đều là các loại chi phí có tỉ lệ thấp nhất đối với cả hai mô hình ớt và cải xanh.



Hình 1. Tỉ lệ % các khoản mục chi phí của mô hình ớt (1A) và mô hình cải xanh (1B) trong tổng chi phí

Năng suất của mô hình trồng ớt thấp hơn mô hình trồng cải xanh 3,46 lần nhưng giá bán ớt cao hơn giá bán cải xanh 5,78 lần. Do đó, thu nhập trong một năm của mô hình trồng ớt ($1.095.072$ nghìn đồng ha^{-1}) cao hơn 1,65 lần so với mô hình trồng cải xanh (662.072 nghìn đồng ha^{-1}). Cả hai mô hình ớt và cải xanh đều mang lại lợi nhuận để nâng cao thu nhập cho nông hộ. Giá trị lợi nhuận của hai mô hình đều cao hơn giá trị sản phẩm trung bình thu được từ 1 ha đất trồng trọt ở Kiên Giang ($75,18$ triệu đồng $năm^{-1}$) năm 2020 và ở Việt Nam ($103,6$ triệu đồng $năm^{-1}$) năm 2021 (Tổng cục Thống kê, 2021). Lợi nhuận mô hình trồng ớt là 535.676 ± 101.118 nghìn

đồng $ha^{-1} năm^{-1}$, cao hơn 1,51 lần so với lợi nhuận mô hình trồng cải xanh (392.386 ± 124.570 nghìn đồng $ha^{-1} năm^{-1}$). Tuy nhiên, lợi nhuận/chi phí của mô hình trồng ớt lại thấp hơn mô hình trồng cải xanh. Cụ thể, 1 đồng vốn đầu tư vào mô hình trồng ớt thu được $1,02$ đồng lợi nhuận thấp hơn so với 1 đồng vốn đầu tư vào mô hình trồng cải xanh là $1,49$ đồng. Ngoài ra, các chỉ số thu nhập/chi phí, lợi nhuận/thu nhập của mô hình trồng cải xanh đều cao hơn mô hình trồng ớt. Như vậy, nếu nông dân có nhiều vốn thì đầu tư vào mô hình trồng ớt để có đạt được thu nhập cao hơn trên một đơn vị diện tích canh tác so với đầu tư vào mô hình trồng cải xanh.

Bảng 5. Hiệu quả tài chính của mô hình ớt và cải xanh trong một năm canh tác

Khoản mục	Ớt	Cải xanh	Chênh lệch (lần)
Tổng chi phí	559.396 ± 122.406	269.686 ± 28.034	2,09
Năng suất (kg/ha/năm)	30.244 ± 3.618	104.761 ± 17.796	3,46
Giá bán (1.000 đ/kg)	$36,33 \pm 2,25$	$6,37 \pm 0,73$	5,78
Thu nhập	$1.095.072 \pm 112.546$	662.072 ± 113.282	1,65
Lợi nhuận	535.676 ± 101.118	392.386 ± 124.570	1,51
Thu nhập/chi phí	$2,02 \pm 0,33$	$2,49 \pm 0,56$	1,23
Lợi nhuận/chi phí	$1,02 \pm 0,33$	$1,49 \pm 0,56$	1,46
Lợi nhuận/thu nhập	$0,49 \pm 0,09$	$0,58 \pm 0,09$	1,18

Khi so sánh với các mô hình canh tác nông nghiệp trong tỉnh Kiên Giang, cả hai mô hình ớt và cải xanh đều có lợi nhuận/chi phí cao hơn các mô hình chuyên canh lúa 2 – 3 vụ, luân canh lúa – dưa

lê (Linh và ctv., 2021), mô hình lúa – tôm (Trang và ctv., 2018), mô hình rau ăn lá (Liêm & Phước, 2021), nhưng thấp hơn mô hình nuôi cua – tôm (Danh & Trúc, 2021). Nhìn chung, lợi nhuận/thu

nhập của các mô hình kẽ trên đều thấp hơn hoặc tương đương với chỉ số lợi nhuận/thu nhập của hai mô hình ót và cải xanh. Ngoài ra, mô hình trồng ót ở khu vực nghiên cứu có lợi nhuận/chi phí thấp hơn nhưng lợi nhuận/thu nhập cao hơn so với mô hình trồng ót ở DBSCL (An & Lộc, 2017).

3.4. Đánh đổi phát thải để đạt được hiệu quả tài chính trong canh tác ót và cải xanh

Trong lĩnh vực môi trường, 2 nguyên tắc cơ bản xác định phí chi trả bao gồm nguyên tắc người gây ô nhiễm phải trả tiền và người hưởng lợi phải trả tiền (chi trả dịch vụ môi trường). Trong đó, ở Việt Nam, các chủ thể khai thác và sử dụng tài nguyên thiên nhiên, các yếu tố liên quan đến môi trường phải trả các loại thuế, phí theo quy định của pháp luật. Ngoài ra, các hành vi gây ô nhiễm hoặc gây tác động tiêu cực đến môi trường được quy định trong Luật Bảo vệ môi trường và tùy theo hậu quả của hành vi vi

phạm sẽ bị xử lý hành chính theo Nghị định xử lý vi phạm hành chính trong lĩnh vực bảo vệ môi trường hoặc truy cứu trách nhiệm hình sự theo quy định tại Bộ Luật hình sự. Trong khi đó, chi trả dịch vụ môi trường thường được hiểu như là chi phí được xác định thu nhầm phục vụ công tác bảo tồn và phục hồi tài nguyên. Theo nguyên tắc này, người sử dụng dịch vụ phải trả tiền cho các lợi ích về môi trường mà họ được thụ hưởng. Trong nghiên cứu này, chỉ số đánh đổi phát thải khí nhà kính để đạt được lợi nhuận được thực hiện nhằm phân tích mối quan hệ giữa đánh đổi một khía cạnh môi trường để đạt được một mục tiêu lợi ích cụ thể của người sản xuất. Giá trị này không chỉ giúp các nhà nghiên cứu và nhà hoạch định chính sách kinh tế nông nghiệp có góc nhìn chi tiết về hiện trạng sản xuất trong bối cảnh xây dựng nền canh tác nông nghiệp đa mục tiêu và phát triển bền vững.

Bảng 6. Đánh đổi phát thải khí nhà kính trong canh tác ót và cải xanh

	Đơn vị tính	Ót	Cải xanh
Đánh đổi phát thải cho đầu tư năng lượng		111,78	234,30
Đánh đổi phát thải cho đầu tư phân bón hóa học		123,76	302,76
Đánh đổi phát thải cho đầu tư nông dược	g-CO ₂ e 1.000	3,43	23,82
Đánh đổi phát thải cho tổng đầu tư phục vụ sản xuất*	đồng ⁻¹	13,33	41,71
Đánh đổi phát thải để đạt được thu nhập từ mô hình canh tác		6,81	16,99
Đánh đổi phát thải để đạt được lợi nhuận từ mô hình canh tác		13,92	28,67

Ghi chú: * bao gồm cả chi phí công lao động như đã trình bày ở Hình 1.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm làm rõ khía cạnh về đánh đổi phát thải khí nhà kính để đạt được những lợi ích về hiệu quả tài chính và chi trả cho các khoản mục đầu tư từ mô hình canh tác. Một cách tổng quan, kết quả từ Bảng 6 đã trình bày đánh đổi phát thải đối với các khoản mục đầu tư có phát sinh khí nhà kính bao gồm năng lượng, phân bón hóa học và nông dược. Trong đó, đối với mô hình canh tác ót, khi đầu tư 1.000 đồng cho phân hóa học thì nông dân đã phát thải 123,76 g-CO₂e, đây là hạng mục đánh đổi phát thải cao nhất trong mô hình. Để đầu tư cho năng lượng phục vụ bom tưới và phun xịt thuốc, với mỗi 1.000 đồng đầu tư, nông dân trồng ót đã phát thải 111,78 g-CO₂e, theo sau là nông dược với 3,43 g-CO₂e 1.000 đồng đầu tư⁻¹. Đối với mô hình canh tác cải xanh, đánh đổi phát thải cho các khoản mục đầu tư có tính khuynh hướng như canh tác ót. Trong đó, để có thể sử dụng phân bón hóa học, canh tác cải xanh đã phải đánh đổi phát thải khí nhà kính ở mức cao nhất so với đầu tư cho năng lượng và nông dược (thấp nhất); lần lượt là 302,76, 234,30 và 23,82 g-CO₂e 1.000 đồng đầu tư⁻¹. Tuy nhiên, khi xét trên tổng đầu tư bao gồm cả chi phí thuê mướn lao động cho các khâu chuẩn bị đất, phun

xịt hóa chất bảo vệ thực vật và thu hoạch thì đánh đổi phát thải sẽ ở mức thấp hơn, dao động từ 6,81 g-CO₂e 1.000 đồng⁻¹ đối với canh tác ót và 16,99 g-CO₂e 1.000 đồng⁻¹ đối với cải xanh. Trong nghiên cứu này, chỉ số thể hiện mối quan hệ giữa phát thải và lợi nhuận đạt được từ hai mô hình canh tác đã được phân tích. Trong đó, để đạt được 1.000 đồng lợi nhuận, canh tác cải xanh đã phát thải 28,67 g-CO₂e vào khí quyển, cao hơn so với canh tác ót với 13,92 g-CO₂e. Trên thế giới, các nghiên cứu về môi trường trong mối quan hệ với kinh tế của một số mô hình trồng trọt đã được thực hiện. Ghasemi-Mobtaker et al. (2020) đã đánh giá về năng lượng phục vụ cho sản xuất lúa mì và mối quan hệ tổng chi phí. Kết quả cho thấy, nông dân ở miền Tây Iran phải bỏ ra 1 USD để đạt được 117,44 MJ năng lượng phục vụ sản xuất. Trong canh tác hữu cơ hạnh nhân, với điều kiện làm đất thông thường để đạt được 1 Euro lợi nhuận, nông dân ở Tây Ban Nha đã phát thải từ 0,06 đến 2,04 kg-CO₂e. Jirapornvaree et al. (2021) đã nghiên cứu về phát thải và chi phí trong canh tác lúa hữu cơ và hóa học tại Thái Lan. Trong kết quả của nghiên cứu này, canh tác hóa học đạt lợi nhuận từ 2990,3 đến 3337,5 THB/ha và canh tác hữu

cơ đạt lợi nhuận từ 4900,3 đến 9361,3 THB/ha. Để đạt được giá trị lợi nhuận cao hơn, canh tác lúa hũu cơ đã phát thai khí nhà kính nhiều hơn so với canh tác hóa học khi tính trên 1 đơn vị lúa thương phẩm, lần lượt là 4,02 và 3,07 kg-CO₂e kg⁻¹. Falcone et al. (2016) đã đánh giá tác động môi trường theo vòng đời và phân tích chi phí theo vòng đời sản phẩm đối với canh tác nho tại Ý với các kịch bản khác nhau. Kết quả đã cho thấy, đối với 1 kg nho thương phẩm, mức phát thai cao nhất là 0,329 kg-CO₂e kg⁻¹. Lợi nhuận đạt được từ canh tác nho dao động từ 0,028 đến 0,104 Euro kg⁻¹.

Kết quả nghiên cứu dựa trên phát thai và đánh đổi để đạt được hiệu quả đầu tư được thể hiện qua Bảng 3 và Bảng 6 đã cho thấy vai trò vô cùng quan trọng của việc giảm thiểu sử dụng phân bón hóa học trong canh tác. Các giải pháp nâng cao hiệu quả sử dụng phân bón sẽ góp phần giảm thiểu lượng phân bón hóa học được sử dụng cho cây trồng. Tuy nhiên, các giải pháp này thường phải được đặt trong mối quan hệ với mục tiêu ổn định năng suất cây trồng. Mặc dù vậy, trong bối cảnh nông nghiệp toàn cầu đang chuyển dịch theo hướng canh tác giảm phát thai và phát triển bền vững thì sự suy giảm năng suất cây trồng ở một giới hạn nhất định thì vẫn có tính khả thi để áp dụng. Trong nghiên cứu này, lượng phát thai khí nhà kính từ quá trình canh tác đã được đặt trong mối quan hệ với giá trị hiệu quả tài chính đạt được từ mô hình. Chỉ số phát thai/ lợi nhuận càng thấp thì mô hình canh tác càng thân thiện với môi trường và đảm bảo lợi ích kinh tế cho nông dân. Để cải thiện chỉ số này, trong trường hợp năng suất giảm thì giá bán sản phẩm phải được tăng cường. Như vậy, về mặt chính sách, Chính phủ cần có giải pháp để khuyến khích nông dân áp dụng các giải pháp canh tác giảm phát thai và các doanh nghiệp tiêu thụ các mặt hàng nông sản thân thiện với môi trường, phải tăng giá thu mua so với các sản phẩm thông thường. Trong ngắn hạn, việc tăng hiệu quả sử dụng phân bón nhằm giảm thiểu tiêu thụ phân bón hóa học có thể được thực hiện. Dựa vào các nghiên cứu trên thế giới đối với nhóm rau màu, các giải pháp sinh học sau đây đã được đề xuất. Thứ nhất, ứng dụng than sinh học. Amin and Eissa (2017) đã ứng dụng than sinh học làm từ thân cây bắp trong thí nghiệm trồng bí xanh trên giá thể từ đất cát. Kết quả cho thấy, sử dụng than sinh học làm tăng đáng kể chất hữu cơ của đất, năng suất quả tươi, hiệu quả sử dụng đạm và hiệu quả nông học của cây bí xanh. Thứ hai, sử dụng các tác nhân sinh học. Sarkar et al. (2021) đã nhấn mạnh vai trò của việc ứng dụng các nhân tố sinh học như vi sinh vật và nấm trong việc tăng cường hiệu suất sử dụng dinh

duong của cây trồng. Quản lý dinh dưỡng đất trồng có sự hỗ trợ của vi sinh vật là một lựa chọn bền vững, tiết kiệm chi phí và thân thiện với môi trường trong các hệ thống nông nghiệp bao gồm: hệ thống thảm canh, đa canh hoặc hữu cơ. Dựa vào kết quả đánh giá tổng quan các công trình nghiên cứu trước đây, Sarkar et al. (2021) kết luận rằng: Ứng dụng vi sinh vật trong canh tác nông nghiệp sẽ góp phần tránh thất thoát chất dinh dưỡng (rửa trôi, khử nitơ) và các hiện tượng ô nhiễm môi trường như: phú dưỡng hóa và thoái hóa đất. Elhaissoufi et al. (2022) đã dựa trên tổng quan các nghiên cứu về sử dụng vi khuẩn hòa tan lân và cho thấy tiềm năng ứng dụng cao trong canh tác nông nghiệp thông qua tăng cường hiệu suất sử dụng phân bón.

Mô hình trồng ót và cải xanh hiện nay đã cho thấy rằng, mặc dù canh tác ót đòi hỏi chi phí đầu tư cao, thời gian xoay vòng vốn dài nhưng lợi nhuận mang lại cao và lượng phát thai khí nhà kính là thấp hơn so với canh tác cải xanh. Vì thế, mô hình trồng ót tại huyện Hòn Đất, tỉnh Kiên Giang có sự đánh đổi phát thai/lợi nhuận trong năm 2022 là thấp hơn mô hình trồng cải xanh.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu mô hình sản xuất ót và cải xanh ở huyện Hòn Đất, tỉnh Kiên Giang trong năm 2022 đã cho thấy: Mô hình cải xanh phát thai 11.249,7 kg-CO₂e ha⁻¹ năm⁻¹, cao hơn mô hình trồng ót (7.455,5 kg-CO₂e ha⁻¹ năm⁻¹). Tuy nhiên, tính trên khối lượng sản phẩm, ót trái có mức phát thai cao hơn 2,30 lần cải xanh thương phẩm (246,5 kg-CO₂e t⁻¹ và 107,4 kg-CO₂e t⁻¹). Canh tác ót đạt lợi nhuận ($535,676 \pm 101.118$ triệu đồng ha⁻¹ năm⁻¹) cao hơn 1,37 lần so với canh tác rau cải xanh ($392,386 \pm 124.570$ triệu đồng ha⁻¹ năm⁻¹). Tuy nhiên, các chỉ số tài chính (lợi nhuận/chỉ phí, lợi nhuận/thu nhập, thu nhập/chỉ phí) của mô hình trồng cải xanh đều cao hơn mô hình trồng ót. Lợi nhuận của hai mô hình ót và cải xanh đều cao hơn giá trị sản phẩm trung bình thu được từ 1 ha đất trồng rau ở Kiên Giang và Việt Nam trong năm 2020 và 2021. Để đạt được 1.000 đồng lợi nhuận từ canh tác, trồng cải xanh đã phát thai 28,67 g-CO₂e cao hơn 2,06 lần so với trồng ót (13,92 g-CO₂e).

LỜI CẢM TẠ

Các tác giả xin được trân trọng cảm ơn PGS.TS. Yukihiro Tashiro – Phòng Thí nghiệm Đất và Vi sinh vật Môi trường, Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học Kyushu, Nhật Bản – đã tài trợ bản quyền của phần mềm MiLCA nhằm phục vụ cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Agusta, H., Handoyo, G. C., & Tambunan, A. H. (2022). Greenhouse gas emission of agricultural inputs on peatsoil at corporate and smallholder oil palm farmers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi:10.1088/1755-1315/974/1/012137
- Ali, Q., Yaseen, M. R., & Khan, M. T. I. (2019). Energy budgeting and greenhouse gas emission in cucumber under tunnel farming in Punjab, Pakistan. *Scientia Horticulturae*, 250. 168-173. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.045
- An N. T. T., & Lộc, V. T. T. (2017). Phân tích hiệu quả tài chính của nông hộ trồng ớt vùng Đồng Bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, tập 48, Phần D. 87-95. doi:10.22144/jvn.2017.633.
- Amin, A. E. E. A. Z., & Eissa, M. A. (2017). Biochar effects on nitrogen and phosphorus use efficiencies of zucchini plants grown in a calcareous sandy soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(4), 912-921. https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000400006
- Audsley, E., Stacey, K. F., Parsons, D. J., & Williams, A. G. (2009). Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use. *Cranfield University*, August 2009.
- Barla, SA., Salachas, G. & Abeliotis, K. (2020). Assessment of the greenhouse gas emissions from aeroponic lettuce cultivation in Greece. *Euro-Mediterr J Environ Integr* 5, 29 (2020). https://doi.org/10.1007/s41207-020-00168-w
- Bộ Công Thương Việt Nam. (2021). Rau quả ché biến của Việt Nam còn nhiều tiềm năng tăng trưởng xuất khẩu. <https://moit.gov.vn/tin-tuc/thi-truong-trong-nuoc/rau-quả-che-bien-cua-viet-nam-con-nhieu-tiem-nang-tang-truong-xuat-khau.html>. Ngày đăng: 15/11/2021.
- Chinh, N. M., & Nghĩa, N. Đ. (2007). *Bác sĩ cây trồng, quyển 30: Trồng chăm sóc và phòng trừ sâu bệnh rau gia vị*. NXB Nông nghiệp. Hồ Chí Minh. 62-68.
- Cục Thống kê tỉnh Kiên Giang. (2020). *Nhiên Giảm thống kê năm 2020*. NXB Thống Kê. Hà Nội.
- Cục Thống kê tỉnh Kiên Giang. (2021). Tình hình kinh tế - xã hội tháng 02 năm 2021 tỉnh Kiên Giang. *Công thông tin điện tử Bộ Kế hoạch và Đầu tư*. <https://www.mpi.gov.vn/Pages/tinbai.aspx?idTin=50081&idcm=504>
- Cúc, T. T. (2007). *Kỹ thuật trồng rau sạch: Trồng rau ăn lá*. NXB Phụ nữ. Hà Nội. 84-85.
- Danh, L. N., & Trúc, N. T. T. (2021). So sánh hiệu quả kỹ thuật mô hình nuôi cua-tôm ở tỉnh Kiên Giang và Cà Mau. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, Số 19. 20-24.
- Dật, Đ. H. (2003). *Kỹ thuật trồng rau ăn lá, rau ăn hoa và gia vị*. NXB Lao động – Xã hội. 15-18.
- Elhaissoufi, W., Ghoulam, C., Barakat, A., Zeroual, Y., & Bargaz, A. (2022). Phosphate bacterial solubilization: A key rhizosphere driving force enabling higher P use efficiency and crop productivity. *Journal of Advanced Research*, 38, 13–28. https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.08.014
- Eskander, S. M. S. U., & Nitschke, J. (2021). Energy use and CO₂ emissions in the UK universities: An extended Kaya identity analysis. *Journal of Cleaner Production*, 309(March), 127199. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127199
- Falcone, G., De Luca, A. I., Stillitano, T., Strano, A., Romeo, G., & Gulisano, G. (2016). Assessment of environmental and economic impacts of vine-growing combining life cycle assessment, life cycle costing and multicriteria analysis. *Sustainability*, 8(8). https://doi.org/10.3390/su8080793
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Value of agricultural production. *FAOSTAT*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV> (2021). Accessed 30 March 2022.
- Foteinis, S., & Chatzisymeon, E. (2016). Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture - A case study of lettuce cultivation in Greece. *J Clean Prod* 112. 2462-2471. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.075
- Ghasemi-Mobtaker, H., Kaab, A., & Rafiee, S. (2020). Application of life cycle analysis to assess environmental sustainability of wheat cultivation in the west of Iran. *Energy*, 193, 116768. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116768
- Giao, N. X. (2009). *Kỹ thuật trồng rau ở hộ gia đình*. NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ. Hà Nội. 46-48.
- Hinh, N. T. (2022). Một số giải pháp nhằm giảm phát thải khí nhà kính trong nông nghiệp Việt Nam. *Tạp chí Môi Trường* số 2/2022: Giải pháp và Công nghệ. 48-50.
- Huệ, N. M., & Trang, N. T. T. (2021). *Cá nang doanh nghiệp EVFTA và ngành rau quả Việt Nam*. NXB Công Thương. Hà Nội. 128tr.
- Huyền, T. (2016). *Kỹ thuật trồng ớt đạt hiệu quả cao*. NXB Hồng Đức. Hà Nội. 103tr.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V.

- Bex, & P. M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO978107415324>
- Jirapornvaree, I., Suppadit, T., & Kumar, V. (2021). Assessing the economic and environmental impact of jasmine rice production: Life cycle assessment and Life Cycle Costs analysis. *Journal of Cleaner Production*, 303, 127079. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127079>
- Lâm, H. X. (2020). Thực trạng tăng trưởng xanh trong nông nghiệp của Việt Nam. *Tạp chí Tài chính*, kỳ 2-Tháng 6/2020. <https://tapchitaichinh.vn/thuc-trang-tang-truong-xanh-trong-nong-nghiep-cua-viet-nam.html>
- Liêm, L. T. T., & Phước, N. T. K. (2021). Nghiên cứu hiện trạng tiêu thụ năng lượng thông qua vật tư nông nghiệp đầu vào và hiệu quả tài chính của mô hình trồng rau ăn lá tại xã Mỹ Thuận, huyện Hòn Đất, tỉnh Kiên Giang. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 57 (CĐ Môi trường & Biển đổi khí hậu). 138-147. doi:10.22144/ctu.jsi.2021.057
- Liem, L. T. T., Tashiro, Y., Tinh, P. V. T., & Sakai, K. (2022). Reduction in Greenhouse Gas Emission from Seedless Lime Cultivation Using Organic Fertilizer in a Province in Vietnam Mekong Delta Region. *Sustainability*, 14(10), 6102. <https://doi.org/10.3390/su14106102>
- Linh, T. T., Khôi, C. M., Hoàng, L. M., Chánh, T. T., & My, H. M. T. (2021). Đánh giá hiệu quả tài chính của một số hệ thống canh tác chủ yếu trên đất nhiễm mặn tại huyện Thạnh Phú, tỉnh Bến Tre và huyện U Minh Thượng, tỉnh Kiên Giang. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 57(6). 213-223. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2021.188>
- Lộc, V. T. T., An, N. T. T., Son, N. P., Thọ, H. H., Kiệt, T. H. V. T., Huân, L., & Giang, L. T. (2015). Phân tích chuỗi giá trị ớt tỉnh Đồng Tháp. *Tạp Chí Khoa Học Trường Đại Học Cần Thơ*, 38 (Phần D: Khoa học Chính trị, Kinh tế và Pháp luật), 107–119.
- Malyan, S. K., Bhatia, A., Tomer, R., Harit, R. C., Jain, N., Bhowmik, A., & Kaushik, R. (2021). Mitigation of yield-scaled greenhouse gas emissions from irrigated rice through Azolla, Blue-green algae, and plant growth-promoting bacteria. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37), 51425–51439.
- Maraseni, T. N., Cockfield, G., Maroulis, J., & Chen, G. (2010). An assessment of greenhouse gas emissions from the Australian vegetables industry. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 45(6). 578-588. <https://doi.org/10.1080/03601234.2010.493497>
- Martin-Gorriz, B., Maestre-Valero, J. F., Almagro, M., Boix-Fayos, C., & Martínez-Mena, M. (2020). Carbon emissions and economic assessment of farm operations under different tillage practices in organic rainfed almond orchards in semiarid Mediterranean conditions. *Scientia Horticulturae*, 261(July 2019), 108978. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108978>
- Myo, L. C., Nogi, A., & Hashimoto, S. (2017). Eco-efficiency assessment of material use: The case of phosphorus fertilizer usage in Japan's rice sector. *Sustainability*, 9(9), 1562. <https://doi.org/10.3390/su9091562>
- Nab, C., & Maslin, M. (2020). Life cycle assessment synthesis of the carbon footprint of Arabica coffee: Case study of Brazil and Vietnam conventional and sustainable coffee production and export to the United Kingdom. *Geography and Environment*, 7(2). <https://doi.org/10.1002/geo2.96>
- Nakashima, T., & Ishikawa, S. (2016). Energy inputs and greenhouse gas emissions associated with small-scale farmer sugarcane cropping systems and subsequent bioethanol production in Japan. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 76. 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2015.11.003>
- Nguyễn, L. T. (2020). Nghiên cứu sự phát thải khí nhà kính trong canh tác lúa nước tại Nam Định và đề xuất các giải pháp giảm thiểu. *Luận án tiến sĩ, Đại học Quốc gia Hà Nội*. Việt Nam.
- Phòng Nông nghiệp và Phát triển nông thôn huyện Hòn Đất, 2020. *Báo cáo kết quả sản xuất nông, lâm, ngư nghiệp năm 2020, kế hoạch năm 2021*. Tài liệu không xuất bản.
- Phong, L. T., & Lợi, P. T. (2012). Đánh giá tác động môi trường của sản xuất lúa ở Đồng Bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, Số 24A. 106-116.
- Phong, L. T., & Lợi, P. T. (2014). Đánh giá tác động môi trường trong canh tác bưởi (*Citrus maxima* Merr.) và xoài (*Mangifera indica* L.) ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, (31). 39-50.
- Phong, L. T., & Tâm, H. M. (2015). Ảnh hưởng môi trường của ba mô hình canh tác lúa cánh đồng mẫu lớn, GAP và truyền thống ở Đồng Bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, Phần B: Nông nghiệp, Thủ công và Công nghệ Sinh học. 64-75.
- Phương, N. T. M., Xuân, N. T., & Anh, N. T. V. (2010). *Trồng rau gia vị, rau ăn sống an toàn*. NXB Hà Nội. Hà Nội. 83-85.
- Praveen, B., & Sharma, P. (2019). A review of literature on climate change and its impacts on agriculture productivity. *J. Public Aff.*, 19, e1960. <https://doi.org/10.1002/pa.1960>

- Quyền, M. V., Nhi, L. T. V., Vinh, N. Q., Hòa, N. T., & Kiệt, N. T. (2000). *Những cây rau già vị phổ biến ở Việt Nam*. NXB Nông nghiệp. Hồ Chí Minh. 63-65.
- Reicosky, D. C., Hatfield, J. L., & Sass, R. L. (2000). *Agricultural contributions to greenhouse gas emissions. Climate Change and Global Crop Productivity*. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK. 37-55.
- Sarkar, D., Rakshit, A., Al-Turki, A. I., Sayyed, R. Z., & Datta, R. (2021). Connecting bio-priming approach with integrated nutrient management for improved nutrient use efficiency in crop species. *Agriculture (Switzerland)*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/agriculture11040372>
- Sustainable Management Promotion Organization – SuMPO. (2014). *MiLCA Guidebook*. https://milca-milca.net/downloadfiles/MiLCAGuidebook_En.pdf
- Theurl, M. C., Hörtenhuber, S. J., Lindenthal, T., & Palme, W. (2017). Unheated soil-grown winter vegetables in Austria: Greenhouse gas emissions and socio-economic factors of diffusion potential. *Journal of Cleaner Production*, 151. 134-144. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.016>.
- Thi, T. K., Hà, T. T. T., Tịnh, L. T., Hiền, N. T., & Linh, P. M. (2009). *Rau ăn lá và hoa: Trồng rau an toàn – năng suất – chất lượng cao*. NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ. 133-135.
- Thủ tướng Chính phủ, 2022. *Quyết định Phê duyệt Chiến lược phát triển nông nghiệp và nông thôn bền vững giai đoạn 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050* (số 150/QĐ-TTg). <https://chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=205277>.
- Thuận, N. C. (2022). Kỹ thuật canh tác lúa tiết kiệm nước, giảm phát thải khí nhà kính và thích ứng biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, Tập 58, Số Chuyên đề SDMD(2022). 231 - 238. doi:10.22144/ctu.jvn.2022.209
- Tín, H. Q., Cúc, N. H., Sánh, N. V., Anh, N. V., Hughes, J., Hòa, T. T., & Hà, T. T. (2012). Canh tác lúa ít khí thải nhà kính tinh An Giang vụ Đông Xuân 2010-2011. *Tạp Chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 23a, 31–41.
- Tổng cục Thống kê. (2022). *Xuất nhập khẩu hàng hóa Việt Nam 2020*. NXB Thống kê. Hà Nội. 49 – 51.
- Tổng cục Thống kê. (2021). *Nhiên Giảm Thống kê năm 2021*. NXB Thống kê. Hà Nội. Tr.509.
- Tổng cục Thống kê. (2022). *Thành tựu của ngành trồng trọt – một năm nhìn lại*.
- www.gso.gov.vn/du-lieu-va-so-lieu-thong-ke/2022/01/thanh-tuu-cua-nganh-trong-trot-mot-nam-nhin-lai/. Ngày đăng: 11/01/2022
- Tongwane, M., Mdlambuzi, T., Moeletsi, M., Tsubo, M., Mliswa, V., & Grootboom, L. (2016). Greenhouse gas emissions from different crop production and management practices in South Africa. *Environmental Development*, 19. 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2016.06.004>
- Trang, B. T. T., Huân, C. S., Trịnh, M. V., & Hưng, Đ. T. (2021). Đánh giá độ nhạy các thông số và hiệu chỉnh mô hình DNDC phục vụ tính toán phát thải khí nhà kính từ hoạt động canh tác lúa nước. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*. doi: 10.31276/VJST.63(6).11-17.
- Trang, B. T. T., Loan, B. T. P., Thêm, L. T. T., & Hằng, V. T. (2019). Nghiên cứu phát thải khí oxít nito (N_2O) trên một số loại đất trồng ngô việt nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số tháng 10 – 2019.
- Trang, N. T., Hải, T. M., Tú, V. H., & Khải, H. V. (2018). Phân tích hiệu quả kinh tế mô hình lúa – tôm tại huyện An Biên, tỉnh Kiên Giang. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 54(9). 149-156. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2018.191>
- Trinh, L. T. K., Hu, A. H., Lan, Y. C., & Chen, Z. H. (2020). Comparative life cycle assessment for conventional and organic coffee cultivation in Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(3), 1307-1324. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02539-5>
- Tubiello, F., Conchedda, G. & Obli-Layrea, G. (2020). The share of agriculture in total greenhouse gas emission: Global, regional and country trends. *FAOSTAT Analytical Brief Series No 1*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26571.62241>
- Văn. K. Đ, Hoàng, T., Anh, L. H., & Rotter, V. S. (2020). Úng dụng mô hình DNDC tính toán phát thải khí nhà kính từ hoạt động canh tác lúa nước tại huyện Cái Bè - Tiền Giang. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, số 44, 2020. 118-131. <https://doi.org/10.46242/jst-iuh.v44i02.577>
- Zhang, F., Liu, F., Ma, X., Guo, G., Liu, B., Cheng, T., Liang, T., Tao, W., Chen, X., & Wang, X. (2021). Greenhouse gas emissions from vegetables production in China. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128449. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128449>
- Zhu, Y., & Huo, C. (2022). The impact of agricultural production efficiency on agricultural carbon emissions in China. *Energies*, 15(12), 4464. <https://doi.org/10.3390/en15124464>