

DOI:10.22144/ctujos.2025.073

PHÂN TÍCH ĐÁNH ĐỔI PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH - HIỆU QUẢ KINH TẾ TRÊN MÔ HÌNH CANH TÁC NÔNG NGHIỆP TỈNH SÓC TRĂNG

Nguyễn Văn Hoàng Thanh¹, Nguyễn Thị Hồng Diệp^{2*}, Nguyễn Trọng Nguyễn² và Phan Kỳ Trung³

¹Chi nhánh Văn phòng Đăng ký Đất đai huyện Tân Hiệp, tỉnh Kiên Giang, Việt Nam

²Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

³Viện Nghiên cứu Biến đổi khí hậu, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): nthdiep@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 02/01/2025

Sửa bài (Revised): 10/03/2025

Duyệt đăng (Accepted): 16/04/2024

Title: Analysis of the trade-off between greenhouse gas emissions and economic efficiency in agricultural models in Soc Trang province

Author(s): Nguyen Van Hoang Thanh¹, Nguyen Thi Hong Diep^{2*}, Nguyen Trong Nguyen² and Phan Ky Trung³

Affiliation(s): ¹Branch of the Land Registration Office in Tan Hiep District, Kien Giang Province, Viet Nam;

²College of Environment and Natural Resources, Can Tho University, Viet Nam; ³Research Institute for Climate Change, Can Tho University, Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu đã ước tính lượng phát thải khí nhà kính (KNK) và phân tích đánh đổi hiệu quả kinh tế trên từng mô hình canh tác sử dụng đất nông nghiệp tại tỉnh Sóc Trăng. Ảnh vệ tinh Sentinel-1 được áp dụng để xây dựng bản đồ hiện trạng cơ cấu mùa vụ và ước tính hệ số phát thải KNK theo hướng dẫn của IPCC. Sau đó việc phân tích đánh giá hiệu quả kinh tế dựa trên lượng phát thải được tiến hành. Kết quả ước tính cho thấy lượng phát thải cao nhất thuộc về mô hình lúa ba vụ với 7.566,36 kg CO₂tđ/ha/năm, trong khi mô hình phát thải thấp nhất là lúa 1 vụ với 2.324,99 kg CO₂tđ/ha/năm. Kết quả phân tích đánh đổi hiệu quả kinh tế cho thấy trên cùng đơn vị lợi nhuận, mô hình lúa ba vụ có mức phát thải cao nhất, với 83,41 kg CO₂tđ/triệu đồng, trong khi hành tím có mức đánh đổi thấp nhất, chỉ 5,75 kg CO₂tđ/triệu đồng. Kết quả nghiên cứu cung cấp thông tin quan trọng về phát thải KNK từ các loại hình canh tác nông nghiệp tại địa phương.

Từ khóa: Hệ số đánh đổi, khí nhà kính, sentinel-1, Sóc Trăng

ABSTRACT

The study estimated greenhouse gas (GHG) emissions and analyzed the trade-offs in economic efficiency across different agricultural land-use models in Sóc Trăng province. The research methodology utilized Sentinel-1 satellite imagery to map the current cropping structure. It estimated GHG emission factors following the IPCC (2019) guidelines, followed by an economic efficiency analysis based on emission levels. The results indicated that the highest emission level was associated with the triple rice cropping system, reaching 7,566.36 kg CO₂e/ha/year. In contrast, the lowest emissions were observed in the single rice crop system at 2,324.99 kg CO₂e/ha/year. The economic trade-off analysis revealed that the triple rice cropping model had the highest emission intensity, with 83.41 kg CO₂e per million VND. In contrast, shallot cultivation had the lowest trade-off rate, with only 5.75 kg CO₂e per million VND. These findings provide essential insights into GHG emissions from different agricultural systems at the local level.

Keywords: Greenhouse gases, sentinel-1, Soc Trang, trade-off

1. GIỚI THIỆU

Phát thải khí nhà kính (KNK), bao gồm carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) và nitrous oxide (N₂O) đang gia tăng trên toàn cầu do các hoạt động của con người (Shakoor et al., 2021). Các khí này giữ nhiệt trong tầng thấp của khí quyển, làm gia tăng biến đổi khí hậu (Montzka et al., 2011). Theo Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC), phát thải KNK toàn cầu được chia thành năm lĩnh vực phát thải chính: năng lượng, công nghiệp, tòa nhà, giao thông vận tải và AFOLU (nông nghiệp, lâm nghiệp và các hình thức sử dụng đất khác) (IPCC, 2006). Trong đó, lĩnh vực AFOLU có vai trò đặc biệt quan trọng trong phát thải khí nhà kính toàn cầu (Lamb et al., 2023; Murawska & Goryńska-Goldmann, 2023).

Nông nghiệp và biến đổi khí hậu có nhiều mối liên hệ chặt chẽ (Frank et al., 2017). Một mặt, biến đổi khí hậu tác động mạnh mẽ đến sản xuất nông nghiệp, đặc biệt là ở các khu vực nhiệt đới, nơi năng suất có thể bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi biến đổi khí hậu (Malhi et al., 2021; Bibi & Rahman, 2023; Tran et al., 2024; Yuan et al., 2024). Mặt khác, nông nghiệp là một phần của lĩnh vực AFOLU (nông nghiệp, lâm nghiệp và các hình thức sử dụng đất khác), cũng đóng góp một phần lớn vào tổng lượng phát thải KNK toàn cầu (Jantke et al., 2020; Panchasara et al., 2021; Ning et al., 2024). Theo Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên Hợp Quốc (FAO), phát thải từ nông nghiệp, lâm nghiệp và thủy sản đã tăng gần gấp đôi trong vòng 50 năm qua và dự kiến sẽ tăng thêm 30% vào năm 2050 (FAO, 2015). Lĩnh vực nông nghiệp chiếm khoảng 14% tổng lượng phát thải KNK toàn cầu (European Environment Agency, 2019) và từ 7 đến 9% tổng lượng phát thải KNK hàng năm tại các quốc gia nhiệt đới đang phát triển (Smith et al., 2014).

Nông nghiệp bền vững là mục tiêu dài hạn của Việt Nam, bởi nông nghiệp luôn giữ vai trò quan trọng trong nền kinh tế quốc gia (Nguyen & Hoang, 2022). Sự suy giảm năng suất nông nghiệp, đặc biệt là do biến đổi khí hậu, có thể dẫn đến giá lương thực tăng cao, ảnh hưởng nghiêm trọng đến an ninh lương thực, đặc biệt tại các nước đang phát triển, nơi dễ bị tổn thương cao (FAO, 2016). Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), vùng hạ lưu sông Mê Kông, là một trong những khu vực nông nghiệp trù phú nhất của Việt Nam, với 81% diện tích đất tự nhiên được sử dụng cho mục đích nông nghiệp (Mai et al., 2014; Dao et al., 2020). Sóc Trăng là một tỉnh ven biển thuộc ĐBSCL và nông nghiệp đóng vai trò kinh tế chủ đạo với tổng diện tích đất nông nghiệp chiếm

280.384 ha, tương đương 84,66% diện tích tự nhiên (Ministry of Agriculture and Rural Development, 2016).

Trong điều kiện thị trường và cơ sở hạ tầng hoạt động hiệu quả, một lựa chọn kinh tế khả thi để tăng thu nhập từ nông nghiệp là chuyên canh cây trồng mang lại lợi nhuận cao nhất, phù hợp với điều kiện đất đai, khí hậu và thời tiết (Lambin & Meyfroidt, 2011; Klasen et al., 2016). Tuy nhiên, việc chuyên canh này thường đi kèm với nguy cơ rủi ro về môi trường và làm mất cân bằng sinh thái (Klasen et al., 2013; Sidhoum et al., 2022). Dưới bối cảnh biến đổi khí hậu và áp lực gia tăng đối với môi trường, việc phân tích sự đánh đổi phát thải KNK cho hiệu quả kinh tế trong nông nghiệp là cách tiếp cận quan trọng để đánh giá mối quan hệ giữa kinh tế và môi trường, giúp định hướng phát triển bền vững cho hệ thống canh tác nông nghiệp (Martin-Goriz, 2019; Nguyen & Le, 2023).

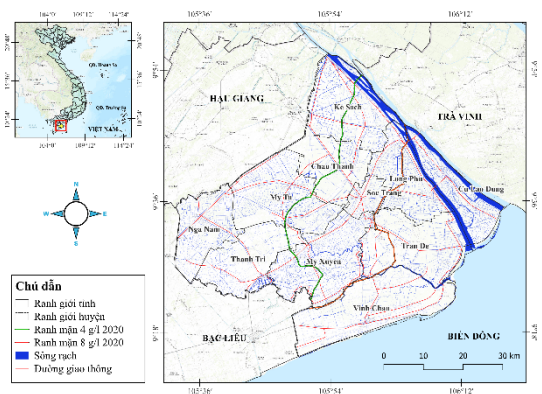
Xuất phát từ thực tế trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục tiêu ước tính hệ số đánh đổi phát thải KNK cho hiệu quả kinh tế trên các mô hình canh tác nông nghiệp tại tỉnh Sóc Trăng. Kết quả nghiên cứu là cơ sở lựa chọn các mô hình nông nghiệp tối ưu và đề xuất các biện pháp giảm thiểu phát thải KNK, từ đó hướng đến sự phát triển bền vững tại địa phương.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu

Tỉnh Sóc Trăng nằm ở cửa Nam sông Hậu, có diện tích tự nhiên 3.311,76 km², Sóc Trăng có đường bờ biển dài 72 km cùng ba cửa sông lớn: Định An, Trần Đề và Mỹ Thanh, giúp giao thông đường thủy và kinh tế biển phát triển mạnh mẽ (Hình 1). Địa hình của tỉnh thấp và tương đối bằng phẳng, mang dạng lòng chảo, cao ở phía sông Hậu và thấp dần vào các vùng ven biển. Nhờ hệ thống sông ngòi chằng chịt chịu ảnh hưởng của thủy triều, Sóc Trăng thuận lợi trong việc phát triển nông nghiệp và du lịch sinh thái (Soc Trang Provincial Electronic Portal, 2018a).

Sóc Trăng nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, chia thành hai mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10 và mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Nhiệt độ trung bình năm 26,8°C, độ ẩm cao (83%) và lượng mưa dồi dào (1.864 mm/năm), tạo điều kiện lý tưởng cho cây lúa và hoa màu phát triển (Soc Trang Provincial Electronic Portal, 2018b).



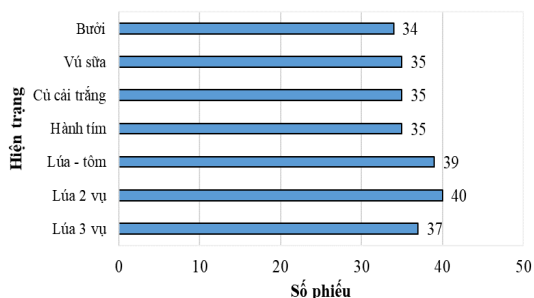
Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu tỉnh Sóc Trăng

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Dữ liệu nghiên cứu

– Dữ liệu ảnh viễn thám: Bộ ảnh Sentinel-1A (“COPERNICUS/S1_GRD”) được thu thập thông qua nền tảng Google Earth Engine từ ngày 1/1/2022 đến 31/12/2022. Bộ ảnh Sentinel-1A có chu kỳ lặp 12 ngày, có độ phân giải không gian 10 m. Dữ liệu được chuẩn hóa theo hệ quy chiếu WGS 84 Zone 48N (EPSG: 32648).

– Điều tra phỏng vấn nông hộ: Các dữ liệu đầu vào phục vụ cho việc tính toán lượng phát thải KNK và phân tích đánh đổi hiệu quả kinh tế được thu thập bằng cách phỏng vấn nông hộ tại Sóc Trăng. Với tổng số phiếu phỏng vấn được là 255 phiếu khảo sát tập trung tại huyện Thanh Trì, Mỹ Xuyên, thị xã Vĩnh Châu và huyện Kế Sách tỉnh Sóc Trăng. Cụ thể số lượng phiếu phỏng vấn cho từng mô hình canh tác được thể hiện ở (Hình 2).



Hình 2. Số lượng phiếu phỏng vấn các mô hình canh tác

Nội dung phỏng vấn tập trung vào các thông tin chung của nông hộ, hình thức canh tác, lượng phân bón và nhiên liệu sử dụng, cùng các thông tin kinh tế như sản lượng, giá bán, thu nhập và chi phí, nhằm phân tích đặc điểm và hiệu quả sản xuất của từng mô hình. Số lượng mẫu khảo sát được xác định trên cơ

sở mục tiêu nghiên cứu, mức độ phổ biến của các mô hình canh tác trong khu vực và ý kiến của cán bộ chuyên môn địa phương. Quá trình phỏng vấn được thực hiện với sự tham gia và hỗ trợ của cán bộ nông nghiệp địa phương, giúp đảm bảo các mẫu được chọn có đặc điểm canh tác phù hợp với thực tế sản xuất, đảm bảo tính đồng nhất về đặc điểm canh tác chung của vùng, tập trung vào các mô hình chủ lực cũng như các hình thức canh tác mới cần được đánh giá.

2.2.2. Phương pháp thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp

Tiền xử lý ảnh

Bộ ảnh được giới hạn khu vực nghiên cứu bằng cách sử dụng shapefile ranh giới được nhập vào Google Earth Engine. Ảnh được cắt theo ranh giới nhằm tối ưu hóa tài nguyên tính toán và đảm bảo kết quả phân tích tập trung vào khu vực cần nghiên cứu.

Bộ ảnh Sentinel-1A sau khi giới hạn khu vực nghiên cứu được trích xuất phân cực VV và VH trung bình theo tháng và tổ hợp thành 24 band (tương ứng với 12 tháng với cả hai phân cực) làm dữ liệu đầu vào cho phân loại.

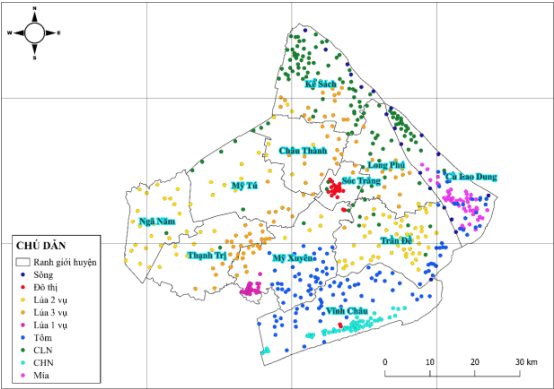
Phân loại có kiểm soát

Trên Google Earth Engine, việc phân loại có kiểm soát bằng thuật toán Random Forest được tạo lập bằng hàm ee.Classifier.smileRandomForest với số lượng cây quyết định là 30 trên vùng mẫu gồm 10 hiện trạng bao gồm: (1) sông rạch, (2) đô thị, (3) lúa tôm, (4) lúa 2 vụ, (5) lúa 3 vụ, (6) nuôi trồng thủy sản, (7) cây lâu năm, (8) cây hàng năm khác, (9) mía và (10) rừng.

Đánh giá độ tin cậy

Trong nghiên cứu này, 606 điểm khảo sát được thu thập thông qua khảo sát thực địa và Google Earth năm 2022 được sử dụng để đánh giá độ tin cậy theo 02 thông số gồm độ chính xác toàn cục (T%) và chỉ số Kappa (K) (Khan et al., 2024). Vị trí các điểm khảo sát được trình bày ở Hình 3.

Độ tin cậy của kết quả phân loại được đánh giá thông qua chỉ số Kappa, với các mức phân loại như sau (Bảng 1):



Hình 3. Vị trí điểm khảo sát hiện trạng

Bảng 1. Khoảng giá trị Kappa phân loại

STT	Độ tin cậy	Giá trị Kappa
1	Kém	$K < 0,2$
2	Trung bình - kém	$0,2 \leq K < 0,4$
3	Trung bình	$0,4 \leq K < 0,6$
4	Tốt	$0,6 \leq K < 0,8$
5	Rất tốt	$0,8 \leq K < 1,0$

Nguồn: Congalton & Green, 1999

2.2.3. Phương pháp ước tính phát thải KNK

Hoạt động bón phân: Việc sử dụng phân bón Urê trong trồng trọt nhằm thúc đẩy cây trồng tăng trưởng và phát triển đã dẫn đến phát thải một lượng KNK CO₂. Trong nghiên cứu này, lượng phát thải khí nhà kính trên hoạt động bón phân chỉ được tổng hợp từ số liệu bón phân ure của các hộ canh tác, không bao gồm các loại phân bón khác. Lượng phát thải CO₂ (kg/năm/ha) được tính toán dựa trên công thức (3) của IPCC (2019):

$$\text{Phát thải CO}_2 = M \times EF \times 44/12 \quad (3)$$

Trong đó: M là lượng phân urê sử dụng trong một năm trên 1 héc ta (kg urê/năm/ha) và EF là hệ số phát thải carbon (kg C/kg urê), với giá trị cố định là 0,2. Kết quả được chuyển đổi từ carbon (C) sang khí CO₂ với hệ số chuyển đổi 44/12.

Phát thải N₂O từ phụ phẩm trồng trọt: Phát thải N₂O trong nông nghiệp được ước tính qua hai nguồn phát thải chính. Thứ nhất, phát thải trực tiếp từ phụ phẩm cây trồng khi bị phân hủy trong đất, giải phóng N₂O. Thứ hai, phát thải gián tiếp do quá trình nitrat hóa và khử nitrat, trong đó các ion NH₄⁺ và NO₃⁻ bị biến đổi trong đất thành N₂O. Lượng phát thải N₂O từ phụ phẩm trồng trọt được tính theo công thức (4) (IPCC, 2019):

(1) Phát thải trực tiếp

Phát thải N₂O (kg/năm/ha) trực tiếp từ phụ phẩm trồng trọt được tính theo công thức (4):

$$\text{Phát thải N}_2\text{O} = F_{cr} \times EF_{cr} \times 44/28 \quad (4)$$

Trong đó: F_{cr} là phụ phẩm cây trồng (kg N/năm/ha), EF_{cr} là hệ số phát thải trực tiếp của phụ phẩm trồng trọt, EF_{cr} = 0,01 trong trường hợp phụ phẩm nông nghiệp (trên và dưới mặt đất), bổ sung lại cho đất, 44/28 là hệ số chuyển đổi N (N₂O – N) sang N₂O.

Phụ phẩm cây trồng (F_{cr}) được tính theo công thức (5) (IPCC, 2019):

$$F_{cr} = AG_{DM} \times N_{AG} \times (1 - \text{Frac}_{\text{Remove}} - (\text{Frac}_{\text{Burnt}} \times C_f)) + B_{GR} \times N_{BG} \quad (5)$$

Trong đó: AG_{DM} là tổng lượng tàn dư cây trồng trên mặt đất hàng năm trên 1 héc-ta (kg/năm/ha). N_{AG} là hàm lượng N trong các chất còn lại trên mặt đất, Frac_{Remove} là phần dư lượng trên mặt đất bị loại bỏ (kg N/kg cây trồng-N), C_f là hệ số đốt, B_{RG} là tỷ lệ chất còn lại trên mặt đất so với sản lượng (kg/ha), N_{BG} là hàm lượng N trong các chất còn lại dưới mặt đất và Frac_{Burnt} là phần diện tích thu hoạch hàng năm bị cháy.

Tổng lượng tàn dư (AG_{DM}) được tính theo công thức (6):

$$AG_{DM} = \text{Crop} \times R_{AG} \quad (6)$$

Trong đó: R_{AG} là tỷ lệ chất khô còn sót lại trên mặt đất (kg/ha), Crop là năng suất chất khô thu hoạch (kg/ha) được tính theo công thức (7):

$$\text{Crop} = \text{Yield Fresh} \times \text{DRY} \quad (7)$$

Trong đó: Yield Fresh là năng suất tươi thu hoạch (kg/ha), DRY là phần chất khô của cây trồng.

Tỷ lệ chất còn lại trên mặt đất so với sản lượng (B_{GR}) (kg/ha) được tính theo công thức (8):

$$B_{GR} = (\text{Crop} + AG_{DM}) \times RS \times \text{Frac}_{\text{Renew}} \quad (8)$$

Trong đó: RS là tỷ lệ sinh khối rễ dưới mặt đất so với sinh khối chồi trên mặt đất (kg/ha), Frac_{Renew} là hệ số diện tích cây trồng được thay mới hàng năm, đối với cây trồng hàng năm Frac_{Renew} = 1.

(2) Phát thải gián tiếp

Lượng Nitơ với dạng NO₃⁻ được hấp thụ vào đất một lần nữa, quá trình nitrat hóa và khử nitrat biến đổi một số NH₄⁺ và NO₃⁻ tạo thành N₂O. Lượng N₂O phát thải trong quá trình này được tính theo công thức (9):

$$N_2O = [(F_{SN} + F_{CR}) \times \text{Frac}_{\text{LEACH-(H)}} \times EF] \times 44/28 \quad (9)$$

Trong đó: F_{SN} : Lượng phân bón tổng hợp N bón vào đất (kg N/năm), F_{CR} là lượng Nito trong phụ phẩm cây trồng (kg N/năm), $Frac_{LEACH-(H)}$ là tỷ lệ phần trăm nito (N) từ phân bón bị mất qua quá trình rửa trôi/dòng chảy, EF là hệ số phát thải và 44/28 là hệ số chuyển đổi $N_2O - N$ sang N_2O .

Phát thải CO_2 từ hoạt động tiêu thụ nhiên liệu:
Việc sử dụng nhiên liệu trong quá trình canh tác nông nghiệp cũng góp phần phát thải một lượng lớn KNK ra môi trường. Các loại nhiên liệu chính được sử dụng trong nông nghiệp bao gồm xăng và dầu. Để đảm bảo tính nhất quán, các loại nhiên liệu được chuyển đổi về cùng một đơn vị (từ $m^3/năm$ sang tấn/năm và TJ/năm) theo hướng dẫn của IPCC (2019). Lượng phát thải KNK trong quá trình sử dụng nhiên liệu (kg/ha) được tính toán dựa trên công thức (10) (11) của IPCC (2019):

$$\text{Phát thải } CO_2, CH_4, N_2O = AD_i \times EF_i \quad (10)$$

Trong đó: AD là lượng tiêu thụ nhiên liệu (TJ/năm), EF_i hệ số phát thải CO_2, CH_4, N_2O theo loại nhiên liệu i (kg CO_2, CH_4, N_2O /TJ) (Bảng 2) và i là loại nhiên liệu.

Hệ số phát thải của xăng và dầu trong quá trình sử dụng nhiên liệu tại Việt Nam theo quyết định số 2626 của Bộ Tài nguyên và Môi trường (Ministry of Natural Resources and Environment, 2022) được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Hệ số phát thải của nhiên liệu xăng, dầu

Nhiên liệu	CO_2	CH_4	N_2O
Xăng	69.300	10	0,6
Dầu diesel	74.100	10	0,6

Đơn vị: kg/TJ

2.2.4. Phát thải từ các hoạt động khác

– Phát thải từ hoạt động canh tác lúa: trong quá trình canh tác lúa, sự phân hủy các chất hữu cơ tạo ra khí CH_4 . Lượng CH_4 phát thải hàng năm trên 1 héc-ta phụ thuộc vào nhiều yếu tố gồm thời gian canh tác, chế độ nước trước và thời điểm canh tác, cũng như các chất hữu cơ và vô cơ cải tạo đất được tính theo công thức (12) (IPCC, 2019).

$$\text{Phát thải } CH_{4Lúa} = EF \times t \quad (12)$$

Trong đó: t là thời gian canh tác lúa (số ngày), EF là hệ số phát thải CH_4 hàng ngày (kg CH_4 /ha/ngày).

Hệ số phát thải EF được tính theo công thức (13):

$$EF = EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o \quad (13)$$

Trong đó: EF_c là hệ số phát thải các vùng ngập liên tục không sử dụng chất bổ sung hữu cơ (1,22 kg CH_4 /ha/ngày đối với khu vực Đông Nam Á theo hệ số điều chỉnh của IPCC năm 2019), SF_w là hệ số tỷ lệ khác biệt của chế độ nước trong giai đoạn canh tác (SF_w là 0,6 trong điều kiện ruộng có tưới), SF_p là hệ số tỷ lệ khác biệt của chế độ nước trước khi canh tác (SF_p là 1 đối với lúa 3 vụ, lúa 2 vụ với số ngày không ngập trước mùa vụ < 180 ngày), SF_p là 0,89 đối với lúa 1 vụ với số ngày ngập nước > 180 ngày, SF_o là hệ số tỷ lệ điều chỉnh theo loại và lượng chất hữu cơ bổ sung, được tính theo công thức (14):

$$SF_o = (1 + \sum_i ROA_i \times CFAO_i)^{0,59} \quad (14)$$

Trong đó: ROA là lượng phân bón hữu cơ (tính theo trọng lượng khô đối với rơm rạ, trọng lượng tươi đối với các loại khác) (tấn/ha), CFAO là hệ số chuyển đổi của phân bón hữu cơ i.

– Phát thải từ hoạt động đốt rơm rạ: Đốt sinh khối từ các hoạt động đốt rơm rạ sau thu hoạch phát thải CH_4 và N_2O , lượng phát thải được tính theo công thức của IPCC (2019).

$$\text{Phát thải } CO_2, CH_4, N_2O = M_B \times C_f \times EF \quad (15)$$

Trong đó: Phát thải CO_2, CH_4, N_2O là lượng phát thải CO_2, CH_4, N_2O (kg/năm), M_B là khối lượng nhiên liệu sẵn có cho quá trình cháy (kg/ha), C_f là hệ số đốt và EF là hệ số phát thải của từng loại khí CH_4, N_2O (g/kg chất khô cháy).

Hệ số đốt (C_f) và hệ số phát thải (EF) của CH_4, N_2O trong canh tác lúa được trình bày ở bảng 3.

Bảng 3. Hệ số đốt và hệ số phát thải trong canh tác lúa

Hoạt động	C_f	EF		
		CO_2	CH_4	N_2O
Canh tác lúa	0,8	1.722	2,7	0,07

2.3. Phương pháp quy đổi các loại KNK sang CO_{2td}

Dựa theo báo cáo lần thứ 6 (AR6) của Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC, 2022), hệ số quy đổi các loại KNK sang CO_{2td} được trình bày theo công thức (16):

$$1 \text{ } CO_{2td} = 1 \text{ } CO_2 = 27 \text{ } CH_4 \text{ [1 } CH_4 = 27 \text{ } CO_{2td}] = 273 \text{ } N_2O \text{ [1 } N_2O = 273 \text{ } CO_{2td}] \quad (16)$$

2.4. Phương pháp phân tích đánh đổi phát thải KNK cho hiệu quả kinh tế

Hệ số đánh đổi phát thải KNK cho hiệu quả kinh tế trên từng mô hình canh tác được tính toán theo công thức (17) (Nguyen & Le, 2023):

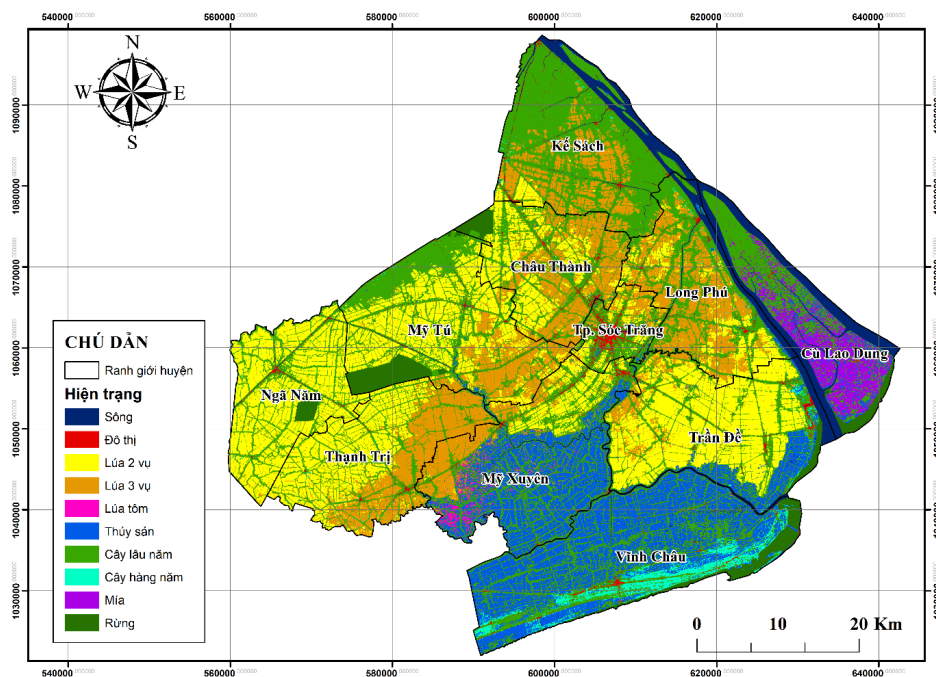
Hệ số đánh đổi ($\text{Kg CO}_{2\text{td}}/\text{triệu đồng}$) = Lượng phát thải/hiệu quả kinh tế (17)

Trong đó: Lượng phát thải ($\text{Kg CO}_{2\text{td}}/\text{ha/năm}$) là tổng lượng phát thải của từng mô hình trong năm trên 1 đơn vị ha, hiệu quả kinh tế (triệu đồng/ha/năm) trên từng mô hình canh tác trong nghiên cứu này được xác định dựa trên lợi nhuận, được tính bằng hiệu số giữa tổng thu nhập từ canh tác nông nghiệp trong năm trên 1 đơn vị ha (triệu đồng/ha/năm) và chi phí đầu tư trong năm trên từng mô hình canh tác (triệu đồng/ha/năm)

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hiện trạng sử dụng đất tỉnh Sóc Trăng năm 2022

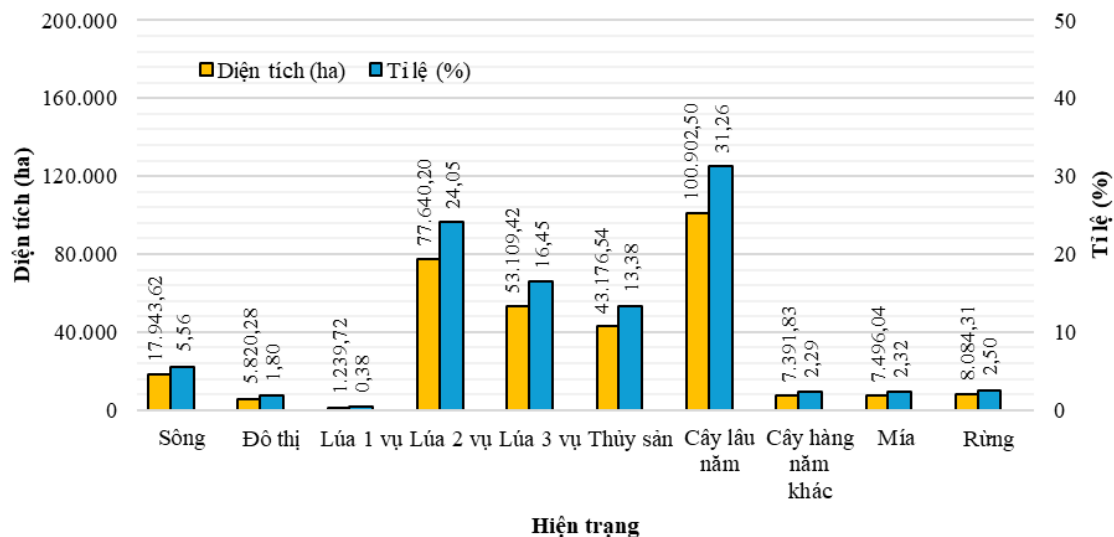
Hiện trạng sử dụng đất tỉnh Sóc Trăng năm 2022 được phân loại gồm 10 nhóm hiện trạng bao gồm sông, đô thị, lúa tôm luân canh, lúa 2 vụ, lúa 3 vụ, cây hàng năm khác, cây lâu năm, mía, rừng, thủy sản (Hình 4) với độ tin cậy đạt mức rất tốt, trong đó độ chính xác toàn cục và hệ số Kappa lần lượt là 92,08% và 0,91.



Hình 4. Bản đồ hiện trạng của tỉnh Sóc Trăng năm 2022

Dựa trên bản đồ hiện trạng năm 2022 của tỉnh Sóc Trăng, cơ cấu sử dụng đất nông nghiệp chủ yếu gồm canh tác lúa 2 vụ và cây lâu năm, với tổng diện tích chiếm 55,31% diện tích tự nhiên của tỉnh (Hình 3). Trong đó, lúa 2 vụ đạt 77.640,2 ha (24,05%), tập trung chủ yếu tại năm huyện: Mỹ Tú, Thạnh Trị, Trần Đề, Châu Thành và thị xã Ngã Năm, trong đó diện tích lớn nhất thuộc về thị xã Ngã Năm và huyện Trần Đề. Cây lâu năm có tổng diện tích 100.902,5 ha (31,26%), tập trung nhiều nhất tại huyện Kế Sách với các loại cây chủ lực như bưởi, vú sữa và xoài. Tiếp đến là lúa 3 vụ với diện tích 53.109,42 ha (16,45%), chủ yếu tập trung tại phía Nam huyện Kế Sách, một phần huyện Thạnh Trị, Mỹ Xuyên, Long

Phủ và Châu Thành. Trong khi đó, lúa tôm chỉ chiếm 1.239,72 ha (0,38%) và tập trung chủ yếu ở các vùng nước lợ, đặc biệt tại xã Gia Hòa 2, huyện Mỹ Xuyên. Đất nuôi trồng thủy sản có diện tích 43.176,54 ha (13,38%), phân bố chủ yếu tại các huyện/thị xã ven biển như huyện Mỹ Xuyên, thị xã Vĩnh Châu và một phần huyện Trần Đề. Mía là hiện trạng đặc trưng và chủ lực của huyện Cù Lao Dung với diện tích 7.496,04 ha (2,32%). Cây hàng năm khác chiếm 7.391,83 ha (2,29%), phân bố chủ yếu tại thị xã Vĩnh Châu, huyện Cù Lao Dung. Ngoài ra, tỉnh Sóc Trăng còn có hệ thống sông rạch chằng chịt với 17.943,62 ha (5,56%), diện tích rừng tự nhiên và rừng trồng đạt 8.084,31 ha (2,50%), đất xây dựng công trình chiếm 5.820,28 ha (1,80%).



Hình 5. Diện tích phân bố hiện trạng sử dụng đất tỉnh Sóc Trăng năm 2022

Từ kết quả thành lập bản đồ hiện trạng, các điểm phỏng vấn được xác định nhằm đảm bảo phản ánh đầy đủ các loại hình canh tác phổ biến tại địa phương. Dữ liệu từ phỏng vấn sau đó được sử dụng để tính toán lượng phát thải KNK và phân tích hiệu quả kinh tế trên từng mô hình.

3.2. Kết quả tính toán lượng phát thải KNK

Trong nghiên cứu này, việc tính toán phát thải khí nhà kính được thực hiện đối với các mô hình canh tác nông nghiệp bao gồm canh tác lúa, cây hàng năm khác và cây lâu năm. Đối với hiện trạng lúa – tôm luân canh, việc tính toán phát thải khí nhà kính được áp dụng cho vụ lúa đông xuân (từ tháng

12 đến tháng 3), nuôi trồng thủy sản không được bao gồm trong phạm vi nghiên cứu.

3.2.1. Lượng phát thải KNK của mô hình canh tác lúa

Các nguồn phát thải từ hiện trạng lúa bao gồm: (1) phân hủy chất hữu cơ, (2) đốt rơm rạ, (3) sử dụng phân bón, (4) phụ phẩm và (5) tiêu hao nhiên liệu. Kết quả thống kê lượng phát thải KNK theo từng mô hình canh tác lúa được trình bày trong Bảng 4. Trong đó, lúa 3 vụ là hiện trạng phát thải KNK cao nhất với 7.566,36 kg CO₂td/ha/năm, kế đến là lúa 2 vụ và lúa 1 vụ với lượng phát thải KNK lần lượt là 5.243,50 kg CO₂td/ha/năm và 2.324,99 kg CO₂td/ha/năm.

Bảng 4. Lượng phát thải KNK của mô hình canh tác lúa

Nguồn phát thải	Loại KNK	Phân hủy CHC	Đốt rơm rạ	Bón phân	Phụ phẩm		Tiêu thụ nhiên liệu	
					Trực tiếp	Gián tiếp	Xăng	Dầu
Lúa 3 vụ	CO ₂	-	112,95	262,18	-	-	54,04	349,59
	CH ₄	210,24	0,26	-	-	-	0,01	0,05
	N ₂ O	-	0,01	-	1,72	2,31	0,00	0,00
Lúa 2 vụ	CO ₂	-	85,63	179,04	-	-	42,31	208,33
	CH ₄	151,84	0,20	-	-	-	0,01	0,03
	N ₂ O	-	0,01	-	1,16	1,12	0,00	0,00
Lúa 1 vụ	CO ₂	-	98,38	129,22	-	-	7,55	49,21
	CH ₄	64,35	0,23	-	-	-	0,00	0,01
	N ₂ O	-	0,01	-	0,58	0,50	0,00	0,00

(Đơn vị: kg/ha/năm)

Phát thải từ quá trình phân hủy yếm khí chất hữu cơ trong điều kiện ngập nước chiếm 74,06% tổng

lượng phát thải trong canh tác lúa, cho thấy đây là nguồn phát thải chính. Bên cạnh đó, phụ phẩm nông

ngành cũng đóng góp đáng kể, chiếm 15,61% tổng lượng phát thải KNK. Các hoạt động khác như bón phân, sử dụng nhiên liệu và đốt rơm rạ có tỷ trọng phát thải thấp hơn, với tổng phát thải chiếm 10%. Trong đó, lượng rơm rạ cho mục đích đốt có sự khác biệt giữa các mô hình canh tác: lúa 3 vụ chiếm 38,24%, lúa 2 vụ chiếm 43,36%, và mô hình lúa 1 vụ có tỷ lệ đốt rơm rạ cao nhất, lên đến 54,84%. Phần rơm rạ còn lại được thương lái thu mua và tái sử dụng làm phân rơm hoặc thức ăn cho gia súc, góp phần giảm thiểu lượng phát thải từ việc đốt sinh khối.

3.2.2. *Lượng phát thải khí nhà kính trên các mô hình canh tác cây hàng năm*

Nghiên cứu này tập trung vào việc lựa chọn mô hình canh tác cây hàng năm, cụ thể là hành tím và củ cải trắng, để ước tính lượng phát thải KNK từ hai loại hình canh tác này. Đây là hai loại cây được trồng phổ biến trên đất giồng cát tỉnh Sóc Trăng (Quan, 2013; Vu, 2022), với tổng diện tích tại các hộ khảo sát lần lượt là 9,83 ha đối với hành tím và 13,15 ha đối với củ cải trắng. Trong đó, hành tím được gieo trồng 03 vụ trong năm (hành sớm, hành

chính vụ và hành giống) và củ cải trắng trồng từ 2 đến 3 vụ trong năm.

Phát thải KNK từ hai mô hình canh tác được xác định dựa trên ba nguồn chính, gồm bón phân, phụ phẩm nông nghiệp và tiêu thụ nhiên liệu trong quá trình canh tác (Bảng 5). Kết quả nghiên cứu cho thấy tổng lượng phát thải giữa hai mô hình gần như tương đương nhau, với mức phát thải trung bình là 1.008,20 kg CO_{2td}/ha/năm đối với hành tím và 998,53 kg CO_{2td}/ha/năm đối với củ cải trắng. Trong đó, phụ phẩm nông nghiệp đóng góp tỷ lệ phát thải cao nhất, chiếm 58,78% tổng lượng phát thải. Hoạt động bón phân, chủ yếu từ phân ure, chiếm 19,85%, trong khi tiêu thụ nhiên liệu trong quá trình canh tác, thu hoạch và vận chuyển đóng góp 21,37%. Nhìn chung, hai mô hình canh tác này có mức phát thải KNK tương đối cao do sự đóng góp lớn từ phụ phẩm nông nghiệp. Việc tối ưu hóa phương pháp quản lý phụ phẩm, cải thiện hiệu quả sử dụng phân bón và tiết kiệm nhiên liệu là giải pháp tiềm năng để giảm thiểu phát thải trong sản xuất nông nghiệp tại các mô hình canh tác này.

Bảng 5. Lượng phát thải KNK mô hình canh tác hành tím và củ cải trắng

Nguồn phát thải	Loại KNK	Bón phân	Phụ phẩm		Tiêu thụ nhiên liệu	
			Trực tiếp	Gián tiếp	Xăng	Dầu
Hành tím	CO ₂	241,71	-	-	188,54	44,38
	CH ₄	-	-	-	0,03	0,01
	N ₂ O	-	0,57	1,38	0,00	0,00
Củ cải trắng	CO ₂	156,70	-	-	150,49	42,74
	CH ₄	-	-	-	0,02	0,01
	N ₂ O	-	1,48	0,89	0,00	0,00

(Đơn vị: kg/ha/năm)

3.2.3. *Lượng phát thải khí nhà kính trên các mô hình canh tác cây lâu năm*

Nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá lượng phát thải KNK từ hai mô hình canh tác cây trồng lâu năm tại tỉnh Sóc Trăng, bao gồm vú sữa và bưởi tại huyện Kế Sách. Đây là những cây trồng có vai trò quan trọng trong sản xuất nông nghiệp địa phương, góp phần phát triển kinh tế và đảm bảo sinh kế cho người dân. Kết quả so sánh giữa hai mô hình cho thấy, phát thải từ bưởi cao hơn đáng kể so với vú sữa, kết quả khảo sát cho thấy tổng lượng phát thải KNK trung bình đạt 1.550,36 kg CO_{2td}/ha/năm

đối với vú sữa và 3.784,59 kg CO_{2td}/ha/năm đối với bưởi.

Lượng phát thải KNK chủ yếu đến từ ba nguồn chính, gồm phụ phẩm nông nghiệp, bón phân và tiêu thụ nhiên liệu trong quá trình canh tác. Trong đó, phụ phẩm nông nghiệp chiếm tỷ trọng cao nhất, lên đến 84,22%, cho thấy việc quản lý chất thải nông nghiệp đóng vai trò then chốt trong chiến lược giảm phát thải. Hoạt động bón phân, đặc biệt là sử dụng phân bón hóa học như ure, chiếm 8,88%, trong khi tiêu thụ nhiên liệu phục vụ cho các hoạt động làm đất, tưới tiêu và thu hoạch đóng góp 6,9% tổng lượng phát thải.

Bảng 6. Lượng phát thải KNK của mô hình canh tác vú sữa và bưởi

Nguồn phát thải	Loại KNK	Bón phân	Phụ phẩm		Tiêu thụ nhiên liệu	
			Trực tiếp	Gián tiếp	Xăng	Dầu
Vú sữa	CO ₂	80,18	-	-	107,21	71,09
	CH ₄	-	-	-	0,02	0,01
	N ₂ O	-	2,21	2,52	0,00	0,00
Bưởi	CO ₂	401,47	-	-	109,93	84,01
	CH ₄	-	-	-	0,02	0,01
	N ₂ O	-	8,89	3,12	0,00	0,00

(Đơn vị: kg/ha/năm)

3.3. Kết quả quy đổi sang lượng CO₂td

Kết quả từ Bảng 7 cho thấy lượng phát thải từ hiện trạng canh tác lúa, cây lâu năm và cây hàng năm khoảng 22.978,37 kg CO₂td /ha/năm với ba nguồn chính là phụ phẩm nông nghiệp, bón phân ure và tiêu thụ nhiên liệu. Trong đó, canh tác lúa có mức phát thải cao do phân hủy chất hữu cơ trong điều

kiện ngập nước, đặc biệt là lúa ba vụ (5.676,48 kg CO₂td/ha/năm). Cây lâu năm, như bưởi (3.784,59 kg CO₂td/ha/năm) và vú sữa (1.550,36 kg CO₂td/ha/năm), có lượng phát thải cao do sinh khối phụ phẩm lớn. Cây hàng năm như hành tím (1.008,20 kg CO₂td/ha/năm) và củ cải trắng (998,53 kg CO₂td/ha/năm) có mức phát thải thấp hơn.

Bảng 7. Thống kê các nguồn phát thải trên các mô hình canh tác

Mô hình	Phân hủy CHC	Đốt rơm rạ	Phát thải từ phụ phẩm		Bón phân ure	Tiêu thụ nhiên liệu	Tổng lượng phát thải
			Trực tiếp	Gián tiếp			
Lúa 3 vụ	5.676,48	121,78	468,62	631,26	262,18	406,02	7.566,36
Lúa 2 vụ	4.099,68	92,32	315,93	304,39	179,04	252,13	5.243,50
Lúa 1 vụ	1.737,45	106,08	159,29	135,86	129,22	57,09	2.324,99
Hành tím	-	-	155,29	376,84	241,71	234,36	1.008,20
Củ cải trắng	-	-	404,31	243,10	156,70	194,42	998,53
Vú sữa	-	-	603,29	687,50	80,18	179,38	1.550,35
Bưởi	-	-	2.427,38	850,62	401,47	195,12	3.874,59

Đơn vị: kg CO₂td/ha/năm

3.4. Phân tích đánh đổi hiệu quả kinh tế

Kết quả nghiên cứu cho thấy mức phát thải KNK trên từng mô hình canh tác có sự khác biệt đáng kể khi xét đến hiệu quả kinh tế dựa trên lợi nhuận thu được trên mỗi ha (Bảng 8). Mô hình canh tác có mức phát thải cao không đồng nghĩa với hiệu quả tài chính cao và ngược lại, những mô hình có lợi nhuận lớn có thể có mức phát thải thấp trên mỗi đơn vị lợi nhuận (Martin-Gorritz et al., 2019).

Các mô hình trồng lúa, đặc biệt là lúa ba vụ, có lượng phát thải cao nhất với 7.566,36 kg CO₂td/ha/năm, nhưng lợi nhuận chỉ đạt 90,7 triệu đồng/ha/năm, dẫn đến tỷ lệ đánh đổi lên đến 83,41 kg CO₂td/triệu đồng. Điều này cho thấy để tạo ra 1 triệu đồng lợi nhuận, canh tác lúa ba vụ thải ra lượng KNK cao hơn đáng kể so với các mô hình khác. Lúa hai vụ và lúa một vụ cũng có mức đánh đổi lần lượt là 65,33 và 71,74 kg CO₂td/triệu đồng. Trong khi đó, mô hình canh tác cây hàng năm như hành tím và củ cải trắng có mức phát thải thấp hơn nhưng mang lại

lợi nhuận cao hơn. Cụ thể, hành tím có lợi nhuận 175,43 triệu đồng/ha/năm, trong khi lượng phát thải chỉ ở mức 1.008,20 kg CO₂td/ha/năm, dẫn đến tỷ lệ đánh đổi chỉ 5,75 kg CO₂td/triệu đồng. Củ cải trắng có tỷ lệ đánh đổi cao hơn (10,24 kg CO₂td/triệu đồng), nhưng vẫn thấp hơn nhiều so với trồng lúa. Đây là những mô hình có mức phát thải thấp nhờ vào chu kỳ sinh trưởng ngắn và ít tiêu thụ nhiên liệu.

Việc canh tác cây lâu năm có sự khác biệt lớn về phát thải KNK so với hiệu quả kinh tế. Vú sữa là mô hình có tỷ lệ đánh đổi thấp nhất, chỉ 6,01 kg CO₂td/triệu đồng, nhờ vào lượng phân bón và nhiên liệu tiêu thụ thấp, trong khi lợi nhuận rất cao đạt 258,17 triệu đồng/ha/năm. Ngược lại, cây bưởi có mức phát thải cao hơn đáng kể (3.874,59 kg CO₂td/ha/năm) với lợi nhuận 72,69 triệu đồng/ha/năm, dẫn đến tỷ lệ đánh đổi lên đến 53,30 kg CO₂td/triệu đồng. Điều này cho thấy dù có lợi nhuận khá, nhưng mức phát thải của bưởi vẫn còn cao so với các mô hình cây lâu năm khác.

Nhìn chung, kết quả cho thấy có sự khác biệt rõ rệt giữa các mô hình canh tác về mức độ đánh đổi giữa phát thải KNK và hiệu quả kinh tế. Các mô hình trồng lúa, đặc biệt là lúa ba vụ, có tỷ lệ đánh đổi cao

nhất, trong khi cây lâu năm như vú sữa và các loại cây hàng năm như hành tím có mức phát thải thấp hơn so với lợi nhuận thu được.

Bảng 8. Kết quả đánh đổi hiệu quả kinh tế trên các loại hình canh tác

Mô hình	Lợi nhuận (triệu đồng/ha/năm)	Phát thải (Kg CO ₂ td/ha/năm)	Đánh đổi (kg CO ₂ td/ triệu đồng)
Lúa 3 vụ	90,71	7.566,36	83,41
Lúa 2 vụ	80,26	5.243,50	65,33
Lúa 1 vụ	32,41	2.324,99	71,74
Hành tím	175,43	1.008,20	5,75
Củ cải trắng	97,53	998,53	10,24
Vú sữa	258,17	1.550,36	6,01
Bưởi	72,69	3.874,59	53,30

4. KẾT LUẬN

Lượng phát thải KNK trong canh tác nông nghiệp có sự khác biệt đáng kể giữa các mô hình, trong đó lúa ba vụ có mức phát thải cao nhất, đạt 7.566,36 kg CO₂td/ha/năm, với hai nguồn phát thải chính là phân hủy chất hữu cơ và phụ phẩm nông nghiệp. Lúa hai vụ và lúa một vụ có mức phát thải thấp hơn, lần lượt 5.243,50 kg CO₂td/ha/năm và 2.324,99 kg CO₂td/ha/năm. Cây hàng năm khác có tổng lượng phát thải thấp hơn đáng kể so với lúa, trong đó hành tím phát thải 1.008,20 kg CO₂td/ha/năm, củ cải trắng phát thải (998,53 kg CO₂td/ha/năm). Mô hình cây lâu năm, gồm vú sữa và bưởi, có mức phát thải tương đối cao, với 1.550,36 kg CO₂td/ha/năm ở vú sữa và 3.874,59 kg CO₂td/ha/năm ở bưởi.

Xét về hiệu quả kinh tế, tỷ lệ đánh đổi phát thải trên mỗi triệu đồng lợi nhuận cũng cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa các mô hình. Lúa ba vụ có mức đánh đổi cao nhất, lên đến 83,41 kg CO₂td/triệu đồng, tiếp theo là bưởi với 53,30 kg CO₂td/triệu đồng. Trong khi đó, hành tím và củ cải trắng có mức đánh đổi thấp hơn đáng kể, chỉ 5,75 kg CO₂td/triệu đồng và 10,24 kg CO₂td/triệu đồng. Vú sữa có mức đánh đổi thấp nhất, chỉ 6,01 kg CO₂td/triệu đồng, nhờ vào việc sử dụng ít phân bón và nhiên liệu hơn so với các mô hình khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

Bibi, F., & Rahman, A. (2023). An overview of climate change impacts on agriculture and their mitigation strategies. *Agriculture*, 13(8), 1508. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081508>

Congalton, R. G., & Green, K. (1999) Assessing the Accuracy of the of Remotely Sensed Data Principles and Practices. *Lewis Publishers, Boca Raton*. <https://doi.org/10.1201/9781420048568>

Nhìn chung, mức phát thải KNK có xu hướng tỷ lệ thuận với cường độ canh tác và phương thức quản lý nông nghiệp. Các mô hình lúa, đặc biệt là lúa ba vụ, có phát thải cao nhất và hệ số đánh đổi cao, trong khi các mô hình hành tím và vú sữa cho thấy khả năng cân bằng tốt hơn giữa lợi ích kinh tế và tác động môi trường. Điều này nhấn mạnh sự cần thiết của các giải pháp canh tác bền vững nhằm giảm thiểu phát thải KNK trong nông nghiệp.

Một yếu tố chưa được xem xét trong nghiên cứu này là phát thải khí nhà kính từ hoạt động nuôi trồng thủy sản và các loại phân bón khác ngoài ure. Các nghiên cứu trong tương lai có thể mở rộng phạm vi để có cái nhìn toàn diện hơn về phát thải khí nhà kính trong các mô hình canh tác nuôi trồng thủy sản, bao gồm cả chuyên canh và luân canh, từ đó giúp đưa ra các giải pháp giảm thiểu hiệu quả hơn cho từng mô hình.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn dự án “Nâng cao năng lực cho thanh niên trong ứng dụng năng lượng tái tạo và canh tác nông nghiệp ở Đồng bằng sông Cửu Long (OXFAM IP2)” do Viện Nghiên cứu Biến đổi Khí hậu, Trường Đại học Cần Thơ phối hợp với Tổ chức Oxfam tại Việt Nam đã tài trợ kinh phí thực hiện nghiên cứu.

Dao, A. T., Thai, T. V. & Nguyen, V. N. (2020). The Domestic Rice Value Chain in the Mekong Delta. In *White Gold: The Commercialisation of Rice Farming in the Lower Mekong Basin* (pp. 375–395). https://doi.org/10.1007/978-981-15-0998-8_18

European Environment Agency. (2019). Annual European Union Greenhouse Gas Inventory

- 1990–2009 and inventory report 2019. *Working paper No. 2*
- FAO. (2015). *Estimating Greenhouse Gas Emissions in Agriculture*.
<http://www.fao.org/documents/card/ru/c/1a92664-5e84-4686-86ad-f338fa9e58aa>.
- FAO. (2016). *The State of Food and Agriculture 2016: Climate Change, Agriculture and Food Security*.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/07bc7c6e-72e5-488d-b2f7-3c1499d098fb/content>
- Frank, S., Havlík, P., Soussana, J., Levesque, A., Valin, H., Wollenberg, E., Kleinwechter, U., Fricko, O., Gusti, M., Herrero, M., Smith, P., Hasegawa, T., Kraxner, F., & Obersteiner, M. (2017). Reducing greenhouse gas emissions in agriculture without compromising food security?. *Environmental Research Letters*, 12(10), 105004.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8c83>
- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
<https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl>
- IPCC. (2019). *National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use*.
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Jantke, K., Hartmann, M. J., Rasche, L., Blanz, B., & Schneider, U. A. (2020). Agricultural greenhouse gas emissions: Knowledge and positions of German farmers. *Land*, 9(5), 130. <https://doi.org/10.3390/land9050130>
- Khan, S., Bhardwaj, A., & Sakthivel, M. (2024). Accuracy Assessment of land use Land cover classification using machine learning classifiers in Google Earth Engine; A case study of Jammu District. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4–2024, 263–268.
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvi-4-2024-263-2024>
- Klasen, S., Meyer, K. M., Dislich, C., Euler, M., Faust, H., Gatto, M., Hettig, E., Melati, D. N., Jaya, I. N. S., Otten, F., Pérez-Cruzado, C., Steinebach, S., Tarigan, S., & Wiegand, K. (2016). Economic and ecological trade-offs of agricultural specialization at different spatial scales. *Ecological Economics*, 122, 111–120.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.01.001>
- Klasen, S., Priebe, J., & Rudolf, R. (2013). Cash crop choice and income dynamics in rural areas: evidence for post-crisis Indonesia. *Agricultural Economics*, 44(3), 349–364. <https://doi.org/10.1111/agec.12015>
- Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G. J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Khourdajie, A. A., House, J., Pachauri, S., Figueroa, M., Saheb, Y., Slade, R., Hubacek, K., Sun, L., Ribeiro, S. K., Khennas, S., De La Rue Du Can, S., Chapungu, L., Davis, S. J., Bashmakov, I., Dai, H., Dhakal, S., Tan, X., Geng, Y., Gu, B., Minx, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abec4e>
- Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(9), 3465–3472.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>
- Mai, H. T., Van, T. P. D. & Nguyen, T. H. (2014). Assessment of changes in farming systems based on surface water resources in the Mekong Delta: A case study in Nga Nam District, Soc Trang Province. *Can Tho University Journal of Science*, (31), 90-98, (in Vietnamese).
<https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/1400>
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation Strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318.
<https://doi.org/10.3390/su13031318>
- Martin-Gorri, B., Maestre-Valero, J. F., Almagro, M., Boix-Fayos, C., & Martínez-Mena, M. (2019). Carbon emissions and economic assessment of farm operations under different tillage practices in organic rainfed almond orchards in semiarid Mediterranean conditions. *Scientia Horticulturae*, 261, 108978.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108978>
- Ministry of Agriculture and Rural Development. (2016). *Irrigation systems development in the Ca Mau Peninsula to adapt with climate change (in Vietnamese)*. Available at http://wcag.mard.gov.vn/pages/news_detail.aspx?NewsId=12642
- Ministry of Natural Resources and Environment. (2022). Decision 2626/QĐ-BTNMT 2022 announcing emission factors for greenhouse gas inventory (in Vietnamese).
- Montzka, S. A., Dlugokencky, E. J., & Butler, J. H. (2011). Non-CO2 greenhouse gases and climate

- change. *Nature*, 476(7358), 43–50.
<https://doi.org/10.1038/nature10322>
- Murawska, A., & Goryńska-Goldmann, E. (2023). Greenhouse Gas Emissions in the Agricultural and Industrial Sectors—Change Trends, Economic Conditions, and Country Classification: Evidence from the European Union. *Agriculture*, 13(7), 1354.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13071354>
- Nguyen, P. T. K. & Le, L. T. T. (2023). Trade-offs in greenhouse gas emissions to achieve financial efficiency in chili and mustard greens farming models in Hon Dat District, Kien Giang Province. *Can Tho University Journal of Science*, 59(Environment and Climate Change), 42–53 (in Vietnamese).
<https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2023.105>
- Nguyen, T. N., & Hoang, A. H. (2022). Factors influencing the adoption of “One Must Do, Five Reductions” in rice production in the Mekong River Delta: A case study in Soc Trang province, Vietnam. *The Journal of Agriculture and Development*, 21(3), 12-20 (in Vietnamese).
<https://doi.org/10.52997/jad.2.03.2022>
- Ning, J., Zhang, C., Hu, M., & Sun, T. (2024). Accounting for greenhouse gas emissions in the agricultural system of China based on the life cycle assessment method. *Sustainability*, 16(6), 2594. <https://doi.org/10.3390/su16062594>
- Panchasara, H., Samrat, N., & Islam, N. (2021). Greenhouse Gas Emissions Trends and Mitigation Measures in Australian Agriculture Sector—A Review. *Agriculture*, 11(2), 85. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020085>
- Quan, N. M., Ha, D. V. & Nguyen, Q. N. (2013). Analysis of Cost Efficiency and Scale Efficiency of Purple Onion Production Households in Vinh Chau District, Soc Trang Province Using the Non-Parametric Approach. *Can Tho University Journal of Science*, 28(2013), 33-37 (in Vietnamese).
<https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/1681>
- Shakoor, A., Shakoor, S., Rehman, A., Ashraf, F., Abdullah, M., Shahzad, S. M., Farooq, T. H., Ashraf, M., Manzoor, M. A., Altaf, M. M., & Altaf, M. A. (2021). Effect of animal manure, crop type, climate zone, and soil attributes on greenhouse gas emissions from agricultural soils—A global meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 278, 124019.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124019>
- Sidhoum, A. A., Dakpo, K. H., & Latruffe, L. (2022). Trade-offs between economic, environmental and social sustainability on farms using a latent class frontier efficiency model: Evidence for Spanish crop farms. *PLoS ONE*, 17(1), e0261190.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261190>
- Smith, P., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E.A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N.H., Rice, C.W., Roble do Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F., & Tubiello, F. (2014). Chapter 11 - Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. IPCC Working Group III Contribution to AR5*. Cambridge University Press.
- Soc Trang Provincial Electronic Portal. (2018a). Geographical location (in Vietnamese).
<https://soctrang.gov.vn/Default.aspx?sname=ubnd-stg&sid=4&pageid=467&catid=54254&catname=v-i-tri-dia-ly>
- Soc Trang Provincial Electronic Portal. (2018b). Natural conditions (in Vietnamese).
<https://soctrang.gov.vn/Default.aspx?sname=ubnd-stg&sid=4&pageid=467&catid=54255&catname=dieu-kien-tu-nhien>
- Tran, P. T., Tran, V. D., Cao, S. T., Doan, T. T. & Greiving, S. (2024). Impact of climate change on agricultural production and food security: a case study in the Mekong River Delta of Vietnam. *Sustainability*, 16(17), 7776.
<https://doi.org/10.3390/su16177776>
- Vu, T. N. (2022). The Craft of Making Xá Pầu of the Hoa People in Vinh Chau - Soc Trang. *Ho Chi Minh City Journal of Social Sciences*, 7(287), 56 - 61 (in Vietnamese).
<https://vjol.info.vn/index.php/khxx/article/view/69363>
- Yuan, X., Li, S., Chen, J., Yu, H., Yang, T., Wang, C., Huang, S., Chen, H., & Ao, X. (2024). Impacts of global climate change on Agricultural Production: A Comprehensive review. *Agronomy*, 14(7), 1360.
<https://doi.org/10.3390/agronomy14071360>