

DOI:10.22144/ctujos.2025.094

SO SÁNH MỨC PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH TRONG SẢN XUẤT RAU BẮP CẢI GIỮA MÔ HÌNH CANH TÁC THÔNG THƯỜNG, CANH TÁC THEO TIÊU CHUẨN VIETGAP VÀ CANH TÁC HỮU CƠ Ở VÙNG NGOẠI THÀNH HÀ NỘI

Nguyễn Thị Bích Yên* và Phạm Văn Hội

Khoa Tài nguyên và Môi trường, Học viện Nông nghiệp Việt Nam, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): ntbyen@vnua.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 10/10/2024

Sửa bài (Revised): 25/11/2024

Duyệt đăng (Accepted): 28/02/2025

Title: Comparison of greenhouse gas emissions in vegetable production between conventional, VietGap, and organic farming models in the suburbs of Hanoi

Author(s): Nguyen Thi Bich Yen* and Pham Van Hoi

Affiliation(s): Faculty of Natural Resources and Environment, Vietnam National University of Agriculture, Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu này áp dụng phương pháp đánh giá vòng đời sản phẩm để phân tích mức phát thải khí nhà kính (KNK) của ba mô hình canh tác bắp cải: thông thường, VietGap và hữu cơ tại ngoại thành Hà Nội. Kết quả cho thấy mức phát thải KNK trên đơn vị diện tích giữa mô hình thông thường (5.949 kg CO₂-eq/ha) và VietGap (5.930 kg CO₂-eq/ha) không có sự khác biệt đáng kể, trong khi mô hình hữu cơ phát thải thấp hơn 1,5 lần. Mức phát thải trên khối lượng sản phẩm không khác biệt lớn giữa các mô hình. Tuy nhiên, phát thải KNK trên thu nhập từ sản phẩm của mô hình hữu cơ (5,5 kg CO₂-eq/ngàn đồng) thấp hơn gần 3 lần so với mô hình thông thường và VietGap. Phân vô cơ là nguồn phát thải chính trong mô hình thông thường và VietGap, trong khi mô hình hữu cơ chủ yếu phát thải từ phân hữu cơ và sử dụng năng lượng. Các giải pháp sử dụng phân bón và năng lượng hiệu quả có thể giúp giảm phát thải KNK, hướng tới canh tác bền vững ở Việt Nam.

Từ khóa: Bắp cải, canh tác hữu cơ, khí nhà kính, tiêu chuẩn VietGap

ABSTRACT

This study applies the Life Cycle Assessment method to analyze the greenhouse gas (GHG) emissions of three cabbage farming models: conventional, VietGap, and organic in suburban Hanoi. Data were collected from 182 conventional farms, 50 VietGap farms, and 49 organic farms. The results showed no significant difference in GHG emissions per unit area between the conventional (5,949 kg CO₂-eq/ha) and VietGap (5,930 kg CO₂-eq/ha) models, while the organic model emitted 1.5 times less. Emissions per unit of product were also not significantly different among the models. However, GHG emissions per income from product sales in the organic model (5.5 kg CO₂-eq/thousand VND) were nearly three times lower than in the conventional and VietGap models. Inorganic fertilizers were the main source of emissions in the conventional and VietGap models, while organic fertilizers and energy use were the primary emission sources in the organic model. Efficient nutrient and energy management practices could help reduce GHG emissions, contributing to sustainable farming practices in Vietnam.

Keywords: Cabbage, greenhouse gases, organic farming, VietGap standards

1. GIỚI THIỆU

Biến đổi khí hậu là một trong những thách thức lớn nhất của thế kỷ 21 với những hậu quả nghiêm trọng đối với môi trường và sức khỏe con người. Nông nghiệp được cho là lĩnh vực dễ bị tổn thương do biến đổi khí hậu đồng thời cũng là nguồn phát thải khí nhà kính (KNK) đáng kể. Nông nghiệp toàn cầu đóng góp 12% vào tổng lượng phát thải KNK (Mbow et al., 2019). Ở Việt Nam, nông nghiệp đóng góp 19% vào tổng lượng phát thải KNK quốc gia (Shrivastava et al., 2022). Mức phát thải KNK trong sản xuất nông nghiệp phụ thuộc vào nguyên liệu đầu vào (ví dụ như mức độ sử dụng phân bón, thuốc trừ sâu hay năng lượng từ các hoạt động canh tác) và các biện pháp kỹ thuật áp dụng trong quá trình canh tác (ví dụ như tưới tiêu hay làm đất). Đối với sản xuất lúa, CH₄ là nguồn phát thải lớn nhất (Shen et al., 2021; Leon & Izumi, 2022; Nguyen & Kamoshita, 2024) nên việc sử dụng biện pháp quản lý nước tưới và rom rạ sau thu hoạch hợp lý sẽ góp phần giảm thiểu đáng kể lượng phát thải KNK (Nguyen & Kamoshita, 2024). Tuy nhiên, đối với sản xuất rau, nguồn phát thải lớn nhất là N₂O do sử dụng phân bón chứa N (Yan et al., 2012; Yuttitham, 2019; Liang et al., 2021; Kashyap et al., 2023). Ở Trung Quốc, phân bón vô cơ là nguồn phát thải chủ yếu trên rau (Liang et al., 2021), trong khi đó kết quả nghiên cứu của Kashya et al. (2023) lại chỉ ra rằng phân bón hữu cơ là nguồn phát thải chính ở Indonesia. Ngoài ra, nguồn đóng góp chính vào mức phát thải còn phụ thuộc vào công nghệ sử dụng trong sản xuất hay điều kiện khí hậu. Màng nylon và năng lượng tiêu thụ là nguồn phát thải chính khi trồng rau trong điều kiện nhà kính ở Bắc Kinh (Hu et al., 2021), trong khi đó năng lượng tiêu thụ làm ấm và cung cấp ánh sáng nhân tạo cho cây lại là nguồn phát thải chính trong sản xuất rau ở Nauy (Naseer et al., 2022). Do vậy, các phương pháp canh tác khác nhau ở những bối cảnh khác nhau có thể dẫn đến lượng phát thải khí nhà kính khác nhau. Nhiều kết quả nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng, canh tác hữu cơ có tiềm năng giảm thiểu đáng kể phát thải KNK do phương pháp này không sử dụng phân bón và thuốc trừ sâu hóa học, thay vào đó, phân bón hữu cơ và các biện pháp sinh học được dùng để kiểm soát sâu bệnh (He et al., 2016; Yuttitham, 2019; Holka et al., 2022; Hashemi et al., 2024). Tuy nhiên, Ghiglieno et al. (2023) lại cho thấy không có sự khác nhau về mức phát thải KNK giữa canh tác thông thường và canh tác hữu cơ trong sản xuất nho ở Ý. Điều này là do năng lượng được sử dụng rất nhiều trong canh tác hữu cơ. Một số kết quả nghiên cứu khác lại cho thấy mức phát thải KNK trên đơn vị

diện tích trong canh tác hữu cơ thấp hơn so với canh tác thông thường, tuy nhiên mức phát thải trên khối lượng sản phẩm lại không có sự khác nhau (Hashemi et al., 2024) hoặc thậm chí cao hơn khi canh tác hữu cơ (Holka et al., 2022).

Tại Việt Nam, đặc biệt là vùng ngoại thành Hà Nội, sản xuất rau là một ngành kinh tế quan trọng, cung cấp thực phẩm cho khu vực đô thị và tạo nguồn thu nhập cho nông dân (Hung et al., 2022). Các hình thức canh tác rau phổ biến bao gồm: canh tác thông thường, canh tác theo tiêu chuẩn VietGap và canh tác hữu cơ. Canh tác theo phương pháp thông thường cho năng suất cao do sử dụng nhiều phân bón và thuốc trừ sâu hóa học (Pham et al., 2016; Schreinemachers et al., 2020), tuy nhiên lại có nguy cơ gây ra ô nhiễm môi trường và tác động xấu đến sức khỏe của người tiêu thụ sản phẩm (Ha et al., 2019). Do vậy, MARD (2008) đã giới thiệu phương thức canh tác theo tiêu chuẩn VietGap (Thực hành sản xuất nông nghiệp tốt) để khuyến khích người dân canh tác theo hướng bền vững và giảm thiểu tác động môi trường. Phương pháp này khuyến khích việc sử dụng phân bón và thuốc trừ sâu hợp lý, bảo vệ môi trường và an toàn thực phẩm. Đặc biệt Thủ tướng chính phủ đã phê duyệt đề án phát triển nông nghiệp hữu cơ giai đoạn 2020 - 2030 (PM, 2020) với một trong những mục tiêu là diện tích nhóm đất nông nghiệp sản xuất hữu cơ đạt khoảng 2,5 – 3,0% của tổng diện tích đất nông nghiệp vào năm 2030. Canh tác hữu cơ được xây dựng dựa trên nguyên tắc không sử dụng các hóa chất tổng hợp như phân bón hóa học, thuốc trừ sâu và chất kích thích sinh trưởng. Thay vào đó, canh tác hữu cơ tận dụng các nguồn tài nguyên tự nhiên như phân hữu cơ, chế phẩm sinh học và biện pháp phòng trừ sâu bệnh tự nhiên nhằm duy trì và cải thiện độ phì nhiêu của đất, bảo vệ đa dạng sinh học và hạn chế ô nhiễm môi trường.

Phương pháp đánh giá vòng đời sản phẩm (Life Cycle Assessment - LCA) là một công cụ giúp đánh giá toàn diện các tác động môi trường liên quan đến tất cả các giai đoạn của chu kỳ sản phẩm, từ khâu sản xuất, vận chuyển, sử dụng đến xử lý sau sử dụng (Shabir et al., 2023). Việc áp dụng LCA trong nghiên cứu cho phép chúng ta đánh giá đầy đủ và chi tiết lượng phát thải KNK từ các nguồn phát thải ở mỗi phương pháp canh tác khác, từ đó đưa ra những kết luận chính xác và toàn diện hơn. Phương pháp này đã được áp dụng rộng rãi để đánh giá lượng KNK phát thải trong sản xuất nông nghiệp. Đối với sản xuất rau ở Việt Nam, chưa có nhiều nghiên cứu áp dụng phương pháp này để đánh giá mức phát thải KNK. Kim and Le (2023) đã áp dụng

LCA để đánh giá mức phát thải KNK trong sản xuất rau ở tỉnh Kiên Giang. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này nhóm tác giả vẫn chưa chỉ ra được cụ thể các nguồn phát thải chính để từ đó đề xuất giải pháp giảm thiểu hiệu quả.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm so sánh mức phát thải khí nhà kính giữa ba mô hình canh tác rau phổ biến tại vùng ngoại thành Hà Nội. Bằng cách đo lường và phân tích các nguồn phát thải KNK từ các phương pháp canh tác khác nhau, dữ liệu cụ thể và khách quan về tác động môi trường của mỗi phương pháp được cung cấp trong nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu không chỉ giúp xác định phương pháp canh tác thân thiện với môi trường mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho việc xây dựng các chính sách và biện pháp canh tác hiệu quả, nhằm giảm thiểu biến đổi khí hậu và thúc đẩy phát triển nông nghiệp bền vững tại Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

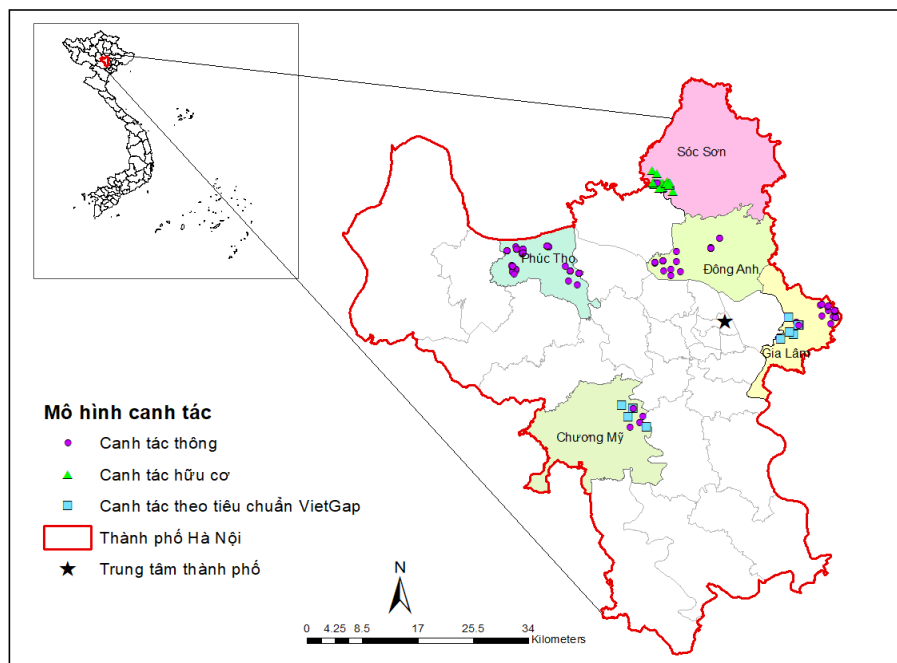
2.1. Điểm nghiên cứu và phương pháp thu thập số liệu

Nghiên cứu được triển khai tại 5 huyện ngoại thành Hà Nội bao gồm: Sóc Sơn, Đông Anh, Gia Lâm, Chương Mỹ và Phúc Thọ (Hình 1). Đây là các huyện có diện tích trồng rau lớn và là nguồn cung cấp rau chủ yếu cho thành phố Hà Nội. Bắp cải được lựa chọn làm đối tượng nghiên cứu vì đây là cây rau được trồng phổ biến và là nguồn thu nhập quan trọng

đối với các hộ trồng rau (Nguyen, 2019; Nguyen et al., 2020).

Số liệu được thu thập thông qua phỏng vấn hộ bằng bảng hỏi có cấu trúc về các hoạt động liên quan đến sản xuất rau bắp cải bao gồm đặc điểm hộ, diện tích canh tác, năng suất, giá bán bắp cải, các biện pháp canh tác và các đầu vào nông nghiệp. Thông tin thu thập tập trung trong mùa vụ bắp cải từ tháng 8 năm 2022 đến tháng 3 năm 2023. Quá trình điều tra được diễn ra trong tháng 3 và 4 năm 2023.

Nghiên cứu này được áp dụng phương pháp lấy mẫu ngẫu nhiên đa giai đoạn dựa trên danh sách các hộ trồng bắp cải do cán bộ khuyến nông huyện cung cấp. Trước tiên, có 49 hộ tại huyện Sóc Sơn được xác định là tham gia sản xuất rau hữu cơ và trồng bắp cải trong vụ Đông Xuân năm 2022/2023. Tất cả các hộ này đều được đưa vào danh sách phỏng vấn. Tiếp theo, 50 hộ trồng rau bắp cải theo tiêu chuẩn VietGAP tại hai huyện Gia Lâm và Chương Mỹ được chọn ngẫu nhiên, đảm bảo số mẫu VietGAP tương đương với số mẫu hữu cơ. Sau đó, các thôn có ít nhất 50 hộ trồng bắp cải theo phương pháp thông thường tại các huyện Đông Anh, Phúc Thọ, Gia Lâm và Chương Mỹ được lựa chọn. Từ mỗi thôn này, 10 - 14 hộ được chọn ngẫu nhiên để phỏng vấn, nhằm đảm bảo tính đại diện cho nhóm trồng rau thông thường. Tổng cộng có 281 hộ được lựa chọn để phỏng vấn, bao gồm 49 hộ trồng rau hữu cơ, 50 hộ trồng rau theo tiêu chuẩn VietGAP và 182 hộ trồng rau theo phương pháp thông thường.



Hình 1. Vị trí điểm nghiên cứu

2.2. Đánh giá mức phát thải khí nhà kính

2.2.1. Cách tiếp cận

Phương pháp đánh giá vòng đời sản phẩm (LCA) để ước tính lượng KNK phát thải trong sản xuất bắp cải dựa theo hướng dẫn của PAS 2050:11 (BSI, 2011). Các loại KNK được đánh giá bao gồm CO₂, CH₄ và N₂O, mỗi loại khí được quy đổi thành CO₂-tương đương (CO₂-eq) theo các hệ số tiềm năng làm nóng toàn cầu (GWP) mới nhất của IPCC (2013) lần lượt là 1, 28 và 265. Ba loại đơn vị được sử dụng để định lượng mức khí nhà kính bao gồm: mức phát thải được thể hiện bằng kg hoặc tấn CO₂-eq trên đơn vị diện tích (CO₂-eq/ha), mức phát thải trên khối lượng thương phẩm (CO₂-eq/tấn bắp cải) và mức phát thải trên tổng thu nhập từ bắp cải (CO₂-eq/ngàn đồng). Giống như kết quả một số nghiên cứu (Liang et al., 2021; Kashyap et al., 2023; Kim & Le, 2023), ranh giới hệ thống “Cradle to Farm gate” được sử dụng để ước tính lượng phát thải trong sản xuất bắp cải cho một vụ trồng ở nghiên cứu này. Với ranh giới này, các đầu vào sản xuất bao gồm từ khi trồng cho đến khi thu hoạch trong một vụ bắp cải.

2.2.2. Ước lượng mức phát thải khí nhà kính

Trong sản xuất bắp cải ở Hà Nội, có 7 nguồn phát thải khí nhà kính (KNK) từ các nguyên liệu đầu vào bao gồm: phân vô cơ, phân hữu cơ, thuốc bảo vệ thực vật (BVTV), năng lượng, nilon che phủ, vôi và tàn dư thực vật. KNK phát thải từ các nguồn này có thể được chia thành phát thải trực tiếp và gián tiếp. Phát thải gián tiếp chủ yếu bao gồm: khí thải từ quá trình sản xuất phân vô cơ, thuốc BVTV và nilon che phủ; từ việc sản xuất năng lượng phục vụ làm đất và tưới tiêu; và phát thải N₂O từ lắng đọng trong

khí quyển, rửa trôi hoặc chảy tràn của nitơ từ phân hữu cơ và vô cơ vào môi trường. Ngược lại, phát thải trực tiếp bao gồm: khí thải từ sử dụng dầu cho máy làm đất và máy bơm nước; từ việc bón phân vô cơ và hữu cơ chứa nitơ, gây ra phát thải trực tiếp N₂O trên đồng ruộng và phát thải CO₂ trực tiếp từ việc sử dụng phân đạm urê và vôi. Để ước tính lượng phát thải từ các nguồn này, hệ số phát thải (EF) chủ yếu được tham khảo từ tài liệu hướng dẫn của IPCC (2006, 2019); trong trường hợp không có sẵn, các giá trị EF được bổ sung từ các nguồn khác và được trình bày trong Bảng 1. Lượng KNK phát thải gián tiếp trong quá trình sản xuất phân hữu cơ được bỏ qua trong nghiên cứu do nó không đáng kể (Ghiglierio et al., 2023; Hiller et al., 2009).

Ước lượng mức phát thải KNK từ các nguyên liệu đầu vào

KNK phát thải từ sản xuất phân bón vô cơ, thuốc bảo vệ thực vật, sử dụng năng lượng, nilon che phủ đất, bón phân urea và vôi được tính toán theo công thức sau:

$$KNK_I = \sum(I_i \times EF_i) \quad (1)$$

Trong đó, KNK_I là tổng lượng khí nhà kính (kg CO₂-eq) phát thải từ đầu vào nông nghiệp thứ i trên mỗi ha đất trồng bắp cải, I_i là lượng đầu vào thứ i (ví dụ như lượng phân bón, thuốc BVTV) và EF_i là hệ số phát thải KNK của đầu vào thứ i .

Ước lượng mức phát thải N₂O

N₂O phát thải gián tiếp và trực tiếp từ việc áp dụng phân vô cơ và hữu cơ chứa N và sự vùi lấp tàn dư thực vật được tính cụ thể theo công thức 2 - 6 dựa theo hướng dẫn của IPCC (2019):

$$KNK_{N_2O} = KNK_{N_2O_{direct}} + KNK_{N_2O_{indirect}} \quad (2)$$

$$KNK_{N_2O_{direct}} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR}) \times EF_{N_2O_{direct}} \times \frac{44}{28} \times 265 \quad (3)$$

$$KNK_{N_2O_{indirect}} = KNK_{N_2O_{ATD}} + KNK_{N_2O_L} \quad (4)$$

$$KNK_{N_2O_{ATD}} = [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) + (F_{ON} \times Frac_{GASM})] \times EF_{N_2O_{ATD}} \times \frac{44}{28} \times 265 \quad (5)$$

$$KNK_{N_2O_L} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR}) \times Frac_{LEACHING} \times EF_{N_2O_L} \times \frac{44}{28} \times 265 \quad (6)$$

Trong đó: $KNK_{N_2O_{direct}}$ và $KNK_{N_2O_{indirect}}$ là lượng N₂O phát thải trực tiếp và gián tiếp trong quá trình trồng bắp cải (tính theo kg CO₂-eq) trên mỗi ha đất trồng bắp cải do việc sử dụng N (kg N/ha) từ phân bón vô cơ chứa N (F_{SN}), từ phân bón hữu cơ (F_{ON}) và từ tàn dư thực vật (F_{CR}); $KNK_{N_2O_{ATD}}$ và $KNK_{N_2O_L}$ là lượng phát thải N₂O từ lắng đọng trong

khí quyển và sự rửa trôi/chảy tràn của N; $EF_{N_2O_{direct}}$ là hệ số phát thải N₂O trực tiếp (kg N₂O-N/kg N); $EF_{N_2O_{ATD}}$ và $EF_{N_2O_L}$ là hệ số phát thải N₂O do bay hơi và rửa trôi/chảy của N từ phân bón hay tàn dư thực vật chứa nitơ; $Frac_{GASF}$, $Frac_{GASM}$ và $Frac_{LEACHING}$ là các yếu tố tỷ lệ lắng đọng của N bay hơi vào khí quyển từ phân vô cơ (GASF), phân hữu cơ (GASM) và sự rửa trôi/chảy của N (LEACHING)

(Bảng 1); 44/28 là hệ số chuyển đổi khối lượng từ N₂ sang N₂O (IPCC 2006); và 265 là tiềm năng làm nóng lên toàn cầu trong 100 năm (GWP) của N₂O so với CO₂ (IPCC 2013). Lượng N từ tàn dư thực vật (F_{CR}) là lượng N trong lá bắp cải già được để lại trên đồng ruộng khi thu hoạch được tính bằng 25% tổng sinh khối (trên mặt đất) theo Naik et al. (2014) và 0,23% N chứa trong tàn dư (sinh khối tươi) để lại trên ruộng theo Khai et al. (2007).

Ước lượng tổng phát thải KNK

Tổng lượng KNK phát thải trên đơn vị diện (kg CO₂-eq/ha) trong một vụ trồng bắp cải được tính như sau

$$KNK_{trên\ đơn\ vị\ diện\ tích} = KNK_I + KNK_{N_2O} \quad (7)$$

Tổng lượng KNK phát thải trên khối lượng thương phẩm (kg CO₂-eq/ kg thương phẩm) được tính như sau:

$$KNK_{trên\ đơn\ vị\ khối\ lượng\ thương\ phẩm} = \frac{KNK_{trên\ đơn\ vị\ diện\ tích}}{Năng\ suất} \quad (8)$$

Tổng lượng KNK phát thải trên đơn vị thu nhập (kg CO₂-eq/ngàn đồng) được tính như sau:

$$KNK_{trên\ đơn\ vị\ thu\ nhập} = \frac{KNK_{trên\ đơn\ vị\ diện\ tích}}{Tổng\ thu\ nhập\ trên\ đơn\ vị\ diện\ tích} \quad (9)$$

2.3. Phân tích số liệu

Dữ liệu đã được xử lý bằng Microsoft Excel 365 và phần mềm SPSS phiên bản 20. Các thống kê mô tả như giá trị trung bình và độ lệch chuẩn đã được

tính toán cho các biến. Phân tích ANOVA đã được sử dụng để so sánh sự khác biệt giữa các mô hình sản xuất bắp cải.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm sản xuất và lượng vật tư nông nghiệp sử dụng ở các mô hình sản xuất bắp cải

Về quy mô sản xuất, diện tích đất nông nghiệp của các hộ đều tương đối nhỏ ở cả 3 mô hình canh tác. Trong đó, diện tích trung bình của các hộ canh tác theo VietGap lớn nhất là 0,29 ha, tiếp đến là canh tác thông thường 0,26 ha và cuối cùng là các tác hữu cơ 0,21 ha. Sự khác nhau về diện tích đất trồng rau nói chung và rau bắp cải nói riêng cũng có xu hướng tương tự như vậy (Bảng 1). Đặc biệt là diện tích trồng rau bắp cải của các hộ canh tác hữu cơ rất nhỏ (0,02 ha/hộ), nhỏ hơn 2 lần so với các hộ canh tác thông thường và 5 lần so với các hộ canh tác VietGap.

Về năng suất bắp cải và thu nhập, năng suất bắp cải trung bình theo canh tác hữu cơ thấp nhất (28,58 tấn/ha). Năng suất trung bình của mô hình canh tác thông thường và VietGap lần lượt là 45,91 và 42,48 tấn/ha. Tuy nhiên, mô hình canh tác hữu cơ lại cho thu nhập cao nhất (410 triệu đồng/ha). Mô hình canh tác thông thường và VietGap cho thu nhập lần lượt là 271 và 288 triệu đồng/ha. Điều này là do giá bán bắp cải hữu cơ (14,37 nghìn đồng/kg) cao hơn gấp hơn 2 lần so với giá bán của VietGap (6,96 nghìn đồng/kg) và canh tác thông thường (6,05 nghìn đồng/kg).

Bảng 1. Hệ số phát thải khí nhà kính của các nguyên liệu đầu vào

Nguồn phát thải	Hệ số phát thải	Nguồn tài liệu tham khảo
Phát thải gián tiếp		
Phân vô cơ		
N	4,00 kg CO ₂ -eq/kg N	FAO (2017)
P ₂ O ₅	1,29 kg CO ₂ -eq/kg P ₂ O ₅ -eq	FAO (2017)
K ₂ O	1,47 kg CO ₂ -eq/kg K ₂ O-eq	FAO (2017)
Thuốc bảo vệ thực vật		
Thuốc tổng hợp	18,08 kg CO ₂ -eq/kg thuốc	West & Marland (2002)
Thuốc sinh học (mua)*	18,08 kg CO ₂ -eq/kg thuốc	West & Marland (2002)
Năng lượng		
Điện	0,86 kg CO ₂ -eq/kWh	MONRE (2019)
Dầu	0,38664 CO ₂ -eq/L dầu	Arunrat et al. (2022)
Nilon che phủ đất	2,51 kg CO ₂ -eq/kg nilon	Tenhunen-Lunkka et al. (2023)
N₂O		
Lắng đọng khí quyển ($EF_{N_2O_{ATD}}$)	0,014 kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NOX-N bị bay hơi) ⁻¹	IPCC (2019)
$Frac_{GASF}$	0,11 kg NH ₃ -N (kg N áp dụng) ⁻¹	IPCC (2019)
$Frac_{GASM}$	0,21 kg NH ₃ -N (kg N áp dụng) ⁻¹	IPCC (2019)

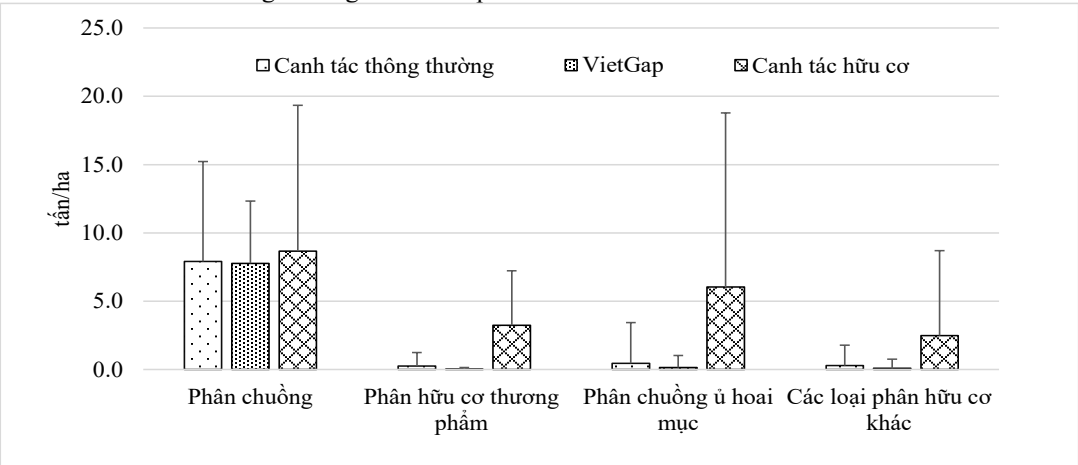
Nguồn phát thải	Hệ số phát thải	Nguồn tài liệu tham khảo
Rửa trôi ($EF_{N_{2O_L}}$)	0,011 kg N_2O -N (kg N rửa trôi/chảy tràn) ⁻¹	IPCC (2019)
$Fras_{LEACHING}$	0,24 kg N (kg N bổ sung) ⁻¹	IPCC (2019)
PHÁT THẢI TRỰC TIẾP		
Năng lượng		
Dầu	2,75 kg CO_2 -eq/L dầu	MONRE (2022)
N_2O (trong khi trồng bắp cải)*		
N-phân vô cơ ($EF_{N_2O_{direct}}$)	0,016 kg N_2O -N/kg N	IPCC (2019)
N-phân hữu cơ ($EF_{N_2O_{direct}}$)	0,006 kg N_2O -N/kg N	IPCC (2019)
CO_2		
Bón phân đậm	0,73 kg CO_2 /kg phân đậm	IPCC (2006)
Bón vôi	0,44 kg CO_2 /kg vôi	IPCC (2006)

Ghi chú: * EF của thuốc BVTV sinh học được sử dụng giống như thuốc BVTV tổng hợp do chưa có EF riêng

Về thuốc BVTV, loại thuốc có nguồn gốc sinh học mua trên thị trường được sử dụng phổ biến ở cả 3 mô hình canh tác với liều lượng sử dụng trung bình từ 5,12 L/ha (mô hình hữu cơ) đến 6,61 L/ha (mô hình VietGap). Một số loại thuốc được sử dụng phổ biến là những thuốc có hoạt chất *Bacillus thuringiensis* (ví dụ như Delphin), Emamectin Benzoate (ví dụ như thuốc hiệu Eché độc hay Gà trống) và Abamectin (ví dụ như Abatin). Tuy nhiên, hộ canh tác thông thường sử dụng rất nhiều thuốc bảo vệ thực vật tổng hợp (4,35 L/ha), cao hơn gần gấp 3 lần so với VietGap (1,6 L/ha). Các hộ canh tác hữu cơ không sử dụng loại thuốc này. Để giúp phòng trừ dịch hại, các hộ canh tác hữu cơ tự sản xuất thuốc sinh học bằng các loại thảo mộc để sử dụng.

Về phân bón, các loại phân vô cơ chỉ được sử dụng ở mô hình canh tác thông thường và VietGap

với liều lượng sử dụng tương đối giống nhau. Lượng N, P_2O_5 và K_2O được sử dụng với mức trung bình lần lượt là 234, 170 và 83 kg/ha ở mô hình canh tác thông thường và 264, 126 và 72 kg/ha ở mô hình VietGap. Mức phân bón này tương đương với mức sử dụng phân vô cơ cho rau ăn lá ở tỉnh Kiên Giang (Le & Nguyen, 2021) và ở Hà Nội (Hung et al., 2022), trong khi đó mức này nhỏ hơn gần một nửa so với mức bón cho bắp cải ở Trùng Khánh, Trung Quốc (Liang et al., 2021). Tuy nhiên, theo Vegetable and Fruit Research Institute (2020), mức phân bón khuyến cáo áp dụng cho bắp cải là 120 - 150 kg N/ha, 70 - 90 kg P_2O_5 /ha và 120 - 150 kg K_2O /ha. Như vậy, lượng phân đạm (N) và lân (P_2O_5) được áp dụng hiện nay ở Hà Nội vẫn cao hơn gần gấp đôi so với khuyến cáo, trong khi đó lượng Kali (K_2O) lại thấp hơn.



Hình 2. Tỷ lệ áp dụng các loại phân hữu cơ trong các mô hình canh tác bắp cải ở vùng ngoại thành Hà Nội

Phân hữu cơ được áp dụng ở cả ba mô hình trồng bắp cải. Tuy nhiên, tỷ lệ áp dụng cao nhất ở mô hình

canh tác hữu cơ (332 kg N/ha), mô hình canh tác thông thường và VietGap có tỷ lệ được áp dụng

tương đương nhau (khoảng hơn 200 kg N/ha). Các loại phân hữu cơ được sử dụng bao gồm phân chuồng (phân gà, bò và lợn), phân hữu cơ thương phẩm mua trên thị trường, phân chuồng tự ủ (compost) và một số loại phân khác như phân cá hay tro đốt từ rơm rạ. Tỷ lệ phân chuồng được áp dụng tương đối giống nhau ở cả 3 mô hình (7,3 – 8,7 tấn/ha). Tuy nhiên, phân hữu cơ thương phẩm và phân chuồng ủ compost được sử dụng với tỷ lệ cao hơn ở mô hình canh tác hữu cơ (Hình 2).

Vôi được sử dụng bón lót cùng phân chuồng với liều lượng cao nhất ở mô hình canh tác hữu cơ (597 kg/ha), tiếp đến là mô hình canh tác thông thường (498 kg/ha) và cuối cùng là mô hình canh tác VietGap (304 kg/ha). Nilon che phủ đất cũng được sử dụng nhiều nhất ở mô hình canh tác hữu cơ với tỷ lệ trung bình 93 kg/ha, ở mô hình canh tác thông thường chỉ với 11 kg/ha và không sử dụng ở mô hình VietGap.

Về năng lượng tiêu thụ cho sản xuất, dầu thường được sử dụng cho khâu làm đất và điện sử dụng cho bơm nước tưới. Lượng dầu được sử dụng với mức trung bình gần như nhau ở mô hình canh tác thông thường và VietGap, lần lượt là 54 và 51 L/ha. Trong khi đó, mức sử dụng năng lượng này thấp hơn khoảng 1/3 (16 L/ha) đối với mô hình hữu cơ. Do diện tích trồng bắp cải ở các hộ canh tác hữu cơ nhỏ (0,02 ha/hộ) nên nhiều hộ làm đất bằng tay, dẫn đến không tiêu thụ năng lượng cho hoạt động này. Ngược lại, mức tiêu thụ điện cao nhất ở mô hình canh tác hữu cơ (1.704 kwh/ha) cao hơn gấp đôi so với mô hình canh tác thông thường và hơn gấp 3 so với mô hình canh tác VietGap. Điều này là do tại vùng canh tác hữu cơ ở Sóc Sơn, toàn bộ nguồn nước tưới cho rau đều lấy từ nước ngầm. Các hộ dân phải sử dụng máy bơm điện để dẫn nước từ các giếng khoan về ruộng. Trong khi đó, các vùng canh tác thông thường và VietGap không chỉ dùng nước ngầm mà còn tận dụng các nguồn nước mặt gần khu sản xuất, giúp giảm nhu cầu sử dụng máy bơm điện

Bảng 2. Diện tích, năng suất, giá thành và nguyên liệu đầu vào đối với các mô hình sản xuất bắp cải khác nhau ở thành phố Hà Nội

Khoản mục	Đơn vị	Canh tác thông thường (N=182)		VietGap (N=50)		Canh tác hữu cơ (N=49)	
		TB	SD	TB	SD	TB	SD
Tổng diện tích đất nông nghiệp	ha	0,26	0,16	0,29	0,22	0,21	0,15
Diện tích đất trồng rau	ha	0,14	0,11	0,18	0,11	0,11	0,06
Diện tích bắp cải	ha	0,05	0,05	0,10	0,17	0,02	0,02
Năng suất	tấn/ha	45,91	16,79	42,48	14,63	28,58	10,67
Giá bán	nghìn đồng/kg	6,05	2,44	6,96	2,50	14,37	2,22
Thu nhập	triệu đồng/ha	271,61	140,37	288,29	123,95	410,81	167,06
Thuốc bảo vệ thực vật							
Thuốc tổng hợp	L/ha	4,35	4,71	1,60	2,72	0,00	0,00
Thuốc sinh học (mua)	L/ha	5,53	4,64	6,61	4,94	5,12	2,80
Thuốc sinh học (tự làm)*	L/ha	1,93	10,57	0,22	1,26	54,71	84,21
Phân vô cơ							
N	kg/ha	234	179	264	161	0	0
P ₂ O ₅	kg/ha	170	119	126	75	0	0
K ₂ O	kg/ha	83	87	72	74	0	0
Phân hữu cơ							
N	kg/ha	214	178	212	110	332	175
Vôi	kg/ha	498	614	304	347	597	654
Nilon che phủ đất	kg/ha	11	38	0	0	93	107
Điện dùng bơm nước	kwh/ha	819	876	566	530	1704	1198
Dầu (làm đất)	L/ha	54	80	51	59	16	43

Ghi chú: *Thuốc sinh học do người dân tự chế biến từ các loại thảo dược như tỏi, ớt hay vỏ quýt để phòng trừ sâu bệnh.

3.2. Lượng khí nhà kính phát thải từ các mô hình sản xuất bắp cải

Lượng khí nhà kính (KNK) phát thải từ các mô hình canh tác bắp cải được trình bày trong Bảng 3.

Có thể thấy, lượng phát thải KNK tính trên đơn vị diện tích và trên thu nhập từ bắp cải trong mô hình canh tác hữu cơ thấp hơn đáng kể ($p < 0,001$) so với mô hình canh tác thông thường và VietGAP. Trong khi đó, các giá trị này không có sự khác biệt thống

kê giữa mô hình canh tác thông thường và VietGap. Lượng KNK phát thải trên đơn vị diện tích ở mô hình canh tác thông thường và VietGap lần lượt là 5.949 và 5.930 kg CO₂-eq/ha, lớn hơn 1,5 lần so với lượng KNK phát thải ở mô hình canh tác hữu cơ (3.880 kgCO₂-eq/ha). Lượng KNK phát thải trên thu nhập từ bắp cải ở mô hình canh tác hữu cơ (5,5 kgCO₂-eq/ngheìn đồng) nhỏ hơn gần 3 lần so với ở mô hình canh tác thông thường và VietGap (cả hai đều là 14,4 kgCO₂-eq/ngheìn đồng). Tuy nhiên, không có sự khác nhau về mặt thống kê về lượng KNK phát thải trên khối lượng sản phẩm ở các mô hình canh tác. Lượng phát thải này ở các mô hình canh tác thông thường, VietGap và hữu cơ lần lượt là 147 kg CO₂/tấn, 156 kg CO₂-eq/tấn và 154 kg CO₂-eq/tấn. Mức phát thải này cũng tương đương với mức phát thải trong sản xuất bắp cải ở Trung Khánh, Trung Quốc (Liang et al., 2021). So với nghiên cứu của Kim and Le (2023) về mức phát thải

KNK trên cải xanh được trồng 2 vụ/năm tại huyện Hòn Đất, tỉnh Kiên Giang, mức phát thải trên đơn vị diện tích (11.250 kg CO₂-eq /năm) tương đương với nghiên cứu này, tuy nhiên mức phát thải trên khối lượng sản phẩm (107 kg CO₂-eq/tấn) lại thấp hơn. Điều này là do năng suất bắp cải cao hơn so với năng suất cải xanh. Kết quả tổng quan từ nhiều nghiên cứu cũng cho thấy là canh tác hữu cơ có mức phát thải KNK trên đơn vị diện tích thấp hơn và mức phát thải KNK trên khối lượng sản phẩm tương đương hoặc thấp hơn so với canh tác thông thường (Chiriaco et al., 2022; Hashemi et al., 2024). Nghiên cứu của He et al. (2016) cho thấy lượng KNK phát thải trên đơn vị khối lượng sản phẩm trong sản xuất cà chua hữu cơ ở Bắc Kinh, Trung Quốc là 207 kg CO₂-eq/tấn thấp hơn so với sản xuất thông thường (261 kg CO₂-eq/tấn). Như vậy, kết quả nghiên cứu này góp phần khẳng định canh tác theo hướng hữu cơ có thể giúp giảm thiểu phát thải KNK.

Bảng 3. Lượng phát thải khí nhà kính (KNK) ở mô hình canh tác bắp cải thông thường, VietGap và hữu cơ tại vùng ngoại thành Hà Nội

Lượng KNK	Canh tác thông thường (N=182)		VietGap (N=50)		Canh tác hữu cơ (N=49)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
kg CO ₂ -eq/ha	5.949 ^b	3.089	5.930 ^b	2.415	3.880 ^a	1.673
kg CO ₂ -eq/t	147 ^a	98	156 ^a	80	154 ^a	111
kgCO ₂ /ngheìn đồng	14,4 ^b	9,8	14,4 ^b	11,4	5,5 ^a	3,1

Ghi chú: Các chữ cái thường khác nhau trong cùng một hàng thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa ở mức $p < 0,001$

3.3. Phân tích nguồn đóng góp phát thải KNK ở các mô hình canh tác bắp cải

Kết quả nghiên cứu ở Hình 3 cho thấy, trong số 7 nguồn phát thải trong quá trình sản xuất bắp cải, chỉ có 3 nguồn phát thải đáng kể nhất là từ phân vô cơ, phân hữu cơ và sử dụng năng lượng. Đối với từ nguồn phân vô cơ, lượng phát thải ở mô hình canh tác thông thường và VietGap không có sự khác biệt về mặt thống kê và không có nguồn phát thải này ở mô hình canh tác hữu cơ. Xu hướng tương tự được tìm thấy ở nguồn phát thải từ thuốc BVTV và tàn dư thực vật. Ngược lại, lượng phát thải KNK từ phân hữu cơ, sử dụng năng lượng, sử dụng nilon che phủ và vôi ở mô hình canh tác hữu cơ cao hơn so với canh tác thông thường và VietGap.

Đối với mô hình canh tác thông thường và VietGap, lượng phát thải từ phân vô cơ chiếm tỷ lệ lớn nhất lần lượt là 57,8% và 64,5%, tiếp đến là từ phân hữu cơ đều chiếm khoảng 17% ở cả 2 mô hình và từ sử dụng năng lượng lần lượt 15,4% và 11,4% (Hình 4). Trong đó, lượng phát thải KNK từ phân vô cơ là lớn nhất, cao hơn gấp khoảng 3 lần so với lượng KNK phát thải từ phân hữu cơ và sử dụng năng lượng. Các nguồn còn lại chỉ chiếm 9% (canh

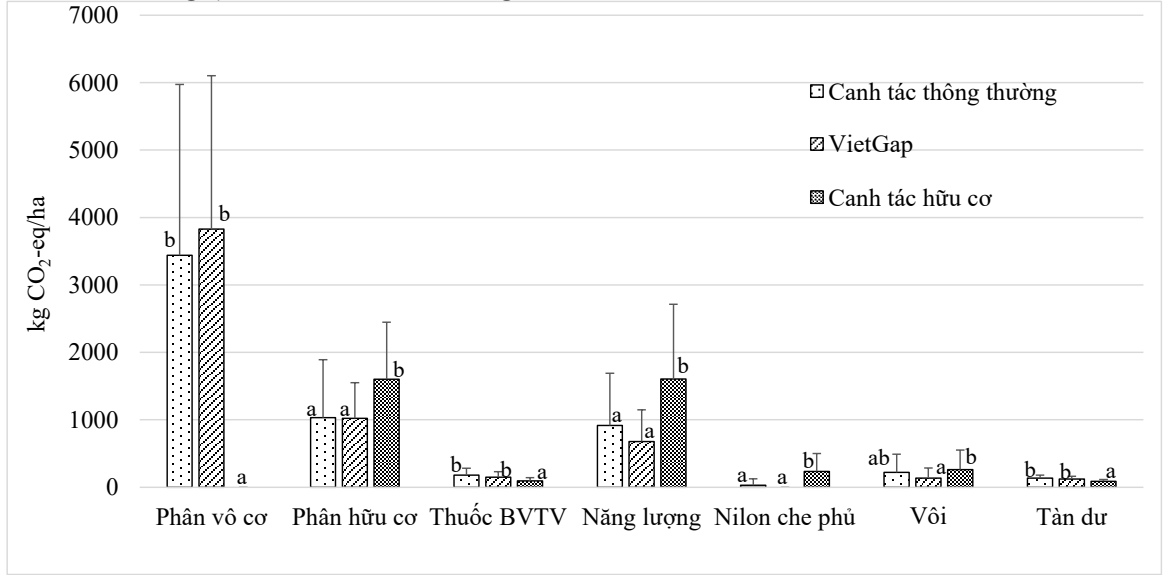
tác thông thường) và 6,5% (VietGap). Tuy nhiên, đối với mô hình hữu cơ, nguồn phát thải từ phân hữu cơ và sử dụng năng lượng lớn nhất cùng chiếm khoảng 41%, tiếp đến là từ sử dụng nilon che phủ (6%) và bón vôi bột (7%).

Khí N₂O chiếm 68% tổng lượng KNK (4.069 kg CO₂-eq/ha) phát thải ở mô hình canh tác thông thường, 75% (4.424 kg CO₂-eq/ha) ở mô hình VietGap và 44% (1.688 kg CO₂-eq/ha) ở mô hình canh tác hữu cơ (Hình 5). Trong đó, đối với mô hình canh tác thông thường và VietGap, khí N₂O phát thải phần lớn là đến từ bón đạm vô cơ, lần lượt chiếm 48,8% (2.902 kg CO₂-eq/ha) và 55,3% (3.279 kg CO₂-eq/ha) tổng lượng phát thải. Tất nhiên đối với mô hình hữu cơ nguồn phát thải N₂O lớn nhất là từ nguồn đạm (N) chứa trong phân hữu cơ (chiếm 41,3% tổng lượng phát thải tương đương với 1.602 kg CO₂-eq/ha). Kết quả nghiên cứu của Yan et al. (2012) và Kashyap et al. (2023) cũng cho thấy rằng phân bón chứa N là nguồn đóng góp phát thải lớn nhất vào tổng lượng phát thải KNK trong sản xuất rau ăn lá.

Những kết quả trên cho thấy để giảm phát thải khí nhà kính đối với mô hình canh tác thông thường

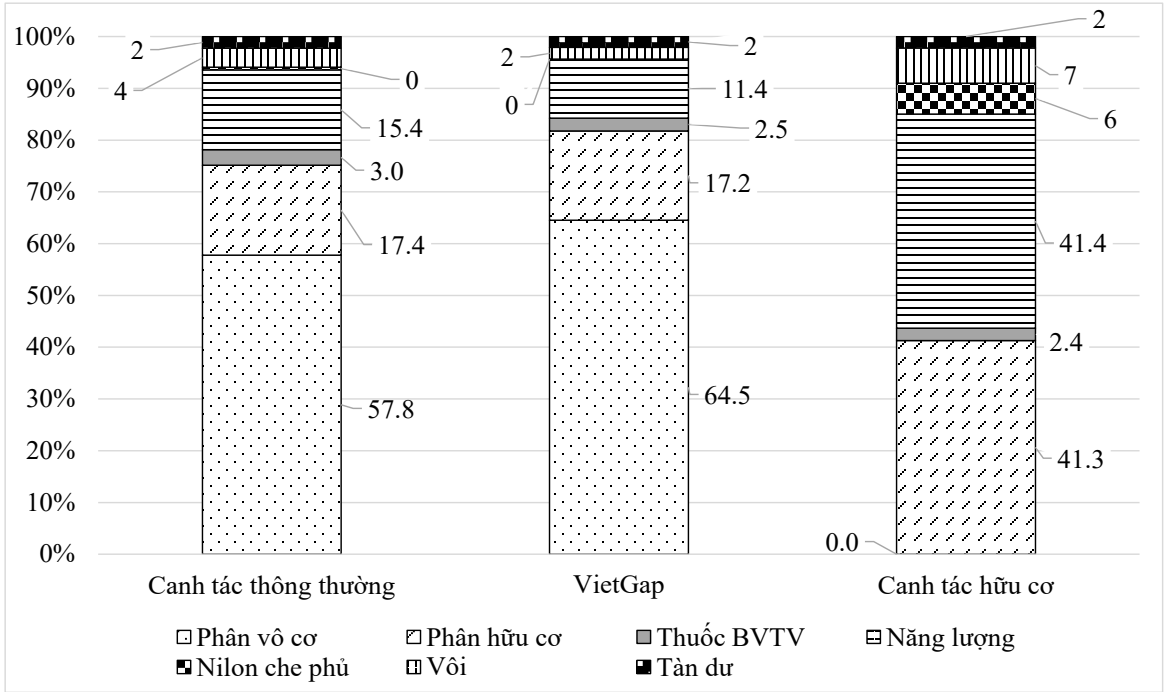
và VietGap, việc giảm sử dụng phân bón vô cơ đặc biệt là với phân đạm là cần thiết. Hiện nay, lượng đạm được sử dụng ở cả 2 mô hình đều cao hơn gần gấp đôi so với liều lượng khuyến cáo (xem thảo luận ở mục 3.1 và Bảng 1). Đối với mô hình hữu cơ, giảm

thiếu năng tiêu thụ, chủ yếu là từ bơm nước tưới (1.704 kWh/ha, Bảng 1) có thể giúp giảm phát thải KNK. Nguồn nước tưới cho rau hữu cơ ở xã Thanh Xuân, huyện Sóc Sơn toàn bộ từ giếng khoan.

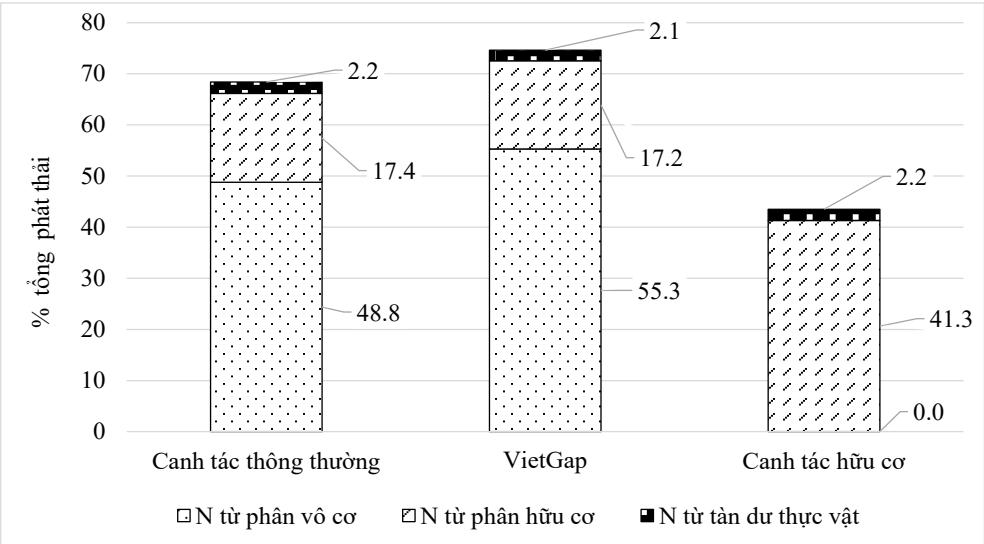


Hình 3. Lượng khí nhà kính theo nguồn phát thải ở các mô hình canh tác bắp cải thông thường, VietGap và hữu cơ ở vùng ngoại thành Hà Nội

Ghi chú: Các chữ cái thường khác nhau trong cùng nguồn phát thải thể hiện sự khác nhau giữa các mô hình có ý nghĩa ở mức $p < 0,05$.



Hình 4. Mức đóng góp của các nguồn phát thải vào tổng lượng khí nhà kính phát thải từ các mô hình canh tác bắp cải thông thường, VietGap và hữu cơ ở ngoại thành Hà Nội



Hình 5. Mức đóng góp của khí N₂O phát thải từ các nguồn đạm (N) khác nhau vào tổng lượng KNK phát thải từ các mô hình canh tác bắp cải thông thường, VietGAP và hữu cơ ở Hà Nội

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu về mức phát thải khí nhà kính trong sản xuất rau bắp cải theo các mô hình canh tác khác nhau tại Hà Nội cho thấy: mô hình canh tác hữu cơ phát thải 3.880 kg CO₂-eq/ha, thấp hơn 1,5 lần so với mức phát thải của mô hình canh tác thông thường và VietGAP (lần lượt là 5.949 và 5.930 kg CO₂-eq/ha). Mặc dù không có sự khác biệt giữa các mô hình về mức phát thải KNK tính trên khối lượng sản phẩm, mức phát thải KNK tính trên tổng thu nhập từ bán sản phẩm của mô hình canh tác hữu cơ thấp hơn gần 3 lần so với mô hình canh tác thông thường và VietGAP. Phân bón vô cơ và phân bón hữu cơ là các nguồn phát thải chính được sử dụng trong mô hình canh tác thông thường và VietGAP. Trong khi đó, ở mô hình hữu cơ, nguồn phát thải lớn nhất đến từ phân hữu cơ và sử dụng

năng lượng. Do đó, việc quản lý dinh dưỡng và sử dụng phân bón hợp lý đối với mô hình canh tác thông thường và VietGAP, kết hợp áp dụng các giải pháp tiết kiệm năng lượng trong tưới tiêu ở mô hình canh tác hữu cơ, có thể góp phần giảm thiểu đáng kể lượng phát thải KNK trong sản xuất rau tại Hà Nội.

Kết quả nghiên cứu này cung cấp cơ sở khoa học quan trọng để xây dựng các chính sách và biện pháp canh tác bền vững, nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường và thúc đẩy phát triển nông nghiệp bền vững tại Việt Nam.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số: IZVSZ1.202695.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

Arunrat, N., Sreenonchai, S., Chaowiwat, W., Wang, C. & Hatano, R. (2022) Carbon, nitrogen and water footprints of organic rice and conventional rice production over 4 years of cultivation: a case study in the lower north of Thailand. *Agronomy*, 12(2), 380.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12020380>

BSI (British Standards Institute). (2011). *The Guide to PAS 2050:2011- How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain*. BSI, London

Chiriaco, M. V., Castaldi, S., & Valentini, R. (2022). Determining organic versus conventional food emissions to foster the transition to sustainable food

systems and diets: Insights from a systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 380, 134937.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134937>

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2017). Global database of GHG emissions related to feed crops: A life cycle inventory. Version 1. *Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership*. Rome, Italy, FAO

Ghiglieno, I., Simonetto A., Facciano, L., Tonni, M., Donna, P., Valenti, L., & Gilioli, G. (2023). Comparing the Carbon Footprint of Conventional and Organic Vineyards in Northern

- Italy. *Sustainability*, 15(6), 5252.
<https://doi.org/10.3390/su15065252>
- Ha, M. T., Shakur, K., & Do, H. P. K. (2019). Consumer concern about food safety in Hanoi, Vietnam. *Food Control*, 98, 238–244
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.031>
- Hashemi, F., Mogensen, L., van der Werf, H. M. G., Cederberg, C., & Knudsen, M. T. (2024). Organic food has lower environmental impacts per area unit and similar climate impacts per mass unit compared to conventional. *Communications Earth and Environment*, 5, 250.
<https://doi.org/10.1038/s43247-024-01415-6>
- He, X., Qiao, Y., Liu, Y., Dendler, L., Yin, C., & Martin, F. (2016). Environmental impact assessment of organic and conventional tomato production in urban greenhouses of Beijing city, China. *Journal of Cleaner Production*. 134, 251-258.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.004>
- Hiller, J., Hawe, C., Squire, G., Hilton, A., Wale, S., & Smith, P. (2009). The carbon footprints of foot crop production. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7(2): 107-118.
<https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0419>
- Holka, M., Kowalska, J., & Jakubowska, M. 2022. Reducing Carbon Footprint of Agriculture—Can Organic Farming Help to Mitigate Climate Change? *Agriculture*, 12(9), 1383.
<https://doi.org/10.3390/agriculture12091383>
- Hu, Y., Sun J., & Zheng, J. (2021). Comparative analysis of carbon footprint between conventional smallholder operation and innovative largescale farming of urban agriculture in Beijing, China. *PeerJ*. 9, e11632.
<https://doi.org/10.7717/peerj.11632>
- Hung, N. P., Rogers G., & Ampt P. (2022). Factors Influencing N2O Emissions of Major Vegetable Cropping Systems in Peri-Urban Hanoi, Vietnam. *International Journal of Life Science and Agriculture Research*, 1(3), 38-45.
- IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). (2006). *IPCC guidelines for national GHG inventories*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC (2019). *2019 refinement to the 2006- IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 4: agriculture, forestry and other land use (AFOLU)*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>.
- Kashyap, D., de Vries, M., Pronk, A., & Adiyoga, W. (2023). Environmental impact assessment of vegetable production in West Java, Indonesia. *Science of The Total Environment*. 864, 160999.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160999>
- Khai, N. M., Ha, P. Q., & Öborn I. (2007). Nutrient flows in small-scale peri-urban vegetable farming systems in Southeast Asia—A case study in Hanoi. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 122(2), 192-202.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.003>
- Kim, P., & Le, T. T. L. (2023). Trade-offs in greenhouse gas emissions for achieving financial efficiency in chili and mustard greens cultivation models in Hon Dat district, Kien Giang province. *Can Tho University Journal of Science*. 59: 42-53 (in Vietnamese).
- Le, T. T. L., & Nguyen, T. (2021). Research on energy consumption through agricultural inputs usage and financial efficiency of leafy vegetables cultivation system in My Thuan commune, Hon Dat district, Kien Giang province, Vietnam. *Can Tho University Journal of Science*, 57, 138-147 (in Vietnamese).
- Leon, A., & Izumi, T. (2022) Impacts of alternate wetting and drying on rice farmers' profits and life cycle greenhouse gas emissions in An Giang Province in Vietnam. *J Cleaner Prod* 354, 131621.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131621>
- Liang, T., Liao, D., Wang S., Yang B., Zhao J., Zhu C., Tao Z., Shi X., Chen X., & Wang X. (2021). The nitrogen and carbon footprints of vegetable production in the subtropical high elevation mountain region. *Ecological Indicators*. 122: 107298.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107298>
- MARD (Ministry of Agriculture and Rural Development). (2008). *Good Agricultural Practices for Safe Fresh Fruit and Vegetable Production in Vietnam (VietGap)* (No. 379/QĐ-BNN-KHCN dated on January 28, 2008) (in Vietnamese).
<https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Linh-vuc-khac/Quyet-dinh-379-QD-BNN-KHCN-quy-trinh-thuc-hanh-san-xuat-nong-nghiep-tot-cho-rau-qua-tuoi-an-toan-62746.aspx>
- Mbow, C., C. Rosenzweig, L.G. Barioni, T.G. Benton, M. Herrero, M. Krishnapillai, E. Liwenga, P. Pradhan, M.G. Rivera-Ferre, T. Sapkota, F.N. Tubiello, Y. Xu. (2019) *Food security. climate change land: an IPCC special report on climate change, desertification, land*

- degradation, sustainable land management, food security, GHG fluxes in terrestrial ecosystems. In: J. S. P. R. Shukla, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.O. Pörtner, Roberts D. C. et al (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- MONRE (Ministry of Natural Resources and Environment). (2019). *The grid emission factor of Vietnam for 2017* (No. 330/BĐKH-GNPT dated March 29, 2019) (in Vietnamese). [http://www.dcc.gov.vn/van-ban-phap-luat/1054/Nghien-cuu,-xay-dung-he-so-phat-thai-\(EF\)-cua-luoi-dien-Viet-Nam-\(K%C3%A8m-CV-330/BĐKH-GNPT\).html](http://www.dcc.gov.vn/van-ban-phap-luat/1054/Nghien-cuu,-xay-dung-he-so-phat-thai-(EF)-cua-luoi-dien-Viet-Nam-(K%C3%A8m-CV-330/BĐKH-GNPT).html).
- MONRE (2022). *Announcement of the Emission Factor List for Greenhouse Gas Inventory* (No. 2626/QĐ-BTNMT dated October 10, 2022) (in Vietnamese). <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Quy-dinh-2626-QĐ-BTNMT-2022-cong-bo-he-so-phat-thai-phuc-vu-kiem-ke-khi-nha-kinh-532253.aspx>
- Naik, P., Narayana, C. K., & Sanikommu, V. R. R. (2014). Estimation of crop residue of cabbage var. Unnathi and their nutritional value. *Bioved*, 25, 39-42.
- Naseer, M., Persson T., Hjelkrem, A.-G. R., Ruoff, P., & Verheul, M. J. (2022). Life cycle assessment of tomato production for different production strategies in Norway. *Journal of Cleaner Production*. 372, 133659. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133659>
- Nguyen, H. N., Nguyen, T. T. H., & Nguyen N. V. (2020). Evaluating the efficiency of vegetable production of farm households in Bac Ha district, Lao Cai province. *Vietnam J. Agri. Sci.* 18(9): 705-712 (in Vietnamese).
- Nguyen, T. (2019). *Strengthening the cooperative group through a cabbage cultivation model following the value chain* (in Vietnamese). <https://danviet.vn/cung-co-to-hop-tac-qua-mo-hinh-trong-bap-cai-theo-chuoi-7777945599.htm>
- Nguyen, Y. T. B., & Kamoshita, A. (2024). Factors influencing the carbon footprint of rice production in Northeastern Vietnam. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02308-8>.
- Pham, V. H., Arthur, P. J. M., Oosterveer, P., Paul, J. van den B., & Pham, T. M. H. (2016) Pesticide use in Vietnamese vegetable production: a 10-year study. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 14(3), 325-338 <https://doi.org/10.1080/14735903.2015.1134395>
- PM (Prime Minister). (2020). *Decision approving the Project on Organic Agriculture Development for the 2020–2030 Period*. Government of Vietnam. (No. /QĐ-TTg dated on June 23, 2020) (in Vietnamese). <https://vanban.chinhphu.vn/default.aspx?pageid=27160&docid=200315>
- Schreinemachers, P., Grovermann, C., Praneetvatakul, S., Heng, P., Nguyen, T.T.L., Buntong, B., Le, N.T., & Pinn, T. (2020). How much is too much? Quantifying pesticide overuse in vegetable production in Southeast Asia. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118738. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118738>
- Shabir, I., Dash, K. K., Dar, A. H., Pandey, V. K., Fayaz, U., & Srivastava, S. (2023). Carbon footprints evaluation for sustainable food processing system development: a comprehensive review. *Future Foods*, 7, 100215. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100215>
- Shen, X., Zhang, L., & Zhang, J. (2021) Ratoon rice production in central China: Environmental sustainability and food production. *Sci of the Total Env*. 764,142850. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142850>
- Shrivastava, A., Tchale, H., Cao, B.T., Elabed, G., Kar, A., Kieu, H.T.P., & Nguyen, H. T. T. (2022). *Vietnam - spearheading Vietnam's green agricultural transformation: moving to low-carbon rice*. Washington, D.C. : World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/099735109222222315>
- Tenhunen-Lunkka, A., Rommens, T., Vanderreydt, I., & Mortensen, L. (2023). Greenhouse Gas Emission Reduction Potential of European Union's Circularity Related Targets for Plastics. *Circ Econ Sustain*, 3(1), 475-510. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00192-8>
- Vegetable and Fruit Research Institute. (2020). *Intensive Cultivation Technical Process for Safe Cabbage CT17 under VietGap Standards* (No. 13/QĐ-VRQ-KH dated January 7, 2020) (in Vietnamese). <http://kopia.favri.org.vn/index.php/9-quy-trinh-k-thu-t/3-quy-trinh-san-xuat-bi-ngoi-star-ol-va-azura-an-toan-theo-vietgap>
- West, T.O. and Marland, G. (2002). Asynthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 91, 217-232. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00233-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00233-X)
- Yan, M., Pan, G. X. & Chen, L. (2012). An analysis of carbon footprint of vegetable production in Jiangsu, China. *Acta Horticulturae*. 958, 203-210. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.958.24>
- Yuttitham, M. (2019). Comparison of Carbon Footprint of Organic and Conventional Farming of Chinese Kale. *Environment and Natural Resources Journal*. 17, 78-92. <https://doi.org/10.32526/enrj.17.1.2019.08>