



ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN NĂNG SUẤT CÀ PHÊ VÀ GIẢI PHÁP THÍCH ỨNG TẠI KHU VỰC NAM TÂY NGUYÊN, VIỆT NAM

PHẠM HOÀI NAM¹, PHẠM SƠN TÙNG¹, NGUYỄN VĂN HUỐNG¹, AN ĐỨC THẮNG¹, NGUYỄN THỊ DUNG¹

¹Viện Vật liệu, Sinh học và Môi trường, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

Tóm tắt

Biến đổi khí hậu (BĐKH) đang tác động ngày càng rõ rệt đến các hệ thống sản xuất nông nghiệp ở Việt Nam, đặc biệt tại khu vực Nam Tây Nguyên - vùng trồng cà phê trọng điểm và có ý nghĩa chiến lược về quốc phòng - an ninh. Nghiên cứu này nhằm đánh giá xu hướng BĐKH và các tác động của nó đến năng suất cà phê tại các khu Kinh tế - Quốc phòng (KTQP) thuộc Binh đoàn 16, đồng thời đề xuất các giải pháp thích ứng phù hợp với điều kiện địa phương. Cách tiếp cận hệ thống, liên ngành, dựa trên hệ sinh thái (EbA) và dựa vào cộng đồng (CbA) được áp dụng, kết hợp giữa phương pháp định tính (điều tra, phỏng vấn, tham vấn chuyên gia) và định lượng (phân tích chuỗi dữ liệu khí tượng 2004-2024, kịch bản RCP 8.5). Kết quả cho thấy, nhiệt độ trung bình tăng gần 1°C trong hai thập kỷ qua và có thể tăng 3-3,5°C vào cuối thế kỷ XXI, trong khi lượng mưa mùa khô giảm 5-10%, gây hạn hán nghiêm trọng, làm giảm 15-25% năng suất cà phê hiện nay. Nghiên cứu đề xuất nhóm giải pháp thích ứng gồm: tăng cường hạ tầng thủy lợi và hồ chứa nước; áp dụng mô hình tưới tiết kiệm; sử dụng phân hữu cơ vi sinh; và trồng xen cây che bóng nhằm nâng cao khả năng chống chịu khí hậu. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học phục vụ quy hoạch sản xuất nông nghiệp thích ứng khí hậu tại các khu KTQP Nam Tây Nguyên.

Từ khóa: Năng suất cà phê; BĐKH, Nam Tây Nguyên, khu KTQP.

Ngày nhận bài: 5/10/2025; Ngày sửa bài: 27/10/2025; Ngày duyệt đăng: 8/11/2025.

Assessment of climate change impacts on coffee yield and adaptation solutions in the southern Central Highlands, Vietnam

Abstract

Climate change (CC) has been increasingly impacting agricultural production systems in Vietnam, particularly in the Southern Central Highlands- a key coffee-growing region with strategic importance for national defense and security. This study aims to assess the trends of climate change and its effects on coffee productivity in the Economic- Defense Zones (EDZs) under Army Corps 16, while proposing suitable adaptation solutions tailored to local conditions. A systematic, interdisciplinary approach based on ecosystem-based adaptation (EbA) and community-based adaptation (CbA) was applied, combining qualitative methods (surveys, interviews, expert consultations) and quantitative analyses (meteorological data series from 2004- 2024 under the RCP 8.5 scenario). Results indicate that the average temperature has increased by nearly 1°C over the past two decades and is projected to rise by 3- 3.5°C by the end of the 21st century, while dry-season rainfall has decreased by 5- 10%, leading to severe droughts and a 15- 25% decline in current coffee yields. The study proposes a set of adaptation measures, including strengthening irrigation and reservoir infrastructure, applying water-saving irrigation models, using organic bio-fertilizers, and intercropping shade trees to enhance climate resilience. The findings provide a scientific foundation for planning climate-resilient agricultural development in the EDZs of the Southern Central Highlands.

Key words: Coffee yield; climate change; Southern Tay Nguyen region, National Defense Economic Zone.

JEL Classifications: Q51, Q54, Q56.

1. GIỚI THIỆU

Cà phê là một trong những loại cây trồng có giá trị kinh tế và thương mại cao nhất thế giới, được trồng chủ yếu tại các quốc gia có khí hậu nhiệt đới và cận nhiệt đới. Hai loài chính là Coffea arabica (Arabica) và Coffea canephora (Robusta), chiếm hơn 98% sản lượng toàn cầu (ICO, 2022). Arabica thường được trồng ở độ cao từ

1.000- 2.000 m, có hương vị thơm dịu, song nhạy cảm hơn với nhiệt độ cao và các biến động khí hậu. Ngược lại, Robusta sinh trưởng ở độ cao thấp hơn (200 - 1.000 m), chịu hạn và chịu nhiệt tốt hơn, nhưng chất lượng hạt kém hơn Arabica (DaMatta và cộng sự, 2018).

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra BĐKH đang làm thay đổi điều kiện sinh thái của các vùng

trồng cà phê, dẫn đến dịch chuyển vùng canh tác, giảm năng suất và suy giảm chất lượng hạt (Bunn và cộng sự, 2015; Ovalle-Rivera và cộng sự, 2018). Mô hình dự báo cho thấy đến cuối thế kỷ XXI, diện tích thích hợp cho cà phê Arabica có thể giảm 40 - 60%, đặc biệt tại Nam Mỹ và châu Phi, trong khi Robusta có xu hướng mở rộng về phía các vùng cao hơn do tăng nhiệt độ trung bình (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2021). Các hướng nghiên cứu hiện nay tập trung vào thích ứng sinh thái (Ecosystem-based Adaptation - EbA), đa dạng hóa giống cây trồng, canh tác xen canh và quản lý nước bền vững để giảm rủi ro do khí hậu gây ra.

Tại Việt Nam, đặc biệt ở Tây Nguyên, cà phê là cây trồng chủ lực, chiếm hơn 90% sản lượng Robusta của cả nước (MARD, 2023). Khu vực này đang chịu tác động mạnh mẽ của BĐKH, thể hiện qua nhiệt độ tăng, mùa khô kéo dài và lượng mưa phân bố không đều (Nguyễn&Trần, 2021). Nhiều nghiên cứu trong nước đã chỉ ra mối liên hệ giữa BĐKH với năng suất, độ phì đất và tình trạng sâu bệnh hại cây cà phê. Các mô hình thích ứng như tưới tiết kiệm, trồng xen cây che bóng, và sử dụng phân hữu cơ vi sinh đang được khuyến nghị áp dụng để nâng cao khả năng chống chịu và phát triển bền vững ngành cà phê trong bối cảnh khí hậu biến đổi nhanh chóng.

Nhiệt độ, lượng mưa và số ngày mưa/nắng là ba yếu tố khí hậu chủ đạo ảnh hưởng trực tiếp đến sinh trưởng và năng suất cây cà phê. Nghiên cứu của Jarrod Kath và cộng sự (2020) trên 798 nông trại ở Đông Nam Á cho thấy, ngưỡng nhiệt độ trung bình tối ưu cho cà phê Robusta chỉ khoảng $<20,5^{\circ}\text{C}$; khi nhiệt độ tăng lên 25°C , năng suất giảm tới 50%, và mỗi khi nhiệt độ trung bình mùa vụ tăng thêm 1°C trên ngưỡng 24°C ban ngày hoặc 16°C ban đêm, năng suất giảm khoảng 14% (tương đương 350-460 kg/ha) (Jarrod Kath và cộng sự, 2020). Với Arabica, Craparo và cộng sự (2015) phát hiện mỗi 1°C tăng ở nhiệt độ ban đêm làm năng suất giảm khoảng 137 kg/ha (~60% sản lượng nông hộ) (Craparo và cộng sự, 2015).

Thực tế tại Tây Nguyên, khi nhiệt độ vượt quá 35°C hoặc xảy ra nắng nóng kéo dài, năng suất Robusta giảm 15-25%; ngược lại, rét bất thường dưới 16°C cũng gây rụng hoa, giảm năng suất (Phan Việt Hà, 2019). Bên cạnh nhiệt độ, lượng mưa và phân bố mưa theo mùa là yếu tố quyết định năng suất. Mùa mưa đủ dài với tổng lượng >1.550 mm giúp cây sinh trưởng tốt, trong khi kết thúc mùa mưa sớm hoặc thiếu mưa gây khô hạn làm giảm năng suất (Đinh Thị Lan Anh và cộng sự, 2017; Jarrod Kath và cộng sự, 2020). Tuy nhiên, mưa quá nhiều hoặc không đúng thời điểm - đặc biệt mưa trái mùa vào giai đoạn ra hoa - lại làm hoa nở "lai rai"

(nở không tập trung, kéo dài), đậu quả kém, thậm chí gây thối hoa, rụng quả non (Jarrod Kath và cộng sự, 2020). Cà phê Robusta được chứng minh nhạy cảm hơn Arabica với lượng mưa, và biến động mưa (hạn hán, lũ lụt) ở Đông Nam Á đã nhiều lần làm giảm năng suất cà phê (Christian Bunn và cộng sự, 2014). Ngoài ra, số ngày mưa và nắng cũng quyết định tính thời vụ và năng suất. Một mùa khô có số ngày nắng liên tục đủ dài sẽ kích thích ra hoa đồng loạt, nhưng nếu kéo dài quá mức gây hạn thì năng suất giảm mạnh (Đinh Thị Lan Anh và cộng sự, 2020). Mưa kéo dài trong giai đoạn hoa hoặc quả chín làm giảm quang hợp, gia tăng bệnh hại và giảm chất lượng hạt (Jarrod Kath và cộng sự, 2020). Sự mất cân bằng giữa mưa - nắng và xu hướng nhiệt độ tăng do BĐKH đang làm rối loạn chu kỳ sinh trưởng, dẫn đến suy giảm năng suất cà phê tại Việt Nam và khu vực.

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra cà phê có độ nhạy cao với thời tiết và khí hậu (Đinh Thị Lan Anh và cộng sự, 2020). Các tác động tương hỗ giữa lượng mưa và nhiệt độ quyết định khả năng trồng cà phê một cách kinh tế cũng như sự biến động về năng suất và chất lượng cà phê qua từng năm. Các nghiên cứu này cũng gợi ý rằng sự gia tăng nhiệt độ có thể làm giảm đáng kể năng suất cà phê. Cụ thể, nếu nhiệt độ trung bình tối thiểu/tối đa tăng mỗi 1°C trong mùa sinh trưởng (trên $16,2/24,1^{\circ}\text{C}$) có thể dẫn đến giảm 14% năng suất cà phê Robusta (Đinh Thị Lan Anh và cộng sự, 2020). Điều này đặt ra mối quan ngại lớn về khả năng duy trì sinh kế của nông dân trồng cà phê và đáp ứng nhu cầu cà phê trong tương lai.

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước về tác động của BĐKH đối với cây cà phê, phần lớn các công trình tập trung vào khía cạnh nông học, sinh thái hoặc kinh tế tại các vùng sản xuất thương mại lớn như Đắk Lắk, Lâm Đồng, Gia Lai. Tuy nhiên, các khu KTQP ở khu vực Tây Nguyên có những đặc thù riêng biệt mà các nghiên cứu trước đây chưa xem xét đầy đủ, cụ thể: (i) Các khu KTQP thường nằm ở vùng biên giới, vùng sâu, vùng xa, nơi điều kiện khí hậu khắc nghiệt hơn, hạ tầng thủy lợi và giao thông hạn chế, khiến khả năng ứng phó với BĐKH thấp hơn so với các vùng cà phê trọng điểm khác. Các nghiên cứu hiện tại chủ yếu sử dụng dữ liệu và mô hình ở quy mô tỉnh hoặc vùng, chưa phản ánh được sự khác biệt vi mô về điều kiện địa hình, nguồn nước và cơ cấu cây trồng trong các khu KTQP. (ii) Khu KTQP là mô hình phát triển kết hợp giữa kinh tế và quốc phòng, trong đó mục tiêu an sinh xã hội, ổn định dân cư và bảo vệ biên giới được đặt song song với sản xuất nông nghiệp. Do vậy, việc đánh giá tác động của BĐKH trong các khu này cần xem xét cả yếu tố xã hội - cộng



đồng, chứ không chỉ dừng ở góc độ kỹ thuật canh tác hay năng suất cây trồng. Đây là khía cạnh mà phần lớn các nghiên cứu trước chưa đề cập đầy đủ. (iii) Nguồn lực, khả năng tiếp cận công nghệ của người dân và các đơn vị sản xuất trong khu KTQP còn hạn chế. Các giải pháp thích ứng đề xuất trong các nghiên cứu trước (như tưới tiết kiệm, ứng dụng công nghệ cao) thường khó áp dụng trực tiếp trong bối cảnh KTQP do thiếu cơ sở hạ tầng, tài chính và nhân lực kỹ thuật.

Chính vì vậy, nghiên cứu này lựa chọn phạm vi không gian là khu KTQP khu vực Tây Nguyên, tập trung đánh giá xu hướng của BĐKH (biểu hiện qua yếu tố nhiệt độ, lượng mưa) và dự đoán các ảnh hưởng của nó đến tình hình canh tác tại khu vực nghiên cứu, tập trung vào cây cà phê, góp phần vào việc xây dựng các giải pháp thích ứng hiệu quả. Việc đánh giá này đặc biệt quan trọng cho các Đoàn KTQP để đảm bảo mục tiêu giảm nghèo và ổn định dân cư, củng cố thể trận quốc phòng tại các địa bàn vùng sâu, vùng xa, biên giới.

2. KHU VỰC, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu tập trung vào 5 xã Quảng Trục, Quảng Tâm, Đắk Buk So, Đắk Ngo, xã Đắk Sin tỉnh Lâm Đồng (thuộc huyện Tuy Đức và huyện Đắk R'Lấp, tỉnh Đắk Nông cũ). Đây là địa bàn của hai khu KTQP trực thuộc Trung đoàn Quảng Trục và Đắk Ngo. Khu vực huyện Tuy Đức cũ có địa hình phức tạp (vùng cao nguyên bazan, gò đồi núi thấp, thung lũng bồi tụ), khí hậu cao nguyên nhiệt đới ẩm với hai mùa rõ rệt, sông suối khá nhiều nhưng lưu lượng phụ thuộc mưa. Khu vực xã Đắk Sin có lợi thế đất đỏ bazan và khoáng sản.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được tiến hành trên quan điểm hệ thống và liên ngành, nhằm đảm bảo việc đánh giá tác động của BĐKH bao quát cả yếu tố tự nhiên, kinh tế - xã hội và quốc phòng. Hai cách tiếp cận chính được sử dụng là tiếp cận dựa trên hệ sinh thái (Ecosystem-based Adaptation - EbA) và tiếp cận dựa vào cộng đồng (Community-based Adaptation - CbA). Cách tiếp cận EbA giúp phân tích tác động của BĐKH lên các thành phần và toàn bộ hệ sinh thái nông nghiệp - lâm nghiệp tại khu vực nghiên cứu, từ đó xác định các giải pháp thích ứng phù hợp với đặc điểm sinh thái địa phương. Trong khi đó, CbA nhấn mạnh vai trò của cộng đồng và cán bộ Đoàn KTQP trong việc tham gia đánh giá, xác định nhu cầu và thực hiện các biện pháp thích ứng, đảm bảo tính khả thi và bền vững.

Quy trình đánh giá tác động BĐKH được xây dựng dựa trên hướng dẫn của Ủy ban Liên chính phủ về BĐKH (IPCC), nhưng có điều chỉnh để phù hợp với điều kiện đặc thù của các khu KTQP. Cụ thể, quy trình

gồm: (i) xác định kịch bản BĐKH theo RCP 8.5 do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2020; (ii) phân tích hiện trạng và dự báo xu thế BĐKH đến năm 2044 và 2099; (iii) đánh giá tác động hiện tại và tương lai theo ngành, vùng địa lý và hệ sinh thái; (iv) tổng hợp ý kiến các bên liên quan nhằm đề xuất giải pháp thích ứng.

Để phân tích biểu hiện của BĐKH, nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích xu thế tuyến tính ($xt = b_0 + b_1t$) nhằm xác định mức độ biến đổi của nhiệt độ và lượng mưa, kết hợp với việc tính toán các chỉ số cực đoan khí hậu như nhiệt độ tối cao/thấp tuyệt đối, số ngày nắng nóng, mưa lớn. Dữ liệu sử dụng bao gồm chuỗi số liệu khí tượng - thủy văn giai đoạn 2004-2024 tại khu vực khảo sát.

Bên cạnh đó, nghiên cứu còn kết hợp nhiều phương pháp định tính như phương pháp kế thừa tài liệu (tổng hợp, chọn lọc và phân tích các công trình khoa học, báo cáo, bản đồ, ảnh viễn thám và dữ liệu liên quan đến khí hậu, tài nguyên và phát triển KTQP); Phương pháp điều tra, khảo sát thực địa (thu thập số liệu về hiện trạng sản xuất, sử dụng nước, hạ tầng và sinh kế của người dân); Phương pháp tham vấn ý kiến chuyên gia (phỏng vấn các cán bộ khí tượng, nông nghiệp, quốc phòng và lãnh đạo địa phương để đánh giá xu hướng khí hậu và hiệu quả các biện pháp thích ứng); Phương pháp đánh giá nhanh nông thôn có sự tham gia (Participatory Rural Appraisal - PRA) (tổ chức thảo luận nhóm, bản đồ hóa và lập sơ đồ dòng thời gian để thu thập thông tin từ cộng đồng); Phương pháp phỏng vấn cấu trúc và bán cấu trúc (thu thập dữ liệu định tính và định lượng về tác động khí hậu, năng suất cây trồng và khả năng thích ứng của hộ dân).

Sự kết hợp giữa các phương pháp trên giúp đảm bảo tính khách quan, toàn diện và phù hợp với đặc thù của khu KTQP vùng Tây Nguyên - nơi có điều kiện tự nhiên, kinh tế và xã hội đa dạng, gắn liền với nhiệm vụ phát triển và bảo vệ quốc phòng.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hiện trạng điều kiện tự nhiên và đặc điểm kinh tế - xã hội khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu có địa hình đa dạng, khí hậu nhiệt đới ẩm hai mùa rõ rệt và hệ thống sông suối dày đặc. Các Trung đoàn Quảng Trục và Đắk Ngo có vai trò quan trọng trong việc phát triển kinh tế - xã hội gắn với quốc phòng an ninh, hỗ trợ ổn định dân cư, phát triển sản xuất cây công nghiệp lâu năm như cà phê, hồ tiêu, mắc ca, bơ, sầu riêng.

Trung đoàn Quảng Trục có trụ sở tại Bon Bu Dã, xã Quảng Trục, tỉnh Lâm Đồng. Đơn vị này quản lý chăm sóc 500 ha cà phê, 60,3 ha mắc ca, 135,87 ha bơ và hơn 1.000 ha rừng. Dân số 7.031 hộ/28.055 nhân

Bảng 1. Kịch bản RCP 8.5 tại Đắk Nông

TT	Xu hướng	2046 - 2065	2080 - 2099
1	Trung bình cả năm	1,9 (1,4 - 2,6)	3,5 (2,8 - 4,4)
2	Trung bình mùa Đông (tháng 12 - 2)	2,0 (1,6 - 2,5)	3,4 (2,7 - 4,2)
3	Trung bình mùa Xuân (tháng 3 - 5)	2,0 (1,4 - 2,7)	3,6 (2,8 - 4,7)
4	Trung bình mùa Hè (tháng 6 - 8)	1,9 (1,3 - 2,7)	3,5 (2,7 - 4,6)
5	Trung bình mùa Thu (tháng 9 - 11)	1,9 (1,4 - 2,6)	3,3 (2,6 - 4,4)
1	Trung bình cả năm	12,7 (4,0 - 21,6)	20,3 (13,4 - 31,9)
2	Trung bình mùa Đông (tháng 12 - 2)	11,2 (-4,1 - 25,9)	-10,0 (-27,4 - 4,7)
3	Trung bình mùa Xuân (tháng 3 - 5)	3,0 (-7,4 - 14,8)	6,7 (-11,9 - 26,2)
4	Trung bình mùa Hè (tháng 6 - 8)	17,6 (10,5 - 25,0)	22,6 (12,7 - 34,6)
5	Trung bình mùa Thu (tháng 9 - 11)	11,2 (-9,8 - 28,8)	28,8 (8,8 - 51,7)
6	Mùa khô (tháng 11 - 4 năm sau)	-5	-5
7	Mùa mưa (tháng 5 - 10)	5 - 25	15 - 30
8	Lượng mưa ngày lớn nhất Rx1day	15 - 25	25 - 40
9	Lượng mưa 5 ngày lớn nhất Rx5day	15 - 25	25 - 40
1	Nắng nóng	40 - 70	75 - 90
2	Nắng nóng gay gắt	40 - 70	80 - 100
3	Số tháng hạn hán	tăng	tăng

Nguồn: Kịch bản BĐKH phiên bản năm 2020, Bộ TN&MT

khẩu, với 27 dân tộc, trong đó dân tộc Kinh chiếm 65%, M'Nông 18%. Tỷ lệ hộ nghèo 20,6%, hộ cận nghèo 12,9%. Cơ sở hạ tầng đã được đầu tư cải thiện đáng kể với 90% đường bê tông hóa, 98% dân số có điện, 95% có nước hợp vệ sinh. Tuy nhiên, địa bàn xã Quảng Trực còn chịu ảnh hưởng của gió mạnh từ tháng 11 đến tháng 4 và mưa lớn kéo dài từ tháng 5 đến tháng 10 hàng năm.

Trung đoàn Đắk Ngo có trụ sở tại thôn Tân Bình, xã Đắk Ngo, tỉnh Lâm Đồng. Đơn vị này quản lý 2 xã (Đắk Ngo và Đắk Sin) và có 08 đội sản xuất. Tổng diện tích đất lâm nghiệp và đất rừng được giao là 3.198,76 ha, trong đó đã phát triển 1.069,19 ha vườn cây công nghiệp (cao su, cà phê, điều, bời lờ). Diện tích cà phê với kinh doanh là 371,56 ha, cà phê chè trồng xen điều 112,89 ha. Thu nhập bình quân 6,5 triệu đồng/người/tháng. Tuy nhiên, khó khăn và thách thức chính là địa hình đất dốc, khả năng giữ nước kém do diện tích rừng suy giảm, đường giao thông xuống cấp, và hồ đập thủy lợi quy mô nhỏ không đảm bảo nước tưới cho vườn cà phê, dẫn đến năng suất thấp.

3.2. Xu hướng BĐKH tại các Đoàn KTQP khu vực Đắk Nông

3.2.1. Kịch bản BĐKH 2020 tại khu vực nghiên cứu RCP 8.5

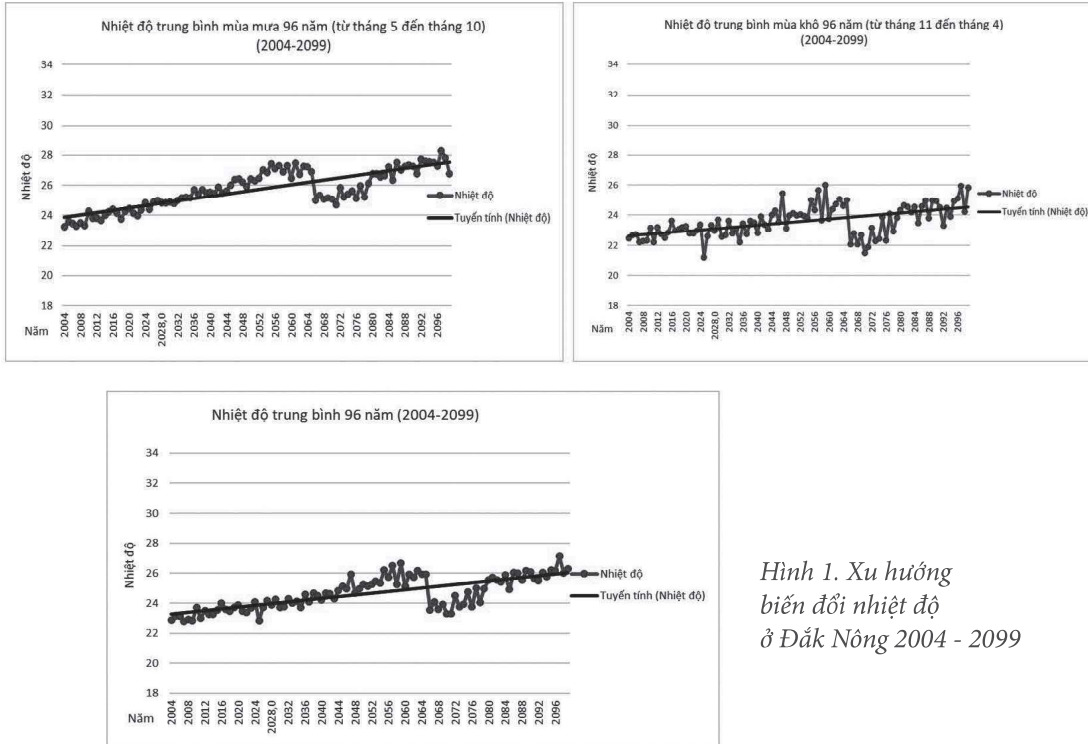
Theo kịch bản RCP 8.5, nhiệt độ trung bình năm tại khu vực khảo sát dự kiến tăng 1,9°C vào thời kỳ 2046-2065 và 3,5°C vào năm 2099 [7]. Lượng mưa trung bình năm có xu hướng tăng (12,7% vào 2046-2065 và 20,3% vào 2099), nhưng lượng mưa mùa khô (tháng 11 - tháng 4 năm sau) lại có xu hướng giảm 5%. Số tháng hạn hán và ngày nắng nóng gay gắt cũng tăng đáng kể, đạt 40-70 ngày vào 2046-2065 và 80-100 ngày vào 2080-2099 (Bảng 1).

3.2.2. Những biểu hiện của BĐKH tại khu vực nghiên cứu

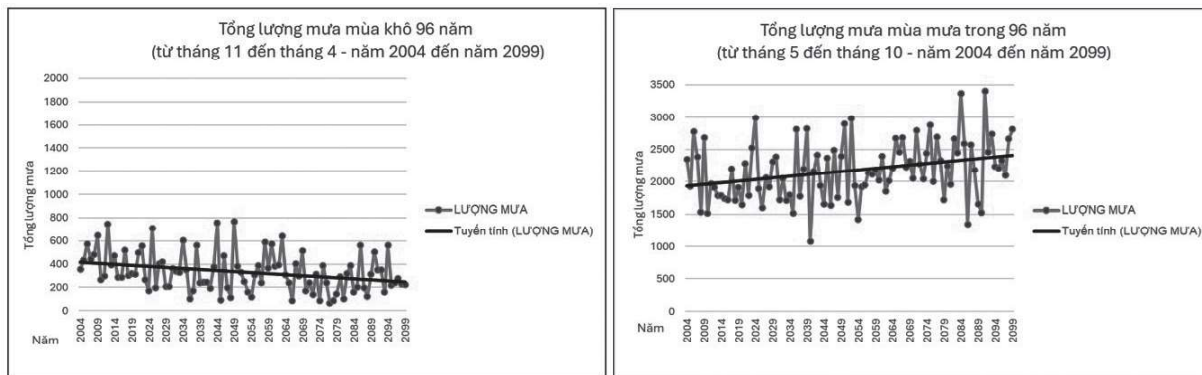
Kết quả Hình 1 thể hiện trong dài hạn, nhiệt độ trung bình năm tại khu vực khảo sát có xu hướng tăng đều, rõ rệt và ổn định, thể hiện quá trình ấm lên toàn cầu đang gia tốc mạnh. Phân tích chuỗi dữ liệu 96 năm (2004-2099) cho thấy đường xu hướng nhiệt độ có độ dốc lớn, đặc biệt từ sau năm 2040 khi nhiệt độ

thường xuyên đạt và vượt 26°C, thậm chí vượt 27°C vào cuối thế kỷ. Theo kịch bản RCP 8.5, nhiệt độ trung bình năm dự kiến tăng 1,9°C trong giai đoạn 2046-2065 và 3,5°C vào giai đoạn 2080-2099, với dao động từ 2,8-4,4°C. Mức tăng phân bố tương đối đồng đều giữa các mùa: mùa xuân tăng 3,6°C, mùa hè tăng 3,5°C, mùa đông tăng 3,4°C và mùa thu tăng 3,3°C vào cuối thế kỷ XXI. Cụ thể, mùa mưa (tháng 5-10) ghi nhận xu hướng tăng nhiệt độ mạnh và liên tục: giai đoạn 2004-2044 tăng hơn 2°C (đạt gần 26°C) và đến cuối thế kỷ có thể tăng gần 4°C, đạt gần 28°C, làm thay đổi rõ đặc điểm khí hậu truyền thống của mùa mưa. Trong khi đó, mùa khô (tháng 11-4) tăng nhẹ khoảng 1°C trong giai đoạn 2004-2044 nhưng có thể tăng gần 4°C vào cuối thế kỷ, với nhiều năm vượt 24-26°C.

Sự gia tăng nhiệt độ vào mùa khô không chỉ làm tăng bốc hơi nước và thiếu hụt ẩm nghiêm trọng, mà còn gây áp lực lớn cho sản xuất cây công nghiệp, đặc biệt là cà phê - loại cây vốn nhạy cảm với nhiệt độ cao và khô hạn kéo dài. Biểu hiện xu hướng biến đổi của lượng mưa trong Hình 2 cho thấy trong dài hạn, lượng mưa trung bình năm tại khu vực khảo sát có xu hướng tăng rõ rệt, song đi kèm với sự phân bố không đồng đều và cường độ mưa cực đoan gia tăng. Theo kịch bản RCP 8.5, tổng lượng mưa trung bình năm dự kiến tăng 12,7% vào giai đoạn 2046-2065 và 20,3% vào giai đoạn 2080-2099,



Hình 1. Xu hướng biến đổi nhiệt độ ở Đắk Nông 2004 - 2099



Hình 2. Xu hướng diễn biến tổng lượng mưa trung bình 96 năm (2004 - 2099) ở Đắk Nông

với biên độ dao động từ 4-32%. Tuy nhiên, mùa khô (tháng 11-4) lại thể hiện xu hướng giảm nghiêm trọng, với lượng mưa trung bình mùa khô giảm khoảng 5% trong cả hai giai đoạn và giảm đến 10% vào cuối thế kỷ. Dữ liệu giai đoạn 2004-2023 cho thấy lượng mưa mùa khô đã giảm đáng kể, nhiều năm ghi nhận tổng mưa dưới 300 mm, thậm chí dưới 200 mm như năm 2026 và 2039, phản ánh tình trạng hạn hán ngày càng gay gắt. Từ giữa thế kỷ XXI trở đi, số năm khô hạn dự báo chiếm ưu thế, gây thiếu nước nghiêm trọng cho sản xuất nông nghiệp. Ngược lại, mùa mưa (tháng 5-10) có xu hướng tăng tổng lượng mưa từ 5-30%, nhưng biến động mạnh giữa các năm với nhiều đợt mưa cực lớn vượt 3.000 mm/năm, xen kẽ các năm mưa giảm dưới

1.500 mm. Đáng chú ý, cường độ mưa cực đoan tăng mạnh, khi lượng mưa một ngày lớn nhất (Rx1day) và năm ngày lớn nhất (Rx5day) đều tăng 25-40% vào giai đoạn 2080-2099. Sự kết hợp giữa giảm mưa mùa khô và tăng mưa cực đoan mùa mưa cho thấy khí hậu khu vực đang trở nên bất ổn hơn, làm tăng rủi ro kép: hạn hán nghiêm trọng trong mùa khô và lũ lụt, sạt lở trong mùa mưa, đe dọa nghiêm trọng đến sản xuất cà phê và hệ thống sinh kế tại khu vực nghiên cứu. So với các vùng cà phê khác ở Tây Nguyên như Cư M'gar (Đắk Lắk) hay Di Linh (Lâm Đồng), khu vực Đắk Nông có biên độ dao động khí hậu lớn hơn, mùa khô gay gắt hơn do vị trí địa hình thấp và gió khô Tây Nam mạnh. Điều này giải thích vì sao năng suất cà phê tại khu vực

KTQP thấp hơn 15-25% so với các vùng trung tâm. Xu thế này tương tự một số vùng trồng Robusta ở khu vực Tây Nguyên, nơi cũng ghi nhận tình trạng giảm năng suất do khô hạn và nhiệt độ cao vượt ngưỡng sinh lý cây trồng.

3.3. Đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố BĐKH đến hiện trạng năng suất cây trồng và dự báo sản lượng cây cà phê trong các năm tiếp theo

3.3.1. Hiện trạng năng suất cà phê trong những năm gần đây

Trong gần hai thập kỷ qua (2004-2023), năng suất cà phê tại khu vực nghiên cứu, đặc biệt trên địa bàn hai Trung đoàn Quảng Trị và Đắk Ngo, nhìn chung ở mức thấp và không ổn định so với tiềm năng. Tổng diện tích cà phê của hai Đoàn KTQP này khoảng 1.000 ha, nhưng năng suất trung bình chỉ đạt 6,9 tấn quả tươi/ha, thấp hơn đáng kể so với mức 16-20 tấn/ha tại các vùng trồng trọng điểm như Cư M'gar (Đắk Lắk). Sự chênh lệch lớn này cho thấy sản lượng cà phê tại khu vực nghiên cứu đang bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi điều kiện khí hậu bất lợi. Trong các năm khô hạn cực đoan như 2015-2016 và 2019-2020, năng suất cà phê giảm từ 15-25% so với trung bình những năm mưa thuận lợi, do cây bị thiếu nước tưới, rụng hoa và quả non, nhân nhỏ. Hiện nay, vào cao điểm mùa khô, các Trung đoàn chỉ đảm bảo nước tưới cho khoảng 2/3 diện tích cà phê, dẫn đến năng suất bấp bênh và hiệu quả sản xuất suy giảm. Thiệt hại kinh tế ước tính khoảng 191-275 tỷ đồng mỗi vụ, chưa tính đến chi phí phát sinh cho công tác tưới tiêu và phục hồi cây trồng.

Dữ liệu khí hậu 20 năm (2004-2023) và kịch bản RCP 8.5 cho thấy BĐKH tại khu vực khảo sát thể hiện rõ qua xu hướng tăng nhiệt độ, giảm lượng mưa mùa khô và gia tăng hiện tượng thời tiết cực đoan. Nhiệt độ trung bình năm tại khu vực đã tăng gần 1,0°C, từ 22,8°C (năm 2004) lên 23,7°C (năm 2023). Dự báo đến năm 2044, nhiệt độ trung bình có thể đạt 25°C, và đến năm 2099 có thể vượt 27°C. Đáng chú ý, số ngày nắng nóng trên 35°C đã tăng nhanh, từ mức trung bình 15-20 ngày/năm giai đoạn 2004-2010 lên 40-50 ngày/năm giai đoạn 2016-2023, và được dự báo đạt 40-70 ngày/năm vào thời kỳ 2046-2065. Trong khi đó, tổng lượng mưa mùa khô (tháng 11-4) giảm rõ rệt, nhiều năm ghi nhận lượng mưa chỉ còn 200-300 mm, gây ra thiếu nước nghiêm trọng trong giai đoạn cây ra hoa và đậu quả. Ngược lại, lượng mưa mùa mưa (tháng 5-10) lại biến động mạnh, có xu hướng tăng nhưng tập trung dồn dập trong thời gian ngắn, làm gia tăng nguy cơ mưa trái mùa, lũ lụt và rửa trôi đất. Sự kết hợp của nhiệt độ tăng cao, nắng nóng kéo dài, giảm mưa mùa khô và mưa cực đoan mùa mưa đã làm rối loạn chu kỳ sinh trưởng, gây rụng hoa, giảm đậu quả và suy giảm

năng suất cà phê tại các Đoàn KTQP khu vực nghiên cứu. Điều này khẳng định rằng BĐKH trong giai đoạn 2004-2023 đã và đang là tác nhân trực tiếp làm suy giảm sản lượng cà phê thực tế, gia tăng chi phí chăm sóc cho cây, đồng thời đặt ra yêu cầu cấp thiết về các giải pháp thích ứng trong sản xuất.

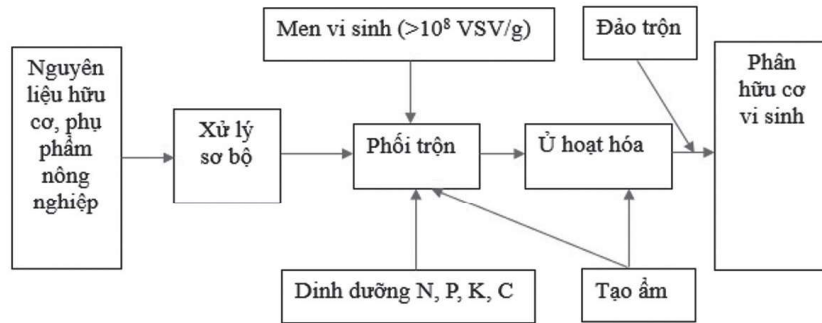
3.3.2. Dự báo xu hướng năng suất cà phê giai đoạn 2024-2099

Các nghiên cứu trong và ngoài nước đều khẳng định năng suất cà phê chịu ảnh hưởng mạnh của ba yếu tố khí hậu chính: nhiệt độ, lượng mưa và phân bố ngày mưa/nắng. Trong đó, nhiệt độ tăng vượt ngưỡng tối ưu là nguyên nhân trực tiếp làm giảm năng suất ở cả Arabica và Robusta (T. H. Nguyen and T. M. Ho, 2021). Theo Jarrod Kath và cộng sự (2020), Robusta đạt năng suất cao nhất khi nhiệt độ trung bình năm dưới 20,5°C; vượt 25°C, năng suất giảm tới 50%, và mỗi 1°C tăng thêm trên ngưỡng 24°C (ngày) hoặc 16°C (đêm) làm năng suất giảm khoảng 14% (Jarrod Kath và cộng sự, 2020). Đối với Arabica, tăng 1°C vào ban đêm có thể làm giảm tới 50% sản lượng (Kizito Makoye, 2015). Mưa cũng tác động hai chiều: mưa đều trong mùa sinh trưởng giúp tăng năng suất, nhưng mưa quá nhiều hoặc sai thời điểm, đặc biệt trong mùa hoa, làm rụng hoa và giảm năng suất hơn 25% (Jarrod Kath và cộng sự, 2020); ngược lại, thiếu mưa hoặc mùa khô kéo dài cũng khiến sản lượng giảm 15-25% (Đinh Thị Lan Anh và cộng sự, 2020; Christian Bunn và cộng sự, 2014). Bên cạnh đó, sự thay đổi trong số ngày mưa và nắng ảnh hưởng trực tiếp đến chu kỳ sinh trưởng: mùa khô cần đủ nắng để kích thích ra hoa đồng loạt, song nếu kéo dài quá lâu sẽ gây hạn, còn mưa trái mùa làm lệch pha sinh trưởng và giảm đậu quả.

Theo kịch bản RCP 8.5, khi nhiệt độ trung bình tăng thêm mỗi 1°C, năng suất cà phê Robusta có thể giảm 10-15%, và nếu nhiệt độ ban ngày vượt 30°C hoặc kéo dài nắng nóng >35°C, mức giảm có thể trên 25%. Cùng với đó, lượng mưa và phân bố ngày mưa - nắng trở nên bất ổn định, với xu hướng mưa cực đoan, mùa khô kéo dài và tăng số ngày nắng liên tục, làm gia tăng hạn hán, rụng hoa - quả và giảm chất lượng hạt. Như vậy, BĐKH đang làm mất cân bằng nhịp sinh học của cây cà phê, dẫn đến năng suất giảm rõ rệt; việc điều chỉnh kỹ thuật canh tác, chọn giống chịu nhiệt và áp dụng mô hình tưới - che bóng thích ứng khí hậu là hướng đi tất yếu cho sản xuất cà phê bền vững ở Tây Nguyên..

3.4. Đề xuất các giải pháp giảm nhẹ, thích ứng với BĐKH tại các Đoàn KTQP khu vực khảo sát

Kết quả nghiên cứu cho thấy, BĐKH đang làm gia tăng rõ rệt các rủi ro khí hậu như nắng nóng kéo dài, khô hạn và mưa cực đoan, tác động trực tiếp đến năng suất và hiệu quả sản xuất cà phê tại các Đoàn KTQP



Hình 3. Quy trình sản xuất phân bón hữu cơ vi sinh từ phụ phẩm nông nghiệp

khu vực Đắk Nông. Do vậy, cần xây dựng hệ thống giải pháp thích ứng tổng hợp, phù hợp với điều kiện tự nhiên - xã hội và năng lực quản lý đặc thù của khu KTQP.

Trước hết, tập trung vào đổi mới quy trình canh tác nhằm sử dụng tài nguyên hiệu quả và giảm phát thải. Các Đoàn KTQP cần áp dụng công nghệ tưới tiết kiệm (nhỏ giọt, phun mưa gián đoạn) giúp giảm 25-35% lượng nước tưới và tiết kiệm 15-20% chi phí năng lượng, đồng thời duy trì độ ẩm đất ổn định trong mùa khô. Sử dụng phân bón hữu cơ - vi sinh từ phụ phẩm nông nghiệp (vỏ cà phê, cành tỉa, phân chuồng) giúp tăng hàm lượng hữu cơ đất 0,3-0,5%, giảm phát thải khí nhà kính khoảng 0,4 tấn CO₂eq/ha/năm và cải thiện năng suất 10-15% so với nền đất canh tác hóa học. Trồng xen cây che bóng như sấu riêng, mắc ca, bơ hoặc hồ tiêu góp phần giảm nhiệt độ bề mặt đất 2-3°C, giảm bốc hơi nước và đa dạng hóa nguồn thu nhập, qua đó tăng khả năng chống chịu của hệ sinh thái nông nghiệp (Hình 3).

Để thích ứng với BĐKH và nâng cao năng suất cà phê, các Đoàn KTQP khu vực nghiên cứu cần đầu tư đồng bộ hạ tầng sản xuất như xây mới và cải tạo đường giao thông, hệ thống điện, cấp nước và hồ đập thủy lợi (Trung đoàn Quảng Trục: xây 4 hồ, nạo vét 22 hồ; Trung đoàn Đắk Ngo: xây 3 hồ, cải tạo 21 hồ). Đồng thời, áp dụng mô hình canh tác bền vững với hai trọng tâm chính: (i) sử dụng nước tiết kiệm và hiệu quả thông qua điều chỉnh lượng tưới theo từng giai đoạn sinh trưởng (120-600 L/gốc), tưới đũa sau mưa nhỏ và tưới bổ sung đầu mùa mưa khi hạn kéo dài, kết hợp thiết kế hồ có xả đáy để tăng khả năng tích trữ nước; (ii) sử dụng phân hữu cơ vi sinh nhằm giảm phụ thuộc phân vô cơ, tận dụng phụ phẩm nông nghiệp (vỏ cà phê, cành tỉa, phân chuồng) để sản xuất phân hữu cơ sinh học, bón 2-3 đợt/năm kết hợp bón qua lá giúp phục hồi cây, cải thiện độ phì đất và nâng cao chất lượng hạt cà phê.

Thúc đẩy mô hình canh tác trồng xen canh (nhằm tăng năng suất và đa dạng hóa sản phẩm): Trồng xen các loại cây như hồ tiêu, sấu riêng, mắc ca, bơ giúp tận dụng không gian, tăng tổng sản lượng, cải thiện chất lượng đất và kiểm soát sâu bệnh; cần quan tâm lựa chọn và bố trí phù hợp cây trồng xen phù hợp với điều kiện khí hậu, thổ nhưỡng; Điều chỉnh mật độ trồng và bố trí không gian hợp lý để tránh cạnh tranh dinh dưỡng và ánh sáng của các loại cây; Vườn cà phê nên có độ dốc <15 độ, nguồn nước tưới ổn định, tầng đất dày và thoát nước tốt.

Để thực hiện điều đó, cần hướng tới tạo khung điều kiện thuận lợi cho việc triển khai và nhân rộng các mô hình thích ứng. Cần ban hành chính sách tín dụng xanh và hỗ trợ tài chính cho các đơn vị, hộ sản xuất trong khu KTQP để đầu tư công nghệ tưới tiết kiệm, chế biến hữu cơ và năng lượng tái tạo. Bên cạnh đó, tăng cường hoạt động khuyến nông, đào tạo và chuyển giao công nghệ thông qua mô hình liên kết “nhà nước - doanh nghiệp - Đoàn

KTQP - nông hộ”, giúp nâng cao năng lực quản lý và kỹ năng canh tác bền vững cho người dân. Cuối cùng, cần xây dựng cơ chế phối hợp liên ngành giữa quốc phòng, nông nghiệp và tài nguyên - môi trường, nhằm lồng ghép các mục tiêu thích ứng BĐKH vào quy hoạch phát triển KTQP, bảo đảm đồng thời hiệu quả kinh tế, ổn định xã hội và củng cố thể trận quốc phòng vùng Tây Nguyên.

3.5. Hạn chế và hướng nghiên cứu trong tương lai

Nghiên cứu này tuy đã cung cấp những bằng chứng đáng tin cậy về xu hướng BĐKH và tác động của nó đến sản xuất cà phê tại các khu KTQP khu vực Tây Nguyên, song vẫn tồn tại một số giới hạn nhất định. Chuỗi số liệu khí tượng - thủy văn giai đoạn 2004-2024 còn tương đối ngắn so với yêu cầu của các phân tích khí hậu dài hạn, nên có thể làm tăng sai số trong việc dự báo xu thế đến năm 2099. Mạng lưới trạm quan trắc khí tượng còn thưa và phân bố không đều, chủ yếu tập trung tại trung tâm huyện, chưa phản ánh được sự khác biệt vi khí hậu giữa các khu KTQP có địa hình đa dạng. Mô hình dự báo khí hậu theo kịch bản RCP 8.5 sử dụng dữ liệu có độ phân giải không gian 10x10 km, dẫn đến khả năng “làm mờ” một số đặc trưng khí hậu cục bộ. Ngoài ra, nghiên cứu chưa tích hợp đầy đủ các yếu tố kinh tế - xã hội và đặc thù quân sự - quốc phòng, như biến động dân cư, thay đổi cơ cấu cây trồng, hoặc hạ tầng thủy lợi nội vùng, vào trong mô hình đánh giá tính dễ bị tổn thương và khả năng thích ứng.

Từ những giới hạn trên, hướng nghiên cứu trong tương lai cần tập trung mở rộng phạm vi dữ liệu và tăng cường ứng dụng mô hình mô phỏng để



Đầu tư hạ tầng, mô hình tưới tiết kiệm, chọn giống phù hợp, trồng xen che bóng và ứng dụng khoa học kỹ thuật để bảo đảm phát triển bền vững cho các vùng cà phê Tây Nguyên

nâng cao độ tin cậy và tính chi tiết của kết quả. Cụ thể, cần tăng mật độ và thời gian quan trắc khí tượng, kết hợp dữ liệu ảnh viễn thám và GIS để mô phỏng biến động nhiệt - ẩm ở quy mô lô sản xuất. Đồng thời, nên ứng dụng các mô hình sinh trưởng cây trồng như AquaCrop hoặc DSSAT nhằm lượng hóa mối quan hệ giữa các yếu tố khí hậu và năng suất cà phê Robusta. Nghiên cứu tiếp theo cũng nên tích hợp các phân tích kinh tế - xã hội, quốc phòng và quản lý tài nguyên để đánh giá toàn diện hơn về tính dễ bị tổn thương của các khu KTQP. Bên cạnh đó, việc thí điểm và đánh giá hiệu quả các mô hình canh tác thích ứng dựa trên hệ sinh thái (EBA), như tưới tiết kiệm, trồng xen cây che bóng và quản lý đất hữu cơ, sẽ góp phần cung cấp bằng chứng thực tiễn phục vụ quy hoạch phát triển nông nghiệp thích ứng với BĐKH trong các khu KTQP vùng Tây Nguyên.

4. KẾT LUẬN

BĐKH đã gây ra những thiệt hại rõ rệt cho sản xuất cà phê tại các Đoàn KTQP khu vực Nam Tây Nguyên trong giai đoạn 2004-2023. Nhiệt độ trung bình tăng gần 1°C, số ngày nắng nóng trên 35°C tăng gấp đôi và nhiều năm xảy ra hạn kéo dài đã khiến năng suất cà phê giảm 15-25% so với trung bình vùng Tây Nguyên. Hạn hán, thiếu nước tưới và mưa trái mùa trong giai đoạn ra hoa đã làm cây rụng hoa, quả non, suy giảm chất lượng hạt và thiệt hại kinh tế lớn cho địa phương.

Theo kịch bản RCP 8.5, giai đoạn 2024-2044, nhiệt độ trung bình dự kiến tăng thêm khoảng 1,2°C, lượng mưa mùa khô giảm 5-10% và số ngày nắng nóng đạt 40-70 ngày/năm, làm năng suất cà phê có thể giảm 15-25% so với hiện nay. Sang giai đoạn 2045-2099, nhiệt độ tăng 3-3,5°C, số ngày nắng nóng đạt 80-100 ngày/năm và mùa khô kéo dài 4-5 tháng, khiến năng suất Robusta có thể giảm 25-30% và Arabica giảm tới 40-45%.

Như vậy, BĐKH không chỉ là nguy cơ mà đã trở thành tác nhân trực tiếp làm suy giảm năng suất và chất lượng cà phê tại

Khu vực khảo sát. Để thích ứng và bảo đảm phát triển bền vững, cần đồng thời đầu tư hạ tầng thủy lợi, mở rộng hồ chứa nước, áp dụng mô hình tưới tiết kiệm, chọn giống chịu hạn - chịu nhiệt, trồng xen che bóng và tăng cường ứng dụng khoa học kỹ thuật, hướng tới hệ thống canh tác thích ứng với khí hậu cho các vùng cà phê Tây Nguyên.

Lời cảm ơn: Các kết quả nghiên cứu của bài báo đã trích và sử dụng tư liệu của Đề tài “Nghiên cứu đánh giá đặc trưng của xu hướng BĐKH khu vực miền Trung, Tây Nguyên phục vụ quản lý và phát triển bền vững các khu kinh tế - quốc phòng” ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. T. L. A. Dinh, F. Aires, and E. Rahn, “Statistical analysis of the weather impact on robusta coffee yield in Vietnam,” *Frontiers in Environmental Science*, vol. 10, p. 820916, 2022.
- [2]. J. Kath và cộng sự, “Not so robust: Robusta coffee production is highly sensitive to temperature,” *Global Change Biology*, vol. 26, no. 6, pp. 3677-3688, 2020.
- [3]. A. C. W. Craparo, P. J. Van Asten, P. Läderach, L. T. Jassogne, and S. Grab, “Coffea arabica yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications,” *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 207, pp. 1-10, 2015.
- [4]. V. H. Phan, “Hỏi đáp về cà phê và ảnh hưởng của BĐKH đến năng suất và chất lượng ở Việt Nam,” Viện KHKT Nông Lâm nghiệp Tây Nguyên (WASI). wasi.org.vn, 2019.
- [5]. C. Bunn, P. Läderach, O. Ovalle Rivera, and D. Kirschke, “A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee,” *Climatic change*, vol. 129, no. 1, pp. 89-101, 2015.
- [6]. K. Makoye, “How rising temperatures are hurting Tanzania’s coffee farmers,” *World Economic Forum*, 2015.
- [7]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, 2021.
- [8]. T. H. Nguyen and T. M. Ho, “Impact of drought and temperature extremes on coffee yield in the Central Highlands of Vietnam,” *Vietnam Journal of Agricultural Science*, vol. 19, no. 2, pp. 45-56, 2021.