

NÔNG NGHIỆP CHÂU Á VÀ PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH: PHÂN TÍCH BA HIỆU ỨNG QUY MÔ, CƠ CẤU VÀ KỸ THUẬT THEO NHÓM THU NHẬP

Vương Thị Thảo Bình^{1*}, Đào Ngọc Quỳnh Anh²

¹*Trường Đại học Ngoại thương*

²*Đại học Tuscia, Ý*

**Tác giả liên hệ: vuongthithaobinh.cs2@ftu.edu.vn*

Ngày nhận bài: 05.01.2026

Ngày chấp nhận đăng: 02.07.2026

TÓM TẮT

Nông nghiệp châu Á đang đối mặt với nghịch lý then chốt: vừa là trụ cột của an ninh lương thực và sinh kế nông thôn, vừa ảnh hưởng đáng kể vào phát thải khí nhà kính, nhưng tác động môi trường của ngành này ở các giai đoạn phát triển khác nhau vẫn chưa được làm rõ. Nghiên cứu của chúng tôi phân tích riêng từng loại khí (CO₂, N₂O, CH₄) và cả tổng GHG để nắm bắt tác động không đồng nhất của các yếu tố nông nghiệp lên từng loại khí. Sử dụng dữ liệu bảng 1990-2022, nghiên cứu áp dụng mô hình ARDL và GLS, sử dụng khuôn khổ phân tích ba hiệu ứng quy mô, cơ cấu và kỹ thuật để phân tích mối quan hệ thu nhập - ô nhiễm. Kết quả phù hợp với lý thuyết ba hiệu ứng: các nước thu nhập cao có tác động môi trường thấp hơn nhờ chính sách nghiêm ngặt và công nghệ tiên tiến. Xuất khẩu nông nghiệp tăng phát thải ở nhóm thu nhập thấp và trung bình thấp, nhưng giảm ở nhóm thu nhập cao. Lao động nông nghiệp tăng phát thải dài hạn, mạnh hơn tại các nước thu nhập thấp. Giá trị gia tăng nông nghiệp có tác động trái chiều giữa các nhóm thu nhập. Nghiên cứu cũng đưa ra một số hàm ý chính sách nhằm tăng trưởng và bảo vệ môi trường tại châu Á.

Từ khóa: Phát thải khí nhà kính, phân tích ba hiệu ứng quy mô, kỹ thuật và cơ cấu, đường cong Kuznets môi trường, các quốc gia châu Á.

Asian Agriculture and Greenhouse Gas Emissions: A Three - Effect Analysis of Scale, Composition, and Technique Effects by Income Group

ABSTRACT

Asian farming systems present a complex challenge: they serve as the backbone for both food security and rural livelihoods while simultaneously contributing substantial greenhouse gas emissions, yet how these environmental impacts vary across different development stages remains poorly understood. Our investigation studied greenhouse gas emissions (CO₂, N₂O, CH₄) alongside aggregate GHG levels to capture how agricultural factors influence each emission source differently. Drawing on panel data spanning 1990-2022, we employed ARDL and GLS modeling approaches, employing the three - effect analytical framework through its three mechanisms-scale, composition, and technique effects-to explore income - pollution dynamics. Our findings were consistent with the three - effect framework: wealthier nations demonstrate reduced environmental footprints through stringent regulations and advanced technologies. Agricultural exports amplified emissions in lower and lower - middle income countries while reducing them in high - income economies. Farm labor force expansion drove long - term emission increases, with particularly pronounced effects in poorer nations. Agricultural value - added showed contrasting impacts across income categories. The study further proposes several policy directions aimed at reconciling growth objectives with environmental protection across Asia.

Keywords: Greenhouse gas emissions, three - effect analysis of scale, composition, and technique, environmental Kuznets Curve, Asian countries.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu đặt ra “mối đe dọa hiện

hữu sâu sắc” đối với châu Á, với khả năng phá vỡ nhiều thập kỷ tiến bộ phát triển. Châu Á là khu vực phát thải khí nhà kính lớn nhất toàn

cầu (World Bank, 2023), trong đó nông nghiệp đóng góp đáng kể. Theo World Bank (2017), phát thải khí nhà kính từ nguyên nhân nông nghiệp chiếm khoảng 25% tổng phát thải khí nhà kính toàn cầu. Trong bối cảnh này, nhiều nghiên cứu đã điều tra các tác động tiêu cực của hoạt động nông nghiệp đối với môi trường. Một số tác giả cho rằng các hoạt động nông nghiệp lạc hậu tạo ra một lượng lớn khí thải nhà kính (Frank & cs., 2017; Pata, 2021). Nông nghiệp đòi hỏi sử dụng nước, vật liệu di truyền và đất đai, và có khả năng gây suy thoái môi trường. Một số tác giả cũng đã nghiên cứu về ảnh hưởng của nhân tố nông nghiệp đến môi trường, và cho rằng nông nghiệp và tiêu thụ năng lượng đều gây ra khí thải nhà kính và suy thoái môi trường (Taguchi, 2012; Hafeez & cs., 2019; Ahmed & cs., 2020).

Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện có còn tồn tại ba khoảng trống quan trọng. Thứ nhất, các nghiên cứu hiện tại chủ yếu phân tích CO₂, thiếu bằng chứng về N₂O và CH₄, đồng thời chủ yếu tập trung đơn lẻ từng quốc gia mà chưa kết hợp khuôn khổ ba hiệu ứng với phân tích ngắn - dài hạn. Thứ hai, các nghiên cứu EKC hiện tại chủ yếu kiểm định ở cấp độ quốc gia với biến GDP và GDP bình phương mà chưa có nghiên cứu nào áp dụng phân tích ba hiệu ứng ở cấp độ ngành nông nghiệp châu Á thông qua phân tách hiệu ứng quy mô, cơ cấu và kỹ thuật. Thứ ba, ba yếu tố nông nghiệp then chốt gồm (1) xuất khẩu nguyên liệu thô (Saghaian & cs., 2022); (2) lao động nông nghiệp (Jiang & cs., 2022); và (3) giá trị gia tăng nông nghiệp (Wang & cs., 2020) chưa được phân tích đồng thời tác động lên từng loại khí nhà kính theo giai đoạn phát triển tại châu Á.

Với dữ liệu bảng 49 quốc gia châu Á giai đoạn 1990-2022, nghiên cứu này áp dụng khuôn khổ ba hiệu ứng kết hợp mô hình ARDL và GLS, phân nhóm theo bốn mức thu nhập. Đây là một trong những nghiên cứu đầu tiên áp dụng phân tích ba hiệu ứng ở cấp độ ngành nông nghiệp, thay vì cấp quốc gia với GDP bình phương, thông qua biến tương tác thu nhập để bổ sung bằng chứng về tác động đồng thời của xuất khẩu, lao động và giá trị gia tăng nông nghiệp lên bốn loại khí (CO₂, N₂O, CH₄, GHG)

theo cả ngắn hạn và dài hạn; đồng thời cung cấp bằng chứng thực nghiệm cho khu vực châu Á theo giai đoạn phát triển.

Tiếp theo sau phần Đặt vấn đề, Phần 2 trình bày khung lý thuyết, dữ liệu và giả thuyết nghiên cứu; phần 3 thảo luận kết quả ước lượng và từ đó phần 4 đưa ra kết luận và một số hàm ý chính sách.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khung lý thuyết

Dựa trên nền tảng lý thuyết về đường cong Kuznets Môi trường (EKC) được phát triển từ những năm 1990, cơ chế vận hành của EKC được giải thích thông qua ba hiệu ứng chính tác động đồng thời lên chất lượng môi trường trong quá trình tăng trưởng (Liobikienė & Butkus, 2019; Sharma & cs., 2021), cụ thể: Hiệu ứng quy mô (Scale Effect) phản ánh tác động trực tiếp của việc mở rộng sản xuất: khi nền kinh tế tăng trưởng, quy mô hoạt động kinh tế lớn hơn dẫn đến việc sử dụng nhiều tài nguyên thiên nhiên hơn và tạo ra lượng chất thải gia tăng. Hiệu ứng cơ cấu (Composition Effect) đề cập đến những thay đổi trong cơ cấu kinh tế khi một quốc gia phát triển. Ở giai đoạn công nghiệp hóa, nền kinh tế có xu hướng chuyển dịch từ nông nghiệp sang công nghiệp - thường là các ngành sản xuất có cường độ ô nhiễm cao. Tuy nhiên, khi thu nhập tiếp tục tăng, cơ cấu kinh tế lại chuyển dịch sang các ngành dịch vụ và công nghệ cao ít gây ô nhiễm hơn (Khan & cs., 2022). Hiệu ứng kỹ thuật (Technique Effect) nắm bắt vai trò của tiến bộ công nghệ và cải tiến quy trình sản xuất trong việc giảm thiểu tác động môi trường trên mỗi đơn vị sản lượng. Khi thu nhập tăng, xã hội có nhiều nguồn lực hơn để đầu tư vào nghiên cứu và phát triển công nghệ sạch, đồng thời ý thức về bảo vệ môi trường cũng được nâng cao, tạo áp lực cho việc áp dụng các tiêu chuẩn môi trường nghiêm ngặt hơn (Rashid & cs., 2018).

Khác với các nghiên cứu EKC cấp quốc gia sử dụng GDP và GDP bình phương để kiểm định mối quan hệ phi tuyến (Grossman & Krueger, 1991), nghiên cứu này tiếp cận phân tích ba hiệu ứng ở cấp độ ngành. Ở cấp độ này,

chúng tôi phân tích liệu các yếu tố nông nghiệp có tác động khác biệt theo giai đoạn phát triển kinh tế hay không - cụ thể là liệu các nước thu nhập cao có phát thải thấp hơn từ cùng hoạt động nông nghiệp nhờ hiệu ứng kỹ thuật hay không. Liobikienė & Butkus (2019) cũng đã kiểm định hiệu ứng quy mô mở rộng thông qua biến tương tác thay vì dạng bậc hai.

2.2. Dữ liệu và giả thuyết nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng dữ liệu bảng của 49 quốc gia châu Á trong giai đoạn 1990-2022, được phân loại thành bốn nhóm thu nhập theo tiêu chuẩn thu nhập quốc dân bình quân đầu người (GNI per capita) của Ngân hàng Thế giới. Nhóm thu nhập thấp (GNI < \$1,135) bao gồm Bangladesh, Myanmar, Nepal, Cambodia và 3 nước khác. Nhóm thu nhập trung bình thấp (\$1,136-\$4,465) gồm India, Pakistan, Philippines, Indonesia, Vietnam và 12 nước khác. Nhóm thu nhập trung bình cao (\$4,466-\$13,845) bao gồm Thailand, Malaysia, Trung Quốc và 8 nước khác. Nhóm thu nhập cao (> \$13,846) gồm Nhật Bản, Hàn Quốc, Singapore và 9 nước khác. Nguồn dữ liệu chính là World Development Indicators của Ngân hàng Thế giới. Do hạn chế trong hệ thống thu thập dữ liệu của một số quốc gia châu Á, nghiên cứu sử dụng dữ liệu bảng không cân bằng với số quan sát dao động từ 1.464 đến 1.627 tùy theo biến. Thống kê đặc điểm dữ liệu được trình bày trong bảng 1. Mô hình nghiên cứu bao gồm các biến được sử dụng như sau:

* Biến phụ thuộc gồm bốn biến đại diện cho phát thải khí nhà kính, gồm 4 loại khí: CO₂ từ sử dụng nhiên liệu hóa thạch và chuyển đổi đất; N₂O từ phân bón nitơ; CH₄ từ chăn nuôi và lúa nước; GHG tổng hợp cả ba loại khí trên.

* Biến độc lập: Các biến trong nghiên cứu được phân loại theo khung lý thuyết ba hiệu ứng nhằm nắm bắt cơ chế tác động của hoạt động nông nghiệp lên phát thải khí nhà kính. *Biến đại diện cho Hiệu ứng Quy mô (Scale Effect)*, là nhóm biến phản ánh sự mở rộng về quy mô hoạt động nông nghiệp, thể hiện việc gia tăng sử dụng tài nguyên và cường độ sản xuất: *Giá trị gia tăng từ nông nghiệp, lâm nghiệp và*

thủy sản (agrava) đo lường quy mô tổng thể của khu vực nông nghiệp, được tính bằng USD hiện hành để phản ánh giá trị thực tế của sản lượng nông nghiệp tại từng thời điểm. Khi giá trị gia tăng nông nghiệp tăng, áp lực lên việc mở rộng diện tích canh tác, tăng đầu vào hóa chất và năng lượng cũng gia tăng theo, dẫn đến phát thải cao hơn (Wang & cs., 2020; Raihan & Tuspekova, 2022). Trong khuôn khổ lý thuyết ba hiệu ứng, biến giá trị gia tăng nông nghiệp đóng vai trò tương đương GDP trong các mô hình EKC cấp quốc gia, đại diện cho scale effect của riêng ngành nông nghiệp. Biến Agrava được chuyển sang dạng logarit tự nhiên do đây là biến giá trị tuyệt đối có độ phân tán lớn giữa các quốc gia (ký hiệu *lnagrava*). *Đất nông nghiệp (agrilan)*: Đo lường bằng tỷ lệ phần trăm diện tích đất nông nghiệp so với tổng diện tích đất, thể hiện sự mở rộng về mặt vật lý của hoạt động nông nghiệp. Huang & cs. (2023) cho rằng chuyển đổi đất nông nghiệp sang mục đích khác dẫn đến tăng đáng kể phát thải khí nhà kính. Từ đó, chúng tôi đưa ra giả thuyết nghiên cứu về tác động cùng chiều của biến giá trị gia tăng, biến đất nông nghiệp lên phát thải môi trường.

H1: Hiệu ứng quy mô có tác động tăng phát thải môi trường.

* *Biến đại diện cho Hiệu ứng Cơ cấu (Composition Effect)*, là nhóm biến này nắm bắt sự chuyển dịch cơ cấu kinh tế giữa các ngành, phản ánh mức độ phụ thuộc của nền kinh tế vào nông nghiệp so với các ngành khác: *Việc làm trong nông nghiệp (agrem)* là biến được đo lường bằng tỷ lệ phần trăm lao động làm việc trong khu vực nông nghiệp so với tổng việc làm, cho thấy tầm quan trọng tương đối của ngành nông nghiệp trong cơ cấu kinh tế. Biến agrem được log hóa do lao động nông nghiệp có phân phối lệch phải đáng kể giữa các quốc gia châu Á - dao động từ dưới 5% ở các nước thu nhập cao đến trên 70% ở các nước thu nhập thấp (ký hiệu *lnagrem*). Khi nền kinh tế phát triển, lao động chuyển dịch sang công nghiệp và dịch vụ, làm giảm tỷ trọng nông nghiệp và thay đổi cơ cấu phát thải (Jiang & cs., 2022). *Xuất khẩu nguyên liệu nông nghiệp thô (agre)* là biến được đo lường bằng tỷ lệ phần trăm xuất khẩu nông sản thô trong tổng xuất khẩu hàng hóa, phản ánh

mức độ phụ thuộc của nền kinh tế vào nông nghiệp và vị trí trong chuỗi giá trị toàn cầu. Một số tác giả cho rằng tăng xuất khẩu nông nghiệp làm tăng phát thải khí nhà kính ở các nước đang phát triển nhưng lại giảm phát thải N_2O ở các nước phát triển. Sự khác biệt này phụ thuộc vào trình độ phát triển và công nghệ sản xuất của từng quốc gia (Haider & cs., 2021; Zambrano - Monserrate & Fernandez, 2017; Saghaian & cs., 2022). Với đối tượng nghiên cứu là các nước châu Á, các biến *lnagrem* và *agre* thông thường là dấu dương nên giả thuyết nghiên cứu H2 được đề xuất như sau:

H2: Hiệu ứng cơ cấu (việc làm, xuất khẩu nguyên liệu nông nghiệp) có tác động tăng phát thải khí ra môi trường cho các nước Châu Á.

* *Biến đại diện cho Hiệu ứng Kỹ thuật (Technique Effect)* nắm bắt gián tiếp thông qua biến tương tác với biến giả thu nhập (*inco*): Các biến tương tác giữa yếu tố nông nghiệp (*agre*, *lnagrem*, *lnagrava*) và nhóm thu nhập cho phép phân tích sự khác biệt về tác động của các yếu tố này qua các giai đoạn phát triển. Các quốc gia được phân loại thành bốn nhóm thu nhập dựa trên tiêu chí phân loại thu nhập của Ngân hàng Thế giới: các quốc gia thu nhập thấp, thu nhập trung bình thấp, thu nhập trung bình cao và thu nhập cao. Bốn biến giả thu nhập được sử dụng: *inco1* (thu nhập thấp - nhóm tham chiếu), *inco2* (thu nhập trung bình thấp), *inco3* (thu nhập trung bình cao), và *inco4* (thu nhập cao). Để nắm bắt hiệu ứng kỹ thuật, chúng tôi tạo ra 9 biến tương tác bằng cách nhân các biến nông nghiệp với biến giả thu nhập: 3 biến tương tác việc làm: *intagrem2*, *intagrem3*, *intagrem4*; 3 biến tương tác giá trị gia tăng: *integrava2*, *integrava3*, *integrava4*; 3 biến tương tác xuất khẩu: *intagre2*, *intagre3*, *intagre4*. Nếu hệ số của các biến tương tác này có dấu ngược lại với biến gốc (ví dụ: *lnagrava* có hệ số dương nhưng *lnagrava* × *inco* có hệ số âm) thì hiệu ứng kỹ thuật đang phát huy tác dụng ở các quốc gia thu nhập cao. Hiệu ứng kỹ thuật trong nông nghiệp châu Á sau được đề xuất như sau:

H3: Các quốc gia thu nhập cao ở châu Á sẽ có phát thải khí nhà kính từ hoạt động nông

ng nghiệp thấp hơn so với các quốc gia thu nhập thấp và trung bình, phản ánh sự khác biệt về năng lực công nghệ và chính sách môi trường theo giai đoạn phát triển.

* Để đảm bảo tính vững của mô hình và kiểm soát các yếu tố ngoại sinh có thể ảnh hưởng đến phát thải khí nhà kính, nghiên cứu sử dụng các biến kiểm soát sau: *Việc làm trong công nghiệp (emin)* là biến được đo lường bằng tỷ lệ phần trăm lao động làm việc trong khu vực công nghiệp so với tổng việc làm. *Sử dụng năng lượng (lneneuse)* là biến được đo lường bằng logarit tự nhiên của lượng năng lượng tiêu thụ (tính bằng kg oil equivalent bình quân đầu người). *Tiền thu nhập từ khai thác tài nguyên thiên nhiên (natre)* là biến được đo bằng tỷ lệ phần trăm tổng tiền thu thu được từ khai thác tài nguyên (bao gồm dầu mỏ, khí đốt, than đá, khoáng sản và lâm sản) sau khi đã trừ chi phí khai thác sản xuất thông thường so với GDP.

Mô hình nghiên cứu được đề xuất như sau:

$$\begin{aligned} \ln GHG_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \lnagrava + \alpha_2 agrilan \\ & + \alpha_3 \lnagrem + \alpha_4 \lnagre + \\ & + \sum \alpha_k (X_n \times inco_k) + \alpha_5 emin \\ & + \alpha_6 lneneuse + \alpha_7 natre + \varepsilon_{it} \end{aligned}$$

Trong đó, $X_n \in \{\lnagrem, \lnagrava, agre\}$ và $k = 2, 3, 4$. Biến *GHG* đại diện biến phụ thuộc, là một trong các biến khí phát thải (CO_2 , N_2O , CH_4 , *GHG*).

2.3. Phương pháp thực nghiệm

Nghiên cứu được thực hiện qua các bước kiểm định mô hình sau:

Bước 1 - Kiểm định phụ thuộc chéo (Cross - sectional dependence) theo Pesaran (2015).

Bước 2 - Kiểm định tính dừng (Unit root) để xem xét điều kiện áp dụng ước lượng ARDL.

Bước 3 - Kiểm định đồng liên kết (Cointegration): Nếu có đồng liên kết thì ước lượng ARDL được áp dụng; Trường hợp không có đồng liên kết thì ước lượng FGLS được áp dụng.

Bước 4 - Lựa chọn ước lượng ARDL: So sánh MG, PMG, DFE qua kiểm định Hausman để chọn chọn DFE.

Bảng 1. Thống kê mô tả của các biến

Ký hiệu biến	Ý nghĩa	Đơn vị tính	Số quan sát	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Bé nhất	Lớn nhất
Co2	Lượng phát thải CO ₂ trung bình của mỗi người	Tấn CO ₂ /người	1617	6,245	7,911	0	47,657
N2o	Lượng phát thải khí N ₂ O từ khu vực năng lượng	Nghìn tấn CO ₂ tương đương	1579	2811,251	6796,536	0	56288,6
Ch4	Lượng phát thải khí methane (CH ₄) từ khu vực năng lượng	Nghìn tấn CO ₂ tương đương	1579	33793,8	88477,35	0	676112
Ghg	Tổng lượng phát thải khí nhà kính của quốc gia	Nghìn tấn CO ₂ tương đương	1579	406477,3	1274039	202,691	12900000
Agrava	Giá trị gia tăng của ngành nông lâm thủy sản	USD hiện hành	1600	2.84E+10	1.03E+11	34000000	1.31E+12
Agrilan	Tỷ lệ diện tích đất nông nghiệp	% diện tích đất	1594	34,584	23,438	0,919	84,314
Agre	Tỷ trọng xuất khẩu nguyên liệu nông nghiệp	%	1526	2,016	3,444	0	32,633
Agrem	Tỷ lệ lao động làm việc trong ngành nông nghiệp	%	1611	28,626	22,314	0,063	86,54
Emin	Tỷ lệ lao động làm việc trong khu vực công nghiệp	%	1610	23,889	14,204	0,982	79,283
Natre	Tỷ trọng thu nhập từ khai thác tài nguyên thiên nhiên	% GDP	1464	10,219	14,193	0	79,431

Bước 5 - Lựa chọn ước lượng GLS: F - test → Hausman → chọn FEM; phát hiện phương sai thay đổi qua kiểm định Wald → áp dụng FGLS.

Bước 6 - Xử lý nội sinh.

Trước hết, thống kê mô tả các biến được giới thiệu trong bảng 1.

Bảng 1 cho thấy sự đa dạng lớn giữa các quốc gia châu Á về cả phát thải khí nhà kính và các chỉ số nông nghiệp. Chú ý rằng, các biến giá trị tuyệt đối được lấy logarit tự nhiên để giảm độ phân tán mạnh trong dữ liệu.

Phân bố theo nhóm thu nhập được phân tích từ dữ liệu cho thấy: 33,7% các quốc gia thu nhập trung bình thấp (inco2 = 1), 17,2% các quốc gia có thu nhập trung bình cao (inco3 = 1), và 25,3% từ nhóm thu nhập cao (inco4 = 1).

Kiểm định phụ thuộc chéo: Kiểm định phụ thuộc chéo (cross - sectional dependence test) của Pesaran (2015) được áp dụng để xác định sự tồn tại của mối liên hệ giữa các quốc gia trong mẫu nghiên cứu. Kết quả cho thấy giá trị p - value của cả bốn biến phụ thuộc (CO₂, N₂O, CH₄, GHG) đều nhỏ hơn 0,05, xác nhận sự tồn tại của phụ thuộc chéo giữa các biến.

Kiểm định tính dừng: Kiểm định nghiệm đơn vị thế hệ thứ hai PESCADF (Pesaran Cross - sectionally Augmented Dickey - Fuller) được sử dụng để kiểm tra tính dừng của chuỗi dữ liệu. Kết quả cho thấy các biến lnch4, lnghg và lnagrava có tính dừng ở mức độ gốc I(0), trong khi các biến lnco2, lnn2o, lnagrem, agre, emin, agrilan, lneneuse và natre không dừng ở mức độ gốc. Tuy nhiên, sau khi lấy sai phân bậc nhất, tất cả các biến không dừng đều trở nên dừng ở I(1). Việc kết hợp các biến dừng ở các bậc khác nhau I(0) và I(1) là phù hợp với điều kiện áp dụng mô hình ARDL.

Kiểm định đồng liên kết: Kiểm định đồng liên kết (cointegration test) Westerlund được sử dụng để xác định mối quan hệ dài hạn giữa các biến, đặc biệt phù hợp khi tồn tại phụ thuộc chéo giữa các đơn vị chéo. Kết quả kiểm định cho thấy các mô hình với biến phụ thuộc là lnco2 và lnn2o có mối quan hệ đồng liên kết, cho phép nghiên cứu mối quan hệ dài hạn và ngắn hạn thông qua mô hình ARDL. Ngược lại, các mô hình với biến phụ thuộc lnch4 và lnghg không có đồng liên kết, do đó phương pháp GLS được áp dụng.

Lựa chọn mô hình ARDL: Đối với các biến có đồng liên kết, nghiên cứu sử dụng ba kỹ thuật ước lượng ARDL bao gồm Mean Group (MG), Pooled Mean Group (PMG) và Dynamic Fixed Effect (DFE). Kiểm định Hausman được thực hiện để lựa chọn mô hình phù hợp nhất. Kết quả cho thấy mô hình DFE là phù hợp nhất cho cả hai biến phụ thuộc CO_2 và N_2O .

Kiểm định mô hình GLS: Đối với các mô hình GLS, nghiên cứu đã tiến hành kiểm định F - test để lựa chọn giữa mô hình Pooled OLS và Fixed Effects Model (FEM), sau đó sử dụng kiểm định Hausman để chọn giữa FEM và Random Effects Model (REM). Kiểm định Wooldridge được thực hiện để phát hiện hiện tượng tự tương quan, trong khi kiểm định Wald được sử dụng để phát hiện phương sai thay đổi. Kết quả cho thấy sự tồn tại của phương sai thay đổi (heteroscedasticity) trong các mô hình, do đó phương pháp Feasible Generalized Least Squares (FGLS) được áp dụng để khắc phục các khuyết tật này, đảm bảo tính vững và tin cậy của ước lượng.

Để xử lý vấn đề nội sinh tiềm ẩn từ mối quan hệ hai chiều giữa hoạt động nông nghiệp và phát thải khí nhà kính (Jiang & cs., 2022), nghiên cứu áp dụng System GMM cho hai mô hình ARDL - DFE chính. Các biến trễ được xem xét có khả năng là biến nội sinh hay không. Kết quả AR(2) đều không có ý nghĩa thống kê (CO_2 : $p = 0,309$; N_2O : $p = 0,370$), xác nhận không tồn tại tự tương quan bậc hai. Kiểm định Hansen xác nhận tính hợp lệ của biến công cụ ở cả hai mô hình (CO_2 : $p = 0,120$; N_2O : $p = 0,358$). Kết quả GMM nhất quán với mô hình ARDL - DFE về chiều tác động của các biến nông nghiệp chính, khẳng định tính vững của nghiên cứu trước vấn đề nội sinh.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sau khi thực hiện quy trình ước lượng nghiêm ngặt như trình bày ở mục trên, chúng tôi thu được kết quả mô hình ARDL được áp dụng cho CO_2 và N_2O để phân tích cả tác động ngắn hạn và dài hạn được cho ở bảng 2.

Bảng 2 cung cấp bằng chứng quan trọng về tác động dài hạn và ngắn hạn của các yếu tố

nông nghiệp lên phát thải.

Tác động dài hạn

Về hiệu ứng quy mô: Hệ số biến giá trị gia tăng nông nghiệp (lnagrava) có ý nghĩa thống kê cho mô hình biến N_2O và đều có dấu dương (Bảng 2), cho thấy quan hệ cùng chiều giữa giá trị gia tăng nông nghiệp thì phát thải khí ra môi trường. Kết quả này tương đồng với Wang & cs. (2020) và Raihan & Tuspekova (2022), khi cả hai nghiên cứu đều ghi nhận mối quan hệ cùng chiều giữa giá trị gia tăng nông nghiệp và phát thải khí nhà kính. Đất nông nghiệp (agrilan) có tác động dương mạnh lên CO_2 và N_2O (các hệ số đều có ý nghĩa thống kê mức 5%), phản ánh thực tế hiệu ứng quy mô: mở rộng diện tích canh tác dẫn đến chuyển đổi đất tự nhiên, mất bể chứa carbon và tăng sử dụng hóa chất, phù hợp với Huang & cs. (2023) và Raihan & cs. (2022). Tác động âm lên GHG (ý nghĩa thống kê ở mức 1%) có thể do chuyển đổi cơ cấu cây trồng ở châu Á. Phát hiện này cho thấy hiệu ứng quy mô không đồng nhất đối với các chất gây ô nhiễm mà phụ thuộc rất nhiều vào thành phần sử dụng đất và các loại khí nhà kính cụ thể được xem xét.

Về hiệu ứng cơ cấu: (i) Việc làm trong nông nghiệp (lnagrem) có tác động dương đáng kể N_2O (có ý nghĩa thống kê ở mức 5%). Quan trọng hơn, tất cả các biến tương tác với thu nhập đều có hệ số dương và có ý nghĩa thống kê cao với mức 1%, cho thấy việc làm nông nghiệp tăng phát thải ở tất cả các nhóm thu nhập, với tác động mạnh nhất ở các quốc gia thu nhập trung bình thấp. Đối với CH_4 và GHG (Bảng 3), việc làm nông nghiệp có tác động dương mạnh và tất cả các biến tương tác đều dương và có ý nghĩa cao. Kết quả này cũng phù hợp với Umehruo & cs. (2022) nhưng trái ngược với Jiang & cs. (2022) và Jiaduo & cs. (2023). Điều này cho thấy ở châu Á, hiệu ứng cơ cấu chưa phát huy tích cực, ngay cả khi nền kinh tế chuyển dịch sang công nghiệp và dịch vụ, lao động nông nghiệp còn lại vẫn gây ra phát thải đáng kể do canh tác thâm canh và sử dụng nhiều hóa chất. (ii) Xuất khẩu nguyên liệu nông nghiệp thô (agre) có hệ số dương với CO_2 (chưa thể hiện đạt ý nghĩa thống kê) và N_2O (ý nghĩa thống kê ở mức 5%).

Bảng 2. Kết quả ước lượng mô hình ARDL cho CO₂ và N₂O

TT	Biến	Inco2	Inn2o
Long run	lnagrava	0,002	0,091 [*]
	agrilan	13,389 ^{**}	8,217 ^{**}
	lnagrem	0,056	0,409 ^{**}
	agre	3,053	5,135 ^{**}
	emin	- 4,535 [*]	- 0,811
	lneneuse	- 0,115 ^{**}	- 0,063 ^{**}
	natre	- 3,037	0,731
	Intagrem2	0,837 ^{**}	0,315 ^{**}
	Intagrem3	0,477 ^{**}	0,483 ^{**}
	intagrem4	0,659 ^{**}	0,361 ^{**}
	integrava2	0,177 ^{**}	0,045
	integrava3	0,054	- 0,199
	integrava4	0,221 ^{**}	0,043
	intagre2	1,725	- 0,054
	intagre3	14,528 ^{**}	1,746
	intagre4	- 14,106	- 11,152 [*]
	inco2	- 6,502 ^{**}	- 2,056 ^{**}
	inco3	- 3,786 ^{**}	- 1,462
	inco4	- 5,454 ^{**}	- 1,769 [*]
Short run	__ec	0,547 ^{**}	0,734 ^{**}
	D.lnagrava	- 0,054	0,055
	D.agrilan	- 0,068	0,394
	D.lnagrem	0,143 ^{**}	- 0,031
	D.agre	2,385	0,702
	D.emin	0,917	3,102 [*]
	D.lneneuse	- 0,042 [*]	- 0,013
	D.natre	- 3,431 ^{**}	- 0,847
	D.intagrem2	0,148 [*]	- 0,112 [*]
	D.intagrem3	- 0,137 [*]	- 0,018
	D.intagrem4	- 0,148 [*]	- 0,032
	D.intagrava2	0,01	- 0,008
	D.intagrava3	- 0,049	- 0,233 ^{**}
	D.intagrava4	0,132 [*]	0,001
	D.intagre2	- 1,121	2,237
	D.intagre3	10,425 ^{**}	0,727
	D.intagre4	- 9,356	- 2,624
	D.inco2	- 0,85	0,858
	D.inco3	0,87	1,989 ^{**}
	D.inco4	0,527	0,605
	_cons	- 3,343 ^{**}	- 1,884 ^{**}

Ghi chú: ** và * lần lượt chỉ ra các hệ số có ý nghĩa thống kê ở mức 5% và 10%.

Bảng 3. Kết quả ước lượng mô hình GLS cho biến CH₄ và GHG

CÁC BIẾN SỐ	<i>lnch4</i>	<i>lnghg</i>
agre	2,133	- 4,144**
lnagrem	0,241***	0,179***
agrava	0,00016	0,00019
emin	0,737	- 0,456
agrilan	1,266	- 5,170***
lneneuse	0,166***	0,117***
natre	6,210***	5,900***
intagrem2	0,187**	0,327***
intagrem3	0,167**	0,387***
intagrem4	0,357***	0,426***
intagrava2	- 0,0481	- 0,114**
intagrava3	- 0,0356	0,013
intagrava4	0,106**	0,101**
intagre2	- 1,317	4,776*
intagre3	- 2,712	1,961
intagre4	1,062	7,801*
inco2	- 0,883	- 1,876***
inco3	- 0,762	- 2,591***
inco4	- 2,663***	- 3,541***
Constant	2,880***	4,414***
Observations	1575	1575
Number of countries	49	49

Ghi chú: ***, ** và * lần lượt chỉ ra các hệ số có ý nghĩa thống kê ở mức 1%, 5% và 10%.

Tuy nhiên, các biến tương tác cho thấy tác động phân hóa rõ rệt theo mức thu nhập: Đối với các quốc gia thu nhập cao: intagre4 có hệ số âm cho cả CO₂ và N₂O (nhưng chỉ có ý nghĩa với mô hình N₂O ở mức 5%), cho thấy xuất khẩu nông nghiệp giảm phát thải ở nhóm này, phù hợp với giả thuyết H2. Đối với các quốc gia thu nhập trung bình cao: intagre3 có hệ số dương mạnh cho CO₂ (đạt ý nghĩa thống kê 1%), cho thấy xuất khẩu nông nghiệp tăng phát thải đáng kể ở nhóm này. Đối với GHG (Bảng 3), xuất khẩu có tác động âm (đạt mức ý nghĩa thống kê 1%), nhưng các biến tương tác cho thấy tác động này bị đảo ngược ở các nhóm thu nhập cao hơn (đều đạt mức ý nghĩa thống kê 1%), nghĩa là các nước này lại tăng GHG khi xuất khẩu nhiều hơn. Kết quả hoàn toàn phù hợp với Saghaian & cs. (2022) về sự phân hóa giữa các nước phát triển

và đang phát triển, nhưng chỉ một phần phù hợp với Ul Haq & cs. (2021). Sự phân hóa này phản ánh thực tế rằng các nước thu nhập thấp xuất khẩu chủ yếu nguyên liệu thô đòi hỏi canh tác mở rộng và thâm canh hóa chất, trong khi các nước thu nhập cao xuất khẩu nông sản chế biến với quy trình kiểm soát phát thải chặt chẽ hơn theo yêu cầu của thị trường nhập khẩu.

Hiệu ứng Kỹ thuật: Giá trị gia tăng nông nghiệp (lnagrava) có tác động không đồng nhất theo loại khí và nhóm thu nhập. Đối với CO₂, các biến tương tác cho thấy tác động dương ở nhóm thu nhập trung bình thấp và nhóm thu nhập cao (các hệ số đều đạt ý nghĩa thống kê 1%), phù hợp với Raihan & Tuspekova (2022) và Usman & cs. (2022). Đối với N₂O, tác động âm xuất hiện ở nhóm thu nhập trung bình cao. Đối với GHG, tác động âm ở nhóm trung bình thấp

nhưng dương ở nhóm cao (các hệ số đều đạt mức ý nghĩa thống kê 5%). Tác động âm lên GHG ở nhóm trung bình thấp gợi ý các nước đang phát triển giảm phát thải khi chuyển sang mô hình canh tác có quản lý tốt hơn. Hiệu ứng kỹ thuật rõ nhất ở N_2O và GHG ở nhóm trung bình thấp (đều đạt ý nghĩa thống kê 5%), trong khi CO_2 chưa cho thấy bằng chứng thuyết phục. Điều này gợi ý hiệu ứng kỹ thuật có tính chọn lọc theo loại khí và nhóm thu nhập. Các biến giả thu nhập (inco2, inco3, inco4) đều có hệ số âm và có ý nghĩa thống kê cao, cho thấy các quốc gia thu nhập cao hơn có mức phát thải cơ bản thấp hơn khi kiểm soát các yếu tố khác. Nghiên cứu trước đây về phát thải lưu huỳnh (SO_2) của Taguchi (2012) cũng cho rằng các nước phát triển đạt mức phát thải thấp hơn nhờ tiếp nhận công nghệ và chính sách từ các nước đi trước.

Nhìn chung, trong dài hạn, hiệu ứng cơ cấu thông qua biến việc làm nông nghiệp cho thấy tác động dương có ý nghĩa thống kê nhất quán nhất trên cả bốn loại khí nhà kính, gợi ý đây là kênh tác động cần được ưu tiên trong các nghiên cứu và chính sách giảm phát thải nông nghiệp tại châu Á.

Tác động ngắn hạn: Hệ số điều chỉnh sai số ($_ec$) là 0,547 cho CO_2 và 0,734 cho N_2O (cả hai đều đạt ý nghĩa thống kê 5%), cho thấy tốc độ điều chỉnh về cân bằng dài hạn khá nhanh. Trong ngắn hạn, hầu hết các biến nông nghiệp chính không có tác động có ý nghĩa thống kê, cho thấy có độ trễ thời gian trước khi tác động đầy đủ được thể hiện. Tuy nhiên, một số biến tương tác như $D.intagrem2$, $D.intagrem3$, và $D.intagrem4$ cho CO_2 có ý nghĩa thống kê, phản ánh phản ứng khác biệt trong ngắn hạn giữa các nhóm thu nhập.

4. KẾT LUẬN

Với dữ liệu bảng 1990-2022, nghiên cứu đã áp dụng mô hình ARDL và GLS, sử dụng khuôn khổ phân tích ba hiệu ứng quy mô, cơ cấu và kỹ thuật để phân tích một số nhân tố tác động đến phát thải khí nhà kính. Kết quả nghiên cứu nhất quán với khuôn khổ ba hiệu ứng trong bối cảnh nông nghiệp châu Á. Các quốc gia thu

nhập cao thể hiện tác động môi trường thấp hơn từ hoạt động nông nghiệp nhờ chính sách môi trường nghiêm ngặt và công nghệ tiên tiến. Một vài chính sách có thể tham khảo để giảm phát thải ra môi trường.

Chính sách cho các quốc gia thu nhập thấp và trung bình: Kết quả nghiên cứu về hiệu ứng quy mô cho thấy việc ngăn chặn mở rộng đất canh tác bằng phá rừng là cần thiết để giảm phát thải môi trường. Các quốc gia cần cấm tuyệt đối chuyển đổi rừng nguyên sinh sang nông nghiệp, có chế tài phạt khi vi phạm, đồng thời trợ cấp cho nông dân áp dụng canh tác thâm canh (tưới nhỏ giọt, giống năng suất cao) để tăng năng suất trên cùng diện tích thay vì mở rộng đất mới. Indonesia là nước đã thực thi hiệu quả chính sách này vì có chế tài nghiêm nhưng nông dân vẫn cần thu nhập thay thế. Các nước cũng cần học hỏi và đưa ra các chính sách, chế tài phù hợp để vừa bảo vệ rừng vừa đảm bảo quyền lợi người dân. Từ kết quả nghiên cứu về hiệu ứng cơ cấu cho thấy cần đào tạo bắt buộc lượng lớn lao động nông nghiệp về kỹ thuật giảm phát thải. Đồng thời, chuyển đổi cơ cấu xuất khẩu từ nguyên liệu thô sang sản phẩm chế biến carbon thấp thông qua ưu đãi thuế: giảm thuế xuất khẩu cho sản phẩm chế biến có chứng nhận phát thải thấp, trong khi đánh thuế cho nguyên liệu thô. Canh tác thâm canh chỉ hiệu quả khi có đào tạo người lao động và hỗ trợ vật tư.

Chính sách cho các quốc gia thu nhập trung bình cao và cao: Kết quả nghiên cứu cho thấy đất nông nghiệp tiếp tục là nguồn phát thải lớn, chứng tỏ mở rộng quy mô sản xuất nông nghiệp vẫn đi đôi với tăng phát thải, nên các quốc gia này cần chuyển đổi cơ cấu cây trồng từ các loại phát thải cao sang phát thải thấp thay vì chỉ tập trung vào giảm diện tích canh tác. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy xuất khẩu nông nghiệp có tác động dương mạnh lên phát thải ở nhóm thu nhập trung bình cao. Điều này phản ánh mâu thuẫn nghiêm trọng: các quốc gia này đang gia tăng xuất khẩu để phát triển kinh tế, nhưng chưa có công nghệ đủ tiên tiến để giảm phát thải như các nước thu nhập cao. Đồng thời, việc làm nông nghiệp vẫn tăng phát thải đáng

kể, nên cần tái cấu trúc toàn diện chuỗi giá trị xuất khẩu từ nguyên liệu thô sang sản phẩm chế biến carbon thấp, và nâng cấp kỹ năng lao động nông nghiệp theo hướng công nghệ cao.

Đóng góp lý thuyết: Nghiên cứu áp dụng khuôn khổ phân tích ba hiệu ứng (scale, composition, technique) vào cấp độ ngành nông nghiệp và kiểm tra sự khác biệt tác động theo nhóm thu nhập tại châu Á, đóng góp vào tranh luận lý thuyết về vai trò của thu nhập trong quan hệ nông nghiệp - môi trường.

Đóng góp thực nghiệm: Bằng cách phân tích riêng biệt bốn loại khí nhà kính (CO_2 , N_2O , CH_4 , GHG) và phân nhóm theo mức thu nhập, nghiên cứu cung cấp bức tranh chi tiết và toàn diện về tác động môi trường của nông nghiệp. Việc sử dụng kết hợp mô hình ARDL và GLS giúp nắm bắt được cả tác động ngắn hạn và dài hạn, đồng thời xử lý các vấn đề kinh tế lượng như phương sai thay đổi và tự tương quan.

Nghiên cứu đã cho thấy mỗi quốc gia châu Á cần thiết kế chính sách phù hợp với giai đoạn phát triển, kết hợp chuyển giao công nghệ và hợp tác khu vực để đạt phát triển bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ahmed Z., Asghar M.M., Malik M.N. & Nawaz K. (2020). Moving towards a sustainable environment: The dynamic linkage between natural resources, human capital, urbanization, economic growth, and ecological footprint in China. *Resources Policy*. 67: 101677. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101677> Get rights and content
- Frank S., Havlík P., Soussana J.- F., 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>
- Grossman G.M. & Krueger A.B. (1991). Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. NBER Working Paper No. 3914. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Hafeez M., Yuan C., Khelifaoui I., Musaad O.A.S., Akram R. & Chen S. (2019). Evaluating the energy consumption inequalities in the One Belt and One Road region: Implications for the environment. *Energies*. 12(7): 1358. <https://doi.org/10.3390/en12071358>
- Haider A., Rankaduwa W., ul Husnain M.I. & Shaheen F. (2021). Nexus between agricultural land use and N_2O emissions: An ARDL bounds testing approach. *Sustainability*. 13(5): 2808. <https://doi.org/10.3390/su13052808>
- Huang S., Ghazali S., Azadi H., Movahhed Moghaddam S., Viira A.H., Janečková K., Eory V. & Kurban A. (2023). Contribution of agricultural land conversion to global GHG emissions: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*. 876: 162269. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162269>
- Jiadoo E., Kibria M.G., Aspy N.N., Ullah E. & Hossain M.E. (2023). The impact of agricultural employment and technological innovation on the environment: Evidence from BRICS nations considering a novel environmental sustainability indicator. *Sustainability*. 15(20): 15083. <https://doi.org/10.3390/su152015083>
- Jiang G., Alvarado R., Murshed M., Tillaguango B., Toledo E., Méndez P. & Isik C. (2022). Effect of agricultural employment and export diversification index on environmental pollution: Building the agenda towards sustainability. *Sustainability*. 14(2): 677. <https://doi.org/10.3390/su14020677>
- Khan A., Safdar S. & Nadeem H. (2022). Decomposing the effect of trade on environment: A case study of Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*. 30(2): 3817-3834. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21705-w>
- Liobikienė G. & Butkus M. (2019). Scale, composition, and technique effects through which the economic growth, foreign direct investment, urbanization, and trade affect greenhouse gas emissions. *Renewable Energy*. 132: 1310-1322. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.032>
- Pata U. K. (2021). Linking renewable energy, globalization, agriculture, CO_2 emissions and ecological footprint in BRIC countries: A sustainability perspective. *Renewable Energy*. 173: 197-208. doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.125
- Pesaran M. H. (2015). Testing weak cross-sectional dependence in large panels. *Econometric Reviews*. 34(6-10): 1089-1117.
- Raihan A. & Tuspekova A. (2022). Dynamic impacts of economic growth, energy use, urbanization, tourism, agricultural value-added, and forested area on carbon dioxide emissions in Brazil. *Journal of Environmental Studies and Sciences*. 12(4): 794-814. <https://doi.org/10.1007/s13412-022-00782-w>
- Raihan A., Muhtasim D.A., Farhana S., Pavel M.I., Faruk O., Rahman M. & Mahmood A. (2022).

- Nexus between carbon emissions, economic growth, renewable energy use, urbanization, industrialization, technological innovation, and forest area towards achieving environmental sustainability in Bangladesh. *Energy and Climate Change*. 3: 100080. <https://doi.org/10.1016/j.egycc.2022.100080>
- Rashid Gill A., Viswanathan K.K. & Hassan S. (2018). The Environmental Kuznets Curve (EKC) and the environmental problem of the day. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 81: 1636-1642. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.247>
- Saghalian S., Mohammadi H. & Mohammadi M. (2022). The effects of agricultural product exports on environmental quality. *Sustainability*. 14(21): 13857. <https://doi.org/10.3390/su142113857>
- Sharma G.D., Shah M.I., Shahzad U., Jain M. & Chopra R. (2021). Exploring the nexus between agriculture and greenhouse gas emissions in BIMSTEC region: The role of renewable energy and human capital as moderators. *Journal of Environmental Management*. 297: 113316. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113316>
- Taguchi H. (2012). The environmental Kuznets curve in Asia: The case of sulphur and carbon emissions. *Asia-Pacific Development Journal*. 19(2): 77-92.
- Ul Haq I., Khan D., Taj H., Allayarov P., Abbas A., Khalid M. & Awais M. (2021). Agricultural exports, financial openness and ecological footprints: An empirical analysis for Pakistan. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 11(6): 434-441.
- Umehruo C.H., Owolabi O.A., Aderounmu B., Rotimi M.O. & Osabuohien E.S. (2022). Environmentally sustainable socio-economic welfare and agricultural employment: Evidence from ECOWAS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 993(1): 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/993/1/012006>
- Usman M., Khalid K. & Mehdi M.A. (2022). What determines environmental deficit in Asia? Embossing the role of renewable and non-renewable energy resources. *Renewable Energy*. 168: 1165-1176. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.090>
- Wang L., Vo X.V., Shahbaz M. & Ak A. (2020). Globalization and carbon emissions: Is there any role of agriculture value-added, financial development, and natural resource rent in the aftermath of COP21? *Journal of Environmental Management*. 268: 110712. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110712>
- World Bank (2017, November 29). Climate-Smart Agriculture. World Bank. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/results/2017/11/29/climate-smart-agriculture> on May 5, 2026,
- World Bank (2023). Climate and Development in East Asia and Pacific Region. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/region/eap/brief/climate-and-development-in-east-asia-and-pacific-region> on Feb 13, 2026.
- Zambrano-Monserrate M.A. & Fernandez M.A. (2017). An Environmental Kuznets Curve for N₂O emissions in Germany: An ARDL approach. *Natural Resources Forum*. 41(2): 119-127. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12122>