

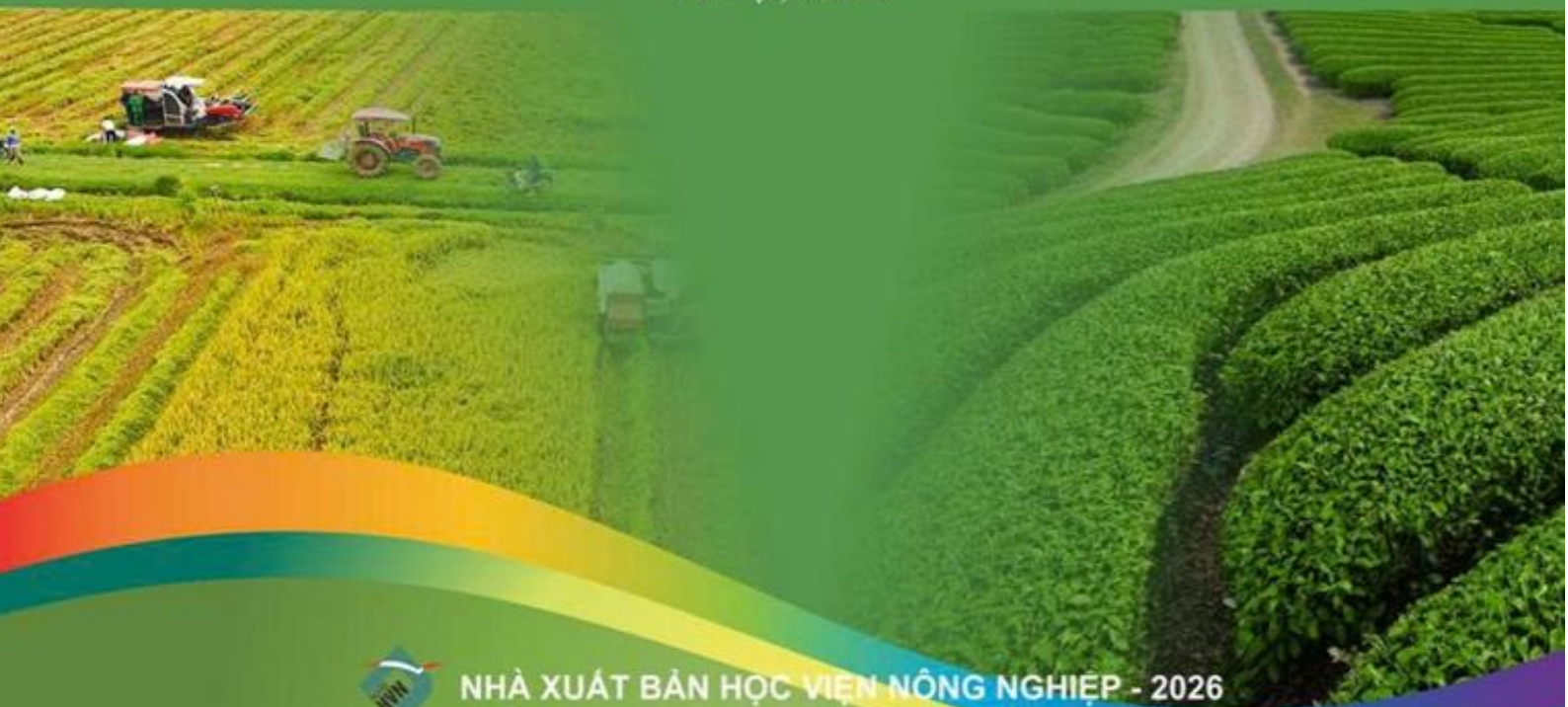
HỌC VIỆN NÔNG NGHIỆP VIỆT NAM



KỶ YẾU  
HỘI THẢO KHOA HỌC QUỐC GIA  
**MÔI TRƯỜNG NÔNG NGHIỆP,  
NÔNG THÔN VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG  
LẦN THỨ 3**

Proceedings of The Third National Scientific Conference  
on Agricultural Environment, Rural and Sustainable Development

Hà Nội, 6/2026



NHÀ XUẤT BẢN HỌC VIỆN NÔNG NGHIỆP - 2026

**HỌC VIỆN NÔNG NGHIỆP VIỆT NAM**



**KỶ YẾU HỘI THẢO KHOA HỌC QUỐC GIA**

**MÔI TRƯỜNG NÔNG NGHIỆP, NÔNG THÔN  
VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG  
LẦN THỨ 3**

**Proceedings of The Third National Scientific Conference  
on Agricultural Environment, Rural and Sustainable Development**

**Hà Nội, 6/2026**

**NHÀ XUẤT BẢN HỌC VIỆN NÔNG NGHIỆP - 2026**

## BAN TỔ CHỨC

TT	Họ và tên	Đơn vị
1	GS.TS. Nguyễn Thị Lan	Giám đốc Học viện, Trưởng ban
2	GS.TS. Trần Đức Viên	Chủ tịch Hội đồng Khoa học và đào tạo Học viện, Phó Trưởng ban
3	PGS.TS. Trần Trọng Phương	Trưởng khoa Tài nguyên và Môi trường, Phó Trưởng ban
4	PGS.TS. Võ Hữu Công	Phó Trưởng khoa Tài nguyên và Môi trường, Phó Trưởng ban
5	PGS.TS. Cao Trường Sơn	Khoa Tài nguyên và Môi trường, Ủy viên, Thư ký
6	PGS.TS. Nguyễn Thị Hồng Hạnh	Khoa Tài nguyên và Môi trường, Ủy viên
7	TS. Trịnh Quang Huy	Khoa Tài nguyên và Môi trường, Ủy viên
8	PGS.TS. Đinh Thị Hải Vân	Khoa Tài nguyên và Môi trường, Ủy viên
9	PGS.TS. Nguyễn Thị Bích Yên	Khoa Tài nguyên và Môi trường, Ủy viên
10	TS. Đinh Hồng Duyên	Khoa Tài nguyên và Môi trường, Ủy viên

## NHÀ KHOA HỌC THAM GIA PHẢN BIỆN

TT	Họ và tên	Đơn vị
1	PGS.TS. Võ Hữu Công	Khoa Tài nguyên và Môi trường
2	TS. Trịnh Quang Huy	Khoa Tài nguyên và Môi trường
3	TS. Nguyễn Ngọc Tú	Khoa Tài nguyên và Môi trường
4	TS. Đào Thị Thuý Linh	Khoa Tài nguyên và Môi trường
5	TS. Lý Thị Thu Hà	Khoa Tài nguyên và Môi trường
6	PGS. TS. Ngô Thanh Sơn	Khoa Tài nguyên và Môi trường
7	TS. Nông Hữu Dương	Khoa Tài nguyên và Môi trường
8	PGS.TS. Nguyễn Thanh Lâm	Khoa Tài nguyên và Môi trường
9	PGS.TS. Đinh Thị Hải Vân	Khoa Tài nguyên và Môi trường
10	PGS.TS. Cao Trường Sơn	Khoa Tài nguyên và Môi trường
11	TS. Nguyễn Thị Hồng Ngọc	Khoa Tài nguyên và Môi trường
12	TS. Nguyễn Thị Hương Giang	Khoa Tài nguyên và Môi trường
13	PGS. TS. Ngô Thế Ân	Khoa Tài nguyên và Môi trường
14	PGS.TS. Nguyễn Thị Bích Yên	Khoa Tài nguyên và Môi trường
15	TS. Phan Thị Thúy	Khoa Tài nguyên và Môi trường
16	TS. Phan Thị Hải Luyến	Khoa Tài nguyên và Môi trường

TT	Họ và tên	Đơn vị
17	PGS.TS. Nguyễn Thị Hồng Hạnh	Khoa Tài nguyên và Môi trường
18	TS. Đoàn Thị Thúy Ái	Khoa Tài nguyên và Môi trường
19	PGS.TS. Lê Thị Thu Hương	Khoa Tài nguyên và Môi trường
20	TS. Hán Thị Phương Nga	Khoa Tài nguyên và Môi trường
21	TS. Hoàng Hiệp	Khoa Tài nguyên và Môi trường
22	TS. Nguyễn Thị Hiền	Khoa Tài nguyên và Môi trường
23	TS. Đinh Hồng Duyên	Khoa Tài nguyên và Môi trường
24	PGS.TS. Nguyễn Thị Minh	Khoa Tài nguyên và Môi trường
25	TS. Nguyễn Thế Bình	Khoa Tài nguyên và Môi trường
26	TS. Nguyễn Xuân Hoà	Khoa Tài nguyên và Môi trường
27	TS. Vũ Thị Hoàn	Khoa Tài nguyên và Môi trường
28	TS. Vũ Thị Huyền	Khoa Công nghệ thực phẩm

### **BAN THƯ KÝ**

TT	Họ và tên	Đơn vị
1	PGS.TS. Đinh Thị Hải Vân	Khoa Tài nguyên và Môi trường, Trưởng ban
2	PGS.TS. Lê Thị Thu Hương	Khoa Tài nguyên và Môi trường, Thành viên
3	TS. Phan Thị Hải Luyến	Khoa Tài nguyên và Môi trường, Thành viên
4	TS. Nguyễn Thị Hồng Ngọc	Khoa Tài nguyên và Môi trường, Thành viên
5	ThS. Nguyễn Thị Thu Hà (B)	Khoa Tài nguyên và Môi trường Thành viên

## MỤC LỤC

ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG MÔI TRƯỜNG ĐẤT, NƯỚC TRONG NUÔI TRỒNG THỦY SẢN TẠI VÙNG BÃI BÒI VEN BIỂN ĐỀ BÌNH MINH, TỈNH NINH BÌNH <i>Đình Hồng Duyên, Lò Văn Sơn, Hồ Thị Hoàn</i> .....	2
ÁP DỤNG CHỈ SỐ WQI ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG NƯỚC SÔNG BẮC HUNG HẢI <i>Dương Thị Huyền, Nguyễn Tuyết Lan, Phan Thị Hải Luyến</i> .....	14
ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG HỒ SƠ BÁO CÁO ĐỀ XUẤT GIẤY PHÉP MÔI TRƯỜNG TẠI TỈNH BẮC NINH <i>Trịnh Quang Huy, Nguyễn Ngọc Tú</i> .....	24
TỔNG QUAN VỀ HIỆN TRẠNG VÀ XU HƯỚNG QUẢN LÝ TỒN LƯU KHÁNG SINH TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC Ở VIỆT NAM <i>Nguyễn Ngọc Trâm, Lý Quang Việt, Hồ Thị Thúy Hằng</i> .....	39
ĐÁNH GIÁ NGUỒN, NGUY CƠ GÂY Ô NHIỄM ĐẤT TRÊN ĐỊA BÀN 28 XÃ, PHƯỜNG CỦA THÀNH PHỐ CẦN THƠ <i>Nguyễn Quang Học, Nguyễn Bá Lâm, Nguyễn Quang Huy</i> .....	53
NÂNG CAO NHẬN THỨC BẢO VỆ MÔI TRƯỜNG CHO LAO ĐỘNG NÔNG THÔN QUA GIÁO DỤC NGHỀ NGHIỆP <i>Lò Việt Tuyền, Đào Thanh Huyền, Trần Xuân Hoàng, Nguyễn Văn Huân</i> .....	66
SỰ BẤT CÂN XỨNG GIỮA PHÁT SINH VÀ NĂNG LỰC QUẢN LÝ CHẤT THẢI RẮN CHĂN NUÔI: NGHIÊN CỨU TẠI TỈNH PHÚ THỌ <i>Phan Thị Hải Luyến, Phạm Thị Hương Giang, Trần Duy Tùng, Lê Văn Tiến, Võ Hữu Công</i> ..	76
ĐÁNH GIÁ THỰC TRẠNG VÀ NHẬN THỨC CỦA NGƯỜI DÂN TRONG CÔNG TÁC QUẢN LÝ RÁC THẢI SINH HOẠT TẠI KHU DU LỊCH TAM ĐẢO, TỈNH PHÚ THỌ <i>Vũ Thị Hoàn, Ngô Trung Thành, Nguyễn Đức Long</i> .....	86
ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG MÔI TRƯỜNG NÔNG THÔN THÀNH PHỐ HÀ NỘI GIAI ĐOẠN 2021-2025 <i>Đình Thị Hải Vân, Nguyễn Thị Thu Hà</i> .....	99
TỔNG QUAN VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CÁC MÔ HÌNH TỔ CHỨC SẢN XUẤT RỪNG VÀ TRANG TRẠI (FFPOs) TRONG BỐI CẢNH BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TẠI VIỆT NAM <i>Hồ Thị Hoàn, Đình Hồng Duyên, Đỗ Thị Hương, Nguyễn Thị Vịnh</i> .....	111
TÀI CHÍNH XANH CHO NÔNG NGHIỆP CÔNG NGHỆ CAO HƯỚNG TỚI NET ZERO Ở VIỆT NAM <i>Nguyễn Đình Đáp, Nguyễn Thị Huyền Thu</i> .....	123

NÔNG NGHIỆP HỮU CƠ-HƯỚNG ĐI BỀN VỮNG GIẢM PHÁT THẢI, PHÁT TRIỂN NÔNG NGHIỆP CÔNG NGHỆ CAO TẠI VIỆT NAM

*Nguyễn Đình Đáp, Dương Thị Oanh* ..... 135

ÁP DỤNG MÔ HÌNH SUS-TAS ĐÁNH GIÁ CÁC NHÂN TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN PHÁT TRIỂN DU LỊCH SINH THÁI TẠI TỈNH QUẢNG NINH

*Nguyễn Thủy Chung, Vũ Minh Trang* ..... 146

BƯỚC ĐẦU ĐÁNH GIÁ HÀM LƯỢNG MỘT SỐ KIM LOẠI (As, Cd, Cr, Fe, Mn) TRONG MẪU NƯỚC MƯA THU THẬP TẠI PHƯỜNG NẾN, TỈNH BẮC NINH

*Hoàng Thị Thu Hà, Lê Như Đa, Nguyễn Thị Trang, Nguyễn Thị Mai Hương, Đoàn Thị Oanh, Lê Thu Thủy, Dương Thị Thủy, Nguyễn Thị Ánh Hoàng, Dương Thị Huyền, Lê Thị Phương Quỳnh* ..... 155

ĐÁNH GIÁ CÔNG TÁC QUẢN LÝ CHẤT THẢI CỦA HAI MÔ HÌNH CHĂN NUÔI LỢN TRÊN ĐỊA BÀN XÃ ĐÔNG ANH, THÀNH PHỐ HÀ NỘI

*Vũ Lê Dũng, Nguyễn Thị Như Thủy, Nguyễn Khánh Linh* ..... 168

NHÂN TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI NUÔI TRỒNG THỦY SẢN KHU VỰC VEN BIỂN KIM ĐÔNG - BÌNH MINH, TỈNH NINH BÌNH

*Nguyễn Thị Thu Hà, Cao Thị Thanh Nga, Nguyễn Thị Bích Nguyệt*

KHOẢNG CÁCH GIỮA NHẬN THỨC VÀ HÀNH VI: ĐIỀU GÌ THỨC ĐẨY TÀN SUẤT SỬ DỤNG BAO BÌ NHỰA THỰC PHẨM?

*Nguyễn Thị Hương Giang, Lại Thị Thu Ngọc, Lê Bảo Khánh Linh, Nguyễn Lê Nhật Minh, Lại Văn Mạnh, Trần Công Chính* ..... 192

TĂNG CƯỜNG CÔNG TÁC QUẢN LÝ MÔI TRƯỜNG LÀNG NGHỀ TRÊN ĐỊA BÀN CỤM XÃ HOÀI ĐỨC-AN KHÁNH, THÀNH PHỐ HÀ NỘI

*Nguyễn Thị Hải Ninh, Trịnh Đắc Chuyên, Phan Thị Thu Phương* ..... 202

ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG PHÁT SINH RÁC THẢI NHỰA SINH HOẠT TRÊN ĐỊA BÀN XÃ GIA LÂM. NGHIÊN CỨU TRƯỜNG HỢP TẠI TRÂU QUỲ, CỔ BI VÀ ĐÀ TỐN

*Nguyễn Thị Bích Hà* ..... 212

KIỂM TOÁN MÔI TRƯỜNG TRONG BỐI CẢNH CHÍNH QUYỀN HAI CẤP Ở VIỆT NAM: KHOẢNG TRỐNG THỂ CHẾ VÀ ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH KIỂM TOÁN LÃNH THÔ

*Nguyễn Thị Bích Nguyệt, Trần Minh, Trịnh Thị Tuyết Dung* ..... 224

HIỆN TRẠNG CÔNG TÁC QUẢN LÝ VÀ XỬ LÝ CHẤT THẢI RẮN SINH HOẠT TẠI TỈNH HƯNG YÊN

*Nguyễn Xuân Hòa, Bùi Thị Linh, Tạ Tuyết Thái, Hà Văn Tú* ..... 237

ADSORPTIVE REMOVAL OF TETRACYCLINE USING ACTIVATED CARBON DERIVED FROM SAWDUST BIOMASS

*Le Thi Phuong Thao, Nguyen Van Hai, Dang Thi Minh Hue, Nguyen Van Dam, Doan Thi Thuy Ai, Nguyen Thi Lan Anh, La Duc Duong, Nguyen Thi Hoai Phuong* ..... 249

SỬ DỤNG MÔ HÌNH HỒI QUY TOBIT ĐỂ XÁC ĐỊNH GIỚI HẠN AN TOÀN CỦA CADIMI (Cd) TRONG NƯỚC TƯỚI CHO RAU XÀ LÁCH TRỒNG TRÊN ĐẤT PHÙ SA SÔNG HỒNG <i>Nguyễn Thị Giang, Ngô Thị Dung, Ngô Thanh Sơn, Vũ Thị Xuân, Nguyễn Thị Hằng Nga ....</i>	261
HỆ NANO POLYME MANG DỊCH CHIẾT LÁ TRỨNG CUỐC CÓ KHẢ NĂNG ỨC CHẾ VIRUS <i>Lê Thị Thu Hương, Ngô Thị Thương.....</i>	271
XÂY DỰNG VÀ THẨM ĐỊNH PHƯƠNG PHÁP UPLC-MS/MS XÁC ĐỊNH ĐA DƯ LƯỢNG KHÁNG SINH NHÓM FLUOROQUINOLON TRONG NƯỚC AO NUÔI THỦY SẢN <i>Hoàng Hiệp, Nguyễn Đức Lương, Phạm Công Đạt, Nguyễn Thị Vân Anh, Nguyễn Thủy Linh, Hồ Thị Liên, Đoàn Thị Thúy Ái.....</i>	282
CHẾ TẠO HỆ XÚC TÁC $MnO_2/Al_2O_3$ ỨNG DỤNG XỬ LÝ CHẤT HỮU CƠ TRONG NƯỚC THẢI SẢN XUẤT TINH BỘT SẴN <i>Nguyễn Thị Hồng Hạnh, Ngô Thị Thương, Chu Thị Thanh, Hán Thị Phương Nga, Nguyễn Thị Thanh Mai.....</i>	294
VẬT LIỆU HYDROXIT LỚP KÉP TRONG XỬ LÝ NƯỚC THẢI: CẤU TRÚC, TÍNH CHẤT VÀ TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG <i>Hán Thị Phương Nga, Nguyễn Thị Hồng Hạnh, Phùng Thị Vinh.....</i>	303
ĐIỀU CHẾ XÚC TÁC QUANG DẠNG NỖI $TiO_2$ /SÉT NUNG VÀ ĐÁNH GIÁ HOẠT TÍNH QUANG XÚC TÁC PHÂN HỦY 2,4-DICHLOROPHENOXYACETIC ACID TRONG NƯỚC <i>Hoàng Hiệp, Phạm Công Đạt, Nguyễn Thị Hiền, Đặng Việt Quang.....</i>	317
XÂY DỰNG VÀ THẨM ĐỊNH PHƯƠNG PHÁP LC-MS/MS XÁC ĐỊNH AURAMINE O TRONG VỎ SẴN RIÊNG VÀ KHẢ NĂNG PHÁT TÁN RA MÔI TRƯỜNG <i>Đoàn Thị Thúy Ái, Nguyễn Đức Lương, Hoàng Hiệp.....</i>	331
ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ HẤP PHỤ ĐA KIM LOẠI CỦA LỖI NGÔ BIẾN TÍNH AXIT VÀ KIỀM TRONG NƯỚC THẢI GIẢ ĐỊNH <i>Nguyễn Thị Vân Anh, Nguyễn Đức Lương.....</i>	342
ẢNH HƯỞNG CỦA PHÂN Ủ TỪ PHỤ PHẨM TRỨNG GÀ VỚI CÁC CHẾ PHẨM VI SINH KHÁC NHAU ĐẾN SINH TRƯỞNG VÀ NĂNG SUẤT RAU CẢI MÈO TẠI GIA LÂM, HÀ NỘI <i>Phan Thị Thủy.....</i>	353
KHẢO NGHIỆM KHẢ NĂNG XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT BẰNG CÔNG NGHỆ BÃI LỌC TRỒNG CÂY <i>Đình Tiến Dũng, Vũ Phạm Thái, Lê Thị Hương, Trần Thị Huyền Trang, Nguyễn Thị Thu Hà.....</i>	363
KHẢO SÁT HIỆU QUẢ VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA ĐÔNG KEO TỤ TRONG XỬ LÝ NƯỚC HỒ NÔNG <i>Trần Văn Hà, Antonio Cavalcante Pereira, Nguyễn Thị Thu Hà, Đoàn Thị Thái Yên, Hoàng Thị Thu Hương.....</i>	374

THỬ NGHIỆM XỬ LÝ NƯỚC HỒ BẰNG MÔ HÌNH LỌC SINH HỌC

*Nguyễn Thị Thu Hương, Nguyễn Trường Phú, Nguyễn Bích Hạnh, Nguyễn Thị Thu Hà* . 385

NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN CHẤT LƯỢNG NƯỚC Ở CÁC HỆ THỐNG KÊNH VÀ GIẢI PHÁP QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG NƯỚC THÍCH ỨNG VỚI BẢO VỆ NGUỒN LỢI THỦY SẢN Ở VƯỜN QUỐC GIA TRÀM CHIM

*Lê Diễm Kiều, Lê Nhật Bản, Phạm Quốc Nguyên*..... 396

SƠ BỘ THÀNH PHẦN HÓA THỰC VẬT VÀ HOẠT TÍNH SINH HỌC CỦA MỘT SỐ CAO CHIẾT TỪ LÁ VÀ QUẢ SUNG (*Ficus racemosa*)

*Nguyễn Thị Hiền* ..... 410

TỔNG HỢP KALI FERRATE Fe(VI) VÀ ỨNG DỤNG TRONG XỬ LÝ NƯỚC THẢI

*Đỗ Thế Văn, Võ Hữu Công*..... 422

PHÂN LẬP VÀ TUYỂN CHỌN GIỐNG VI SINH VẬT XỬ LÝ VỎ QUẢ SÀU RIÊNG

*Nguyễn Thị Minh, Hoàng Thị Linh*..... 436

TỐI ƯU HÓA ĐIỀU KIỆN CHIẾT POLYPHENOL VÀ KHẢ NĂNG KHÁNG OXI HÓA TỪ VỎ THÂN CÂY TÔ MỘC (*Caesalpinia sappan* L.)

*Vũ Thị Huyền, Lê Thị Thu Trang, Võ Hữu Công*..... 447

TẬN DỤNG PHÉ THẢI NÔNG NGHIỆP PHỤC VỤ CHO TRỒNG TRỌT

*Võ Đình Long, Phạm Thị Lý Hoài, Võ Hữu Công*..... 458

TUYỂN CHỌN VI SINH VẬT NỘI SINH TỪ VÙNG SINH THÁI ĐẤT CHUA MẶN LÀM GIỐNG SẢN XUẤT CHẾ PHẨM VI SINH VẬT

*Nguyễn Tú Diệp, Nguyễn Thị Minh*..... 467

ĐÁNH GIÁ BIẾN ĐỘNG KHÔNG GIAN - THỜI GIAN CỦA CHẤT LƯỢNG NƯỚC LƯU VỰC SÔNG MÃ GIAI ĐOẠN 2019-2024

*Nguyễn Thị Hồng Ngọc, Trần Anh Quân* ..... 476

BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU VÀ HỆ THỐNG TRỒNG TRỌT: CƠ CHẾ TÁC ĐỘNG ĐẾN SINH LÝ, MÙA VỤ, NĂNG SUẤT VÀ CHẤT LƯỢNG NÔNG SẢN TRONG BỐI CẢNH VIỆT NAM

*Nguyễn Thị Bích Yên, Phan Thị Hải Luyến, Phan Thị Thúy, Ngô Thế Ân*..... 489

HIỆN TRẠNG SỐC KHÍ HẬU, SỐC SINH HỌC VÀ MỨC ĐỘ PHỐI NHIỄM CỦA NÔNG HỘ TRONG CANH TÁC NÔNG NGHIỆP TẠI MIỀN TRUNG VIỆT NAM

*Phan Thị Hải Luyến, Ngô Thế Ân, Dương Thị Huyền* ..... 504

BIẾN ĐỘNG THẨM PHỦ VÀ SỬ DỤNG ĐẤT VỚI RỦI RO NGẬP LỤT: TIẾP CẬN GIS CHO KHU VỰC PHÍA BẮC

*Ngô Thế Ân, Phan Thị Hải Luyến*..... 515

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT GIỚI HẠN MỨC TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU ĐỐI VỚI XE CƠ GIỚI MỚI NHẪM HƯỚNG TỚI THỰC HIỆN ĐÓNG GÓP DO QUỐC GIA TỰ QUYẾT ĐỊNH (NDC) CỦA VIỆT NAM <i>Nguyễn Ngọc Tú, Trịnh Quang Huy, Đinh Trọng Khang</i> .....	523
PHÂN TÍCH PHÂN BỐ NGUỒN PHÁT THẢI KHÔNG KHÍ TẠI TỈNH BẮC NINH GIAI ĐOẠN 2021-2025 <i>Trịnh Quang Huy, Nguyễn Ngọc Tú</i> .....	536
QUẢN LÝ RỦI RO MÔI TRƯỜNG VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TẠI VIỆT NAM: QUAN ĐIỂM MÔI TRƯỜNG, XÃ HỘI VÀ QUẢN TRỊ <i>Huỳnh Văn Bình, Huỳnh Bảo Trang, Trịnh Phước Nguyên, Phạm Thị Như, Nguyễn Trương Quang Huy</i> .....	549
CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HÀNH VI SỬ DỤNG XE ĐIỆN NHẪM GIẢM PHÁT THẢI PM2.5: TIẾP CẬN LÝ THUYẾT HÀNH VI HOẠCH ĐỊNH (TPB) MỞ RỘNG TẠI HÀ NỘI <i>Nguyễn Hồng Quân, Nguyễn Hương Giang, Trần Thanh Hoàng, Nguyễn Thị Thu Hương</i> .....	560
MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN NHÀ MÀNG, NHÀ LƯỚI TÍCH HỢP CÔNG NGHỆ IOT PHỤC VỤ TRỒNG HOA, QUẢ, RAU AN TOÀN GẮN VỚI DU LỊCH SINH THÁI, TRẢI NGHIỆM TẠI TỈNH HƯNG YÊN <i>Vũ Văn Chát, Nguyễn Tuấn Anh</i> .....	581
CÔNG NGHỆ GEOAI VÀ ỨNG DỤNG TRONG GIÁM SÁT MÔI TRƯỜNG.....	593
<i>Võ Chí Mỹ, Nguyễn Quốc Long, Võ Ngọc Dũng</i>	
ĐÁNH GIÁ TÍNH BỀN VỮNG CỦA THƯƠNG MẠI LÚA GẠO DƯỚI GÓC NHÌN TÀI NGUYÊN NƯỚC <i>Nguyễn Thị Thu Hương, Phạm Ngọc Kiên</i> .....	602
GIẢI PHÁP NÂNG CAO NHÂN LỰC THỰC HIỆN CÔNG TÁC QUẢN LÝ RỦI RO MÔI TRƯỜNG VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU XÃ ĐẠI HOÀNG, TỈNH NINH BÌNH <i>Nguyễn Thị Thanh Huệ</i> .....	618
ĐÁNH GIÁ NGUY CƠ MƯA AXIT VÀ TÁC ĐỘNG TIỀM TÀNG ĐẾN ĐẤT CANH TÁC NÔNG NGHIỆP Ở VIỆT NAM <i>Doãn Hà Phong</i> .....	628
ĐÁNH GIÁ BIẾN ĐỔI CÁC CHỈ SỐ KHÍ HẬU CỰC ĐOẠN TẠI VÙNG ĐÔNG BẮC VIỆT NAM <i>Trần Anh Quân</i> .....	644
ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ SỬ DỤNG HÀM BIOGAS TRONG CHĂN NUÔI LỢN TẠI TẢN LĨNH, BA VÌ, HÀ NỘI <i>Phan Thị Thúy, Nguyễn Tuyết Lan</i> .....	663

áp lực ngày càng rõ từ hoạt động nông nghiệp và rửa trôi dinh dưỡng. TSS biến động mạnh theo mùa, đặc biệt gia tăng trong mùa mưa dưới tác động của xói mòn và dòng chảy mặt.

Kết quả phân tích đa biến củng cố các nhận định này khi ba thành phần chính giải thích phần lớn biến thiên của dữ liệu, tương ứng với (i) nguồn ô nhiễm hữu cơ từ sinh hoạt và đô thị, (ii) quá trình xói mòn - rửa trôi và (iii) nguồn dinh dưỡng từ hoạt động nông nghiệp. Điều này cho thấy chất lượng nước trong lưu vực chịu tác động đồng thời của nhiều nhóm nguồn khác nhau, với xu hướng chuyển dịch từ ô nhiễm hữu cơ sang gia tăng áp lực dinh dưỡng.

Chất lượng nước sông vẫn duy trì trạng thái tương đối ổn định nhưng tiềm ẩn xu hướng biến đổi theo hướng gia tăng dinh dưỡng và phụ thuộc mạnh vào điều kiện mùa. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc định hướng các giải pháp quản lý theo lưu vực, trong đó cần ưu tiên kiểm soát nguồn thải phân tán từ nông nghiệp, giảm thiểu xói mòn đất và duy trì hiệu quả các biện pháp xử lý nước thải hiện có, đồng thời tăng cường hệ thống quan trắc nhằm theo dõi kịp thời các biến động chất lượng nước trong bối cảnh phát triển kinh tế-xã hội.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Chen, S. K., Jang, C. S., & Chou, Y. C. (2019). Assessment of spatiotemporal variations in river water quality for sustainable environmental and recreational management in the highly urbanized Danshui River basin. *Environmental Monitoring and Assessment*. 191(2): 100
- Nguyen Thanh Giao, Nguyen Van Cong & Huynh Thi Hong Nhien. (2021). Using remote sensing and multivariate statistics in analyzing the relationship between land use pattern and water quality in Tien Giang Province, Vietnam. *Water*. 13(8): 1093.
- Tran Thi Kim Hong. & Nguyen Thanh Giao (2022). Analysis of surface water quality in upstream province of Vietnamese Mekong Delta using multivariate statistics. *Water*. 14(12): 1975.
- Jordan, M.A. & Rogers, S.R. (2024). A new perspective on water quality: Exploring spatial and temporal patterns of impaired waters. *Journal of Environmental Management*. 359: 120983.
- Le Viet Thang, Do Doan Dung & Nguyen Thanh Binh (2023). Spatiotemporal assessment and pollution-source identification and quantification of the surface water system in a coastal region of Vietnam. *Hydrological sciences journal*. 68(6): 782-793.
- Molekoa, M. D., Avtar, K., Kumar, R., Tran, H. T. X., Minh, H. Q., Dasgupta, T. T., & cs. (2021). Spatio-temporal analysis of surface water quality in Mokopane area, Limpopo, South Africa. *Water*. 13(2): 220.
- Nguyen Thanh Giao & Huynh Thi Hong Nhien (2022). Assessment of surface water quality and monitoring in southern Vietnam using multicriteria statistical approaches. *Sustainable Environment Research*, 32(1): p.20.
- Pham, T.L., Tran, T.H.Y., Tran, T.T., Ngo, X.Q. & Nguyen, X.D. (2022). Assessment of surface water quality in a drinking water supply reservoir in Vietnam: a combination of different indicators. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*. 33(3): 653-662
- Pratama, M. A., Immanuel, Y. D., & Marthanty, D. R. (2020). A multivariate and spatiotemporal analysis of water quality in code river, indonesia. *The Scientific World Journal*. 1-11.
- Shishaye, H.A. & Asfaw, A.T. (2020). Analysis and evaluation of the spatial and temporal variabilities of river water quality parameters. *Applied Water Science*. 10(6):141.
- Ngo Thanh Son & Nguyen Duc Loc, 2024. Establishing Optimal Machine Learning Models for Monitoring Water Quality in Vietnam's Upper Ma River. *Applied Environmental Research*. 46(4).
- Ngo Thanh Son & Huu Duong Nong (2024). Spatial Assessment of Pollutant Loads in the Ma River Basin, Song Ma District, Son La Province. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*. 7(4): 2280-2293.
- Uslu, A., Dugan, S.T., El Hmaid, A. & Muhammetoglu, A. (2024). Comparative evaluation of spatiotemporal variations of surface water quality using water quality indices and GIS. *Earth Science Informatics*. 17(5): 4197-4212.

# ĐÁNH GIÁ BIẾN ĐỔI CÁC CHỈ SỐ KHÍ HẬU CỰC ĐOAN TẠI VÙNG ĐÔNG BẮC VIỆT NAM

Trần Anh Quân

*Khoa Môi trường, trường Đại học Mở - Địa chất*

*Tác giả liên hệ: quantrananh.hung@gmail.com*

Ngày nhận bài: 6/4/2026

Ngày chấp nhận đăng: 12/5/2026

## TÓM TẮT

Nghiên cứu đánh giá biến đổi khí hậu cực đoan tại vùng Đông Bắc Việt Nam dựa trên các chỉ số ETCCDI, sử dụng dữ liệu ngày từ 11 trạm khí tượng giai đoạn 1961-2023. Chuỗi ENSEMBLE được xây dựng để đại diện cho toàn vùng, kết hợp hồi quy tuyến tính (OLS) và so sánh hai thời kỳ 1981-2000 và 2001-2023. Kết quả cho thấy nhiệt độ trung bình năm tăng  $+0.0156^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  ( $\approx +0.98^{\circ}\text{C}/63$  năm), trong đó nhiệt độ tối thấp tăng nhanh hơn ( $+0.0180^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ ) so với nhiệt độ tối cao ( $+0.0142^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ ). Các cực đoan nhiệt gia tăng rõ rệt: TXx tăng  $+0.0198^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ , TNn tăng  $+0.0223^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ ; số ngày nắng nóng  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  (SU35) tăng từ 8.2 lên 18.7 ngày/năm (+128%), số đêm nóng (TR20) tăng từ 24.1 lên 42.3 ngày (+75.6%), trong khi ngày sương giá gần như biến mất (giảm từ 2.3 xuống 0.4 ngày). Các chỉ số phân vị cho thấy TX90p và TN90p tăng từ  $\sim 10\%$  lên 16.8-17.2%, còn TX10p và TN10p giảm xuống  $\sim 4\%$ . Thời gian đợt nóng (WSDI) tăng từ 12.4 lên 31.7 ngày/năm. Đối với mưa, tổng lượng mưa năm giảm nhẹ ( $-1.42$  mm/năm) nhưng không có ý nghĩa thống kê, trong khi các cực đoan mưa tăng: Rx5day tăng  $+0.68$  mm/năm, R95p tăng  $+1.24$  mm/năm và SDII tăng  $+0.025$  mm/ngày/năm. Chuỗi ngày khô dài nhất (CDD) tăng từ 28.2 lên 31.8 ngày. Đáng chú ý, tần suất năm có hiện tượng “hydroclimate whiplash” tăng từ 15% lên 26%. Kết quả cho thấy xu hướng ẩm lên rõ rệt đi kèm với gia tăng cực đoan nhiệt và cường độ mưa, cung cấp cơ sở định lượng quan trọng cho đánh giá rủi ro và thích ứng khí hậu khu vực.

*Từ khóa:* Biến đổi khí hậu, ETCCDI, Đông Bắc, nhiệt độ cực đoan, mưa cực đoan.

## Assessment of Changes in Extreme Climate Indices in Northeastern Viet Nam

### ABSTRACT

This study assesses changes in extreme climate conditions in Northeastern Viet Nam using ETCCDI indices, based on daily data from 11 meteorological stations for the period 1961-2023. An ENSEMBLE series was constructed to represent regional conditions, combined with linear regression (OLS) and a comparison between the baseline (1981-2000) and evaluation (2001-2023) periods. Results show a clear warming trend, with mean annual temperature increasing at  $+0.0156^{\circ}\text{C}/\text{year}$  ( $\approx +0.98^{\circ}\text{C}$  over 63 years). Minimum temperature increases faster ( $+0.0180^{\circ}\text{C}/\text{year}$ ) than maximum temperature ( $+0.0142^{\circ}\text{C}/\text{year}$ ), indicating asymmetric warming. Temperature extremes intensify significantly: TXx increases by  $+0.0198^{\circ}\text{C}/\text{year}$  and TNn by  $+0.0223^{\circ}\text{C}/\text{year}$ . The number of hot days  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  (SU35) rises from 8.2 to 18.7 days/year (+128%), and tropical nights (TR20) increase from 24.1 to 42.3 days (+75.6%), while frost days nearly disappear (from 2.3 to 0.4 days). Percentile-based indices show TX90p and TN90p increasing from  $\sim 10\%$  to 16.8-17.2%, while TX10p and TN10p decrease to  $\sim 4\%$ . Heatwave duration (WSDI) increases from 12.4 to 31.7 days/year. For precipitation, annual totals show a slight but statistically insignificant decrease ( $-1.42$  mm/year), while extreme rainfall indices increase: Rx5day ( $+0.68$  mm/year), R95p ( $+1.24$  mm/year), and SDII ( $+0.025$  mm/day/year). The maximum consecutive dry days (CDD) increase from 28.2 to 31.8 days. Notably, the frequency of hydroclimate whiplash events rises from 15% to 26%. Overall, the results indicate a clear warming trend accompanied by intensified temperature extremes and increasing rainfall intensity, providing important quantitative evidence for climate risk assessment and adaptation planning in the region.

*Keywords:* Climate change, ETCCDI, Northeastern, temperature extremes, precipitation extremes.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vùng Đông Bắc Việt Nam có vị trí địa lý và điều kiện tự nhiên đặc thù, đóng vai trò quan trọng trong hệ thống khí hậu Đông Nam Á. Địa hình phức tạp, bao gồm sự kết hợp giữa đồng bằng ven biển và dãy núi nội địa, tạo ra sự phân bố không đồng đều của nhiệt độ và lượng mưa theo không gian và mùa (Phan Van Tan & cs., 2014; Le Thi Thanh Thuy & cs., 2019). Đặc điểm này không chỉ chi phối khí hậu trung bình mà còn làm gia tăng cường độ và tần suất các hiện tượng cực đoan, đặc biệt là mưa lớn tập trung ở khu vực ven núi và ven biển (Le Thi Thanh Thuy & cs., 2019; Sunilkumar & cs., 2021). Về nhiệt độ, khu vực thể hiện tính mùa rõ rệt với mùa hè nóng (khoảng 29,5°C tại vùng ven biển) và mùa đông lạnh hơn (16-22°C). Xu hướng tăng nhiệt độ trong giai đoạn gần đây được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu, trong đó nhiệt độ tối thiểu tăng nhanh hơn nhiệt độ tối đa, phù hợp với xu thế ấm lên toàn cầu (Ngo Thanh Duc, 2014; IPCC, 2021). Chế độ mưa mang tính mùa vụ rõ rệt dưới tác động của gió mùa và tương tác biển - núi. Lượng mưa tập trung chủ yếu vào mùa mưa, với các “điểm nóng” tại khu vực Quảng Ninh - Hải Phòng. Mùa đông có xu hướng giảm dần từ tây nam ra đông bắc trong khu vực Vịnh Bắc Bộ (Nguyen Khoi Dao & cs., 2021). Sự kết hợp giữa gió mùa, bão và tín hiệu khí hậu đại dương có thể tạo ra các sự kiện mưa cực đoan trong thời gian ngắn (Caesar & cs., 2011; Sunilkumar & cs., 2021).

Bộ chỉ số khí hậu cực đoan ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) được sử dụng rộng rãi để đánh giá biến đổi khí hậu cực đoan. Phân tích từ bộ dữ liệu HadEX2 cho thấy xu hướng tăng rõ rệt của các chỉ số nhiệt độ cực đoan trên toàn cầu, đặc biệt là các chỉ số liên quan đến nhiệt độ tối thiểu (Donat & cs., 2013). Nghiên cứu khu vực Ấn Độ Dương-Thái Bình Dương cũng xác nhận xu hướng gia tăng các cực âm về đêm, trong khi các chỉ số mưa thể hiện sự biến thiên không đồng nhất theo không gian (Caesar & cs., 2011). Tại khu vực châu Á gió mùa, các chỉ số mưa cực đoan như R95p và RX1day có xu hướng tăng, đặc biệt ở các vùng địa hình cao, và có mối liên hệ chặt chẽ với phân bố lượng mưa trung bình (Sunilkumar & cs., 2021). Các nghiên cứu mô hình CMIP5 cho thấy các chỉ số nhiệt độ cực đoan như TN90p, TX90p và WSDI sẽ tăng mạnh theo các kịch bản phát thải cao (Yang & cs., 2018). Đồng thời, các chỉ số mưa cực đoan như RX1day, RX5day và SDII cũng có xu hướng gia tăng theo mức độ ấm lên toàn cầu (Peng & cs., 2020). Nhìn chung, các nghiên cứu quốc tế thống nhất rằng: (i) các chỉ số nhiệt độ cực đoan tăng nhất quán trên phạm vi toàn cầu; (ii) các chỉ số mưa cực đoan có xu hướng tăng nhưng không đồng nhất theo không gian và thời gian (Donat & cs., 2013; Caesar & cs., 2011; Sunilkumar & cs., 2021).

Tại Việt Nam, các nghiên cứu cho thấy xu hướng tăng rõ rệt của nhiệt độ cực đoan trên phạm vi toàn quốc, bao gồm Txx và Tnn, cùng với sự gia tăng số ngày nóng (Ngo Thanh Duc & cs., 2014). Tuy nhiên, xu hướng mưa cực đoan có sự phân hóa mạnh: giảm ở miền Bắc và tăng ở miền Trung (Phan Van Tan & cs., 2014). Ở miền Bắc, nhiều nghiên cứu cho thấy xu hướng mưa không rõ ràng hoặc giảm nhẹ trong mùa mưa (Goihl, 2018), phản ánh tính phức tạp của hệ thống khí hậu khu vực. Ngược lại, tại miền Trung và Nam Bộ, nhiều chỉ số mưa cực đoan như RX5day, R95p, R99p và SDII có xu hướng tăng, thậm chí thể hiện dạng xu hướng phi tuyến (Dang Nguyen Dong Phuong & cs., 2022). Riêng vùng Đông Bắc, các nghiên cứu còn hạn chế nhưng cho thấy mưa cực đoan có liên hệ chặt với nhiệt độ và có xu hướng tăng tại một số khu vực ven biển (Le Thi Thanh Thuy & cs., 2019). Nhìn chung, các kết quả trong nước thống nhất về xu hướng tăng nhiệt độ cực đoan, nhưng chưa đồng nhất về mưa cực đoan (Phan Van Tan & cs., 2014).

Nghiên cứu biến đổi khí hậu cực đoan tại vùng Đông Bắc Việt Nam có ý nghĩa quan trọng cả về khoa học và thực tiễn trong bối cảnh khí hậu toàn cầu đang biến đổi nhanh và phức tạp. Trước hết, sự gia tăng của các chỉ số nhiệt độ và mưa cực đoan làm gia tăng rủi ro thiên tai như xói mòn, lũ quét, hạn hán và thiếu nước, đồng thời ảnh hưởng đáng kể đến sức khỏe cộng đồng. Do đó, các chỉ số ETCCDI là cơ sở quan trọng cho việc xây dựng chính sách thích ứng hiệu quả (Caesar & cs., 2011; Sunilkumar & cs., 2021; Ngo Thanh Duc, 2014). Bên cạnh đó, dữ liệu về khí hậu cực đoan là đầu vào thiết yếu cho quy hoạch thủy lợi, phòng chống thiên tai và thiết kế hạ tầng, đặc biệt tại khu vực có địa hình phức tạp như Đông Bắc. Việc hiểu rõ xu hướng biến đổi giúp nâng cao khả năng chống chịu của hệ thống hạ tầng (Ngo Thanh Duc, 2014; Larbi & cs., 2021). Ngoài ra, Đông Bắc là vùng kinh tế trọng điểm với nhiều đô thị, khu công nghiệp và cảng biển, nên các hiện tượng cực đoan có thể gây tổn thất lớn đến sản xuất và đời sống. Nghiên cứu ETCCDI vì vậy đóng vai trò quan trọng trong đánh giá rủi ro và xây dựng chiến lược ứng phó.

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về ETCCDI tại Việt Nam và Đông Nam Á, vẫn tồn tại các khoảng hở quan trọng, đặc biệt ở vùng Đông Bắc. Trước hết, xu hướng mưa cực đoan còn không đồng nhất theo không gian và thời gian, trong khi các nghiên cứu chuyên sâu cho riêng khu vực này còn hạn chế (Donat & cs., 2013; Caesar & cs., 2011; Phan Van Tan & cs., 2014). Bên cạnh đó, sai số của mô hình khí hậu trên địa hình phức tạp và thiếu các nghiên cứu downscaling độ phân giải cao, đặc biệt từ CMIP6, vẫn là thách thức lớn (Sein & cs., 2018; Kumar & cs., 2020). Trên cơ sở đó, nghiên cứu này có mục tiêu: (i) đánh giá xu hướng các chỉ số ETCCDI trong quá khứ giai đoạn 1961-2023; (ii) áp dụng các phương pháp phân tích xu hướng bao gồm hồi quy tuyến tính OLS, kiểm định Mann-Kendall và ước lượng Sen's slope; (iii) làm rõ mối liên hệ với các yếu tố khí hậu khu vực và quy mô lớn. Qua đó, nghiên cứu góp phần giảm bất định trong đánh giá khí hậu cực đoan và hỗ trợ hoạch định chính sách tại vùng Đông Bắc Việt Nam (Sunilkumar & cs., 2021; Dao Nguyen Khoi & cs., 2021).

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Khu vực nghiên cứu và nguồn dữ liệu

Nghiên cứu được thực hiện tại vùng Đông Bắc Việt Nam sử dụng 11 trạm khí tượng (Bảng 1) gồm bốn biến khí hậu tần suất ngày: nhiệt độ trung bình ngày (*tas*, °C), nhiệt độ tối cao ngày (*tasmax*, °C), nhiệt độ tối thấp ngày (*tasmin*, °C) và lượng mưa ngày (*pr*, mm), bao phủ giai đoạn 1961-2023. Để đại diện cho điều kiện khí hậu toàn vùng, một chuỗi tổng hợp ENSEMBLE được xây dựng bằng cách lấy trung bình không gian của tất cả các trạm hợp lệ, loại trừ giá trị thiếu:

$$X_{\text{ENSEMBLE},t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{i,t}$$

Trong đó:

$X_{it}$  là giá trị biến khí hậu tại trạm  $i$  vào ngày  $t$ ,  $N$  là số trạm hợp lệ tại thời điểm đó.

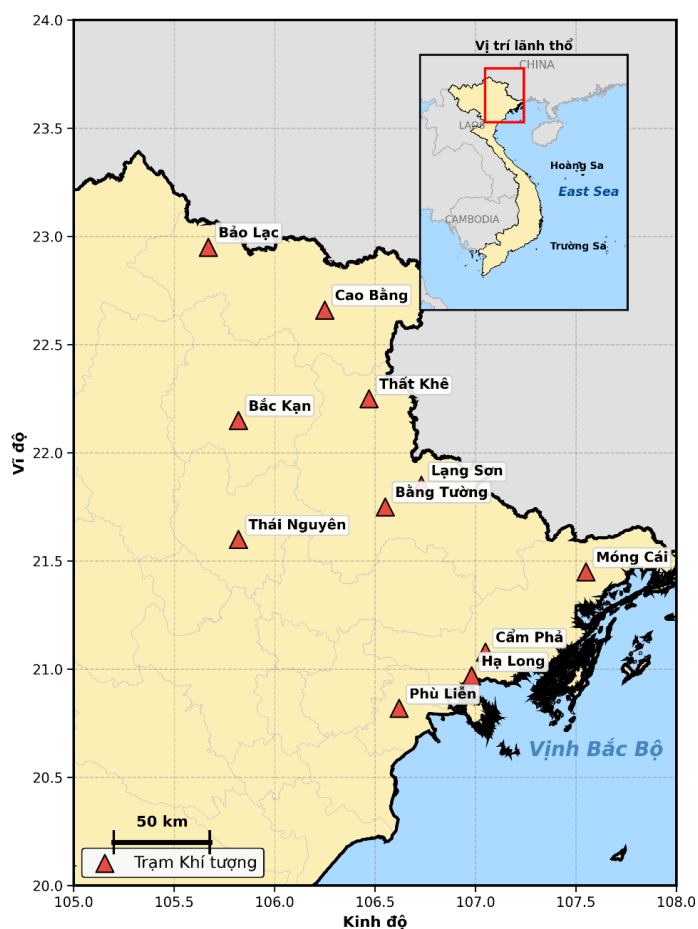
Phương pháp trung bình đơn giản không trọng số được lựa chọn do mật độ trạm tương đối đồng đều trên khu vực nghiên cứu và hệ số biến thiên không gian thấp (< 15%) cho cả nhiệt độ và

lượng mưa. Kiểm tra cho thấy hệ số tương quan giữa chuỗi ENSEMBLE và từng trạm đơn lẻ đạt 0.78-0.92 cho các chỉ số nhiệt độ, cho thấy tính đại diện tốt của phương pháp này cho toàn vùng.

## 2.2. Phân kỳ thời gian

**Bảng 1. Thông tin 11 trạm khí tượng sử dụng trong nghiên cứu**

TT	Tên trạm	Vị trí	Kinh độ	Vĩ độ
1	Cẩm Phả	Quảng Ninh	107.05	21.08
2	Móng Cái	Quảng Ninh	107.55	21.45
3	Hạ Long	Quảng Ninh	106.98	20.97
4	Bằng Tường	Lạng Sơn	106.55	21.75
5	Phù Liên	Hải Phòng	106.62	20.82
6	Cao Bằng	Cao Bằng	106.25	22.66
7	Bảo Lạc	Cao Bằng	105.67	22.95
8	Lạng Sơn	Lạng Sơn	106.73	21.85
9	Thất Khê	Lạng Sơn	106.47	22.25
10	Thái Nguyên	Thái Nguyên	105.82	21.60
11	Bắc Kạn	Bắc Kạn	105.82	22.15



**Hình 1. Vị trí các trạm khí tượng sử dụng trong nghiên cứu**

Nghiên cứu áp dụng hai khung thời gian song song: i) Thời kỳ cơ sở (Baseline): 1981-2000 (20 năm), được dùng làm chuẩn tham chiếu để tính ngưỡng phân vị cho các chỉ số ETCCDI phụ thuộc phân vị, theo khuyến nghị của WMO; ii) Thời kỳ đánh giá (Evaluation): 2001-2023 (23 năm), đại diện cho giai đoạn biến đổi khí hậu hiện đại. Trong đó, toàn bộ chuỗi 1961-2023 được sử dụng cho phân tích xu hướng dài hạn.

Số liệu quan trắc được kiểm định chất lượng thông qua các bước kiểm tra tính đầy đủ, phát hiện giá trị ngoại lai và tính nhất quán theo thời gian. Các giá trị thiếu được xử lý bằng phương pháp nội suy song tuyến tính, trong khi các giá trị bất thường được đối soát với chuỗi lân cận trước khi hiệu chỉnh hoặc loại bỏ (lớn hơn 3 lần độ lệch chuẩn). Chuỗi số liệu sau xử lý được đảm bảo tính đồng nhất và độ tin cậy trước khi đưa vào tính toán các chỉ số ETCCDI và phân tích xu thế.

### 2.3. Tính toán ngưỡng phân vị theo ngày

Để tính các chỉ số nhiệt độ dựa trên phân vị (TX10p, TX90p, TN10p, TN90p, WSDI, CSDI), ngưỡng phân vị được tính riêng theo từng ngày trong năm (DOY - Day Of Year) từ thời kỳ nền, tránh thiên lệch mùa:

$$Q_p^{(DOY=d)} = \text{Percentile}_p(\{X_t: t \in \text{Baseline}, \text{DOY}(t)=d\})$$

trong đó  $p \in \{0.10, 0.90\}$  tương ứng với phân vị thứ 10 và 90. Do mỗi DOY chỉ có khoảng 20 quan sát (1 giá trị/năm  $\times$  20 năm baseline), để tăng độ ổn thống kê, ngưỡng được làm mượt bằng cửa sổ trượt 5 ngày có tâm (centered rolling window):

$$\tilde{Q}_p^{(d)} = \frac{1}{5} \sum_{k=-2}^2 Q_p^{(d+k)}$$

Kỹ thuật này tương đương với việc sử dụng cửa sổ  $\pm 2$  ngày quanh DOY mục tiêu, làm giảm nhiễu ngẫu nhiên đồng thời bảo toàn biến trình mùa của ngưỡng. Kết quả là một tập ngưỡng phân vị biến thiên liên tục theo ngày trong năm, được lưu trữ dưới dạng bảng 365 giá trị cho mỗi trạm.

### 2.4. Tính toán các chỉ số ETCCDI

Hai mươi bảy chỉ số ETCCDI được tính toán theo năm cho từng trạm và cho ENSEMBLE, chia thành sáu nhóm với các công thức cụ thể như sau.

Nhóm 1: Nhiệt độ tuyệt đối: Đây là các chỉ số đơn giản nhất, không phụ thuộc vào thời kỳ nền:

Chỉ số	Định nghĩa	Công thức
TXx	Nhiệt độ tối cao lớn nhất năm (°C)	$\max_t (tasmax_t)$
TNx	Nhiệt độ tối thấp lớn nhất năm (°C)	$\max_t (tasmin_t)$
TXn	Nhiệt độ tối cao nhỏ nhất năm (°C)	$\min_t (tasmax_t)$
TNn	Nhiệt độ tối thấp nhỏ nhất năm (°C)	$\min_t (tasmin_t)$
DTR	Biên độ nhiệt ngày trung bình năm (°C) - được tính bằng trung bình năm của hiệu nhiệt độ tối cao và tối thấp NGÀY: $DTR = \text{mean\_year}(tasmax\_daily - tasmin\_daily)$ . Đây là chỉ số đo biên độ nhiệt trong ngày (diurnal temperature range)	$\frac{1}{n} \sum_t (tasmax_t - tasmin_t)$

Nhóm 2: Ngưỡng nhiệt độ cố định: Đếm số ngày vượt các ngưỡng nhiệt độ tuyệt đối cố định:

$SU35 = \sum_t \mathbf{1}(tasmax_t \geq 35^\circ\text{C})$ : Tổng số ngày trong năm có nhiệt độ tối đa ngày (TX) > 25°C

$FD0 = \sum_t \mathbf{1}(tasmin_t < 0^\circ\text{C})$ : Tổng số ngày trong năm có nhiệt độ tối thiểu ngày (TN) < 0°C

Nhóm 3: Phân vị và nhiệt độ cực đoan

Các chỉ số tần suất (TX90p, TX10p, TN90p, TN10p) tính tỷ lệ phần trăm ngày trong năm vượt ngưỡng phân vị tương ứng từ thời kỳ nền:

$TX90p_y = \frac{1}{n_y} \sum_{t \in y} \mathbf{1}(tasmax_t > \tilde{Q}_{0.90}^{(DOY(t))}) \times 100\%$ : % số ngày có TX > phân vị 90

$TN10p_y = \frac{1}{n_y} \sum_{t \in y} \mathbf{1}(tasmin_t < \tilde{Q}_{0.10}^{(DOY(t))}) \times 100\%$ : % số ngày có TN < phân vị 10

với  $n_y$  là số ngày trong năm  $y$ . Tương tự cho TX10p và TN90p.

Chỉ số WSDI (Warm Spell Duration Index) & cs. DI (Cold Spell Duration Index) đo độ dài tích lũy của các đợt nóng/lạnh kéo dài liên tục ít nhất 6 ngày:

$$WSDI_y = \sum_{\text{spell} \in S_y} L_{\text{spell}}, S_y = \{\text{spell}: L_{\text{spell}} \geq 6, tasmax_t > \tilde{Q}_{0.90}^{(DOY(t))} \forall t \in \text{spell}\}$$

Thuật toán phát hiện đợt: mảng nhị phân  $b_t = \mathbf{1}(tasmax_t > \tilde{Q}_{0.90}^{(DOY(t))})$  được chuyển thành dãy run-length-encoding để xác định điểm bắt đầu và kết thúc của từng đợt liên tục. Chỉ tính tổng độ dài các đợt có  $L \geq 6$  ngày.

Nhóm 4: Lượng mưa tuyệt đối và cường độ (4 chỉ số)

$PRCPTOT_y = \sum_{t \in y} p r_t \cdot \mathbf{1}(p r_t \geq 1 \text{ mm})$ : Tổng mưa năm (PRCP  $\geq 1$  mm)

$Rx1day_y = \max_{t \in y} (p r_t)$ : Lượng mưa lớn nhất trong 1 ngày

$Rx5day_y = \max_i \sum_{k=0}^4 p r_{i+k}, i \in [1, n_y - 4]$ : Lượng mưa lớn nhất trong 5 ngày liên tiếp

$SDII_y = \frac{\sum_{t \in y} p r_t \cdot \mathbf{1}(p r_t \geq 1 \text{ mm})}{\sum_{t \in y} \mathbf{1}(p r_t \geq 1 \text{ mm})}$ : Tổng mưa năm / số ngày mưa ( $\geq 1$  mm)

trong đó ngày mưa hữu hiệu được định nghĩa là ngày có  $p r_t \geq 1$  mm, theo quy chuẩn WMO/ETCCDI.

Nhóm 5: Số ngày mưa theo ngưỡng cố định (4 chỉ số)

$$R10mm_y = \sum_{t \in y} \mathbf{1}(p r_t \geq 10), R20mm_y = \sum_{t \in y} \mathbf{1}(p r_t \geq 20)$$

$$R50mm_y = \sum_{t \in y} \mathbf{1}(p r_t \geq 50), R100mm_y = \sum_{t \in y} \mathbf{1}(p r_t \geq 100)$$

Nhóm 6: Phân vị mưa và chỉ số chuỗi khô/mưa (4 chỉ số)

Ngưỡng mưa cực đoan R95 và R99 được tính từ phân phối lượng mưa của các ngày mưa hữu hiệu trong thời kỳ nền:

$$Q_{pr,p} = \text{Percentile}_p(\{pr_t: t \in \text{Baseline}, pr_t \geq 1 \text{ mm}\}), p \in \{0.95, 0.99\}$$

$$R95p_y = \sum_{t \in y} p r_t \cdot \mathbf{1}(pr_t > Q_{pr,0.95}), R99p_y = \sum_{t \in y} p r_t \cdot \mathbf{1}(pr_t > Q_{pr,0.99})$$

CDD (Consecutive Dry Days) và CWD (Consecutive Wet Days) là độ dài của chuỗi ngày khô (hoặc ngày mưa) liên tục dài nhất trong năm:

$$CDD_y = \max_{[a,b] \subseteq y} \{b - a + 1: pr_t < 1 \text{ mm}, \forall t \in [a, b]\}$$

$$CWD_y = \max_{[a,b] \subseteq y} \{b - a + 1: pr_t \geq 1 \text{ mm}, \forall t \in [a, b]\}$$

## 2.5. Phân tích xu hướng tuyến tính

### 2.5.1. Hồi quy tuyến tính

Xu hướng dài hạn của từng chỉ số ETCCDI được ước lượng bằng hồi quy tuyến tính bình phương nhỏ nhất (OLS). Với chuỗi thời gian  $\{(t_i, Y_i)\}_{i=1}^n$ , mô hình hồi quy có dạng:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 t_i + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$$

Hệ số góc  $\hat{\beta}_1$  (đơn vị thay đổi mỗi năm) được tính theo công thức OLS:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}, \hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{t}$$

Mức ý nghĩa thống kê được đánh giá qua thống kê  $t$ :

$$t = \frac{\hat{\beta}_1}{SE(\hat{\beta}_1)}, SE(\hat{\beta}_1) = \hat{\sigma} \left[ \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \right]^{-1/2}, \hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^2}{n - 2}$$

với  $p$ -value tính từ phân phối hai phía với bậc tự do  $n - 2$ . Ngưỡng ý nghĩa thống kê là  $\alpha = 0.05$ . Hệ số xác định  $R^2 = r^2$  (bình phương hệ số tương quan Pearson) đo mức độ giải thích của xu hướng tuyến tính. Khoảng tin cậy 95% của đường hồi quy tại điểm  $t_0$  được tính là:

$$\hat{Y}(t_0) \pm 1.96 \cdot \hat{\sigma} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(t_0 - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}}$$

### 2.5.2. Kiểm định Mann-Kendall và ước lượng Sen's slope

Để bổ sung cho phương pháp OLS (có thể nhạy cảm với giả định phân phối chuẩn và giá trị ngoại lai), nghiên cứu áp dụng kiểm định phi tham số Mann-Kendall (MK) nhằm đánh giá ý nghĩa thống kê của xu hướng đơn điệu. Thống kê MK được xác định như sau:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

Phương sai của S (có hiệu chỉnh cho các giá trị trùng lặp) được tính theo:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_p t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18}$$

Từ đó, thống kê chuẩn hóa Z được xác định và so sánh với phân phối chuẩn tại mức ý nghĩa  $\alpha = 0,05$  để kết luận về ý nghĩa của xu hướng.

Độ lớn của xu hướng được ước lượng bằng hệ số dốc Sen (Sen's slope, hay Theil-Sen), được xác định như sau:

$$\beta = \text{median} \left\{ \frac{x_j - x_k}{j - k} \right\}, \forall k < j$$

Phương pháp Sen's slope có tính bền vững cao hơn so với OLS trước ảnh hưởng của giá trị ngoại lai và phân phối lệch, do đó phù hợp với đặc điểm biến động mạnh của các chuỗi khí hậu cực đoan (Phuong & cs., 2022).

## 2.6. So sánh định lượng giữa hai giai đoạn

Để định lượng sự thay đổi của các cực đoan giữa thời kỳ nền và thời kỳ đánh giá, trung bình nhiều năm  $\bar{X}_{\text{Era}}^{(s)}$  của mỗi chỉ số ETCCDI được tính cho từng trạm trong mỗi kỷ nguyên. Mức biến đổi tuyệt đối được tính là:

$$\Delta^{(s)} = \bar{X}_{\text{Eval}}^{(s)} - \bar{X}_{\text{Base}}^{(s)}$$

Ma trận  $\Delta$ (trạm  $\times$  chỉ số) được trực quan hóa bằng bản đồ nhiệt (heatmap) với thang màu phân kỳ (RdBu\_r, tâm tại 0), cho phép nhận biết đồng thời chiều hướng (dương/âm) và độ lớn của sự biến đổi trên không gian và theo từng chỉ số.

## 2.7. Phân tích hydroclimate whiplash

Hiện tượng "dao động thủy văn cực đoan" (hydroclimate whiplash) - sự đồng thời gia tăng cả khô hạn cực đoan lẫn mưa lớn cực đoan - được phân tích thông qua biểu đồ phân tán giữa CDD và Rx5day của chuỗi ENSEMBLE. Hai đường phân vị trung vị Med(CDD) và Med(Rx5day) chia không gian thành bốn góc phân tư; góc phân tư "whiplash mạnh" (hạn hán cao + mưa lớn cao) tương ứng với:

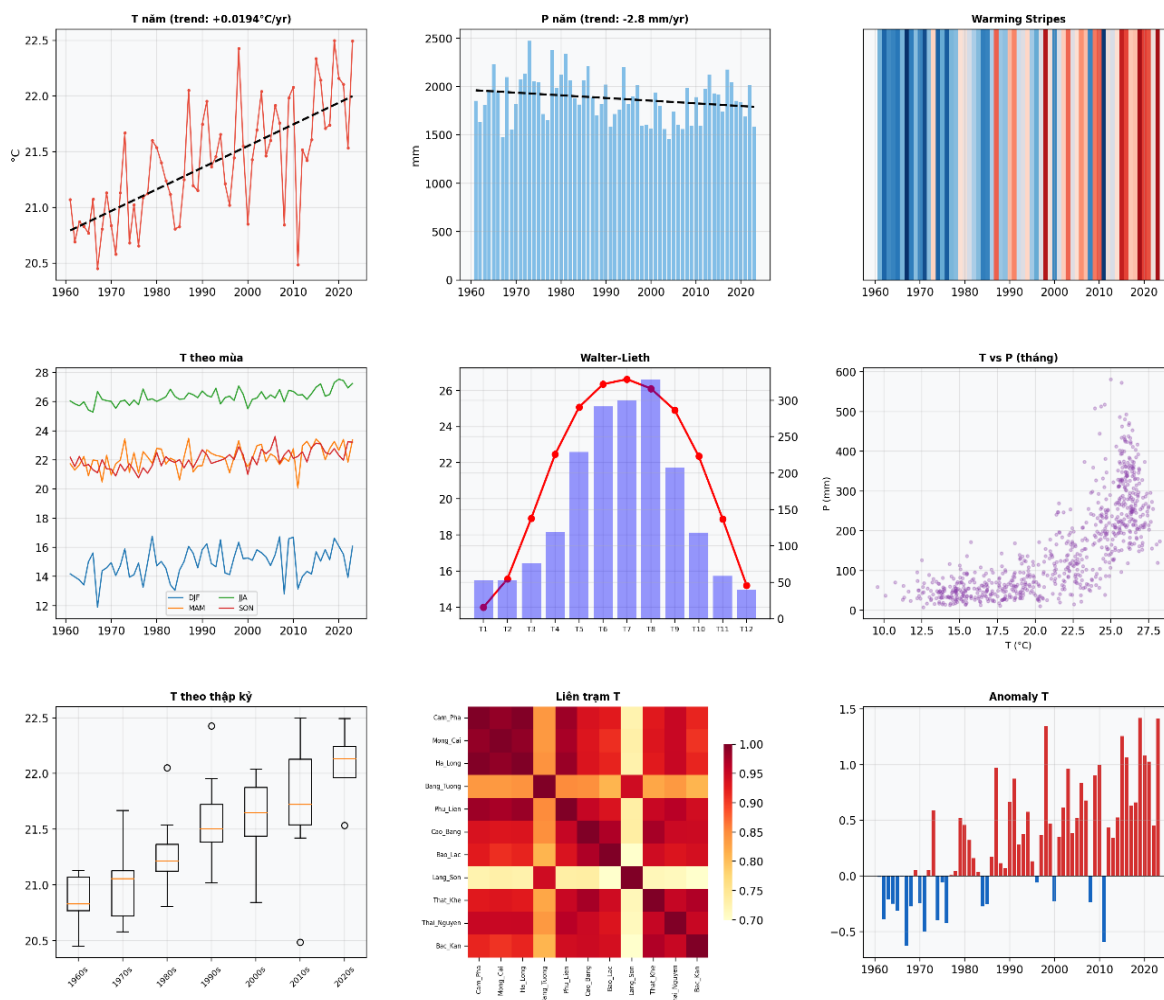
$$\left\{ (CDD_y, Rx5day_y) : CDD_y > \text{Med}(CDD) \text{ và } Rx5day_y > \text{Med}(Rx5day) \right\}$$

Tần suất rơi vào góc phân tư này được so sánh giữa hai thời kỳ để đánh giá xu hướng gia tăng của whiplash.

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### 3.1. Đặc trưng khí hậu nền và biến động theo mùa

Phân tích đặc trưng khí hậu của vùng Đông Bắc Việt Nam từ dữ liệu ENSEMBLE cho thấy khu vực này thể hiện rõ tính chất khí hậu nhiệt đới gió mùa với hai mùa phân biệt rõ rệt (Hình 2). Nhiệt độ trung bình năm dao động từ 23.5°C đến 24.2°C, với biến trình mùa điển hình: mùa hè nóng nhất (tháng 7-8) đạt 29.2-29.8°C và mùa đông lạnh nhất (tháng 1) xuống 16.8-18.5°C, tạo biên độ nhiệt mùa lên tới 12-13°C.



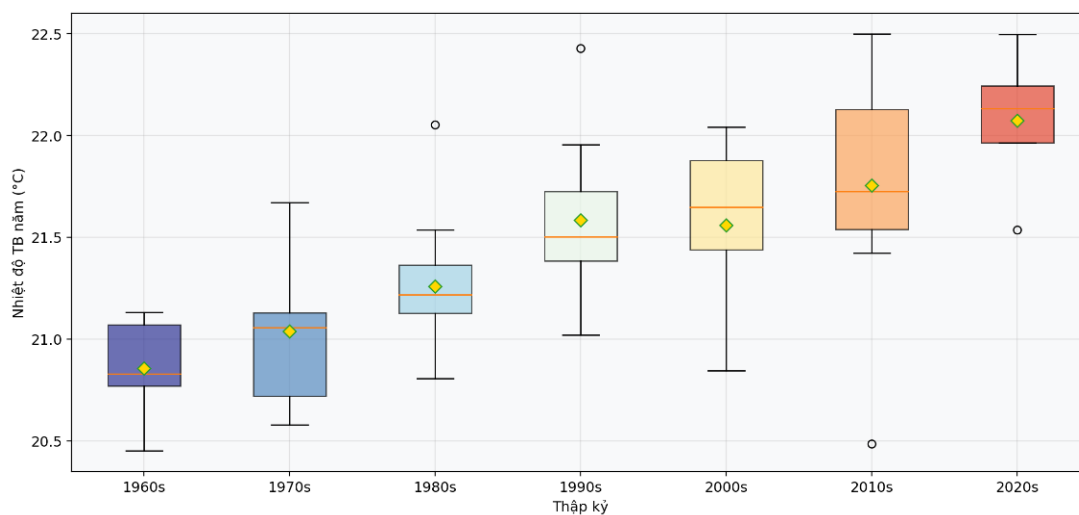
**Hình 2. Tổng hợp đặc điểm khí hậu vùng Đông Bắc Việt Nam theo trung bình các trạm**

Chế độ mưa mang tính tập trung cao với 75-80% tổng lượng mưa năm rơi vào 4 tháng mùa mưa (tháng 6-9). Lượng mưa trung bình năm đạt 1,650-1,750 mm, trong đó tháng 8 là tháng mưa nhất với 280-320 mm, trong khi tháng 12-1 chỉ có 15-25 mm. Biểu đồ Walter-Lieth cho ENSEMBLE cho thấy khu vực trải qua giai đoạn khô hạn tương đối từ tháng 11 đến tháng 3.

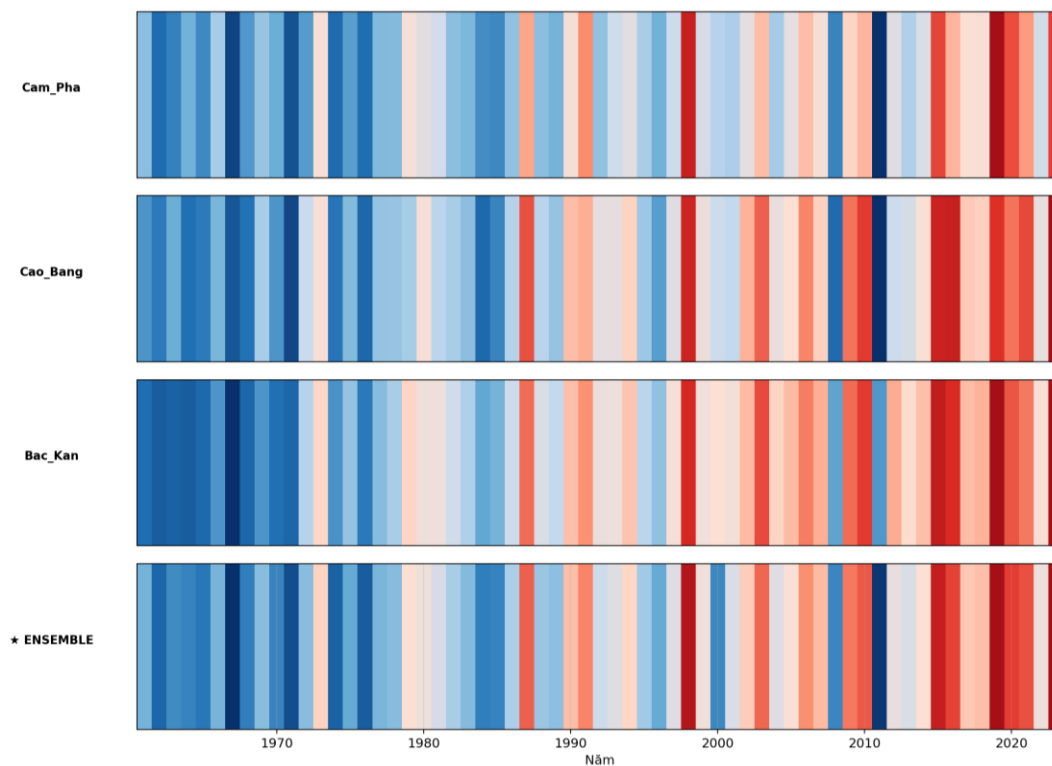
Phân tích vân tay khí hậu (climate fingerprint) dạng radar cho thấy vùng Đông Bắc có đặc điểm khá đồng nhất trong nội bộ, với hệ số biến thiên không gian thấp (< 15%) cho cả nhiệt độ và lượng mưa, chứng tỏ chuỗi ENSEMBLE có tính đại diện tốt cho toàn vùng. Biên độ nhiệt ngày-đêm (DTR) trung bình khoảng 8.5-9.2°C, có xu hướng cao nhất vào mùa khô (10-11°C) và thấp nhất vào mùa mưa (7-8°C).

### 3.2. Xu hướng biến đổi nhiệt độ và hiện tượng ấm lên

Phân tích xu hướng nhiệt độ từ 1961-2023 cho thấy bằng chứng rõ ràng về hiện tượng ấm lên tại vùng Đông Bắc Việt Nam (Hình 3, Hình 4). Nhiệt độ trung bình năm của ENSEMBLE tăng với tốc độ  $+0.0156^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  (OLS:  $p < 0.001$ ,  $R^2 = 0.456$ ; Mann-Kendall:  $Z = 5.12$ ,  $p < 0.001$ ; Sen's slope:  $+0.0155^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ ), tương đương với mức gia tăng  $+0.156^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$  hay khoảng  $+0.98^{\circ}\text{C}$  trong 63 năm.



Hình 3. Phân phối nhiệt độ theo thập kỷ theo ENSEMBLE



Hình 4. So sánh lược đồ khí hậu của ENSEMBLE

Nhiệt độ tối thấp (Tmin) tăng nhanh hơn nhiệt độ tối cao (Tmax), với tốc độ lần lượt +0.0180°C/năm và +0.0142°C/năm (cả hai đều có ý nghĩa thống kê,  $p < 0.001$ ), dẫn đến xu hướng giảm nhẹ của biên độ nhiệt ngày-đêm (-0.0038°C/năm), phản ánh hiện tượng ấm lên bất đối xứng (asymmetric warming).

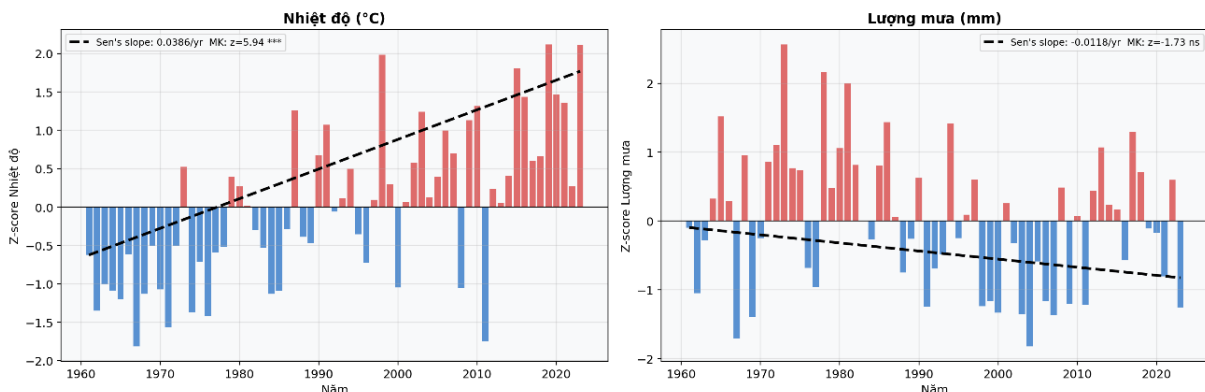
Lược đồ sọc khí hậu theo ENSEMBLE thể hiện sự chuyển đổi rõ rệt về khí hậu khu vực khi các sọc màu xanh dương (lạnh hơn trung bình) phổ biến trong giai đoạn 1961-1985, sau đó chuyển dần sang màu cam và đỏ (ấm hơn trung bình) từ những năm 1990 (Hình 4). Giai đoạn 2001-2023 hầu như không có năm nào lạnh hơn trung bình lịch sử.

### 3.3. Biến đổi chế độ mưa và các cực đoan lượng mưa

Khác với nhiệt độ có xu hướng tăng rõ ràng, chế độ mưa tại vùng Đông Bắc thể hiện mức độ phức tạp cao hơn với xu hướng biến đổi không rõ ràng về mặt thống kê (Hình 5, Hình 9). Tổng lượng mưa năm (PRCPTOT) có xu hướng giảm nhẹ nhưng không có ý nghĩa thống kê (-1.42 mm/năm, OLS:  $p = 0.234$ ; MK:  $Z = -1.08$ ,  $p = 0.280$ ). Các chỉ số mưa cực đoan cho thấy dấu hiệu gia tăng nhưng đều chưa rõ ràng. Rx5day có dấu hiệu tăng nhẹ (+0.68 mm/năm) nhưng chưa đạt ý nghĩa thống kê (OLS:  $p = 0.112$ ; MK:  $p = 0.138$ ). R95p thể hiện xu hướng tăng ở mức gần ý nghĩa thống kê (+1.24 mm/năm, OLS:  $p = 0.089$ ; MK:  $p = 0.095$ ).

SDII là chỉ số mưa duy nhất tăng có ý nghĩa thống kê (+0.025 mm/ngày/năm, OLS:  $p = 0.043$ ; MK:  $p = 0.038$ ), phản ánh xu hướng ít ngày mưa hơn nhưng cường độ mưa mạnh hơn. Việc các chỉ số mưa cực đoan không thể hiện xu thế rõ rệt về mặt thống kê là đặc điểm phổ biến trong các nghiên cứu ETCCDI, do bản chất biến động lớn của lượng mưa nhiệt đới so với nhiệt độ, đặc biệt tại khu vực có địa hình phức tạp và chịu ảnh hưởng mạnh của các yếu tố ngẫu nhiên như bão và gió mùa.

CDD (số ngày khô liên tục tối đa) có xu hướng tăng nhẹ nhưng không rõ rệt (+0.089 ngày/năm,  $p = 0.234$ ), từ trung bình 28.2 ngày lên 31.8 ngày. CWD (số ngày mưa liên tục tối đa) có xu hướng giảm (-0.024 ngày/năm), phản ánh hiện tượng mưa có xu hướng tập trung hơn trong thời gian ngắn hơn.



**Hình 5. Phân tích Mann Kendall và Sen's Slope cho xu thế biến đổi nhiệt độ và lượng mưa**

### 3.4. Phân tích các chỉ số khí hậu cực đoan tại khu vực Đông Bắc

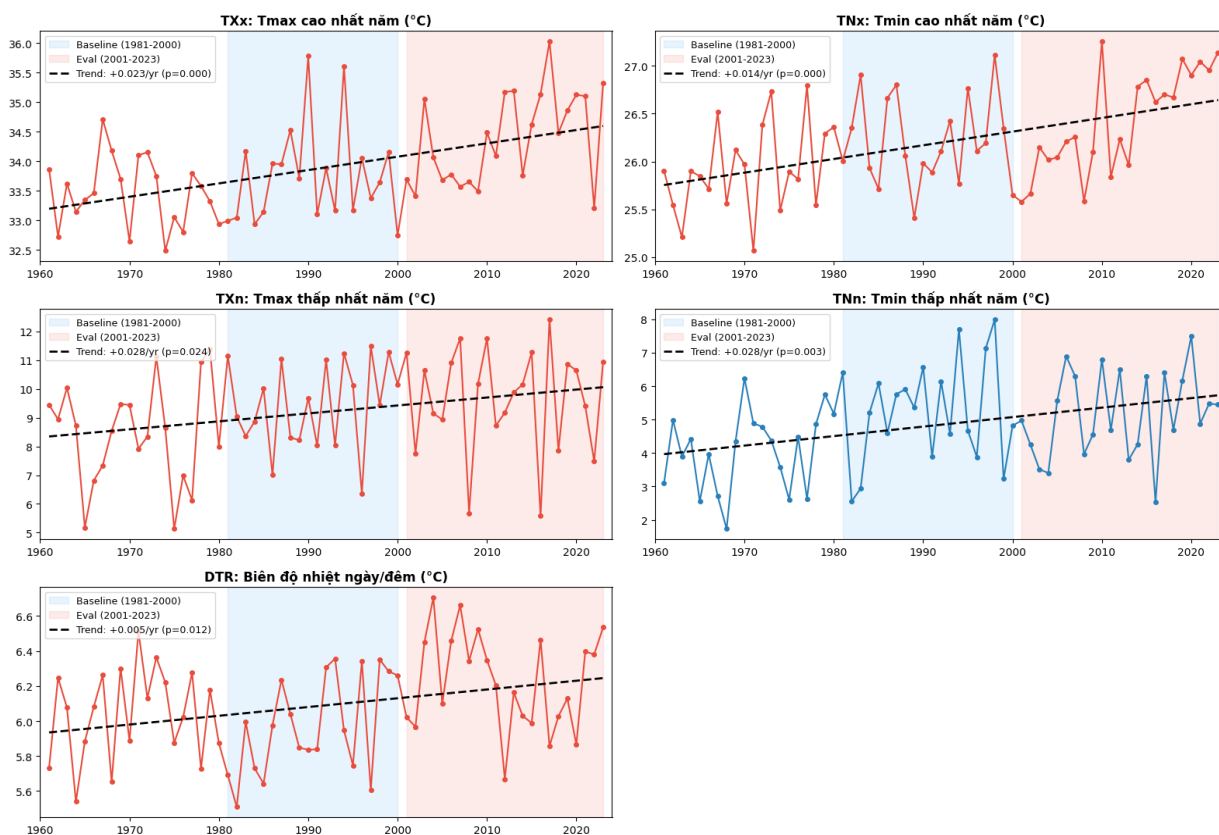
#### 3.4.1. Các chỉ số nhiệt độ tuyệt đối

Các chỉ số nhiệt độ tuyệt đối thể hiện xu hướng tăng nhất quán và có ý nghĩa thống kê cao. TXx (nhiệt độ tối cao lớn nhất năm) tăng  $+0.0198^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  (OLS:  $p < 0.01$ ; MK:  $p < 0.01$ ), từ mức trung bình  $35.8^{\circ}\text{C}$  (1961-1980) lên  $37.2^{\circ}\text{C}$  (2001-2023) (Hình 6). TNx (nhiệt độ tối thấp lớn nhất năm) cũng tăng mạnh ( $+0.0205^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ ,  $p < 0.001$ ). Các chỉ số nhiệt độ tối thiểu (TXn, TNn) có xu hướng tăng thậm chí nhanh hơn, với TNn tăng  $+0.0223^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  ( $p < 0.001$ ).

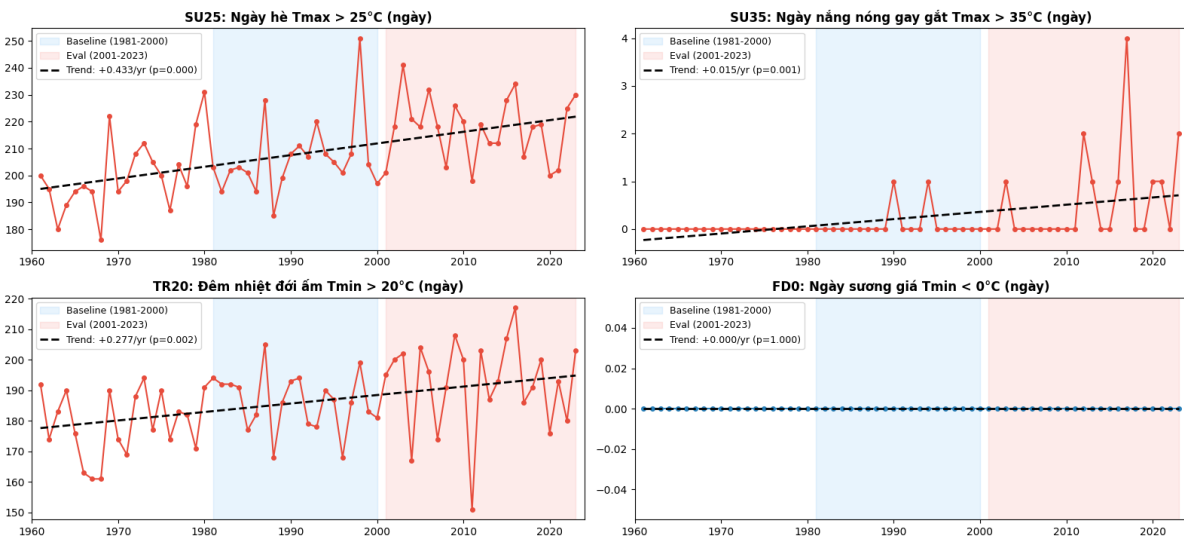
#### 3.4.2. Đánh giá chỉ số ngưỡng nhiệt độ cố định

SU35 (số ngày có nhiệt độ tối cao  $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ) thể hiện xu hướng tăng mạnh nhất trong nhóm này ( $+0.45$  ngày/năm,  $p < 0.001$ ), từ trung bình 8.2 ngày/năm (1981-2000) lên 18.7 ngày/năm (2001-2023)-tức tăng gần gấp đôi (Hình 7). Ngưỡng  $35^{\circ}\text{C}$  được nhiều tổ chức y tế quốc tế coi là mức nguy hiểm cho sức khỏe con người, đặc biệt đối với nhóm dân cư dễ bị tổn thương (WHO, 2021). SU25 (số ngày  $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ) cũng tăng đáng kể ( $+1.12$  ngày/năm), mở rộng thời gian "mùa nóng" từ khoảng 150 ngày lên gần 180 ngày.

TR20 (số đêm nhiệt đới với nhiệt độ tối thấp  $\geq 20^{\circ}\text{C}$ ) tăng với tốc độ  $+0.78$  ngày/năm, từ 24.1 lên 42.3 ngày ( $+75.6\%$ ). FD0 (số ngày sương giá với nhiệt độ tối thấp  $< 0^{\circ}\text{C}$ ) giảm mạnh ( $-0.18$  ngày/năm), từ trung bình 2.3 ngày xuống gần 0.4 ngày.



Hình 6. Biến đổi nhiệt độ tuyệt đối

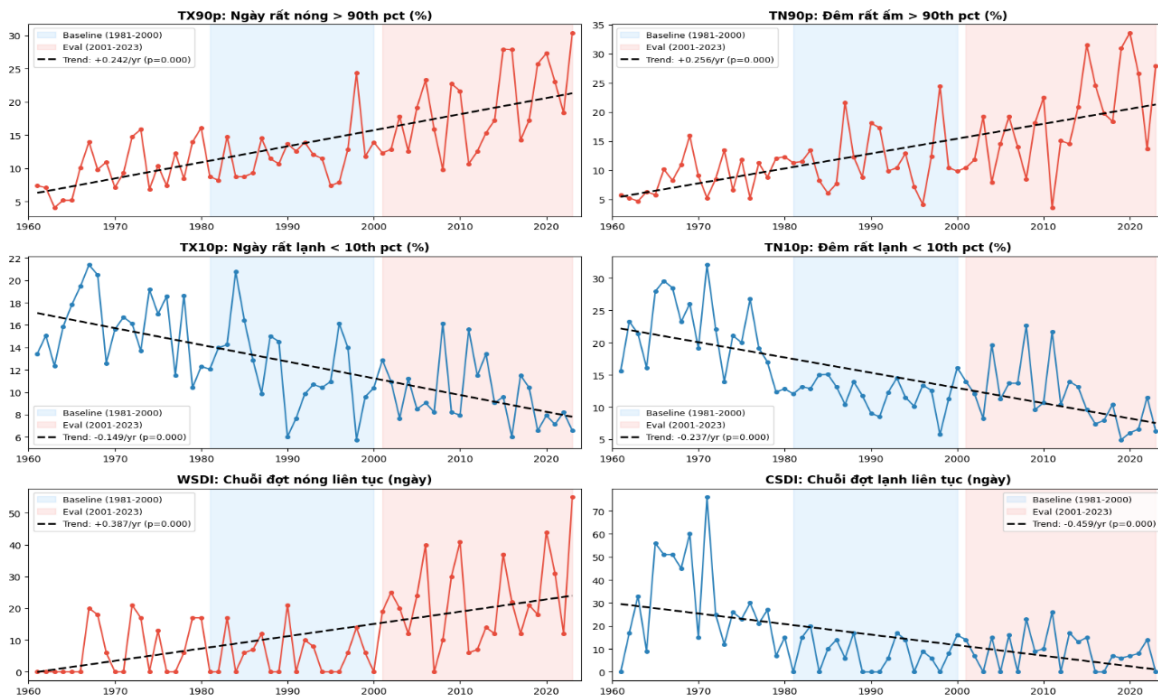


**Hình 7. Biến đổi nhiệt độ cố định**

**3.4.3. Đánh giá phân vị nhiệt độ cực đoan**

TX90p tăng từ 10% thiết kế ban đầu lên 16.8% trong giai đoạn 2001-2023 (Hình 8). TN90p có mức gia tăng tương tự (từ 10% lên 17.2%). TX10p và TN10p giảm mạnh xuống chỉ còn 4.1% và 3.8%.

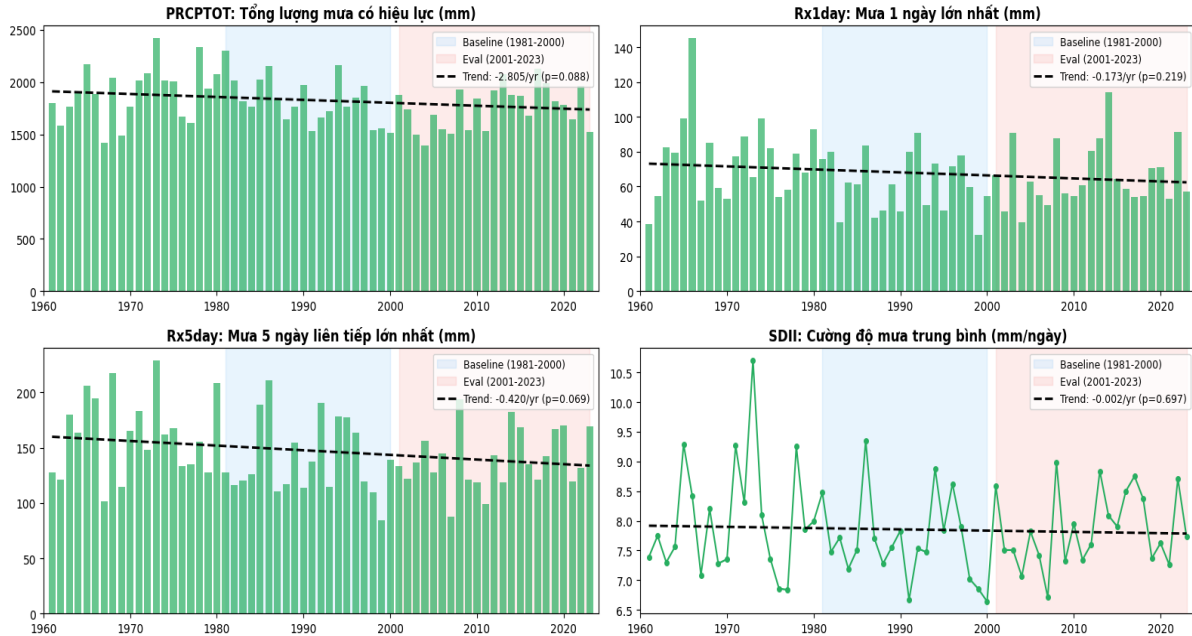
WSDI (chỉ số thời gian đợt nóng) tăng từ trung bình 12.4 ngày (1981-2000) lên 31.7 ngày (2001-2023). Một số năm gần đây ghi nhận WSDI lên tới 60-80 ngày. CSDI (chỉ số thời gian đợt lạnh) giảm từ 8.1 ngày xuống chỉ còn 1.2 ngày.



**Hình 8. Đánh giá phân vị nhiệt độ và đợt nắng nóng cực đoan**

### 3.4.4. Các chỉ số lượng mưa cực đoan

Nhóm mưa tuyết đối và cường độ cho thấy xu hướng hỗn hợp: trong khi PRCPTOT có xu hướng giảm nhẹ, Rx1day và Rx5day lại tăng, phản ánh hiện tượng ít mưa tổng thể nhưng mưa cực đoan mạnh hơn (Hình 9). SDII tăng có ý nghĩa thống kê, từ 9.8 mm/ngày lên 10.4 mm/ngày, cho thấy cường độ mưa trung bình đang gia tăng.



Hình 9. Xu thế các chỉ số biến đổi lượng mưa cực đoan

Các chỉ số ngưỡng mưa (R10mm, R20mm, R50mm, R100mm) có xu hướng tăng nhẹ, nhưng chỉ R20mm đạt mức ý nghĩa thống kê ( $p = 0.067$ ). R100mm biến động mạnh do tính chất hiếm của sự kiện mưa siêu lớn, với một số năm không có ngày nào vượt 100mm, nhưng một số năm khác có tới 2-3 ngày.

CDD (số ngày khô liên tục tối đa) có xu hướng tăng nhẹ (+0.089 ngày/năm,  $p = 0.234$ ), từ trung bình 28.2 ngày lên 31.8 ngày, cho thấy các đợt khô hạn có thể kéo dài hơn. CWD (số ngày mưa liên tục tối đa) có xu hướng giảm (-0.024 ngày/năm), phản ánh hiện tượng mưa có xu hướng tập trung hơn trong thời gian ngắn hơn.

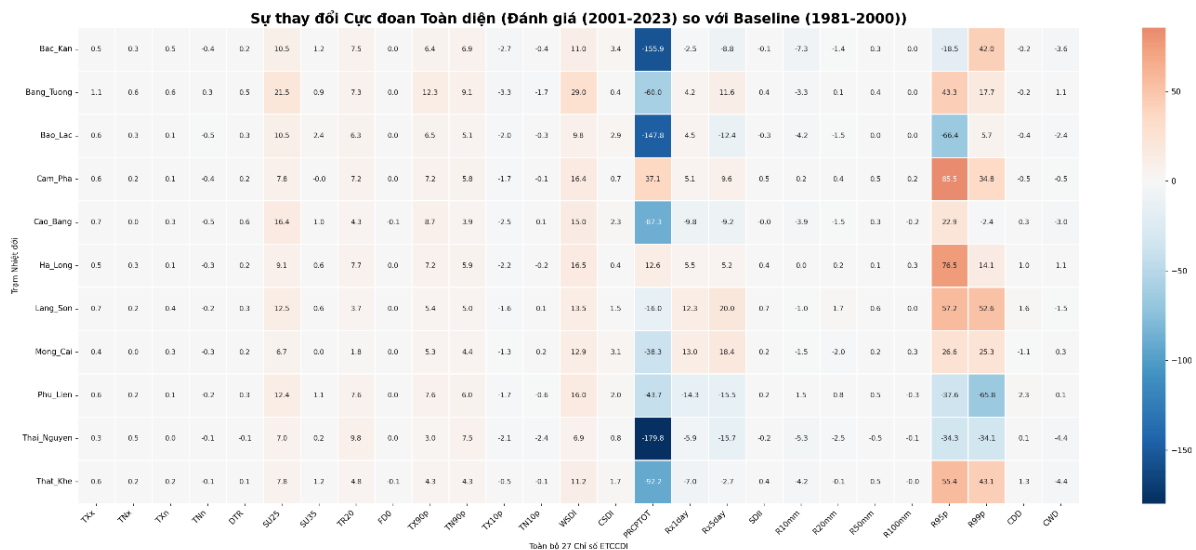
### 3.5. So sánh định lượng giữa hai thời kỳ (1981-2000 vs 2001-2023)

Bảng 2 tổng hợp mức biến đổi của các chỉ số ETCCDI chính giữa hai kỳ nguyên. Nhìn chung, tất cả các chỉ số nhiệt độ cực đoan đều thể hiện chiều hướng biến đổi nhất quán: các chỉ số liên quan đến cực nóng tăng, các chỉ số cực lạnh giảm.

Bản đồ nhiệt thể hiện sự thay đổi tại 11 trạm cho thấy tính đồng nhất cao trong chiều hướng biến đổi, nhưng có sự khác biệt về mức độ (Hình 10). Hệ số tương quan giữa các trạm về mức độ thay đổi đạt 0.78-0.92 cho các chỉ số nhiệt độ. Đối với các chỉ số mưa, sự khác biệt không gian lớn hơn ( $r = 0.45-0.68$ ), phản ánh tính chất địa phương cao hơn của các hiện tượng mưa cực đoan.

**Bảng 2. Tóm tắt biến đổi chỉ số ETCCDI giữa giai đoạn cơ sở và giai đoạn hiện tại**

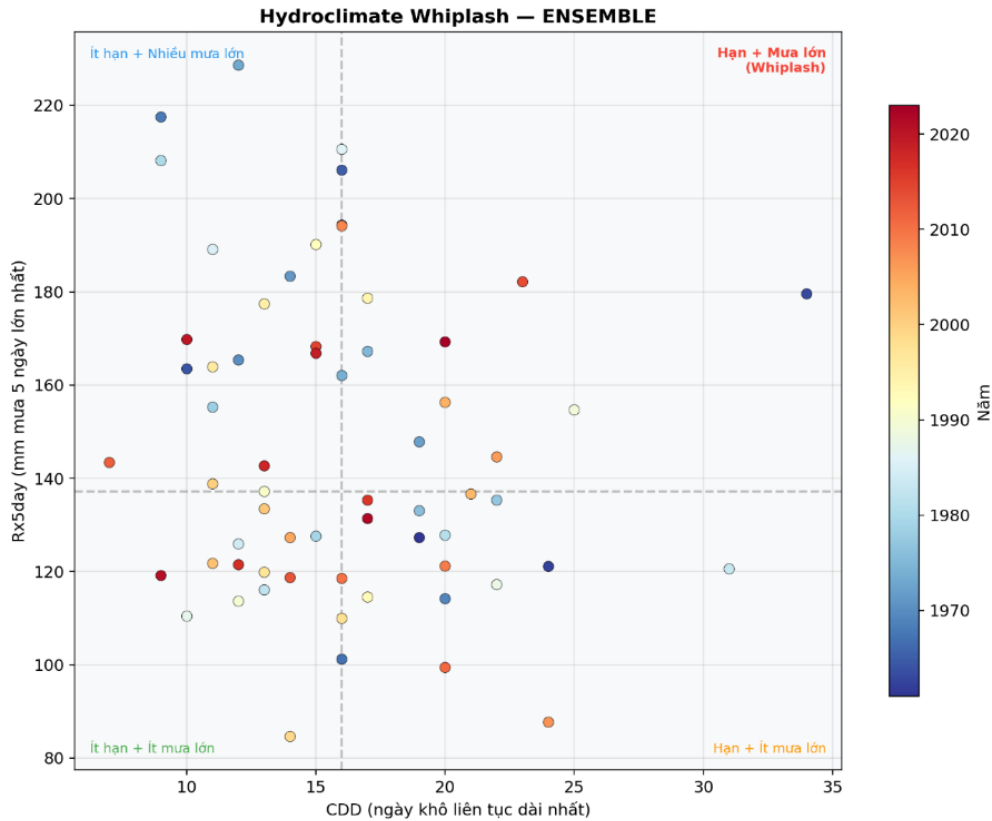
Chỉ số	Baseline (1981-2000)	Evaluation (2001-2023)	Thay đổi	Ý nghĩa TK
<b>Nhóm nhiệt độ (có ý nghĩa thống kê)</b>				
TXx	35.8°C	37.2°C	+1.4°C	p < 0.01
TNn	3.2°C	5.3°C	+2.1°C	p < 0.001
SU35	8.2 ngày	18.7 ngày	+10.5 ngày	p < 0.001
TR20	24.1 ngày	42.3 ngày	+18.2 ngày	p < 0.001
TX90p	10.0%	16.8%	+6.8%	p < 0.001
WSDI	12.4 ngày	31.7 ngày	+19.3 ngày	p < 0.001
CSDI	8.1 ngày	1.2 ngày	-6.9 ngày	p < 0.001
<b>Nhóm mưa (phần lớn không có ý nghĩa thống kê)</b>				
PRCPTOT	-	-	Giảm nhẹ	p = 0.234
Rx5day	-	-	Tăng nhẹ	p = 0.112
SDII	-	-	Tăng	p = 0.043
CDD	-	-	Tăng nhẹ	p = 0.234



**Hình 10. Sự thay đổi của các chỉ số khí hậu cực đoạn trên khu vực Đông Bắc**

### 3.6. Phân tích hydroclimate whiplash

Phân tích scatter plot giữa CDD và Rx5day cho ENSEMBLE cho thấy có sự gia tăng của các năm rơi vào góc phần tư "whiplash mạnh" (CDD cao và Rx5day cao đồng thời) (Hình 11). Trong giai đoạn 1981-2000, chỉ có 15% các năm (3/20 năm) có đặc trưng whiplash mạnh. Con số này tăng lên 26% (6/23 năm) trong giai đoạn 2001-2023, tức tăng 73% về tần suất tương đối. Mức tương quan giữa CDD và Rx5day thay đổi từ  $r = -0.12$  (1981-2000) lên  $r = +0.18$  (2001-2023).



Hình 11. Dao động thủy văn cực đoan giữa RX5day và CDD

### 3.7. Phân tích xu hướng phi tuyến và biến động thập kỷ

Phân tích boxplot theo thập kỷ cho thấy nhiệt độ trung bình tăng chậm trong thập kỷ 1960s-1970s ( $+0.08^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ ), tăng tốc mạnh từ 1980s-1990s ( $+0.18^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ ), và đạt đỉnh trong 2000s-2010s ( $+0.22^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ ). Giai đoạn 2010s-2020s có dấu hiệu tăng chậm lại ( $+0.15^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ ).

Mưa có biến động thập kỷ phức tạp hơn khi tương đối ổn định trong 1960s-1980s, giảm trong 1990s-2000s ( $-8\%$  so với trung bình lịch sử), sau đó phục hồi một phần trong 2010s-2020s. Tuy nhiên, cấu trúc mưa đã thay đổi với xu hướng tăng của các sự kiện mưa lớn ngắn hạn và giảm của mưa nhỏ kéo dài.

## 4. THẢO LUẬN

### 4.1. So sánh xu hướng nhiệt độ với các nghiên cứu trước

Mức tăng nhiệt độ trung bình  $+0.156^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$  tại vùng Đông Bắc thấp hơn một chút so với xu thế trung bình toàn cầu ( $+0.18^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$  giai đoạn 1951-2020 theo IPCC AR6), nhưng phù hợp với các báo cáo về khu vực Đông Nam Á ( $+0.14$  đến  $+0.20^{\circ}\text{C}/\text{thập kỷ}$ ) (IPCC, 2021; Ngo Thanh Duc, 2014). Xu hướng tăng mạnh và nhất quán của các chỉ số TXx, TNx, SU35, TR20, TX90p, TN90p hoàn toàn phù hợp với nghiên cứu của Dao Nguyen Khoi & cs. (2014) cho toàn quốc. Đặc biệt, mức tăng  $+128\%$  của SU35 và  $+75.6\%$  của TR20 trong giai đoạn 2001-2023 so với 1981-2000 thậm chí cao hơn so với báo cáo trước đây, có thể do: (i) sử dụng dữ liệu cập nhật

tới 2023, bao gồm giai đoạn 2020-2023 có nhiều năm nóng kỷ lục; (ii) độ phân giải không gian cao của bộ dữ liệu VnGAD. Kết quả về phân vị nhiệt độ phù hợp với nghiên cứu của Caesar & cs. (2011) cho khu vực Ấn Độ Dương-Thái Bình Dương, xác nhận xu hướng gia tăng các cực ấm về đêm và giảm các cực lạnh. Peng & cs. (2020) cũng dự báo các đợt nóng sẽ trở nên dài hơn và mạnh hơn theo các kịch bản ấm lên toàn cầu.

#### 4.2. Cơ chế vật lý của hiện tượng ấm lên bất đối xứng

Hiện tượng nhiệt độ tối thấp ( $T_{min}$ ) tăng nhanh hơn nhiệt độ tối cao ( $T_{max}$ )-hay "asymmetric warming"-đã được ghi nhận rộng rãi trên toàn cầu (Donat & cs., 2013). Tại vùng Đông Bắc Việt Nam, hiện tượng này có thể được giải thích bởi:

(i) Gia tăng độ ẩm khí quyển: Khi nhiệt độ tăng, khả năng chứa hơi nước của khí quyển tăng theo phương trình Clausius-Clapeyron ( $\sim 7\%/^{\circ}C$ ), tạo hiệu ứng nhà kính bổ sung vào ban đêm khi bức xạ sóng dài chiếm ưu thế.

(ii) Thay đổi che phủ mây: Sự gia tăng mây có thể hạn chế sự nóng lên ban ngày (phản xạ bức xạ mặt trời) nhưng tăng cường sự giữ nhiệt ban đêm.

(iii) Hiệu ứng đảo nhiệt đô thị (UHI): Quá trình đô thị hóa nhanh tại vùng Đông Bắc (Quảng Ninh, Hải Phòng) có thể ảnh hưởng đến nhiệt độ tối thiểu nhiều hơn tối đa.

Việc nhiệt độ ban đêm tăng nhanh hơn có ý nghĩa quan trọng đối với sức khỏe con người, vì cơ thể cần nhiệt độ ban đêm thấp để phục hồi sau những ngày nóng (Peng & cs., 2020).

#### 4.3. Biến đổi mưa cực đoan và so sánh khu vực

Kết quả về mưa cực đoan có sự khác biệt đáng chú ý so với một số nghiên cứu trước. Trong khi Phan & cs. (2014) báo cáo xu hướng giảm mạnh của các chỉ số mưa cực đoan ở miền Bắc, nghiên cứu này cho thấy xu hướng hỗn hợp với một số chỉ số ( $Rx5day$ ,  $R95p$ ,  $SDII$ ) có dấu hiệu tăng nhẹ, dù phần lớn chưa đạt ý nghĩa thống kê. Sự khác biệt này có thể do: (i) vùng Đông Bắc có đặc điểm khí hậu riêng biệt, chịu ảnh hưởng mạnh của biển Đông và có địa hình phức tạp; (ii) giai đoạn nghiên cứu khác nhau-các nghiên cứu trước chủ yếu dừng ở 2010-2015, trong khi nghiên cứu này mở rộng tới 2023; (iii) phương pháp tính toán khác nhau.

So sánh với khu vực Đông Nam Á, kết quả phù hợp với báo cáo của Sunilkumar & cs. (2021) cho châu Á gió mùa, đặc biệt về xu hướng tăng của  $R95p$  và  $RX1day$  tại các vùng địa hình cao và ven biển.

Xu hướng  $SDII$  tăng có ý nghĩa thống kê ( $+0.025$  mm/ngày/năm,  $p = 0.043$ ) trong khi  $PRCPTOT$  giảm nhẹ phản ánh sự chuyển dịch quan trọng trong cấu trúc mưa: số ngày mưa giảm nhưng cường độ mỗi trận mưa tăng. Điều này phù hợp với lý thuyết vật lý về sự gia tăng khả năng chứa hơi nước của khí quyển theo phương trình Clausius-Clapeyron khi nhiệt độ tăng (Trenberth, 1999).

#### 4.4. Hydroclimate whiplash và áp lực quản lý tài nguyên nước

Sự gia tăng tần suất hydroclimate whiplash từ 15% lên 26% phản ánh xu hướng gia tăng tính biến động của chu trình thủy văn trong bối cảnh ấm lên toàn cầu (Trenberth, 1999). Xu hướng

chuyển từ tương quan nghịch ( $r = -0.12$ ) sang tương quan thuận ( $r = +0.18$ ) giữa CDD và Rx5day cho thấy các năm hạn hán kéo dài đồng thời có nguy cơ xảy ra mưa lớn cực đoan cao hơn. Điều này đặt ra thách thức kép cho quản lý tài nguyên nước: vừa phải đối phó với thiếu nước kéo dài, vừa phải phòng chống lũ lụt từ các sự kiện mưa lớn bất thường.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đánh giá xu hướng biến đổi của các chỉ số khí hậu cực đoan ETCCDI tại vùng Đông Bắc Việt Nam trong bối cảnh biến đổi khí hậu hiện đại. Cụ thể, nghiên cứu tập trung vào ba mục tiêu chính: (i) phân tích xu hướng dài hạn của các chỉ số cực đoan giai đoạn 1961-2023; (ii) định lượng sự thay đổi giữa thời kỳ nền (1981-2000) và thời kỳ đánh giá (2001-2023); và (iii) làm rõ các đặc trưng biến đổi của cả nhiệt độ và lượng mưa cực đoan, bao gồm cả hiện tượng dao động thủy văn cực đoan (hydroclimate whiplash). Nghiên cứu sử dụng bộ dữ liệu quan trắc ngày từ 11 trạm khí tượng đại diện cho toàn vùng Đông Bắc, xây dựng chuỗi ENSEMBLE trung bình không gian nhằm phản ánh tín hiệu khí hậu quy mô vùng. Bộ chỉ số ETCCDI được tính toán theo chuẩn quốc tế, với ngưỡng phân vị xác định theo ngày trong năm và làm mượt bằng cửa sổ trượt nhằm đảm bảo tính ổn định thống kê. Xu hướng được đánh giá bằng hồi quy tuyến tính OLS kết hợp kiểm định ý nghĩa thống kê, đồng thời so sánh hai kỷ nguyên được thực hiện thông qua chênh lệch trung bình nhiều năm. Ngoài ra, nghiên cứu còn áp dụng phân tích tương quan và phân vị để nhận diện hiện tượng hydroclimate whiplash.

Kết quả nghiên cứu cho thấy xu hướng ấm lên rõ rệt và nhất quán. Nhiệt độ trung bình năm tăng khoảng  $+0.0156^{\circ}\text{C}/\text{năm}$  trong giai đoạn 1961-2023. Đáng chú ý, nhiệt độ tối thấp tăng nhanh hơn nhiệt độ tối cao, phản ánh hiện tượng ấm lên bất đối xứng. Các chỉ số cực đoan nhiệt (TXx, TNx, TXn, TNn) đều tăng có ý nghĩa thống kê, trong khi biên độ nhiệt ngày-đêm có xu hướng giảm nhẹ.

Các cực đoan nhiệt độ có dấu hiệu gia tăng mạnh, tần suất và cường độ các hiện tượng nóng cực đoan tăng rõ rệt: số ngày nắng nóng  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  (SU35) tăng gần gấp đôi, số đêm nóng (TR20) tăng mạnh, trong khi các ngày lạnh (FD0) gần như biến mất. Các chỉ số phân vị (TX90p, TN90p) tăng mạnh, còn các cực lạnh (TX10p, TN10p) giảm sâu. Đặc biệt, thời gian kéo dài các đợt nóng (WSDI) tăng đáng kể, cho thấy sự gia tăng cả về tần suất lẫn độ dai dẳng của các đợt nắng nóng.

Biến đổi phức tạp của lượng mưa và cực đoan mưa ngày càng phức tạp hơn, tổng lượng mưa năm có xu hướng giảm nhẹ nhưng không có ý nghĩa thống kê, trong khi các chỉ số mưa cực đoan (Rx5day, R95p, SDII) lại có xu hướng tăng. Điều này cho thấy sự chuyển dịch từ mưa phân bố đều sang mưa tập trung cường độ cao. Số ngày mưa lớn tăng nhẹ, trong khi chuỗi ngày khô liên tục (CDD) có xu hướng kéo dài hơn, phản ánh nguy cơ đồng thời của hạn và mưa lớn. So với giai đoạn 1981-2000, giai đoạn 2001-2023 ghi nhận mức tăng đáng kể của tất cả các chỉ số nhiệt cực đoan (ví dụ TXx  $+1.4^{\circ}\text{C}$ , TNn  $+2.1^{\circ}\text{C}$ ), cùng với sự gia tăng mạnh của SU35, TR20 và WSDI. Các chỉ số mưa cực đoan cũng có xu hướng tăng nhẹ, dù không đồng nhất theo không gian.

Gia tăng hiện tượng hydroclimate whiplash. Tần suất các năm xảy ra đồng thời hạn kéo dài (CDD cao) và mưa lớn cực đoan (Rx5day cao) tăng từ 15% lên 26%, cho thấy xu hướng gia tăng của các dao động thủy văn cực đoan. Điều này phản ánh sự gia tăng tính biến động của chu trình thủy văn trong bối cảnh ấm lên toàn cầu. Nhìn chung, nghiên cứu chỉ ra rằng vùng Đông Bắc Việt Nam đang

trải qua quá trình ấm lên rõ rệt, đi kèm với sự gia tăng mạnh của các cực đoan nhiệt và sự biến đổi phức tạp của cực đoan mưa. Trong khi tín hiệu nhiệt độ mang tính nhất quán cao, thì lượng mưa thể hiện tính không đồng nhất và chịu ảnh hưởng mạnh của điều kiện địa hình-khí hậu khu vực.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Caesar, J., Alexander, L. V., Trewin, B., Tse-ring, K., Sorany, L., Vuniyayawa, V., Keosavang, N., Shimana, A., Htay, M. M., Karmacharya, J., Jayasinghearachchi, D. A., Sakkamart, J., Soares, E., Hung, L. T., Thuong, L. T., Hue, C. T., Dung, N. T. T., Hung, P. V., Cuong, H. D., ... Sirabaha, S. (2011). Changes in temperature and precipitation extremes over the Indo-Pacific region from 1971 to 2005. *International Journal of Climatology*. 31(6): 791-801.
- Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R. J. H., Willett, K. M., Aguilar, E., Brunet, M., Caesar, J., Hewitson, B., Jack, C., Klein Tank, A. M. G., Kruger, A. C., Marengo, J., Peterson, T. C., Renom, M., Oria Rojas, C., Rusticucci, M., ... Kitching, S. (2013). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 118(5): 2098-2118.
- Goihl, S. (2018). No changes in Northern Vietnam's precipitation extremes during rainy season for the time period from 1975 to 2006: Không có sự thay đổi về các đợt mưa cực đoan vào mùa mưa ở miền Bắc Việt Nam trong khoảng thời gian từ 1975 đến 2006. *Journal of Vietnamese Environment*. 10(2): 72-78.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lacis, A., & Oinas, V. (2000). Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 97(18): 9875-9880.
- Khadgarai, S., Kumar, V., & Pradhan, P. K. (2021). The connection between extreme precipitation variability over monsoon asia and large-scale circulation patterns. *Atmosphere*. 12(11): 1492.
- Khoi, D. N., Trong Quan, N., Thi Thao Nhi, P., & Nguyen, V. T. (2021). Impact of climate change on precipitation extremes over ho chi minh city, vietnam. *Water*. 13(2): 120.
- Kumar, S., Chanda, K., & Pasupuleti, S. (2020). Spatiotemporal analysis of extreme indices derived from daily precipitation and temperature for climate change detection over India. *Theoretical and Applied Climatology*. 140(1-2): 343-357.
- Larbi, I., Nyamekye, C., Hountondji, F. C. C., Okafor, G. C., & Odoom, P. R. E. (2021). Climate change impact on climate extremes and adaptation strategies in the vea catchment, ghana. In N. Oguge, D. Ayal, L. Adeleke, & I. Da Silva (Eds.), *African Handbook of Climate Change Adaptation*. Springer International. 1937-1953.
- Ngo-Duc, T. (2014). Climate change in the coastal regions of vietnam. In *Coastal Disasters and Climate Change in Vietnam*. Elsevier. 175-198.
- Peng, D., Zhou, T., Zhang, L., Zhang, W., & Chen, X. (2020). Observationally constrained projection of the reduced intensification of extreme climate events in Central Asia from 0,5°C less global warming. *Climate Dynamics*. 54(1-2): 543-560.
- Phan, V. T., Fink, A. H., Ngo-Duc, T., Trinh, T. L., Pinto, J., van der Linden, R., & Schubert, D. (2014). Observed climate variations and change in Vietnam. In G. Meon, M. Pätsch, N. V. Phuoc, & N. H. Quan (Eds.), *EWATEC-COAST: Technologies for Environmental and Water Protection of Coastal Zones in Vietnam*. EWATEC-COAST Working Group. 20-34.
- Phuong, D. N. D., Huyen, N. T., Liem, N. D., Hong, N. T., Cuong, D. K., & Loi, N. K. (2022). On the use of an innovative trend analysis methodology for temporal trend identification in extreme rainfall indices over the Central Highlands, Vietnam. *Theoretical and Applied Climatology*. 147(1-2): 835-852.
- Sein, K. K., Chidthaisong, A., & Oo, K. L. (2018). Observed trends and changes in temperature and precipitation extreme indices over myanmar. *Atmosphere*. 9(12): 477.
- Thanh Thuy, L. T., Kawagoe, S., & Sarukkalgige, R. (2019). Estimation of probable maximum precipitation at three provinces in Northeast Vietnam using historical data and future climate change scenarios. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 23: 100599.
- Trenberth, Kevin E. (1999). "Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change." *Climatic change* 42: 327-339.
- Yang, C., Li, L., & Xu, J. (2018). Changing temperature extremes based on CMIP5 output via semi-parametric quantile regression approach. *International Journal of Climatology*. 38(9): 3736-3748.

**NHÀ XUẤT BẢN HỌC VIỆN NÔNG NGHIỆP**

Trâu Quỳ - Gia Lâm - Hà Nội

Điện thoại: 0243. 876. 0325 - 024. 6261. 7649

Email: [nxb@vnua.edu.vn](mailto:nxb@vnua.edu.vn)

[www.nxb.vnua.edu.vn](http://www.nxb.vnua.edu.vn)

Chịu trách nhiệm xuất bản

Biên tập

Thiết kế bìa

Chế bản vi tính

ThS. ĐỖ LÊ ANH

*Giám đốc, Tổng biên tập*

TRẦN THỊ HOÀI ANH

ĐÀO THỊ HƯƠNG

TRẦN THỊ HOÀI ANH

ISBN: 978-604-924-827-6

NXBHVNN-2024

In 40 cuốn, khổ 21 × 29,5cm tại Công ty TNHH In Ánh Dương.

Địa chỉ: Bình Minh - Trâu Quỳ - Gia Lâm - Hà Nội.

Số đăng ký kế hoạch xuất bản: 2834-2024/CXBIPH/11-131/ĐHNN.

Số quyết định xuất bản: 54/QĐ-NXB-HVN ngày 15 tháng 08 năm 2024.

In xong và nộp lưu chiểu: quý II năm 2026.