

Pesticides across the food–environment continuum: analytical advances, regulatory challenges and emerging monitoring approaches

Tran Thi Nhu Trang^{1,2*}, Ly Tuan Kiet³, Philippe Behra²

¹ NTT Hi-Tech Institute, Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Vietnam

² Univ Toulouse, Toulouse INP, INRAE, LCA, Toulouse, France

³ Center of Analytical Services, Experimentation and Standards, Metrology, Quality of Ho Chi Minh City (CASE-SMQ), Vietnam

*Email : ttntrang@ntt.edu.vn; nhutrang.tran@toulouse-inp.fr

Abstract

Pesticides rarely remain confined to where they are applied. A single active substance may circulate across soil, water, crops and processed foods, creating interconnected exposure pathways that conventional monitoring frameworks often assess in isolation rather than as part of a connected system. This presentation reframes pesticide surveillance around the food–environment continuum, using neonicotinoid insecticides as a timely case study of a rapidly evolving regulatory and analytical landscape. Particular attention is given to recent European Union regulatory developments, including the tightening of maximum residue limits (MRLs) for clothianidin and thiamethoxam, applicable since March 2026, reflecting growing environmental and pollinator-protection concerns. Examples from tea, honey, rice, vegetables, water and soil illustrate matrix-specific analytical challenges, with Vietnamese tea presented as a detailed case study of pesticide monitoring in a complex, internationally traded commodity.

Recent advances in sample preparation and instrumental analysis are discussed, including selective, lower-footprint extraction, miniaturised clean-up and preconcentration, and high-resolution mass spectrometry. Beyond reducing the environmental footprint of analysis, selective extraction and efficient preconcentration are increasingly important for advanced applications requiring purified, sufficiently concentrated analyte fractions – a requirement particularly relevant to compound-specific isotope analysis (CSIA), for which analyte mass, matrix removal and preservation of isotopic integrity are critical prerequisites for investigating pesticide sources, transformation pathways and degradation processes.

By bridging routine residue monitoring with advanced contaminant characterisation and source- and fate-tracing approaches, this contribution offers a forward-looking perspective on pesticide surveillance across the food–environment interface, and its potential to support more risk-informed, sustainable and internationally harmonised food-safety control.

Keywords: *pesticide residues; neonicotinoids; food–environment continuum; compound-specific isotope analysis; sustainable monitoring.*

Chất bảo vệ thực vật trong chuỗi liên tục thực phẩm–môi trường: những tiến bộ trong phân tích, thách thức về quản lý và các phương pháp giám sát mới

Trần Thị Như Trang^{1,2*}, Lý Tuấn Kiệt³, Philippe Behra²

¹ Viện Kỹ thuật Công nghệ cao, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

² Univ Toulouse, Toulouse INP, INRAE, LCA, Toulouse, France

³ Trung tâm Dịch vụ Phân tích Thí nghiệm và Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng (CASE-SMQ),
Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

**Email : ttntrang@ntt.edu.vn; nhutrang.tran@toulouse-inp.fr*

Tóm tắt

Chất bảo vệ thực vật hiếm khi chỉ tồn tại ở nơi chúng được sử dụng. Một hoạt chất có thể di chuyển qua đất, nước, cây trồng và thực phẩm chế biến, từ đó hình thành các con đường phơi nhiễm có mối liên hệ với nhau. Tuy nhiên, các hệ thống giám sát truyền thống thường đánh giá các thành phần này một cách riêng lẻ, thay vì xem xét chúng như một hệ thống liên kết. Bài trình bày này đề xuất cách tiếp cận giám sát các chất bảo vệ thực vật theo chuỗi liên tục thực phẩm–môi trường, trong đó nhóm thuốc trừ sâu neonicotinoid được sử dụng như một trường hợp điển hình có tính thời sự, phản ánh những thay đổi nhanh chóng cả về quy định quản lý lẫn phương pháp phân tích. Đặc biệt, bài trình bày đề cập đến những thay đổi gần đây trong quy định của Liên minh châu Âu, bao gồm việc siết chặt giới hạn dư lượng tối đa (MRL) đối với clothianidin và thiamethoxam, được áp dụng từ tháng 3 năm 2026, trong bối cảnh ngày càng gia tăng các mối quan ngại liên quan đến môi trường và bảo vệ các loài thụ phấn. Các ví dụ trên nền mẫu chè, mật ong, gạo, rau, nước và đất được sử dụng để minh họa những thách thức phân tích đặc thù của từng loại nền mẫu, trong đó chè Việt Nam được trình bày như một nghiên cứu trường hợp chi tiết về giám sát dư lượng chất bảo vệ thực vật trong một loại thực phẩm có nền mẫu phức tạp và được giao thương rộng rãi trên thị trường quốc tế.

Những tiến bộ gần đây trong xử lý mẫu và kỹ thuật phân tích cũng được thảo luận, bao gồm các kỹ thuật chiết có tính chọn lọc và giảm tác động/dấu chân (footprint) môi trường, các phương pháp làm sạch và làm giàu mẫu theo hướng thu nhỏ, cũng như khối phổ độ phân giải cao. Bên cạnh mục tiêu giảm tác động môi trường của quá trình phân tích, các chiến lược chiết chọn lọc và làm giàu hiệu quả ngày càng trở nên quan trọng đối với các ứng dụng phân tích nâng cao đòi hỏi các phân đoạn chất phân tích phải có độ tinh sạch cao và nồng độ đủ lớn. Yêu cầu này đặc biệt quan trọng đối với phân tích đồng vị đặc trưng theo hợp chất (compound-specific isotope analysis, CSIA), trong đó khối lượng chất phân tích, khả năng loại bỏ ảnh hưởng của nền mẫu và bảo toàn tính toàn vẹn đồng vị là những điều kiện tiên quyết để nghiên cứu nguồn phát sinh, các con đường chuyển hóa và quá trình phân hủy của các chất bảo vệ thực vật.

Thông qua việc kết nối giám sát dư lượng thường quy với các phương pháp đặc trưng hóa chất ô nhiễm tiên tiến, cũng như các phương pháp truy tìm nguồn gốc và diễn biến của chất ô nhiễm trong môi trường, bài trình bày đưa ra một góc nhìn định hướng tương lai đối với giám sát thuốc

bảo vệ thực vật trên toàn giao diện thực phẩm–môi trường, đồng thời làm rõ tiềm năng hỗ trợ các chiến lược kiểm soát an toàn thực phẩm dựa trên rủi ro, bền vững và hài hòa hơn ở cấp độ quốc tế.

Từ khóa: *dư lượng chất bảo vệ thực vật; thuốc trừ sâu nhóm neonicotinoid; liên kết thực phẩm–môi trường; phân tích đồng vị đặc trưng theo hợp chất; quan trắc bền vững.*