QUATEST 3®

Trung tâm Kỹ thuật
Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng

Hội Hợp tác các
Phòng Thí nghiệm TP Hồ Chí Minh

HỘI THẢO KHOA HỌC
ĐO LƯỜNG - THỬ NGHIỆM
QUATEST 3 - VINATEST 2026

1976
2026
QUATEST 3®
ĐỒNG HÀNH CÙNG CHẤT LƯỢNG - VỮNG BƯỚC TƯƠNG LAI

Kỷ niệm 50 năm thành lập Trung tâm
Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3

Thành phố Hồ Chí Minh, 07/2026

Hội thảo khoa học

ĐO LƯỜNG - THỬ NGHIỆM
QUATEST 3 - VINATEST 2026

Lời nói đầu

Cách đây hơn 50 năm, vào ngày 06/04/1976 Chính phủ đã có quyết định chính thức thành lập Viện Định chuẩn (tiền thân của Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3) trực thuộc Ủy ban Khoa học và Kỹ thuật Nhà nước (nay là Bộ Khoa học và Công nghệ).

Vào những tháng ngày đáng nhớ của năm 2026, trong không khí tuần lễ kỷ niệm chào mừng 50 năm ngày thành lập, Trung tâm Kỹ thuật 3 đã kết hợp với Hội Hợp tác các Phòng Thí nghiệm TP Hồ Chí Minh Vinatest tổ chức sự kiện khoa học:

"Hội thảo khoa học Đo lường Thử nghiệm 2026 QUATEST 3 - VINATEST"

Góp mặt trong hội thảo này là các thành viên đang công tác tại các phòng thí nghiệm của Trung tâm Kỹ thuật 3 và Vinatest, những anh chị đã có thời gian dài hoạt động trong các phòng đo lường độ dài, khối lượng, điện, hóa lý;... các phòng thử nghiệm vật liệu cơ điện, hàng tiêu dùng, hóa, môi trường, thực phẩm và sinh học. Một số bài viết liên quan các vấn đề chung về thí nghiệm như vai trò của đo lường trong kỷ nguyên internet & chuyển đổi số, về cảnh báo an toàn thực phẩm và thử nghiệm thành thạo, độ không đảm bảo đo…

Nội dung các bài viết, hầu hết chú trọng đến vấn đề thực tế hoạt động thường ngày của đơn vị, được các thành viên quan tâm, đúc kết, cảm thấy tâm đắc và được ghi chép, hình thành để đóng góp cho hội thảo.

Hội thảo khoa học hân hạnh có sự tham gia của nhiều anh chị từ các đơn vị, các phòng thí nghiệm có quy mô khá lớn trong khu vực TP Hồ Chí Minh như Trung tâm Dịch vụ Phân tích Thí nghiệm và Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng TP Hồ Chí Minh; Viện Công nghệ tiên tiến thuộc Viện Hàn lâm Khoa học Công nghệ Việt Nam, Công ty Dây và cáp điện Việt Nam, Viện Thử nghiệm và Kiểm chuẩn Việt Nam, Trung tâm Kỹ thuật 3 v.v.. và nhiều đơn vị khác.

Hy vọng với các nội dung trong sự kiện này sẽ đem đến cho bạn đọc thêm một số suy nghĩ, thông tin tổng quát về thí nghiệm, tuy có thể không mới, chưa có nhiều nội dung mang tính hàn lâm, nhưng đó vẫn là sự đóng góp toàn tâm toàn ý của những người đang hoạt động trong phòng thí nghiệm…

Xin ghi nhận sự đóng góp quý báu của các tác giả trong hội thảo lần này.

Mong được nhiều góp ý của bạn đọc để cho những hội thảo sau càng hoàn thiện hơn..

Ban tổ chức hội thảo

Tháng 07/2026

MỤC LỤC

Chương 1
NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

1 **Nguyễn Bảo Toàn**,
Viện Khoa học Phát triển Tài năng Việt Nam:
"***Vai trò của hoạt động đo lường trong nền kinh tế với định hướng khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số***" 11

2 **Nguyễn Hồng Thảo**,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"***Từ cảnh báo an toàn sản phẩm đến yêu cầu nâng cao năng lực phân tích ba tình huống Cereulide - Chì – Lilial/TPO***". 29

3 **Lê Hoàng Dũng,**
Công ty TNHH Thiết bị Khoa học Nghi Phú:
"Vị thế, hiệu quả và năng lực cạnh tranh của FAPAS trong hệ thống thử nghiệm thành thạo toàn cầu và tại Việt Nam". 38

4 **Đinh Văn Trữ**,
Hội Hợp tác các Phòng Thí nghiệm TP. Hồ Chí Minh - VINATEST:
"***Độ không đảm bảo đo trong quá trình thí nghiệm có lấy mẫu***". 44

Chương 2
ĐO LƯỜNG

1 **Võ Thanh Pho, Huỳnh Thị Thu Vân**,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"*Ảnh hưởng của nhiệt độ đến phép đo độ dài và đánh giá độ không đảm bảo đo theo ISO/TR 16015:2003*". 59

2 **Võ Quốc Khôi**,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"Từ nguyên mẫu chuẩn gốc kilogam quốc tế IPK đến hằng số Planck: Cuộc cách mạng giải phóng kilogam". 67

3 **Huỳnh Ngọc Liễu**,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"***Pipet pittông và kỹ thuật sử dụng***". 72

4 **Nguyễn Thanh Tùng và cộng sự**,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"*Giải pháp hiệu chuẩn tự động phương tiện đo: Xu hướng, thách thức và hiệu quả trong lĩnh vực đo lường điện*". 83

5 **Nguyễn Minh Mẫn và cộng sự**,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"*Hiện tượng phóng điện cục bộ và hiệu chuẩn hệ thống đo phóng điện cục bộ*". 89

6 **Phan Song Vũ; Lã Thị Thu Hằng,**
Công ty Cổ phần Điện tử D.G.S:
"Giải pháp bộ đếm thông minh cho đồng hồ nước trên nền tảng NB-IoT - Lộ trình chuyển đổi số ngành nước tại Việt Nam: Từ thử nghiệm đến thực tiễn tại SAWACO". 95

7 **Vũ Thị Hồng Nhung và cộng sự**,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"*Hiệu chuẩn thiết bị so màu và tủ so màu trong đánh giá chất lượng sản phẩm*". 101

8 **Nguyễn Lưu Vĩnh Khang**,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"Đo lường nồng độ các loại khí và các vấn đề liên quan". 107

Chương 3
CƠ - ĐIỆN

1 Trương Thanh Sơn,

Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:

"*Thử nghiệm siêu âm mối hàn đường ray tuyến metro số 1 TP. Hồ Chí Minh*". 119

2 Trần Thế Mạnh, Mai Hoàng Vân,

Công ty CP Dây cáp điện Việt Nam CADIVI:

"*Đánh giá tình trạng cách điện của cáp điện trung/cao thế thông qua thử nghiệm phóng điện cục bộ PD*". 124

3 Phạm Văn Út,

Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:

"Thử nghiệm độ dai phá hủy vật liệu CTOD". 131

4 Trần Ngọc Sâm,

Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:

"***Thử nghiệm xác định thay đổi chiều cao cột vữa trong quá trình đông kết của vữa không co ngót bằng thiết bị cảm biến dịch chuyển laser***". 139

5 Lương Trọng Sĩ và cộng sự,

Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:

"*Thử nghiệm tương thích điện từ tại Trung tâm Kỹ thuật 3*". 147

Chương 4
HÓA - SINH

1 **Trương Văn Thân và cộng sự**, Trung tâm Dịch vụ Phân tích Thí nghiệm và Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng TPHCM:
"*Ứng dụng kỹ thuật sắc ký lỏng ghép phổ khối LC-MS/MS kiểm tra và đánh giá Auramine O trong sầu riêng*". 157

2 **Nguyễn Hoàng Linh**, Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"Cơ sở và khả năng thử nghiệm vật liệu tiếp xúc với nước uống: Đề xuất hướng tiếp cận phù hợp áp dụng tại Việt Nam". 164

3 **Trần Thị Ánh Nguyệt**, Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"Phương pháp định lượng một số vi sinh vật trong các chế phẩm sinh học". 175

4 **Nguyễn Phan Chinh**, Chuyên gia đánh giá hệ thống chất lượng hóa học BoA:
"Kỹ thuật phân tích phổ khối tỉ lệ đồng vị ". 187

5 **Nguyễn Thành Danh**, Viện Công nghệ tiên tiến, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam:
"*Phân tích so màu di động, phục vụ số hóa dữ liệu phân tích*". 197

6 **Phan Thanh Long và cộng sự**, Trung tâm Dịch vụ Phân tích Thí nghiệm và Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng TPHCM:
"*Nghiên cứu tổng hợp vật liệu nanocomposite dựa trên nano vàng, hạt cầu carbon, graphene oxide ứng dụng để định lượng ascorbic acid và đánh giá hoạt tính kháng khuẩn*". 205

7 **Nguyễn Minh Châu,** Viện Thử nghiệm và Kiểm chuẩn Việt Nam:
"Phân tích khoáng sản bằng quang phổ huỳnh quang tia X-XRF". 215

8 **Tiêu Trọng Minh Luân**, Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"Nhựa phân hủy sinh học: Chính sách nhãn sinh thái Việt Nam và năng lực thử nghiệm tại Trung tâm Kỹ thuật 3". 219

9 **Nguyễn Hữu Tín và cộng sự**, Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"Thử nghiệm đường tổng trong thực phẩm đáp ứng yêu cầu của Thông tư 29/2023/TT-BYT". 232

10 **Vương Cẩm Tùng,** Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3:
"Xác định cereulide trong sữa và bột ăn dặm bằng kỹ thuật sắc ký lỏng ghép phổ khối hai lần". 241



Chương 1
NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

VAI TRÒ CỦA HOẠT ĐỘNG ĐO LƯỜNG TRONG NỀN KINH TẾ VỚI ĐỊNH HƯỚNG KHOA HỌC CÔNG NGHỆ, ĐỔI MỚI SÁNG TẠO VÀ CHUYỂN ĐỔI SỐ

Nguyễn Bảo Toàn[1],
Viện KH Phát triển Tài Năng Việt Nam
Email: baotoansg@gmail.com

Tóm tắt

Đo lường là một trong ba trụ cột chính của hệ thống cơ sở hạ tầng chất lượng (QIS) - một nền tảng thiết yếu của một nền kinh tế công nghiệp sáng tạo và phát triển. Đo lường bao gồm đo lường khoa học, đo lường pháp định và đo lường công nghiệp. QIS có sự tương quan đến tăng trưởng GDP và các yếu tố quan trọng khác của nền kinh tế như chuỗi cung ứng toàn cầu (GVCs); độ phức tạp (ECI) và sáng tạo của nền kinh tế (GII)… Việc xây dựng, hoàn thiện, nâng tầm lĩnh vực đo lường nói riêng và cơ sở hạ tầng chất lượng quốc gia (NQI) của Việt Nam có ý nghĩa quan trọng và quyết định đến chiều sâu, nội lực, năng lực cạnh tranh và sự bền vững hướng đến mục tiêu quốc gia có thu nhập cao (HIC) vào năm 2045.

Từ khoá

Đo lường, hệ thống cơ sở hạ tầng chất lượng (QIS), cơ sở hạ tầng chất lượng quốc gia (NQI), chỉ số cơ sở hạ tầng chất lượng toàn cầu (GQII), chuỗi cung ứng toàn cầu (GVC), hệ thống đổi mới sáng tạo quốc gia (NIS); chỉ số phức tạp kinh tế (ECI), chỉ số đổi mới sáng tạo toàn cầu (GII), mức thải ròng bằng 0 (Net Zero), cách mạng công nghiệp lần thứ 4 (4IR), khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo (STI), các mục tiêu phát triển bền vững (SDGs), công nghiệp, đổi mới và cơ sở hạ tầng (SDG9).

1 CƠ SỞ HẠ TẦNG CHẤT LƯỢNG (QI), CƠ SỞ HẠ TẦNG CHẤT LƯỢNG QUỐC GIA (NQI), CHỈ SỐ CƠ SỞ HẠ TẦNG CHẤT LƯỢNG TOÀN CẦU (GQII) CỦA VIỆT NAM; ĐO LƯỜNG VÀ TƯƠNG QUAN TRONG NQI[2].

1.1 Khái niệm về QI/NQI và chỉ số GQII của Việt Nam

Hạ tầng chất lượng QI*:* Hệ thống bao gồm các tổ chức (công và tư) cùng với các chính sách, khung pháp lý và thực hành cần thiết có liên quan để hỗ trợ và nâng cao chất lượng, sự an toàn và bảo vệ môi trường cho hàng hoá, dịch vụ và các quá trình.

[1] Thạc sĩ, Phó Viện trưởng Viện TDSV; Uỷ viên BCH Hội VINATEST, nguyên P. Giám đốc SMEDEC 2 – Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường, Bộ Khoa học & Công nghệ.

[2] Các chữ viết tắt: QI: Quality Infrastructure; NQI: National Quality Infrastructure; GQII: Global Quality Infrastructure Index; INQI: International Network on Quality Infrastructure.

QI cần thiết để đảm bảo hoạt động hiệu quả của thị trường trong nước và bằng sự công nhận quốc tế - yếu tố quan trọng để hàng hoá, dịch vụ tiếp cận thị trường nước ngoài. QI dựa trên năm thành phần: đo lường, tiêu chuẩn hoá, đánh giá sự phù hợp, công nhận và giám sát thị trường kết nối sâu sắc với nhau.[3]

Hạ tầng chất lượng quốc gia NQI: Bộ phận cấu thành của kết cấu hạ tầng kinh tế - xã hội, bao gồm các tổ chức hoạt động trong lĩnh vực tiêu chuẩn, đo lường, đánh giá sự phù hợp, công nhận và các chính sách, quy định có liên quan về tiêu chuẩn, đo lường, chất lượng, góp phần nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia, gắn với định hướng phát triển bền vững, chuyển đổi số.[4]

Chỉ số Cơ sở hạ tầng chất lượng toàn cầu (GQII)[5]**:** Chỉ số tổng hợp được xây dựng để đo lường mức độ phát triển và sẵn sàng của hệ thống QI tại các quốc gia. Chỉ số này đánh giá dựa trên các thành phần cốt lõi là *tiêu chuẩn hóa, đo lường và công nhận.* Đối với Việt Nam, GQII phản ánh tiến trình hội nhập và năng lực cạnh tranh của nền kinh tế trên thị trường quốc tế. Trong giai đoạn vừa qua (2020 – 2025), xếp hạng chỉ số GCII của Việt Nam ở mức trung bình khá và tiến bộ chậm; đặc biệt lĩnh vực đo đang lường sụt giảm (Bảng 1).

Bảng 1: Xếp hạng GQII của Việt Nam (2020 – 2025)

Năm	Xếp hạng	Tiêu chuẩn	Đo lường	Chứng nhận
2020	54/184	59	50	56
2021	51/184	55	50	54
2023	52/185	51	54	55
2025	49/185	63	65	23

Nguồn: Tổng hợp từ www.gqii.org

1.2 Một số lĩnh vực của đo lường

Đo lường là khoa học về đo lường và ứng dụng. Nó củng cố chất lượng của sản xuất hàng hoá và quá trình thông qua việc đo lường chính xác và đáng tin cậy. Đo lường đóng vai trò quan trọng trong việc áp dụng khoa học và đổi mới công nghệ, trong thiết kế và sản xuất các sản phẩm đáp ứng nhu cầu của thị trường; giúp phát hiện và ngăn ngừa những điều không phù hợp. Đo lường bao gồm đo lường khoa học; đo lường công nghiệp và đo lường pháp định.[6]

Đo lường khoa học và đo lường công nghiệp do *Viện Cân Đo quốc tế* (BIPM)[7] , đây là một trung tâm khoa học đo lường quốc tế. Đo lường pháp định là lĩnh vực mà *Tổ chức Đo lường Pháp định Quốc tế* (OIML)[8] quan tâm.

[3] Theo INQI.
[4] Theo Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật chất lượng sản phẩm, hàng hoá 2025/QH15.
[5] Ngoài GQII, hiện nay có Chỉ số Cơ sở hạ tầng chất lượng cho phát triển bền vững (QI4SD), do Tổ chức Phát triển Công nghiệp Liên Hiệp Quốc (UNIDO) và Mạng lưới quốc tế về cơ sở hạ tầng chất lượng (INetQI) phát triển. Tương lai, UNIDO, Mesopartner và PTB sẽ hợp tác xây dựng một chỉ số chất lượng (QI) tích hợp duy nhất.
[6] Theo INQI.
[7] BIPM: Bureau International des Poids et Measures /International Bureau of Weights and Measures.
[8] OIML: Organization Internationale de Métrologie Légale /International Organization of Legal Metrology.

Đo lường đảm bảo tính thống nhất và tin cậy của các kết quả đo, tạo ra một *ngôn ngữ kỹ thuật* chung cho nền kinh tế, xã hội, khoa học & kỹ thuật …toàn cầu.

1.3 Mối tương quan của đo lường trong QI/NQI

Đo lường chiếm vị trí nền tảng và lâu đời nhất trong hệ thống NQI. Sự tương quan giữa đo lường và các thành phần khác của NQI là mối quan hệ hữu cơ, không thể tách rời:

- ***Đối với Tiêu chuẩn hóa:*** Các tiêu chuẩn kỹ thuật thường quy định các thông số định lượng. Đo lường cung cấp các công cụ và phương pháp để xác định các thông số này một cách chính xác, làm cho các tiêu chuẩn trở nên có giá trị thực thi trong thực tế.

- ***Đối với Đánh giá sự phù hợp:*** Mọi hoạt động thử nghiệm và kiểm định đều dựa trên các phép đo. Đo lường đảm bảo rằng các thiết bị dùng trong phòng thí nghiệm được hiệu chuẩn và có tính liên kết chuẩn (*traceability*) tới các chuẩn quốc gia và quốc tế, từ đó đảm bảo kết quả đánh giá là tin cậy và có thể so sánh được.

- ***Đối với Công nhận:*** Hoạt động công nhận các phòng thử nghiệm và hiệu chuẩn (theo ISO/IEC 17025) yêu cầu sự tuân thủ nghiêm ngặt các quy tắc đo lường. Năng lực đo lường và hiệu chuẩn (CMCs)[9] được quốc tế thừa nhận là minh chứng cao nhất cho trình độ phát triển QI của một quốc gia.

Trong bối cảnh 4IR[10], chuyển đổi số diễn ra cả ba trụ cột của NQI là *mô hình đo lường 4.0; mô hình tiêu chuẩn hoá 4.0 và mô hình công nhận 4.0*. Trong đo lường quốc tế, CIPM *Strategy 2030⁺ của Uỷ ban Cân Đo quốc tế* (CIPM) đưa ra vào tháng 05/2025 là chiến lược nhằm hiện đại hóa hệ thống đo lường toàn cầu, tập trung vào các thách thức mới như kỹ thuật số, năng lượng xanh và y tế cho đến 2030 và tầm nhìn xa hơn.[11]

Đáng chú ý là định nghĩa lại các đơn vị cơ bản của *hệ thống đơn vị quốc tế (SI)*[12], số hoá SI (*Digital-SI*). Những lĩnh vực mới như đo lường lượng tử, đo lường cấp độ nano… Tự động hoá thử nghiệm và đo lường theo *thời gian thực* như đo lường trong dây chuyền, trên máy, đo lường không tiếp xúc, hiệu chuẩn không chạm, chứng chỉ hiệu chuẩn kỹ thuật số (DCC)[13]… Chuyển đổi số trong đo lường bao gồm chuyển đổi số trong đo lường khoa học, công nghiệp và pháp định, gồm: số hoá trình bày và sử dụng thông tin đo lường; chuyển đổi số trong QI; chuyển đổi số trong liên kết chuẩn; và đo lường số hoá và công nghệ số trong công nghiệp và khoa học.[14]

2 ĐO LƯỜNG VÀ NQI TRONG ĐIỀU KIỆN SỐ HOÁ, XANH HOÁ NỀN KINH TẾ VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

2.1 NQI và các mục tiêu phát triển bền vững (SDGs)

[9] CMCs: Calibration and Measurement Capabilities - Năng lực Đo và Hiệu chuẩn.
[10] 4IR: Fourth Industrial Revolution-Cách mạng công nghiệp lần thứ tư.
[11] CIPM Strategy 2030+ CIPM, May 2025. CIPM: International Committee for Weights and Measures.
[12] Système International d'Unités/ The International System of Units.
[13] Digital Calibration Certificate.
[14] Chuyển đổi số về đo lường trong hạ tầng chất lượng quốc gia. TS. Hà Minh Hiệp, NXB Chính trị QGST 2022.

NQI góp phần trực tiếp vào ba trụ cột chính của các mục tiêu phát triển bền vững (SDGs)[15] bao gồm: *Con người (People), Sự thịnh vượng (Prosperity) và Hành tinh (Planet).*[16]

2.2 NQI và SDG 9 (Công nghiệp, Đổi mới sáng tạo và Hạ tầng)

SDG 9[17] tập trung vào việc xây dựng hạ tầng kiên cố, thúc đẩy công nghiệp hóa bao trùm, bền vững và tăng cường đổi mới sáng tạo. NQI với ba trụ cột cốt lõi, là nhân tố quan trọng giúp các quốc gia đang phát triển như Việt Nam nâng cao năng lực sản xuất và tham gia sâu hơn vào chuỗi giá trị toàn cầu (GVC)[18].

Đổi mới sáng tạo không thể thành công nếu thiếu NQI hỗ trợ, vì các sản phẩm đổi mới cần được thử nghiệm và chứng nhận sự phù hợp trước khi đưa ra thị trường. *Đo lường* chính là công cụ giúp các doanh nghiệp *nói chung một ngôn ngữ kỹ thuật* toàn cầu, từ đó giảm thiểu rủi ro và tăng cường sự tin tưởng của người tiêu dùng đối với các công nghệ mới.

2.3 Quá trình phát triển và các mức độ trưởng thành của QI[19]

Mức độ trưởng thành QI có bốn cấp độ:

- ***Sơ khai (Rudimentary*)**: Khung pháp lý còn hạn chế, chính phủ đóng vai trò chính trong các hoạt động tiêu chuẩn/đo lường; dịch vụ thử nghiệm còn thấp.
- ***Cơ bản (Basic*)**: Hạ tầng cơ bản được thiết lập, dịch vụ chủ yếu vẫn do chính phủ dẫn dắt và phục vụ nhu cầu thương mại chính, lĩnh vực công nhận vẫn từ nước ngoài.
- ***Tiên tiến (Advanced*)**: Các tổ chức quốc gia được công nhận quốc tế, khu vực tư nhân trong thử nghiệm và chứng nhận được tăng cường, hệ thống được nối kết với các thực hành tốt nhất toàn cầu.
- ***Chín muồi (Mature*)**: Định hướng đổi mới sáng tạo, thị trường cạnh tranh hoàn hảo cho các dịch vụ QI, tích hợp sâu rộng vào GVCs và đóng vai trò dẫn đầu trong các hoạt động, diễn đàn quốc tế.

Mức độ trưởng thành QI không chỉ là một bảng xếp hạng kỹ thuật mà là một khung lý thuyết phản ánh sự *đồng tiến hóa (coevolution)* giữa *năng lực cung ứng dịch vụ và nhu cầu của nền kinh tế.* Sự trưởng thành này được chia thành bốn giai đoạn chính dựa trên các trụ cột: đo lường (pháp lý và khoa học), tiêu chuẩn, công nhận và đánh giá sự phù hợp (giám định, thử nghiệm, chứng nhận).

Quá trình phát triển QI thường đi qua ba giai đoạn chiến lược: *Nền tảng (Foundation) - Mở rộng (Expansion) - Đa dạng hóa (Diversification)*

---

[15] SDGs: Sustainable Development Goals-Các mục tiêu phát triển bền vững.

[16] Xem thêm: Rebooting Quality Infrastructure for a Sustainable Future. UNIDO 2020; Global Quality & Standards Programme (GQSP) Improving Trade, Changing Lives. UNDP 2023.

[17] SGG 9: Industry, Innovation and Infrastructure-Mục tiêu số 9 về Công nghiệp, Đổi mới và Hạ tầng.

[18] GVC: Global Value Chain.

[19] The Evolution of Quality Infrastructure: Experiences and Prospects of Advanced Economies and Developing Countries. Ulrich Harmes-Liedtke, Ann-Sara Ramkissoon, Christian Schoen, and Philip Grinsted. A background paper for the WDR 2025: Standards for Development.WBG 2025.

Chuyển dịch sở hữu: Ban đầu, chính phủ luôn đóng vai trò chủ đạo trong việc thiết lập các viện đo lường và tiêu chuẩn quốc gia. Nhưng khi hệ thống trưởng thành, các dịch vụ đánh giá sự phù hợp (thử nghiệm, chứng nhận) dần chuyển sang khu vực tư nhân hoặc các đơn vị hỗn hợp công-tư để đảm bảo tính hiệu quả và cạnh tranh.

Phát triển theo ngành: Các quốc gia thành công thường tập trung đầu tư QI vào các ngành ưu tiên. Ví dụ, Malaysia dẫn đầu về tiêu chuẩn Halal; Việt Nam tập trung vào điện tử và năng lượng tái tạo.

Tương quan với xuất khẩu và độ phức tạp kinh tế: Có sự tương quan thuận rất mạnh (0,88) giữa chỉ số GQII và kim ngạch xuất khẩu. Các nước có QI tiên tiến thường có nền kinh tế đa dạng và phức tạp hơn.[20]

2.4 Tái cấu trúc QIS, xây dựng Smart QI[21]

Để thích ứng với điều kiện kinh tế số và kinh tế xanh, hệ thống QIS cần được *tái cấu trúc và "khởi động lại" (Rebooting)* cách khác gọi là *hệ thống cơ sở hạ tầng chất lượng thông minh (Smart QI*)[22] để trở nên linh hoạt và hướng tới tương lai. Quá trình này đòi hỏi sự thay đổi không chỉ về năng lực kỹ thuật mà còn về tư duy và giá trị của các định chế QIS. *Hiện đại hóa khung pháp lý:* Rà soát và cập nhật các văn bản luật đã lỗi thời (thường là trên 5 - 10 năm) để tạo không gian cho các dịch vụ QIS dựa trên thị trường và sự tham gia của khu vực tư nhân.

Tái cấu trúc QIS thành công sẽ giúp vượt qua các rào cản kỹ thuật mới trong thương mại (như *Cơ chế điều chỉnh biên giới cacbon* - CBAM[23] của EU), thúc đẩy tăng trưởng xanh, kiểm soát rủi ro và khai thác giá trị từ các công nghệ mới như trí tuệ nhân tạo, hạ tầng số.[24]

3 CÁC YẾU TỐ ĐẶC TRƯNG CỦA KINH TẾ DỰA TRÊN KHCN & ĐMST

3.1 Đặc trưng và các cấp độ phát triển của nền kinh tế

Nền kinh tế dựa trên khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo (STI)[25] là một hệ thống mà trong đó tri thức được tạo ra, phổ biến và ứng dụng để thúc đẩy tăng trưởng năng suất và phát triển bền vững. Trong nền kinh tế này, đổi mới sáng tạo không chỉ giới hạn ở nghiên cứu và phát triển (R&D) mà còn bao gồm các khía cạnh xã hội, mô hình kinh doanh và kỹ thuật. Một đặc trưng quan trọng là sự chuyển dịch từ việc tích lũy các yếu tố đầu vào truyền thống (vốn vật chất, lao động thô) sang việc tối ưu hóa hiệu quả sử dụng nguồn lực thông qua năng suất các nhân tố tổng hợp (TFP)[26].

Dựa trên trình độ phát triển và mức thu nhập, mô hình tăng trưởng thường trải qua các giai đoạn chuyển đổi trọng tâm[27] từ *đầu tư* sang *tiếp thu* và cuối cùng là *đổi mới*. (Bảng 2).

---

[20] The Evolution of Quality Infrastructure. WBG 2025.
[21] Green Economy, Innovation and Quality Infrastructure PTB 2021.
[22] Smart Quality Infrastructure. Shaping a Subtainable Future UNIDO 2022.
[23] CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism.
[24] Rebooting Quality Infrastructure for a Sustainable Future. UNIDO 2020.
[25] STI: Science, Technology, and Innovation.
[26] TFP: Total Factor Productivity.
[27] The Middle-Income Trap WDR. WBG 2024.

Bảng 2: Các cấp độ phát triển kinh tế dựa trên vốn và đổi mới sáng tạo

Cấp độ nền kinh tế	Giai đoạn phát triển	Đặc trưng động lực tăng trưởng chính	Tương quan đóng góp của vốn và năng suất (TFP)
Thu nhập thấp	Đầu tư *(Investment)*	Tích lũy vốn vật chất (máy móc, hạ tầng) và sử dụng lao động thô.	Đóng góp từ vốn vật chất cao hơn khoảng 40 % so với TFP.
Thu nhập trung bình	Tiếp thu *(Infusion)*	Hấp thụ và áp dụng các công nghệ sẵn có từ các quốc gia phát triển hơn.	TFP bắt đầu đóng vai trò quan trọng hơn để bù đắp hiệu suất biên của vốn giảm dần.
Thu nhập cao	Đổi mới *(Innovation)*	Tự đổi mới, sáng tạo công nghệ mới và đẩy mạnh kinh tế tri thức.	Đóng góp của TFP hoàn toàn đảo ngược và vượt trội so với vốn vật chất.

Nguồn: The Middle-Income Trap WDR 2024 WBG (Khung 3i: Investment, Infusion, Innovation) và Việt Nam trỗi dậy - Con đường hướng tới tương lai thu nhập cao WBG 2025.

3.2 Lý do chuyển đổi sang nền kinh tế dựa STI

Mô hình tăng trưởng dựa vào đổi mới (Innovation – based models) phát triển từ lý thuyết tổ chức công nghiệp hiện đại và coi các doanh nghiệp là trung tâm của quá trình tăng trưởng.[28] Việc chuyển đổi mô hình tăng trưởng từ thâm dụng tài nguyên và lao động sang dựa trên STI là yêu cầu cấp thiết vì các lý do sau:[29]

- ***Sự suy giảm của các động lực tăng trưởng truyền thống:*** Tích lũy vốn đang chững lại do hiệu suất biên của vốn giảm dần theo thời gian,. Đồng thời, đóng góp của lao động vào tăng trưởng đang giảm mạnh do Việt Nam có tốc độ già hóa dân số nhanh nhất thế giới, làm thu hẹp quy mô dân số trong độ tuổi lao động.

- ***Bẫy thu nhập trung bình:*** Các quốc gia chỉ dựa vào tích lũy yếu tố đầu vào thường rơi vào tình trạng tăng trưởng trì trệ khi đạt mức thu nhập trung bình. Để vượt qua nấc thang này, cần phải nâng cao năng suất lao động vượt mức 6 %/năm, điều chỉ có thể thực hiện thông qua STI.

- ***Siêu xu thế toàn cầu:*** Sự bùng nổ của 4IR, AI và tự động hóa đang tái định hình dòng chảy thương mại quốc tế.

- ***Thách thức về môi trường và khí hậu:*** Các cam kết về phát thải ròng bằng không (Net Zero) và các rào cản thương mại xanh như CBAM đòi hỏi nền kinh tế phải xanh hóa dựa trên công nghệ sạch để duy trì năng lực cạnh tranh.

- ***Các bất ổn về địa–chính trị và chiến tranh, xung đột giữa các nước lớn gia tăng và khó lường***: gây đứt gãy chuỗi cung ứng, gián đoạn nguồn cung và thị trường. Các quốc gia

[28] Xem thêm: Mô hình tăng trưởng dựa vào KHCN & ĐMST. Trong chiến lược phát triển KT – XH Việt Nam giai đoạn 2021 – 2030. PGS. TS. Bùi Quang Tuấn, TS. Hà Huy Ngọc đồng chủ biên. NXB Chính trị QGST 2021.

[29] Tham khảo chính từ: Việt Nam trỗi dậy - Con đường hướng tới tương lai thu nhập cao WBG 2025; Việt Nam 2045 - Tăng trưởng xanh hơn. Con đường hướng tới tương lai bền vững. WBG 2025; Economic survey of Viet Nam OECD 2025; Cải thiện quy định kinh doanh để hỗ trợ tăng trưởng năng suất ở Việt Nam WBG 2024.

có thu nhập thấp và trung bình phải linh hoạt, tự chủ trong chiến lược và hành động. Phát triển đất nước dựa trên STI là một lựa chọn bắt buộc.

Tại Hội nghị TW2 khóa XIV vừa qua, khi nói về "mục tiêu tăng trưởng kinh tế "hai con số" Tổng bí thư Tô Lâm đã nhấn mạnh bốn nguyên tắc cốt lõi (tóm tắc): tăng trưởng thực chất; ổn định kinh tế vĩ mô; tận dụng mọi hiệu quả nguồn lực sẵn có; người dân phải được thụ hưởng thành tưu của tăng trưởng. Cần có Nghị quyết về mô hình phát triển đất nước trong giai đoạn mới dựa trên STI để Hội nghị TW3 khóa XIV xem xét, quyết định.

3.3 Mục tiêu chính & đặc trưng kinh tế Việt Nam đến 2030, định hướng 2045, 2050

Đại hội toàn quốc lần thứ XIV của Đảng và Quy hoạch tổng thể quốc gia đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050, lộ trình phát triển của Việt Nam được xác định với những mục tiêu và đặc trưng cụ thể:[30]

- ***Đến năm 2030*****:** Việt Nam trở thành nước đang phát triển có công nghiệp hiện đại, thu nhập trung bình cao. Tốc độ tăng trưởng GDP bình quân đạt từ 10 %/năm trở lên; GDP bình quân đầu người đạt khoảng 8.500 USD. Đặc trưng là kinh tế số chiếm 30 % GDP và TFP đóng góp trên 55 % vào tăng trưởng. Tập trung phát triển các ngành công nghiệp chiến lược như chip bán dẫn, AI, và năng lượng nguyên tử.

- ***Đến năm 2045*****:** Hiện thực hoá tầm nhìn trở thành nước phát triển có thu nhập cao (HIC)[31]. Nền kinh tế được dẫn dắt bởi đổi mới sáng tạo và lực lượng lao động kỹ năng cao. Hệ thống thể chế được hiện đại hóa hoàn toàn để hỗ trợ khu vực kinh tế tư nhân – động lực quan trọng nhất của nền kinh tế.

- ***Đến năm 2050*****:** Việt Nam đạt mức phát thải ròng bằng không (Net Zero). Không gian phát triển được tổ chức dựa trên các vùng động lực quốc gia và các hành lang kinh tế hiện đại. Nền kinh tế xanh, kinh tế tuần hoàn và kinh tế dữ liệu trở thành phương thức sản xuất chủ yếu.

4 VAI TRÒ CỦA NQI VỚI NỀN KINH TẾ DỰA TRÊN STI[32]

4.1 Khái quát

Trong nền kinh tế định hướng dựa trên STI, NQI đóng vai trò là *xương sống* cung cấp nền tảng tin cậy để tri thức được mã hóa, chuyển giao và thương mại hóa một cách hiệu quả.

NQI hỗ trợ đổi mới sáng tạo bằng cách cung cấp các *ngôn ngữ kỹ thuật* chung cho phép các sản phẩm mới tương thích với hệ thống toàn cầu. Hoạt động đánh giá sự phù hợp (thử nghiệm, chứng nhận) giúp doanh nghiệp giảm thiểu rủi ro khi đưa các công nghệ đột phá của 4IR như trí tuệ nhân tạo (AI), IoT và blockchain ra thị trường. Đặc biệt, trong bối cảnh các động lực tăng trưởng truyền thống như vốn và lao động thô đang giảm dần, NQI chính là công cụ để nâng cao TFP thông qua việc tối ưu hóa quy trình sản xuất và nâng cao chất lượng sản phẩm.

---

[30] Theo Nghị quyết Đại hội Đảng toàn quốc lần thứ XIV và Nghị quyết Quốc hội khoá XV số 252/2025/QH15 về Quy hoạch tổng thể quốc gia thời kỳ 2021 – 2030, tầm nhìn 2050.

[31] HIC: High Income Country.

[32] Tổng hợp từ các nguồn tài liệu tham khảo.

4.2 Tương quan giữa NQI với các chỉ số kinh tế và phát triển

- ***Tăng trưởng GDP*:** Các nghiên cứu thực nghiệm đã chứng minh mối tương quan tỷ lệ thuận mạnh mẽ giữa sự phát triển của NQI và hiệu suất kinh tế quốc gia. Tại các nền kinh tế phát triển như Anh, cải cách tiêu chuẩn và QI đóng góp tới **13 %** vào tăng trưởng năng suất lao động và gần **37,4 %** vào tăng trưởng GDP tổng thể. Các quốc gia có điểm số GQII cao đều có mức thu nhập và tiêu chuẩn sống vượt trội,.

- ***Xuất khẩu*:** NQI là *giấy thông hành* để hàng hóa gia nhập thị trường thế giới thông qua việc vượt qua các rào cản kỹ thuật trong thương mại (TBT)[33] và biện pháp vệ sinh dịch tễ (SPS)[34]. Dữ liệu cho thấy các quốc gia có NQI vững mạnh thường có kim ngạch xuất khẩu cao hơn, do khả năng minh chứng sản phẩm đáp ứng các tiêu chuẩn khắt khe của các thị trường khó tính như EU hay Hoa Kỳ. Peru đã tăng gấp 4 lần tổng kim ngạch xuất khẩu nông sản sau khi nâng cấp năng lực thử nghiệm và công nhận đạt chuẩn quốc tế.

- ***Nhập khẩu*:** NQI đóng vai trò là *màng lọc* quan trọng để kiểm soát chất lượng hàng hóa nhập khẩu, bảo vệ người tiêu dùng trong nước khỏi các sản phẩm không an toàn. Việc hài hòa hóa tiêu chuẩn quốc gia với tiêu chuẩn quốc tế giúp giảm chi phí tuân thủ cho các doanh nghiệp nhập khẩu nguyên liệu đầu vào, từ đó nâng cao năng suất cho các ngành sản xuất trong nước.

- ***Chuỗi giá trị toàn cầu* (GVCs):** Một hệ thống NQI được quốc tế thừa nhận là điều kiện tiên quyết để doanh nghiệp tham gia và nâng cấp vị thế trong GVCs. Việc tuân thủ các tiêu chuẩn chung giúp đảm bảo tính tương thích và khả năng đồng bộ của các linh kiện trong mạng lưới sản xuất xuyên quốc gia. Ngược lại, nếu thiếu năng lực đo lường và thử nghiệm đạt chuẩn, doanh nghiệp sẽ bị *mắc kẹt* ở các phân khúc giá trị gia tăng thấp hoặc bị loại bỏ khỏi chuỗi cung ứng của các tập đoàn đa quốc gia.

- ***Chỉ số Phức tạp Kinh tế* (ECI)[35]:** NQI thúc đẩy quá trình chuyển dịch cơ cấu kinh tế sang các ngành có hàm lượng KHCN cao và cấu trúc kỹ thuật phức tạp như bán dẫn và thiết bị y tế. Các tiêu chuẩn giúp mã hóa các đặc tính kỹ thuật tinh xảo, tạo lộ trình để doanh nghiệp tiếp thu công nghệ tiên tiến và sản xuất những sản phẩm có độ phức tạp cao, từ đó cải thiện thứ hạng ECI của quốc gia.

- ***Hệ thống đổi mới sáng tạo quốc gia* (NIS)[36]:** NQI là thành phần không thể tách rời của NIS, là hai thành phần then chốt, có mối quan hệ hữu cơ và hỗ trợ lẫn nhau trong việc thúc đẩy năng suất, năng lực cạnh tranh và phát triển bền vững của một quốc gia. Có một sự chồng chéo đáng kể giữa hai hệ thống này, trong đó các Viện đo lường, các Tổ chức tiêu chuẩn hóa và các Phòng thí nghiệm là những mắt xích thiết yếu của NIS.

Trong khi NIS tập trung vào việc *tạo ra, phổ biến và ứng dụng tri thức mới,* thì NQI cung cấp *điều kiện khung* (framework conditions) để các tri thức đó được hiện thực hóa và thương mại hóa thành công trên thị trường. NIS phát triển tạo ra nhu cầu cấp bách cho việc

[33] TBT: Technical Barriers to Trade.
[34] SPM: Sanitary and Phytosanitary Measure.
[35] ECI: Economic Complexity Index, tham khảo thêm: https://oec.world/en/rankings.
[36] NIS: National Innovation System.

nâng cấp NQI. Ví dụ, sự bùng nổ của các công nghệ 4.0 như AI, IoT[37] và bán dẫn đòi hỏi hệ thống đo lường phải chuyển đổi sang *đo lường số* và xây dựng các chuẩn đo có độ chính xác cực cao. Ngược lại, một hệ thống NQI vững mạnh (được quốc tế thừa nhận qua các thỏa thuận MRA)[38] là bệ phóng để sản phẩm đổi mới sáng tạo tham gia sâu vào GVCs.

Các dịch vụ của NQI cho phép các nhà đổi mới thử nghiệm và hiệu chỉnh các ý tưởng mới trước khi thương mại hóa, giúp giảm rủi ro thất bại và thu hút vốn đầu tư mạo hiểm.[39] Xu thế hiện nay, các quốc gia thường xây dựng các khu công nghệ cao hoặc các công viên STI. Cần gắn liền các khu này trong hệ sinh thái NIS. Đặc biệt chú ý đến các thành tố của NQI như tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế, các hoạt động thử nghiệm, hiệu chuẩn, chứng nhận… ngay từ đầu, vị trí ở trong các khu này trong thiết kế, xây dựng và vận hành hiệu quả.[40]

- ***Chỉ số Đổi mới sáng tạo toàn cầu* (GII)[41]:** Có tương quan mật thiết giữa sự sẵn sàng của QI (đặc biệt là đo lường và tiêu chuẩn hóa) với khả năng tạo ra các đầu ra tri thức và công nghệ trong GII. Ba trụ cột chính của NQI là chất xúc tác trực tiếp cho các thành phần của GII. Dữ liệu thực nghiệm cho thấy các quốc gia có thứ hạng cao về chỉ số NQI (GQII) thường sở hữu năng lực đổi mới sáng tạo (GII) vượt trội. Mối quan hệ này có hệ số tương quan thuận mạnh mẽ (xấp xỉ 0,7), minh chứng rằng một hệ thống NQI vững mạnh là điều kiện cần để thúc đẩy các hoạt động ĐMST thành công.

4.3 Vai trò quan trọng của sự tương quan giữa NQI với GII và ECI

Trong nền kinh tế dựa trên STI, NQI với hai chỉ số ECI và GII có mối quan hệ hỗ trợ lẫn nhau sâu sắc, trong đó NQI đóng vai trò là nền tảng kỹ thuật để một quốc gia nâng cao khả năng sản xuất và đa dạng hóa sang các sản phẩm có hàm lượng tri thức cao. NQI giúp gia tăng độ phức tạp của sản phẩm qua *mã hoá tri thức; hỗ trợ các ngành công nghệ cao*, ngoài ra còn *bệ đỡ cho các công nghệ mới* qua đo lường khoa học và công nghiệp.

NQI làm giảm rủi ro cho các hoạt động ĐMST qua các hoạt động *đánh giá sự phù hợp* (thử nghiệm, chứng nhận) cho phép các doanh nghiệp kiểm chứng và xác nhận độ an toàn, hiệu năng của các sản phẩm đổi mới trước khi ra mắt, giúp giảm thiểu rủi ro thất bại và tăng cường niềm tin của người tiêu dùng. NQI giúp các nước có thu nhập thấp bứt phá khỏi *bẫy thu nhập trung bình* và năng suất thấp. Ngoài ra, mức độ tham gia của các chuyên gia ở các nền kinh tế phát triển vào các *Ban Kỹ thuật* (ISO, IEC…) góp phần dịch chuyển từ *người thực thi* (*standard takers*) sang *người tạo lập* (*standard makers*). Các nước có chỉ số

[37] AI: Artificial Intelligence; IoT: Internet of Things.

[38] MRA: Mutual Recognition Agreements- Thỏa thuận thừa nhận lẫn nhau.

[39] Xem thêm: Pathways to National Innovation System APO 2023; The Innovation Paradox WB 2017; Standards and Innovation What does the research say? ISO 2022.

[40] Xem thêm: Policy and Institutional Frameworks for Science, Technology and Innovation Parks Proposed Guidelines for Developing Countries. © *2026*, United Nations Conference on Trade and Development. UN Trade & Development Geneva 2026.

[41] Chỉ số GII của Việt Nam có sự tiến bộ qua thời gian, năm 2025 xếp 44/139 nước và là nước đứng thứ hai (sau Ấn Độ xếp hạng 38) trong mức quốc gia có thu nhập trung bình thấp. Tham khảo thêm tại*:* https://www.wipo.int/en/web/global-innovation-index. Để đi sâu hơn mối tương quan này, xem thêm: Viet Nam National Export Roadmap Standards, Quality and Certification cross sector function 2022-2027 ITC; Global Quality & Standards Programme (GQSP) Improving Trade, Changing Lives. UNDP 2023; Standards for Development WDR WBG 2025.

ECI cao chuyển từ trạng thái chỉ áp dụng các tiêu chuẩn do nước khác xây dựng sang việc tham gia, dẫn dắt quá trình xây dựng các tiêu chuẩn quốc tế. Điều này giúp củng cố lợi thế cạnh tranh nội sinh và thúc đẩy nâng cấp công nghiệp.

Tóm lại, trong điều kiện số hóa và xanh hóa hiện nay, việc *khởi động lại*, hiện đại hóa NQI theo hướng *Smart QI*, từng bước nâng cao chỉ số GQII không chỉ yêu cầu kỹ thuật mà là *chiến lược kinh tế tất yếu* để các nước thu nhập trung bình thấp thúc đẩy thương mại, tham gia sâu vào GVCs, nền tảng để thực hiện thành công SDGs, vượt qua *bẫy thu nhập trung bình*.

5 HIỆN TRẠNG ĐO LƯỜNG VÀ NQI CỦA VIỆT NAM; CÁC BIẾN CHUYỂN TÍCH CỰC VỀ THỂ CHẾ, KHUNG PHÁP LÝ VÀ MỘT SỐ NHIỆM VỤ TRONG GIAI ĐOẠN 2026 - 2030

5.1 Khái quát hiện trạng đo lường và cơ sở hạ tầng chất lượng quốc gia Việt Nam

Hoạt động đo lường

Sau 15 năm thi hành *Luật Đo lường (2011)* và 7 năm thực hiện *Đề án 996*[42] tính đến 2025; lĩnh vực đo lường đã đạt được những kết quả quan trọng, từng bước trở thành *hạ tầng mềm* thiết yếu của nền kinh tế. Theo Uỷ ban TC ĐL CL Quốc gia[43], một số kết quả tiêu biểu:

- *Về hoàn thiện thể chế và chuẩn đo lường:* Hệ thống văn bản quy phạm pháp luật về đo lường hiện nay bao gồm 01 Luật, 06 Nghị định và 14 Thông tư, tạo khung pháp lý vững chắc cho các hoạt động kiểm soát.

- *Về hỗ trợ doanh nghiệp và đào tạo:* Chương trình đảm bảo đo lường đã hỗ trợ cho 45.596 doanh nghiệp, đạt khoảng 91,2 % mục tiêu đề ra. Đã cấp mã cho 117 chuyên gia tư vấn đảm bảo đo lường, có 105 tổ chức, doanh nghiệp công bố chương trình đảm bảo đo lường.

- *Về hạ tầng kỹ thuật và sản xuất:* Mạng lưới tổ chức dịch vụ đo lường phát triển mạnh với 601 tổ chức đăng ký và 399 đơn vị được chỉ định hoạt động.

Các hoạt động khác của cơ sở hạ tầng chất lượng quốc gia NQI

Cho đến nay với rất nhiều nỗ lực, NQI của Việt Nam đã từng bước trở thành nền tảng vững chắc giúp doanh nghiệp Việt Nam vượt qua các rào cản kỹ thuật trong thương mại quốc tế (TBT). Thương mại quốc tế đã trở thành động lực chính của nền kinh tế, tỷ lệ kim ngạch xuất nhập khẩu khoảng 200 % so với GDP, khiến *Việt Nam trở thành một trong những nền kinh tế mở nhất thế giới.*[44] NQI đã góp phần quan trọng nâng cao năng suất và khả năng cạnh tranh, dưới đây là một số kết quả chính nổi bật:

---

[42] Luật Đo lường số 04/2011/QH13 ngày 11/11/2011; Quyết định số 996/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ ngày 10/08/2018, nay gọi tắt là Đề án 996.

[43] Theo Hội nghị sơ kết "Đánh giá tình hình thực hiện Đề án tăng cường, đổi mới hoạt động đo lường để hỗ trợ doanh nghiệp Việt Nam nâng cao năng lực cạnh tranh và hội nhập quốc tế giai đoạn đến năm 2025, định hướng đến năm 2030" ngày 28/11/2025 tại Hà Nội và Hội thảo khoa học "Đánh giá, tổng kết thi hành Luật Đo lường và đề xuất sửa đổi một số điều của Luật Đo lường" ngày 19/01/2026 tại Ninh Bình của Uỷ ban TCĐLCL Quốc gia tổ chức.

[44] Việt Nam 2045 – Nâng cao vị thế thương mại trong một thế giới đang thay đổi. Con đường dẫn đến tương lai thu nhập cao cho Việt Nam" WB 2024.

- ***Về hoạt động xây dựng Tiêu chuẩn*** **(TCVN)**

Việt Nam hiện có khoảng 12.888 đến gần 14.000 TCVN còn hiệu lực, bao phủ hầu hết các lĩnh vực của đời sống kinh tế - xã hội . Tỷ lệ hài hòa với tiêu chuẩn quốc tế, khu vực đạt khoảng 47 % đến 60 % (tăng mạnh so với mức 40 % năm 2013). Lĩnh vực thực phẩm dẫn đầu với hơn 1.700 TCVN.

- ***Về hoạt động xây dựng Quy chuẩn*** **(QCVN)**

Tổng cộng có 804 QCVN còn hiệu lực do 13 Bộ quản lý. Về mặt tổ chức, đã thành lập 139 ban kỹ thuật (QCVN/TC) với hơn 1.100 chuyên gia tham gia xây dựng quy chuẩn.[45]

- ***Về hệ thống các phòng thí nghiệm*** **(PTN)**

Việt Nam có khoảng 1.500 PTN, tập trung phần lớn tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh. Trong đó, mạng lưới tổ chức thử nghiệm đạt 731 đơn vị. Đặc điểm nổi bật là có 92,1 % là PTN thực (có thiết bị vật chất), trong khi PTN ảo chỉ chiếm 2,1 % mà đa số trực thuộc các trường đại học, cao đẳng (44,9 %) và viện nghiên cứu.[46]

- ***Về hoạt động chứng nhận***

Có 179 tổ chức chứng nhận (hệ thống quản lý và sản phẩm) đang hoạt động. Đáng chú ý, xếp hạng GQII về thành phần chứng nhận của Việt Nam đạt bước tiến vượt bậc, xếp hạng 23/185 quốc gia vào năm 2025.

- ***Về hoạt động công nhận***

Văn phòng Công nhận Quốc gia (BoA) đã cấp chứng chỉ công nhận cho 1.326 PTN (VILAS), 72 tổ chức chứng nhận (VCAS) và 84 tổ chức giám định (VIAS)[47]. Văn phòng Công nhận năng lực Đánh giá sự phù hợp về tiêu chuẩn chất lượng (AOSC) sau gần 10 năm hoạt động đã công nhận ISO/IEC 17025 cho hơn 500 PTN. Việt Nam hiện có 02 tổ chức là BoA và AOSC đã ký thỏa ước thừa nhận lẫn nhau (ILAC/IAF MRA).[48] Trong lĩnh vực xét nghiệm y tế, đến cuối năm 2025, Việt Nam có 248 phòng xét nghiệm được công nhận theo ISO 15189[49].

Nhìn chung, theo đánh giá của WBG về mức độ trưởng thành của NQI, Việt Nam được xếp hạng tiên tiến *(Advanced* QI*)*[50], chỉ số GQII 2025, Việt Nam đứng thứ 49, một vị trí khá cao so với mức thu nhập của quốc gia (xem Bảng 1).

5.2 Những tồn tại, hạn chế

Trong lĩnh vực đo lường

[45] Đánh giá chất lượng và khuyến nghị XD TC & QCKT Việt Nam VCCI 2025.
[46] Xây dựng nền tảng chia sẻ phòng thí nghiệm tại Việt Nam. USAID & NIC 2023.
[47] VILAS: Vietnam Laboratory Accreditation Scheme; VICAS: Vietnam Certification Accreditation Scheme; VIAS: Vietnam Inspection Accreditation Scheme là các chương trình công nhận năng lực kỹ thuật và quản lý của BoA.
[48] www.gqii.org.
[49] www.boa.gov.vn.
[50] Ulrich Harmes-Liedtke, Ann-Sara Ramkissoon, Christian Schoen, and Philip Grinsted. The Evolution of Quality Infrastructure: Experiences and Prospects of Advanced Economies and Developing Countries. A background paper for the WDR 2025: Standards for Development. WBG 2025.

Bên cạnh các thành tựu, lĩnh vực đo lường Việt Nam đang bộc lộ những điểm không phù hợp so với yêu cầu của kỷ nguyên số và hội nhập kinh tế quốc tế đi vào chiều sâu: Luật Đo lường 2011 sau 15 năm thi hành đã bộc lộ những hạn chế như: thiếu cơ sở pháp lý cho các khái niệm mới như *đo lường số* (*Digital Metrology*) và *hạ tầng dữ liệu đo lường*. Chỉ số thành phần đo lường trong GQII 2025 vẫn còn thấp nhất trong ba chỉ số cơ bản của GQII. Năng lực đo lường & hiệu chuẩn (CMCs)[51] được quốc tế thừa nhận mới chỉ đạt 16 %. Chưa tạo được cơ sở dữ liệu đo lường dùng chung liên thông và số hoá. Doanh nghiệp chưa thực sự là trung tâm và coi đo lường là *chi phí tuân thủ* thay vì là *công cụ để nâng cao năng lực cạnh tranh*. Hạ tầng kỹ thuật và nhân lực ở lĩnh vực có chuyên môn cao cho hoạt động đo lường cho các ngành công nghệ cao (bán dẫn, AI…) còn yếu và thiếu.

Trong cơ sở hạ tầng chất lượng quốc gia NQI

NQI đang bộc lộ những khoảng trống so với yêu cầu phát triển mới. Vai trò của NQI trong cho đến nay vẫn chưa được minh định và chưa là điều kiện thiết yếu trong các quyết sách chiến lược kinh tế, công nghệ và đầu tư tương xứng của quốc gia. Đặc biệt chưa có sự kết nối giữa NQI và NIS cả về chủ trương, kỹ thuật và tổ chức. Chất lượng quy chuẩn chưa đồng đều, một số QCVN chưa thực sự hợp lý, minh bạch hoặc khả thi. Tình trạng chồng chéo giữa các Bộ vẫn tồn tại (ví dụ: một loại hàng hóa do hai Bộ cùng quản lý).

Việc áp dụng hệ thống đo lường, thử nghiệm tiên tiến còn chưa đồng đều giữa các ngành; thiếu đơn vị đủ năng lực thử nghiệm cho các công nghệ mới như mạng 5G. Nhiều tổ chức đánh giá sự phù hợp trong nước vẫn chưa được sự thừa nhận quốc tế, buộc doanh nghiệp phải gửi mẫu ra nước ngoài thử nghiệm với chi phí cao. Doanh nghiệp, đặc biệt là SMEs, vẫn coi tiêu chuẩn và chất lượng là *chi phí tuân thủ* thay vì là *đòn bẩy để nâng cao năng lực cạnh tranh*. Về tổng thể, có sự chênh lệch về năng lực đo lường và tiêu chuẩn hóa so với năng lực công nhận.

5.3 Những biến chuyển tích cực về thể chế và khung pháp lý

Đổi mới mô hình tăng trưởng đã được Trung ương quan tâm từ khá sớm, đặc biệt là từ năm 2016 với *Nghị quyết 05 khoá XII* trong bối cảnh mặc dù kinh tế vĩ mô có ổn định nhưng tốc độ tăng trưởng kinh tế có xu hướng chậm lại, chất lượng tăng trưởng thấp, phát triển kinh tế theo mô hình cũ, chậm đổi mới, dựa chủ yếu vào vốn đầu tư và số lượng lao động, năng suất lao động và năng suất các yếu tố tổng hợp TFP còn thấp.[52] *Nghị quyết Đại hội toàn quốc lần thứ XIII* đã khẳng định yêu cầu cấp thiết phải đổi mới mô hình tăng trưởng khi nền kinh tế vẫn đang đối mặt nhiều hạn chế về năng suất, chất lượng và sức cạnh tranh.

Chiến lược phát triển kinh tế - xã hội 2021 -2030 lần đầu tiên đặt ra mục tiêu tổng quát đến năm 2030, Việt Nam trở thành nước có thu nhập trung bình cao và năm 2045, trở thành nước phát triển, có thu nhập cao. Đánh giá sau 5 năm thực hiện chiến lược, mặc dù bị đại dịch COVID 19 nhưng cơ bản đã đạt được các chỉ tiêu quan trọng.[53]

[51] CMSs: Calibration and Measurement Capabilities.

[52] Nghị quyết 05-NQ/TW khoá XII, ngày 01/11/2016.

[53] Quy mô GDP từ 346,6 tỷ USD năm 2020, xếp thứ 37 trên thế giới tăng lên trên 514 tỷ USD năm 2025, gấp 1,48 lần so với năm 2020, xếp thứ 32 thế giới và thứ 4 trong khu vực ASEAN; GDP bình quân đầu người gấp 1,4 lần,

Bộ Chính trị đã ban hành *Nghị quyết số 57-NQ/TW* về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia. Nghị quyết nhấn mạnh "Thể chế, nhân lực, hạ tầng, dữ liệu và công nghệ chiến lược là những nội dung trọng tâm, cốt lõi, *trong đó thể chế là điều kiện tiên quyết, cần hoàn thiện và đi trước một bước*".[54]

Triển khai thực hiện tinh thần của Nghị quyết 57, một loạt các luật cơ bản về STI đã được Quốc hội khoá XV ban hành: *Luật Khoa học công nghệ & ĐMST (2025), Luật TC & QCKT (2025), Luật Chất lượng SPHH (2025)* và một loạt các Nghị định, Quyết định, Thông tư hướng dẫn thi hành đã ban hành ngay trong năm 2025 và đầu năm 2026.

Đầu năm 2026, Nghị quyết Đại hội Đảng lần thứ XIV và Chương trình hành động: khẳng định quyết tâm đưa Việt Nam bước vào *kỷ nguyên vươn mình của dân tộc*, lấy KHCN & ĐMST và CĐS làm động lực chính.

Các Luật trên và đặc biệt là *Quyết định 2542* của Thủ tướng Chính phủ về NQI[55] đã thể hiện bước chuyển căn bản trong tư duy hội nhập của Việt Nam: chuyển từ cách tiếp cận thụ động, tuân thủ, theo sau sang chủ động hội nhập bằng thể chế, lấy NQI làm công cụ nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia và đòn bẩy phát triển.

Xây dựng năng lực cạnh tranh của quốc gia từ gốc, làm nền tảng để Việt Nam từng bước chuyển từ vị thế thuần tuý tuân thủ tiêu chuẩn, quy chuẩn sang chủ động tham gia sâu hơn vào chuỗi giá trị khu vực và toàn cầu. Kết quả đạt được thời gian qua là rất nổ lực nhưng mục tiêu cụ thể về NQI của đất nước trong giai đoạn sắp tới với yêu cầu cao hơn của nền kinh tế dựa vào STI, cần xác định rõ tầm nhìn, mục tiêu và các bước đi chiến lược, cụ thể là phải chuyển đổi từ *hạ tầng chất lượng (QI)* mức độ *tiên tiến (advanced*) hiện nay (2025) sang *chín muồi (mature*); dịch chuyển từ việc *tuân thủ* các chuẩn mực quốc tế sang việc *dẫn dắt* và đổi mới sáng tạo.

5.4 Một số nhiệm vụ cần chú ý và triển khai trong giai đoạn 2026 – 2030

Tuy nhiên trên đây mới chỉ là cái khung, thể chế và thực thi đang bắt đầu tăng tốc và phải tiếp tục hoàn thiện. Giai đoạn 2026 – 2030, việc triển khai thực thi hiệu quả các luật mới, ban hành Luật bổ sung sửa đổi Luật Đo lường ((2011) và triển khai Quyết định số 2542/QĐ TTg sắp tới sẽ là yếu tố quyết định để góp phần hiện thực hóa mục tiêu hội nhập quốc tế bền vững, mở rộng không gian phát triển, nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia và chất lượng tăng trưởng của nền kinh tế theo tinh thần và các mục tiêu của Chương trình hành động thực hiện Nghị quyết Đại hội Đảng lần thứ XIV.

Đối với chủ đề của tham luận, việc chuyển đổi QI từ *tiên tiến* sang *chín muồi* của Việt Nam đòi hỏi không chỉ quyết tâm chính trị và đầu tư mà quan trọng nhất ở việc nhận thức, tổ chức phối hợp và thực thi; các thách thức chính (nhưng không phải tất cả) cần lưu ý gồm:

---

tăng từ 3.552 USD lên khoảng 5.026 USD. Phụ lục 4: Đánh giá 5 năm thực hiện chiến lược phát triển kinh tế-xã hội 10 năm 2021-2030.

[54] Nghị quyết 57-NQ/TW Bộ Chính trị khoá XIII ngày 22/12/2024.

[55] Quyết định số 2542/ QĐ-TTg ngày 20/11/2025.

- Các hoạt động QI chủ yếu từ cơ quan nhà nước lâu nay giờ phải chuyển sang thị trường cạnh tranh hoàn toàn cho các hoạt động thử nghiệm, chứng nhận và giám định. Điều này đòi hỏi chính phủ phải chuyển từ vai trò *người cung cấp* sang vai trò *người điều tiết.*

- Khi khu vực tư nhân tham gia vào cung cấp các dịch vụ QI rộng khắp, việc điều hành, phối hợp nhịp nhàng giữa các tổ chức QI công lập và tư nhân để phục vụ cho nền kinh tế hội nhập sâu rộng, tăng trưởng với tốc độ cao là một thách thức quản trị phức tạp.

- Ở tầm *chín muồi, NQI* đòi hỏi sự tích hợp của các công nghệ đột phá như số hóa, trí tuệ nhân tạo (AI), đo lường thông minh, phân tích dự báo… dựa trên dữ liệu thống nhất, ổn định, thông suốt và tự động hoá là thách thức về tài chính và nhân lực.

- Ở trình độ *chín muồi,* QI áp dụng các tiêu chuẩn và đánh giá sự phù hợp cho *lĩnh vực dịch vụ* chứ không chỉ là hàng hoá hữu hình. Đồng thời, hệ thống phải hỗ trợ được việc thực hiện *quy định thông minh* để cân bằng giữa đổi mới và an toàn.

- Không dừng lại ở việc được quốc tế công nhận hoặc hài hoà với tiêu chuẩn quốc tế như ở trình độ *tiên tiến* mà phải thách thức chính mình tạo ra và tham gia vào xây dựng các tiêu chuẩn kỹ thuật toàn cầu; thể hiện vai trò lãnh đạo trong các diễn đàn QI quốc tế.

- Một thách thức phi kỹ thuật khác ở mức độ *chín muồi* là tư duy văn hoá chất lượng không còn là ưu tiên chiến lược của doanh nghiệp mà chuyển sang tư duy chất lượng chủ động thấm sâu vào xã hội và nền kinh tế. Chất lượng không còn là bắt buộc mà là một giá trị văn hoá và thực hành cải tiến, sáng tạo không ngừng.

- Để đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững, phát thải carbon thấp (Net Zero), biến đổi khí hậu; các mô hình kinh tế mới như kinh tế tuần hoàn yêu cầu cao và mới về các tiêu chuẩn bảo vệ người tiêu dùng do đó đòi hỏi sự cải tiến, đổi mới không ngừng các phương pháp đánh giá.

Hoạt động đo lường

Tiếp tục hoàn thiện thể chế và chuyển đổi số, tập trung xây dựng Luật Đo lường (sửa đổi) để xác lập vai trò trung tâm của doanh nghiệp và tạo hành lang pháp lý cho đo lường số. Tiếp tục thực hiện *Đề án 996* trong điều kiện mới (*Quyết định số 996 QĐ-TTg)* đặc biệt tập trung hỗ trợ doanh nghiệp nâng cao năng lực cạnh tranh mạnh mẽ và hiệu quả hơn. Tiếp tục duy trì, bảo quản và sử dụng các chuẩn đo lường quốc gia đã được phê duyệt; triển khai *Kế hoạch phát triển chuẩn đo lường quốc gia đến năm 2030 (Quyết định số 1488/QĐ-TTg*). Thiết lập Cơ sở dữ liệu quốc gia về đo lường trên nền tảng số, ứng dụng AI và dữ liệu lớn để giám sát, cảnh báo vi phạm và hỗ trợ hệ sinh thái ĐMST. Thí điểm và triển khai Chứng chỉ Hiệu chuẩn Số (DCC) để thay thế hồ sơ giấy.

Đáp ứng các thách thức biến đổi khí hậu qua việc xây dựng hệ thống đo lường, báo cáo và thẩm định khí nhà kính để hỗ trợ lộ trình Net Zero và vượt qua các rào cản xanh như CBAM.

Ưu tiên phát triển các chuẩn đo lường độ chính xác cao phục vụ các ngành công nghiệp chiến lược như chip bán dẫn, sản xuất bồi đắp (in 3D), mạng 5G, công nghệ nano và công nghệ lượng tử. Đẩy mạnh đo lường phục vụ y tế, an toàn thực phẩm và phát triển năng

lượng sạch theo SDGs. Nâng cao năng lực cạnh tranh và hội nhập; đến năm 2030, đóng góp của TFP vào tăng trưởng phải đạt trên 55 %, đòi hỏi đo lường phải trở thành đòn bẩy trực tiếp cho năng suất.

Tăng cường tham gia hợp tác quốc tế, đặc biệt là các chương trình so sánh liên phòng quốc tế (CIPM-MRA) để tăng tính thừa nhận quốc tế của kết quả đo. Đào tạo đội ngũ chuyên gia chất lượng cao đạt chuẩn khu vực và quốc tế; đẩy mạnh xã hội hóa các dịch vụ đo lường, hiệu chuẩn.

***Cơ sở hạ tầng chất lượng* NQI**

Triển khai thực hiện Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật (2025) và Luật Chất lượng sản phẩm hàng hóa (2025). Ngoài mục tiêu về chỉ số GQII, cần chú trọng đến các biện pháp tổng thể để chuyển đổi các trụ cột của NQI Việt Nam từ *tiến tiến* sang *chín muồi* đã nêu phần trên. Đặc biệt phải gắn liền NQI với các chiến lược, đề án quốc gia về phát triển công nghệ nguồn, công nghệ chiến lược, sản phẩm xuất khẩu chủ lực, chủ động để tham gia GVCs qua khai thác các FTAs[56] thế hệ mới trong điều kiện địa - chính trị và các liên minh kinh tế - thương mại đang và sẽ hình thàn.h.

Thực hiện các nội dung quan trọng của Quyết định số 2542/QĐ-TTg về phê duyệt một số nhiệm vụ, giải pháp tăng cường hội nhập quốc tế trong lĩnh vực tiêu chuẩn, đo lường, chất lượng giai đoạn đến năm 2030. Tiếp tục triển khai các chương trình hỗ trợ doanh nghiệp nâng cao năng suất, chất lượng, nâng cao năng lực cạnh tranh chuyên sâu, bao phủ và gắn liền với chuyển đổi số. Thực hiện đồng bộ các giải pháp hiệu quả để nâng chỉ số GQII vào nhóm 45 quốc gia dẫn đầu thế giới vào năm 2030.

Thúc đẩy số hóa và ĐMST, thiết lập cơ sở dữ liệu quốc gia về 3 trụ cột chính của NQI trên nền tảng số, liên thông từ trung ương đến địa phương. Xây dựng tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật cho các ngành mũi nhọn chiến lược như chip bán dẫn, trí tuệ nhân tạo (AI), IoT, điện hạt nhân và robot. Xây dựng khung hướng dẫn về tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật phục vụ chuyển đổi xanh, kinh tế tuần hoàn và kiểm soát khí thải nhà kính. Hoàn thiện khung pháp lý để vận hành sàn giao dịch tín chỉ carbon nội địa và hệ thống giám sát môi trường thời gian thực. Phấn đấu tỷ lệ hài hòa TCVN với tiêu chuẩn quốc tế đạt (70-75) % vào năm 2030.

Tích cực tham gia các thỏa thuận thừa nhận lẫn nhau (CIPM-MRA, ILAC/IAF) để tối thiểu 80 % kết quả đánh giá sự phù hợp của Việt Nam được quốc tế thừa nhận. Triển khai mở rộng Đề án xây dựng nền tảng chia sẻ phòng thí nghiệm (Lab-sharing) để tối ưu hóa nguồn lực và hỗ trợ hệ sinh thái khởi nghiệp và ĐMST.

TP. Hồ Chí Minh, ngày 29/03/2026.

Liên lac: *Nguyễn Bảo Toàn, phone: 0913912919 email:baotoansg@gmail.com*

[56] Việt Nam tham gia các FTA đang theo chiều rộng chứ chưa sâu, xem thêm: "Việt Nam 2045-Nâng cao vị thế thương mại trong một thế giới đang thay đổi. Con đường dẫn đến tương lai thu nhập cao cho Việt Nam" WB 2024.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Anabling Quality Infrastructure for Competitiveness. WB 2018

[2] Annex to the QI Toolkit Martin Kellermann International Development in Practice. WB 2019

[3] Approach to QI reforms. WBG 2006

[4] Building Trust for Trade. UNIDO 2018

[5] Cải thiện quy định kinh doanh để hỗ trợ tăng trưởng năng suất ở Việt Nam. WBG 2024

[6] Chiến lược phát triển Khoa học Công nghệ & Đổi mới sáng tạo đến 2030 (Quyết định số 569/QĐ - TTg)

[7] Chương trình hành động kèm theo Nghị quyết Đại hội Đảng toàn quốc lần thứ XV

[8] Chuyển đổi số về đo lường trong hạ tầng chất lượng quốc gia. TS.Hà Minh Hiệp, NXB Chính trị Quốc gia Sự thật, 2022

[9] CIPM Strategy 2030+ CIPM, May 2025

[10] Dorina Nati – Smart QI. Shaping A Subtainable Future UNIDO. Presented 04/04/2024

[11] Driving Change in a Shifting Landscape. OECD STI Outlook 2025

[12] Đánh giá chất lượng và khuyến nghị XD TC & QCKT Việt Nam. VCCI 2025

[13] Đẩy mạnh Khởi nghiệp Đổi mới sáng tạo. Điểm lại tháng 4/2024. WBG 2024

[14] Economic Surveys: Viet nam 2025. OECD 2025

[15] Ensuring Quality to Gain Access to Global Markets A Reform Toolkit Martin Kellermann. WB 2019

[16] GMS Innovation Strategy for Development 2030. ADB 12/2025

[17] Global Quality & Standards Programme (GQSP) Improving Trade, Changing Lives. UNDP 2023

[18] Green Economy, Innovation and Quality Infrastructure. PTB 2019

[19] Hạ tầng chất lượng và năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp Việt để tham gia sâu vào chuỗi giá trị toàn cầu trong bối cảnh hiện nay. Nguyễn Bảo Toàn – Hội thảo "Ứng dụng chuyển đổi số trong đo lường" VINATEST 2025

[20] Huy động vốn từ cộng đồng để thúc đẩy đổi mới sáng tạo. USAID 2023

[21] Leveraging the Impact of Business Environment Reform: The Contribution of Quality Infrastructure Lessons from Practice Working Paper by Martin Kellermann and Daniel Paul Keller DCED June 2014 Last updated: May 2015

[22] Luật Khoa học Công nghệ & Đổi mới sáng tạo15, 2025

[23] Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Chất lượng sản phẩm, hàng hoá (QH15, 2025)

[24] Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật (QH15, 2025)

[25] Kế hoạch phát triển chuẩn đo lường quốc gia đến năm 2030 (Quyết định 1488/QĐ-TTg)

[26] Making Standards Work for Sustainable Development: UNIDO and ISO – a longstanding partnership. UNIDO & ISO 2022

[27] Mô hình tăng trưởng dựa vào Khoa học Công nghệ & Đổi mới sáng tạo. Trong chiến lược phát triển KT – XH Việt Nam giai đoạn 2021 – 2030. PGS. TS. Bùi Quang Tuấn, TS. Hà Huy Ngọc đồng chủ biên. NXB Chính trị Quốc gia Sự thật 2021

[28] Một số giải pháp, nhiệm vụ phát triển NQI đến 2030 (Quyết định số 2542/QĐ -TTg)

[29] Nghị quyết 05-NQ/TW khoá XII 2016

[30] Nghị quyết 57-NQ/TW khoá XIII 2024

[31] Nghị quyết Đại hội Đảng toàn quốc lần thứ XIV 2026

[32] Pathways to National Innovation System. APO 2023

[33] Phát triển hệ thống hạ tầng chất lượng (QI) góp phần nâng cao năng lực cạnh tranh và phát triển bền vững tỉnh Tây Ninh và Đông Nam Bộ đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Thạc sĩ Nguyễn Bảo Toàn - Hội thảo Khoa học. Ban Tuyên giáo-Sở KH & CN – Trường Chính trị tỉnh Tây Ninh 2024

[34] Policy and Institutional Frameworks for Science, Technology and Innovation Parks Proposed Guidelines for Developing Countries. United Nations Conference on Trade and Development. UN Trade & Development Geneva 2026

[35] Quy hoạch tổng thể quốc gia đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050

[36] Rebooting Quality Infrastructure for a Sustainable Future. UNIDO 2020

[37] Revisiting the NIS in LDCs. WB 2017

[38] Rewiring GVCs in a Changing Global Economy. WTO 2025

[39] Role of Quality Infrastructure in Economic Development. 26th Meeting of the General Conference on Weights and Measures, Andrei Mikhnev WBG Versailles, 13/2018

[40] Smart Quality Infrastructure. Shaping a Subtainable Future UNIDO 2022

[41] Standards and Innovation What does the research say? ISO 2022

[42] Standards for Development. WDR WBG 2025

[43] The Basics of Quality Infrastructure for Trade Geneva, 2023 © 2023 UN

[44] The Contribution of Quality Infrastructure Lessons from Practice Working Paper By Martin Kellermann and Daniel Paul Keller May 2015 (Links updated September 2021)

[45] The Global Forum on Productivity at 10 OECD 2025

[46] The Innovation Paradox WB 2017

[47] The Middle-Income Trap WDR. WBG 2024

[48] The National Quality Infrastructure by Christina Tippmann. WB 2013

[49] The Relevance of Quality Infrastructure to Promote Innovation Systems in Developing Countries. Ulrich Harmes-Liedtke. PTB 2010

[50] The Evolution of Quality Infrastructure: Experiences and Prospects of Advanced Economies and Developing Countries. Ulrich Harmes - Liedtke, Ann Sara Ramkissoon, Christian Schoen, and Philip Grinsted. A background paper for the WDR 2025: Standards for Development.WBG 2025

[51] Times of crisis, times of change... GSDR 2023

[52] Tầm nhìn chiến lược ngành - Luật Khoa học Công nghệ & Đổi mới sáng tạo. Deloitte 07/2025

[53] Tổng luận 05/2025 Smart QI - Cục TTTK Bộ KH&CN

[54] Viet Nam National Export Roadmap Standards, Quality and Certification cross sector function. ITC (2022 -2027)

[55] Việt Nam 2045 - Tăng trưởng xanh hơn. Con đường hướng tới tương lai bền vững. WB 07-2025

[56] Viet Nam: Invisible barriers to trade. Business perspectives. ITC Geneva 2023

[57] Việt Nam 1945 Đột phá thể chế cho một tương lai thu nhập cao. WB 07-2025

[58] Việt Nam 2045 Nâng cao vị thế thương mại trong một thế giới đang thay đổi. WB 2024

[59] Việt Nam trỗi dậy - Con đường hướng tới tương lai thu nhập cao. WB 2025

[60] Xây dựng nền tảng chia sẻ phòng thí nghiệm tại Việt Nam. USAID & NIC 2023

[61] https://oec.world/en/rankings

[62] https://www.wipo.int/en/web/global-innovation-index

[63] https://www.gqii.org

[64] https://lp.startupblink.com/innovators-business-environment-index

[65] www.boa.gov.vn

TỪ CẢNH BÁO AN TOÀN SẢN PHẨM ĐẾN YÊU CẦU NÂNG CAO NĂNG LỰC PHÂN TÍCH BA TÌNH HUỐNG CEREULIDE - CHÌ - LILIAL/TPO

Nguyễn Hồng Thảo, Vương Cẩm Tùng,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: thao.nh@quatest3.com.vn

Tóm tắt

Trong thời gian gần đây, thị trường ghi nhận nhiều vụ cảnh báo và thu hồi sản phẩm có liên quan trực tiếp đến sức khỏe người tiêu dùng. Có trường hợp xuất phát từ độc tố mới nổi, có trường hợp liên quan kim loại nặng, cũng có trường hợp do sản phẩm còn chứa chất đã bị cấm sử dụng. Báo cáo này lựa chọn ba ví dụ tiêu biểu để phân tích: độc tố cereulide trong sữa công thức và thực phẩm cho trẻ nhỏ; chì trong bột quế và nguy cơ thôi nhiễm từ dụng cụ nấu ăn; Butylphenyl Methylpropional (BMHCA, còn gọi là Lilial) – chất tạo mùi đã bị cấm trong mỹ phẩm tại châu Âu và Trimethylbenzoyl Diphenylphosphine Oxide (TPO) – chất khơi mào quang hóa thường gặp trong các sản phẩm làm móng dạng UV/gel, đã bị cấm trong mỹ phẩm tại EU từ ngày 01/09/2025. Mục tiêu của bài viết không phải trình bày quá sâu về mặt học thuật, mà tập trung làm rõ những vấn đề cốt lõi đối với công tác thử nghiệm: cần theo dõi cảnh báo thị trường như thế nào, nên ưu tiên chỉ tiêu nào, và phải chuẩn bị năng lực phân tích ra sao.

Từ ba trường hợp trên có thể thấy một điểm chung: cảnh báo thị trường không còn chỉ là thông tin để tham khảo, mà đã trở thành nguồn dữ liệu đầu vào quan trọng cho hoạt động thử nghiệm. Khi xuất hiện một cảnh báo mới, phòng thử nghiệm cần trả lời nhanh ba câu hỏi: chất nào cần kiểm nghiệm, nền mẫu nào có rủi ro, và giới hạn phát hiện nào đủ để hỗ trợ đánh giá chất lượng. Vì vậy, ngoài phần phân tích ba tình huống cụ thể, báo cáo còn bổ sung một mục riêng về các nguồn thông tin chính thức nên theo dõi thường xuyên và cách cập nhật nhanh để không bị chậm trước diễn biến mới của thị trường.

Từ khóa

Cereulide; infant formula; lead; cinnamon; cookware; migration; food contact materials; lilial; BMHCA; TPO; hydroquinone; mercury; glucocorticoids; skin whitening.

***Thông điệp chính**: Muốn phản ứng nhanh trước rủi ro mới, phòng thử nghiệm cần đồng thời duy trì năng lực phân tích phù hợp và theo dõi thường xuyên các nguồn cảnh báo chính thức.*

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong vài năm gần đây, số lượng cảnh báo và thu hồi sản phẩm có xu hướng tăng rõ rệt. Phạm vi sản phẩm bị cảnh báo cũng ngày càng rộng, từ thực phẩm, thực phẩm bảo vệ sức khỏe, mỹ phẩm, hàng tiêu dùng, vật liệu tiếp xúc thực phẩm cho đến dụng cụ nấu ăn. Mối nguy được nêu trong các cảnh báo cũng đa dạng hơn trước. Bên cạnh các chỉ tiêu quen thuộc như vi sinh và kim loại

nặng, ngày càng xuất hiện thêm các độc tố mới nổi, các chất cấm, hoặc các chất đang bị siết quản lý do lo ngại ảnh hưởng đến sức khỏe.

Báo cáo Safety Gate 2025 của Ủy ban châu Âu ghi nhận 4.671 cảnh báo và 5.794 hành động theo dõi. Trong đó, mỹ phẩm chiếm 36 % tổng số cảnh báo, rủi ro hóa học chiếm 53 %, và riêng ở nhóm mỹ phẩm thì phần lớn cảnh báo hóa học có liên quan đến lilial [1]. Những con số này cho thấy cảnh báo thị trường đã trở thành một dòng thông tin có giá trị thực tiễn cao đối với cơ quan quản lý, doanh nghiệp và cả phòng thử nghiệm (PTN).

Đối với người làm công tác thử nghiệm, giá trị lớn của các cảnh báo nằm ở chỗ chúng thường cung cấp những dữ kiện có thể chuyển hóa trực tiếp thành yêu cầu kỹ thuật: chất nào đang được chú ý, nền mẫu nào có nguy cơ, nhóm người dùng nào nhạy cảm, và quy định pháp lý đang thay đổi theo hướng nào. Nói cách khác, nếu đọc cảnh báo dưới góc nhìn kỹ thuật, PTN có thể sớm xác định điều gì cần ưu tiên: chuẩn bị chất chuẩn, hoàn thiện xử lý mẫu, hay xây dựng thêm phép thử mới.

Trong bài viết này, các trường hợp cereulide, chì và lilial/TPO được lựa chọn vì chúng đại diện cho ba dạng thách thức khác nhau. Cereulide là một độc tố mới nổi trong nền mẫu nhạy cảm. Chì là mối nguy đã được biết từ lâu nhưng vẫn tiếp tục tái xuất hiện trong thực phẩm và vật dụng hàng ngày. Lilial và TPO lại phản ánh tác động rất rõ của thay đổi pháp lý đến nhu cầu thử nghiệm trên thị trường. Từ ba ví dụ này, bài viết rút ra một số gợi ý thực tế cho PTN an toàn hóa chất.

2 BA TÌNH HUỐNG CẢNH BÁO TIÊU BIỂU

Bảng 1. Tóm tắt ba tình huống và ý nghĩa đối với công tác thử nghiệm

Tình huống	Mối nguy chính	Dữ kiện cảnh báo nổi bật	Ý nghĩa đối với thử nghiệm
Cereulide trong sữa công thức	Độc tố gây nôn do Bacillus cereus, bền nhiệt	EFSA thiết lập ARfD 0,014 µg/kg thể trọng cho trẻ sơ sinh; quy đổi theo sữa hoàn nguyên, mức trên 0,054 µg/L với sữa công thức cho trẻ sơ sinh đã có thể đáng lưu ý [2].	Cần chuẩn bị năng lực LC-MS/MS và kiểm soát tốt bước xử lý nền bột giàu protein, chất béo [2-5].
Chì trong bột quế và dụng cụ nấu ăn	Kim loại nặng độc tích lũy; có thể đến từ nguyên liệu hoặc từ vật liệu tiếp xúc thực phẩm	FDA đã khuyến nghị thu hồi 11 nhãn hiệu bột quế có chì 2,03 - 7,68 mg/kg; đồng thời cảnh báo các dụng cụ nấu ăn nhập khẩu có thể thôi nhiễm chì [6,7].	Cần năng lực ICP-MS cho thực phẩm và xem xét thêm phép thử thôi nhiễm đối với dụng cụ nấu ăn [7-9].
Lilial và TPO trong mỹ phẩm	Chất bị cấm hoặc bị siết quản lý theo pháp quy	Lilial bị cấm trong mỹ phẩm EU từ 01/3/2022; TPO bị cấm từ 01/9/2025. Cảnh báo thị trường cho thấy mỹ phẩm là nhóm có	Cần theo dõi sát thay đổi theo văn bản pháp quy và chủ động xây dựng danh mục chỉ tiêu thử nghiệm đối

Tình huống	Mối nguy chính	Dữ kiện cảnh báo nổi bật	Ý nghĩa đối với thử nghiệm
		tần suất cảnh báo cao [1,11-13].	với nhóm chất cấm trong mỹ phẩm [10-14].

2.1 Cereulide trong sữa công thức và thực phẩm trẻ nhỏ

Cereulide là độc tố gây nôn do *Bacillus cereus* sinh ra. Điểm đáng lưu ý là chất này bền nhiệt tương đối cao, nên việc gia nhiệt thông thường không bảo đảm loại bỏ được rủi ro. Vì vậy, các cảnh báo liên quan đến cereulide thường được xem là nghiêm trọng, đặc biệt khi sản phẩm liên quan đến trẻ sơ sinh và trẻ nhỏ.

Đánh giá nhanh năm 2026 của EFSA cho thấy trẻ sơ sinh là nhóm đặc biệt nhạy cảm với cereulide. EFSA thiết lập ARfD ở mức 0,014 µg/kg thể trọng và đồng thời đưa ra mức nồng độ quy đổi trong sữa pha lại để hỗ trợ đánh giá nguy cơ: nếu vượt khoảng 0,054 µg/L đối với sữa công thức cho trẻ sơ sinh và 0,1 µg/L đối với sữa công thức cho trẻ từ 6 đến 12 tháng tuổi thì đã có thể vượt ngưỡng an toàn cấp tính [2]. Ý nghĩa của thông tin này đối với PTN là rất rõ: không chỉ cần "đo được", mà còn phải bảo đảm giới hạn định lượng đủ thấp để phục vụ đánh giá rủi ro và hỗ trợ ra quyết định.

Xét từ góc độ kỹ thuật, cereulide là ví dụ điển hình cho thấy việc xử lý mẫu có vai trò không kém thiết bị phân tích. Nền sữa bột chứa nhiều protein, chất béo và các thành phần dễ gây nhiễu. EFSA cũng lưu ý rằng nếu quy trình chiết không phù hợp thì hiệu suất thu hồi có thể bị ảnh hưởng đáng kể; riêng với nền bột khô, bước hydrat hóa trước khi chiết là rất quan trọng [2]. ISO 18465:2017 và phương pháp BAM của FDA đều xem LC-MS/MS là nền tảng phù hợp cho chỉ tiêu này [4,5]. Điều đó cho thấy muốn triển khai cereulide hiệu quả thì không chỉ cần thiết bị, mà còn cần một quy trình xử lý mẫu được kiểm soát tốt.

Trường hợp cereulide cũng cho thấy một bài học đáng chú ý: các độc tố mới nổi có thể xuất hiện trên thị trường rất nhanh, trong khi PTN thường cần thêm thời gian để chuẩn bị phương pháp. Do đó, theo dõi sớm các cảnh báo từ EFSA, ECDC và FDA là cách tiếp cận cần thiết để chủ động xây dựng năng lực, thay vì chờ đến khi sự cố xảy ra trong nước mới bắt đầu phản ứng.

2.2 Chì trong bột quế và nguy cơ thôi nhiễm từ dụng cụ nấu ăn

Chì là mối nguy đã được ghi nhận từ lâu, song vẫn tiếp tục xuất hiện trở lại trong nhiều nhóm sản phẩm. Với bột quế, nguy cơ ô nhiễm có thể phát sinh từ nguyên liệu ban đầu hoặc trong quá trình pha trộn, chế biến. Ngược lại, ở nhóm dụng cụ nấu ăn, nguy cơ phơi nhiễm chủ yếu liên quan đến sự thôi nhiễm từ vật liệu tiếp xúc thực phẩm. Dù khác nhau về nguồn phát sinh, cả hai trường hợp đều cho thấy người tiêu dùng có thể bị phơi nhiễm chì trong sinh hoạt hằng ngày mà không dễ nhận biết.

FDA Hoa Kỳ đã công bố cảnh báo và khuyến nghị thu hồi 11 nhãn bột quế xay do phát hiện chì ở mức 2,03 mg/kg-7,68 mg/kg [6]. Cùng thời gian đó, FDA cũng cảnh báo về một số dụng cụ nấu ăn nhập khẩu có khả năng thôi nhiễm chì vào thực phẩm trong quá trình sử dụng [7]. Với nhóm mối nguy này, điều cần lưu ý là tác động không chỉ nằm ở một lần tiếp xúc đơn lẻ, mà còn ở khả

năng tích lũy theo thời gian, đặc biệt đối với trẻ nhỏ và phụ nữ mang thai.

Đối với PTN, trường hợp chì đặt ra ít nhất hai yêu cầu kỹ thuật. Thứ nhất là năng lực xác định chì trong thực phẩm hoặc gia vị, thường theo hướng tiêu hủy acid và đo bằng thiết bị ICP-MS [9]. Thứ hai là năng lực đánh giá thôi nhiễm đối với dụng cụ nấu ăn hoặc vật liệu tiếp xúc thực phẩm. Đây là điểm rất dễ bị bỏ sót. Nếu chỉ xác định hàm lượng chì trong vật liệu ban đầu mà không đánh giá phần thôi nhiễm, kết quả có thể chưa phản ánh đúng nguy cơ thực tế khi người tiêu dùng sử dụng sản phẩm.

Điểm rút ra ở đây là cùng một chỉ tiêu chì nhưng nền mẫu và cách tiếp cận phân tích không thể giống nhau. Với gia vị, trọng tâm nằm ở kiểm soát nhiễm bẩn và bảo đảm độ đúng ở mức vết. Với nhóm dụng cụ nấu ăn, trọng tâm chuyển sang kịch bản tiếp xúc, dung dịch mô phỏng và đánh giá mức thôi nhiễm. Đây là ví dụ điển hình cho thấy cảnh báo thị trường có thể kéo theo nhu cầu mở rộng năng lực thử nghiệm theo chiều ngang, chứ không chỉ làm tăng số lượng mẫu theo quy trình sẵn có.

2.3 Lilial và TPO trong mỹ phẩm

Lilial và TPO là hai chất từng được sử dụng trong mỹ phẩm với chức năng khác nhau. Lilial là một chất tạo hương tổng hợp, từng có mặt trong nhiều sản phẩm chăm sóc cá nhân nhờ mùi hương đặc trưng; chất này đã bị cấm trong mỹ phẩm tại EU từ ngày 01/03/2022. Trong khi đó, TPO là chất khơi mào quang hóa, thường gặp trong các sản phẩm làm móng dạng UV/gel; chất này đã bị cấm trong mỹ phẩm tại EU từ ngày 01/09/2025.

Nếu cereulide phản ánh câu chuyện của một độc tố mới nổi, còn chì cho thấy tính dai dẳng của một mối nguy cổ điển, thì lilial và TPO lại đại diện cho một dạng rủi ro khác: rủi ro phát sinh do thay đổi pháp quy. Khi quy định thay đổi, nhu cầu thử nghiệm và giám sát thị trường có thể tăng rất nhanh.

Theo Safety Gate 2025, mỹ phẩm là nhóm sản phẩm bị cảnh báo nhiều nhất trong hệ thống Safety Gate của châu Âu, đồng thời rủi ro hóa học cũng chiếm tỷ lệ rất cao [1]. Một phần lớn cảnh báo trong nhóm này liên quan đến lilial. Về mặt khoa học, SCCS đã kết luận chất này không thể được coi là an toàn trong mỹ phẩm [10]. Điều này cho thấy, trong lĩnh vực mỹ phẩm, biến động pháp lý thường gắn chặt với các bằng chứng đánh giá nguy cơ và có thể nhanh chóng chuyển thành nhu cầu kiểm soát trên thị trường.

Dữ liệu giám sát của EDQM/OCCL cũng cho thấy tình hình thị trường mỹ phẩm không chỉ dừng lại ở lilial hay TPO. Trong một số chương trình giám sát, cơ quan này vẫn phát hiện các chất không nên có như hydroquinone, mercury và glucocorticoids trong các sản phẩm làm trắng da [14]. Điều này đặc biệt đáng lưu ý đối với hoạt động thử nghiệm, bởi danh mục các chất cần quan tâm trong mỹ phẩm luôn biến động. Hôm nay trọng tâm có thể là lilial, nhưng trong giai đoạn tiếp theo có thể chuyển sang TPO hoặc các chất khác.

Từ góc độ PTN, mỹ phẩm không nên được tiếp cận theo hướng xử lý từng chất một cách rời rạc. Cách tiếp cận phù hợp hơn là theo dõi đồng thời cảnh báo thị trường và cập nhật pháp lý, từ đó chủ động xây dựng danh mục chỉ tiêu thử nghiệm đối với các nhóm chất cấm hoặc nhóm chất có nguy cơ cao. Tùy thuộc bản chất hóa học của từng chất, có thể lựa chọn kỹ thuật phù hợp như GC-MS, LC-MS/MS hoặc ICP-MS. Tuy nhiên, yếu tố quyết định vẫn là tốc độ cập nhật thông tin, vì chỉ cần chậm một bước, năng lực thử nghiệm rất dễ mất tính thời sự.

3 ĐIỀU RÚT RA CHO PTN

Ba trường hợp trên cho thấy một xu hướng khá rõ là PTN không thể chỉ vận hành theo một danh mục chỉ tiêu cố định rồi chờ mẫu gửi đến. Trong bối cảnh các cảnh báo xuất hiện nhanh và đa dạng, năng lực thử nghiệm cần được tổ chức theo hướng chủ động hơn, bám sát tín hiệu từ thị trường và từ cơ quan quản lý.

Điều quan trọng đầu tiên là phải đọc cảnh báo dưới góc nhìn kỹ thuật. Khi xuất hiện một thông tin thu hồi hoặc cảnh báo, câu hỏi không nên dừng ở việc "*sản phẩm nào đang có vấn đề*", mà cần phải tiếp cận đến các nội dung cụ thể hơn: chất nào liên quan, nền mẫu nào liên quan, giới hạn cần quan tâm nằm ở mức nào, và rủi ro đó gắn với yêu cầu pháp lý hay yêu cầu đánh giá nguy cơ. Chỉ khi trả lời được các câu hỏi này, PTN mới có thể ***chuyển một bản tin cảnh báo thành kế hoạch hành động chuyên môn***.

Điều quan trọng thứ hai là cần tổ chức năng lực theo nền tảng kỹ thuật. Nhìn từ ba ví dụ trong báo cáo này có thể thấy LC-MS/MS, GC-MS/MS, ICP-MS và các phép thử thôi nhiễm không nên được xem là những mảng rời rạc. Ngược lại, đây là các nền tảng cốt lõi giúp PTN phản ứng trước nhiều loại cảnh báo khác nhau. Khi đã có nền tảng phù hợp, việc mở rộng sang một chỉ tiêu mới sẽ thực tế hơn nhiều.

Điều quan trọng thứ ba là không xem nhẹ bước xử lý mẫu. Trong thực tế, nhiều phép thử gặp khó khăn không phải vì thiết bị không đủ khả năng, mà vì nền mẫu phức tạp, hiệu suất thu hồi không ổn định hoặc kiểm soát nhiễm bẩn chưa tốt. Đây là lý do việc đầu tư vào quy trình xử lý mẫu, mẫu trắng, chuẩn nội và đánh giá độ phù hợp của phương pháp luôn cần được đặt song song với đầu tư thiết bị.

4 CÁC NGUỒN CẢNH BÁO NÊN THEO DÕI THƯỜNG XUYÊN

Một câu hỏi rất thực tế là: muốn phản ứng nhanh thì nên theo dõi thông tin ở đâu. Đối với mảng thử nghiệm an toàn hóa chất, không nên chỉ đọc tin tổng hợp trên báo chí. Cách làm hiệu quả hơn là theo dõi trực tiếp các nguồn chính thức, nơi cơ quan quản lý hoặc tổ chức chuyên môn công bố cảnh báo, quyết định thu hồi, đánh giá rủi ro và thay đổi pháp quy. Mỗi nguồn sẽ có thế mạnh riêng, tùy theo loại sản phẩm và mục đích theo dõi.

Bảng 2. Một số nguồn chính thức nên theo dõi và cách theo dõi nhanh

Nguồn	Phạm vi thông tin	Khi nào nên theo dõi
Cục An toàn thực phẩm (VFA)/ Bộ Y tế	Cảnh báo ATTP, thu hồi thực phẩm, thực phẩm bảo vệ sức khỏe [15]	Khi làm mảng thực phẩm, TPCN, đồ uống, sản phẩm cho trẻ nhỏ
Cục Quản lý Dược / Bộ Y tế	Cảnh báo và thu hồi mỹ phẩm, thuốc; thông báo đình chỉ lưu hành [16, 17]	Khi làm mỹ phẩm, dược phẩm, nguyên liệu liên quan
Safety Gate (EU)	Cảnh báo nhanh đối với sản phẩm không phải thực phẩm: mỹ phẩm, đồ chơi, điện gia dụng, hàng tiêu dùng [1, 18]	Khi cần theo dõi xu hướng rủi ro hóa chất trong mỹ phẩm và hàng tiêu dùng

Nguồn	Phạm vi thông tin	Khi nào nên theo dõi
RASFF (EU)	Cảnh báo nhanh đối với thực phẩm, thức ăn chăn nuôi và cả vật liệu tiếp xúc thực phẩm [19]	Khi theo dõi thực phẩm, nguyên liệu, FCM
FDA (Hoa Kỳ)	Recalls, safety alerts, public health alerts đối với sản phẩm do FDA quản lý [5-7,20]	Khi cần nhìn nhanh các vụ việc lớn về thực phẩm, mỹ phẩm, dụng cụ nấu ăn.
Health Canada / Recalls and Safety Alerts (Canada)	Cảnh báo và thu hồi đối với health products, consumer products [21]; cổng tra cứu tập trung recall/alert của Canada, có email và RSS.	Khi quan tâm thị trường Canada hoặc muốn theo dõi nhanh cảnh báo về mỹ phẩm, sản phẩm sức khỏe và hàng tiêu dùng.
CPSC (Hoa Kỳ)	Thu hồi hàng tiêu dùng, có app và email recall [24]	Khi quan tâm hàng tiêu dùng ngoài thực phẩm
OPSS /FSA (Anh)	OPSS theo dõi hàng tiêu dùng; FSA theo dõi thực phẩm, dị ứng [22, 23]	Khi làm hàng tiêu dùng hoặc thực phẩm xuất sang/nhập từ Anh
ACCC Product Safety (Úc)	Cảnh báo và thu hồi hàng tiêu dùng; có mục chemicals và cosmetics [25]	Khi quan tâm thị trường Úc hoặc xu hướng chất cấm của hàng tiêu dùng
EFSA (EU)	Đánh giá nguy cơ khoa học đối với thực phẩm, phụ gia, chất ô nhiễm và các mối nguy liên quan [2, 3]	Khi cần hiểu sâu bản chất rủi ro và căn cứ khoa học phục vụ đánh giá
EUR-Lex / CosIng (EU)	EUR-Lex: tra cứu văn bản pháp lý [27] / CosIng: tra cứu thông tin thành phần mỹ phẩm [26]	Khi cần theo dõi thay đổi pháp quy, thời điểm có hiệu lực, hoặc tra cứu thông tin thành phần mỹ phẩm

Nếu chỉ chọn một số nguồn để theo dõi thường xuyên, có thể chia theo nhóm công việc như sau. Với thực phẩm, thực phẩm bảo vệ sức khỏe và sản phẩm dinh dưỡng/công thức cho trẻ nhỏ, nên ưu tiên Cục An toàn thực phẩm, RASFF, FDA và EFSA. Với mỹ phẩm, nên ưu tiên Cục Quản lý Dược, Safety Gate, Health Canada và, khi cần theo dõi thị trường Mỹ, thêm FDA. Với hàng tiêu dùng nói chung, nên ưu tiên Safety Gate, CPSC, OPSS, Health Canada và ACCC Product Safety. Khi cần theo dõi sự thay đổi về quy định, thời điểm áp dụng và cơ sở khoa học của một chất cụ thể, nên xem thêm EUR-Lex, CosIng, SCCS hoặc các tài liệu đánh giá rủi ro từ EFSA.

5 LÀM SAO CẬP NHẬT THÔNG TIN CẢNH BÁO NHANH NHẤT

Có nguồn thông tin là điều kiện cần, nhưng chưa đủ. Muốn cập nhật nhanh, PTN cần tổ chức cách theo dõi sao cho tín hiệu mới được tiếp nhận sớm mà vẫn giữ được độ tin cậy. Nói cách khác, vấn đề không chỉ là "theo dõi ở đâu", mà còn là "theo dõi như thế nào".

Trước hết, nên sử dụng một hộp thư riêng hoặc một hộp thư chung cho nhóm phụ trách cảnh báo. Khi dùng email này để đăng ký nhận tin từ các cổng chính thức như FDA, Health Canada, ACCC, EFSA hoặc các cơ quan trong nước, việc tổng hợp và tra cứu lại sẽ thuận tiện hơn. Đồng thời, nên thiết lập quy ước rà soát định kỳ, ví dụ mỗi

sáng kiểm tra email cảnh báo và mỗi tuần tổng hợp ngắn những nội dung đáng chú ý.

Bên cạnh đó, nên chuẩn bị sẵn một bộ từ khóa theo nhóm nguy cơ mà PTN quan tâm, chẳng hạn: cereulide, lead, mercury, lilial, BMHCA, TPO, hydroquinone, migration, infant formula, food contact materials, skin whitening. Khi tra cứu trên Safety Gate, RASFF, FDA hay website của các cơ quan quản lý, bộ từ khóa này sẽ giúp sàng lọc thông tin nhanh hơn và bám sát lĩnh vực chuyên môn.

Một điểm khác cũng rất quan trọng là phải phân biệt rõ giữa nguồn tin và nguồn xác nhận. Tin trên báo chí hoặc mạng xã hội có thể giúp phát hiện sớm một vấn đề, nhưng không nên dùng làm căn cứ chuyên môn. Khi cần đánh giá hoặc phổ biến lại trong nội bộ, luôn nên truy về nguồn gốc chính thức: thông báo của cơ quan quản lý, hệ thống cảnh báo chính thức, văn bản pháp quy hoặc báo cáo đánh giá rủi ro. Việc này giúp tránh lan truyền thông tin chưa kiểm chứng.

6 GỢI Ý ÁP DỤNG CHO PTN AN TOÀN HÓA CHẤT

Từ góc nhìn thực tế, không phải PTN nào cũng có thể triển khai ngay mọi chỉ tiêu mới xuất hiện trên thị trường. Vì vậy, hướng đi phù hợp là ưu tiên theo mức độ rủi ro và khả năng áp dụng. Trước mắt, có thể tập trung vào những nhóm chất vừa xuất hiện nhiều trong cảnh báo, vừa có khả năng ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe người tiêu dùng, đồng thời phù hợp với nền tảng thiết bị hiện có.

Song song với đó, cần xem lại cách đầu tư nguồn lực. Thay vì chờ có yêu cầu cụ thể rồi mới mua chuẩn hoặc xây dựng SOP từ đầu, PTN có thể chủ động chuẩn bị theo hướng "dự phòng hợp lý": lưu sẵn danh mục chất ưu tiên, xác định trước nguồn mua chất chuẩn, rà soát nền mẫu có nguy cơ cao và xây dựng khung phương pháp để khi cần có thể triển khai nhanh hơn.

Cuối cùng, nên xem hoạt động theo dõi cảnh báo như một phần của công việc chuyên môn thường xuyên, chứ không phải việc phát sinh khi có sự cố. Khi việc theo dõi được đưa vào nếp, PTN sẽ không chỉ phản ứng nhanh hơn mà còn có cơ sở tốt hơn để định hướng phát triển năng lực, tư vấn cho khách hàng và chuẩn bị trước cho các thay đổi của thị trường.

7 KẾT LUẬN

Ba trường hợp cereulide, chì và lilial/TPO cho thấy cảnh báo thị trường hiện nay có giá trị rất lớn đối với công tác thử nghiệm an toàn hóa chất. Đây không còn chỉ là thông tin bên lề, mà là tín hiệu thực tế giúp PTN nhận diện sớm mối nguy, xác định ưu tiên kỹ thuật và chuẩn bị năng lực phù hợp.

Điểm cốt lõi của báo cáo này có thể tóm gọn như sau: theo dõi cảnh báo không chỉ để biết thông tin, mà để biến thông tin đó thành hành động chuyên môn. Khi PTN theo dõi đúng nguồn, đọc cảnh báo dưới góc nhìn kỹ thuật và chuẩn bị sẵn nền tảng phân tích phù hợp, thì khả năng phản ứng trước các rủi ro mới sẽ nhanh hơn, chính xác hơn và có giá trị thực tiễn cao hơn.

Từ các phân tích trên, việc thiết lập cơ chế theo dõi – sàng lọc – phản ứng sớm với các cảnh báo an toàn sản phẩm là một yêu cầu thực tiễn đối với PTN trong bối cảnh rủi ro thị trường ngày càng đa dạng và biến động nhanh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] European Commission / Safety Gate. Safety Gate 2025. 2026.

[2] European Food Safety Authority (EFSA), et al. Rapid risk assessment on acute reference dose (ARfD) of cereulide in infants and information on acute consumption of infant formulae. EFSA J. 2026;24(2):e9941. doi:10.2903/j.efsa.2026.9941.

[3] EFSA; ECDC. Multi-country foodborne event caused by cereulide in infant formula products. EFSA Journal. 2026;24(3):e9984. doi:10.2903/j.efsa.2026.9984.

[4] ISO 18465:2017. Microbiology of the food chain - Quantitative determination of emetic toxin (cereulide) using LC-MS/MS.

[5] FDA. Bacteriological Analytical Manual (BAM): Quantitative Analysis for Cereulide in Food Products. 2024.

[6] FDA. More Ground Cinnamon Products Added to FDA Public Health Alert Due to Presence of Elevated Levels of Lead. 2025.

[7] FDA Issues Warning About Imported Cookware That May Leach Lead. 2025.

[8] Fellows KM, Samy S, Whittaker SG. Evaluating metal cookware as a source of lead exposure. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology. 2025;35(3):342-350.

[9] FDA. Elemental Analysis Manual (EAM), Section 4.7 - ICP-MS Method. 2020.

[10] SCCS. Opinion on the safety of Butylphenyl methylpropional (p-BMHCA) in cosmetic products - Submission II. SCCS/1591/17. 2019.

[11] European Commission. Commission Regulation (EU) 2021/1902 of 29 October 2021. Applies from 1 March 2022.

[12] European Commission. TPO in Nail Products – Questions & Answers. 7 August 2025.

[13] European Commission. Commission Regulation (EU) 2025/877 of 12 May 2025.

[14] EDQM/OCCL. Market Surveillance Study on Skin Whitening Products - Executive Summary Report. 2024.

[15] Cục An toàn thực phẩm. Website chính thức và mục cảnh báo an toàn thực phẩm.

[16] Cục Quản lý Dược. Mục cảnh báo và thu hồi mỹ phẩm, thuốc.

[17] Bộ Y tế Việt Nam. Các thông báo đình chỉ lưu hành, thu hồi sản phẩm liên quan mỹ phẩm và thiết bị y tế.

[18] European Commission. Safety Gate – The EU Rapid Alert System for Dangerous Non-Food Products. 2026.

[19] European Commission. Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF). 2026.

[20] U.S. Food and Drug Administration (FDA). Recalls, Market Withdrawals, & Safety Alerts.

[21] Health Canada. Find recalls, advisories and safety alerts.

[22] Office for Product Safety and Standards (OPSS). Product Recalls and Alerts.

[23] Food Standards Agency (FSA). Subscribe to news and alerts.

[24] U.S. Consumer Product Safety Commission (CPSC). Recalls & Product Safety Warnings.

[25] ACCC Product Safety. Product safety news / Subscribe to RSS feeds.

[26] European Commission. Cosmetic ingredient database (CosIng).

[27] EUR-Lex. Access to European Union law.

PHỤ LỤC. MỘT SỐ ĐỊA CHỈ WEB NÊN LƯU SẴN

(*Danh sách dưới đây không thay thế phần tài liệu tham khảo*)

Nguồn/website	Địa chỉ nên lưu
Cục An toàn thực phẩm (VFA)	https://vfa.gov.vn/
Cục Quản lý Dược (DAV)	https://dav.gov.vn/canh-bao-va-thu-hoi-cn81.html
Bộ Y tế Việt Nam	https://moh.gov.vn/
Safety Gate	https://ec.europa.eu/safety-gate-alerts/
RASFF	https://food.ec.europa.eu/food-safety/rasff_en
FDA recalls/alerts	https://www.fda.gov/safety/recalls-market-withdrawals-safety-alerts
CPSC recalls	https://www.cpsc.gov/Recalls
Health Canada recalls	https://recalls-rappels.canada.ca/en
OPSS (UK)	https://www.gov.uk/product-safety-alerts-reports-recalls
FSA (UK)	https://www.food.gov.uk/news-alerts
ACCC Product Safety	https://www.productsafety.gov.au/

VỊ THẾ, HIỆU QUẢ VÀ NĂNG LỰC CẠNH TRANH CỦA FAPAS TRONG HỆ THỐNG THỬ NGHIỆM THÀNH THẠO TOÀN CẦU VÀ TẠI VIỆT NAM

Lê Hoàng Dũng,
Cty TNHH Thiết bị Khoa học Nghi Phú
Email: info@nghiphu.com

Tóm tắt

Các chương trình thử nghiệm thành thạo (Proficiency Testing – PT) đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo chất lượng và độ tin cậy của các phòng thử nghiệm. Trong số các tổ chức cung cấp PT hàng đầu thế giới, công ty Fera Science Ltd thông qua hệ thống FAPAS đã xây dựng được uy tín toàn cầu trong lĩnh vực kiểm nghiệm thực phẩm, môi trường và nông nghiệp.

Báo cáo này chỉ do các nhân tác giả đánh giá quá trình hình thành, phát triển và hiệu quả của các chương trình FAPAS trên thế giới cũng như tại Việt Nam do dữ liệu có từ Fapas và thực tế tại Vietnam, từ giai đoạn khởi đầu (1990) đến hiện tại (12/2024). Kết quả cho thấy FAPAS đã góp phần đáng kể trong việc nâng cao năng lực phân tích, chuẩn hóa phương pháp và thúc đẩy hội nhập quốc tế của các phòng thử nghiệm tại Việt Nam.

Từ khóa

Chương trình Thử nghiệm thành thạo (Proficiency Testing-PT); Fera-Fapas FAPAS; Quản lý Chất lượng; Phòng thí nghiệm (PTN); ISO/IEC 17043; ISO 17025; z-score.

1 GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và yêu cầu ngày càng cao về an toàn thực phẩm, việc đảm bảo độ chính xác và tin cậy của kết quả phân tích là điều kiện tiên quyết. Các chương trình thử nghiệm thành thạo (PT) được xem là công cụ hiệu quả để đánh giá năng lực phòng thử nghiệm theo tiêu chuẩn ISO/IEC 17043 [1].

FAPAS, một chương trình thuộc công ty Fera Science Ltd (Anh), được thành lập nhằm cung cấp các chương trình PT chất lượng cao trong lĩnh vực thực phẩm và môi trường. Trải qua hơn ba thập kỷ phát triển, FAPAS đã trở thành một trong những hệ thống PT lớn nhất thế giới, với hàng nghìn phòng thử nghiệm tham gia mỗi năm. Hiện tại số lượng các phòng thử nghiệm tham gia PT FAPAS đã hơn 100.

2 HÌNH THÀNH VÀ PHÁT TRIỂN CỦA FAPAS

2.1 Giai đoạn khởi đầu (1990–2000)

FAPAS được thành lập vào đầu những năm 1990 nhằm đáp ứng nhu cầu đánh giá năng lực phân tích dư lượng hóa chất trong thực phẩm tại châu Âu. Ban đầu, các chương trình PT tập trung vào dư lượng thuốc bảo vệ thực vật; kim loại nặng và độc tố vi nấm.

Các chương trình này được thiết kế với quy mô nhỏ nhưng đã nhanh chóng thu hút sự tham gia của các PTN quốc gia ở các nước.

2.2 Giai đoạn mở rộng (2000–2010)

Trong giai đoạn này, FAPAS mở rộng phạm vi toàn cầu, bao gồm phân tích vi sinh, GMO, định danh loài/giống động vật & thực vật; phụ gia thực phẩm và các chất gây ô nhiễm môi trường.

Số lượng chương trình PT tăng nhanh, cùng với sự cải tiến về phương pháp thống kê (z-score, robust statistics…).

2.3 Giai đoạn toàn cầu hóa (2010–2024)

FAPAS cung cấp hàng trăm chương trình PT cho mỗi năm với sự tham gia của hơn 100 PTN ở các quốc gia, qua sự mở rộng hệ thống về ứng dụng nền tảng trực tuyến; tăng cường truy xuất dữ liệu và phát triển chương trình PT (*bespoke*) theo yêu cầu đặc thù của từng đối tượng khách hàng.

3 PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ

Việc đánh giá hiệu quả của FAPAS, chúng tôi nhận thấy, sau thời gian tổ chức các chương trình PT toàn cầu, được thực hiện dựa trên các tiêu chí:

3.1 Chỉ số thống kê [2]

Gồm các thông số z-score; giá trị chỉ định đồng thuận (*consensus assigned value*) và độ lệch chuẩn (*standard deviation*).

3.2 Tỷ lệ đạt yêu cầu

Tỷ lệ phòng thử nghiệm đạt $|z| \leq 2$ và tỷ lệ cải thiện chất lượng, độ tin cậy kết quả thí nghiệm qua các vòng (*round*) PT.

3.3 Phản hồi người tham gia

Thăm dò mức độ hài lòng của PTN và khả năng áp dụng kết quả theo sau các chương trình.

3.4 Tác động hệ thống

Chương trình PT làcơ hội cho PTN cải thiện hệ thống quản lý chất lượng và hỗ trợ cho việc công nhận ISO/IEC 17025 của PTN cũng như cho các tổ chức công nhận.

4 HIỆU QUẢ CỦA VIỆC THAM GIA PT FAPAS TRÊN THẾ GIỚI & VIỆT NAM

4.1 Nâng cao năng lực phân tích

Qua thăm dò trực tiếp cho thấy PTN tham gia FAPAS thường cung cấp kết quả thí nghiệm có xu hướng giảm sai số hệ thống; cải thiện độ lặp lại; tăng độ chính xác, độ tin cậy; tăng cường chất lượng quản lý của PTN; và tạo thêm niềm tin vào PTN của các khách hàng.

4.2 Chuẩn hóa phương pháp

Các chương trình PT của FAPAS tổ chức trong thời gian qua đã giúp công tác so sánh liên phòng; phát hiện các sai lệch và đánh giá, xác định giá trị sử dụng (validation) các phương pháp thử mà PTN áp dụng và hài hòa quy trình phân tích, thử nghiệm.

4.3 Công nhận quốc tế

Kết quả các chương trình PT của FAPAS được nhiều tổ chức công nhận quốc tế chấp nhận đã đáp ứng yêu cầu của tiêu chuẩn ISO/IEC 17025 và ISO/IEC 17043 và tăng khả năng trao đổi hàng hóa, thương mại.

4.4 Phát triển mạng lưới toàn cầu

FAPAS đã tạo ra một hệ sinh thái kết nối:

- phòng thử nghiệm;
- cơ quan quản lý;
- doanh nghiệp.

5 THỰC TRẠNG VÀ PHÁT TRIỂN TẠI VIỆT NAM

5.1 Giai đoạn tiếp cận ban đầu

Tại Việt Nam, FAPAS tiếp cận với các PTN từ đầu những năm 2000 thông qua các viện nghiên cứu; trung tâm kiểm nghiệm thực phẩm và PTN sản phẩm, hàng hóa xuất khẩu.

Ban đầu, số lượng đơn vị tham gia các chương trình PT của FAPAS còn hạn chế do chi phí, vận chuyển mẫu từ UK đến Việt Nam và chuyển đến khách hàng.

5.2 Giai đoạn phát triển

Từ năm 2010 trở lại đây, số lượng PTN Việt Nam tham gia FAPAS tăng đáng kể nhờ vào việc tích cực của đại lý hỗ trợ khách hàng (nhận mẫu, thanh toán nội địa, tư vấn các PT phù hợp và khiếu nại khi có sự cố về chất lượng mẫu phân tích…); từ yêu cầu của thị trường xuất khẩu (EU, Mỹ, Nhật); chính sách quản lý an toàn thực phẩm của Nhà nước và nâng cao nhận thức về chất lượng quản lý PTN.

5.3 Tác động tại Việt Nam

a) Nâng cao năng lực kỹ thuật

Các PTN đã có những cải thiện đáng kể, rõ rệt về độ chính xác kết quả thử nghiệm và hệ thống quản lý có kiểm soát chất lượng nội bộ.

b) Đóng góp vào công tác công nhận ISO/IEC 17025

Kết quả FAPAS là bằng chứng quan trọng trong đánh giá năng lực PTN.

c) Hội nhập quốc tế

Việc tham gia chương trình PT của FAPAS đã giúp PTN của Việt Nam tiếp cận được việc so sánh năng lực của mình với các PTN ở các nước ngoài; tăng cường uy tín, độ tin cậy của kết quả thử nghiệm.

6 THÁCH THỨC VÀ HẠN CHẾ

6.1 Chi phí tham gia

Chi phí tham gia các chương trình PT quốc tế như FAPAS còn khá cao đối với một số PTN có quy mô nhỏ, gọn.

6.2 Rào cản kỹ thuật

Rào cản chính là có yêu cầu cao về năng lực nhân sự, thiết bị, phương pháp, quản lý… (mẫu PT FAPASs không công bố khoảng nồng độ, không giới hạn phát hiện LOD và không có sự hiện diện của chất phân tích… đối với một số PTN rất khó khăn, bị hạn chế nếu không có kỹ năng và phương pháp phân tích hợp lý…) và công cụ xử lý dữ liệu.

6.3 Nhân lực

Các PTN thường bị hạn chế do thiếu nhân sự có kinh nghiệm trong phân tích, và thực hiện đánh giá PT.

7 XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN TƯƠNG LAI

7.1 Số hóa và tự động hóa

Nền tảng quản lý dữ liệu PT trực tuyến và ứng dụng trí tuệ nhân tạo AI trong phân tích kết quả thử nghiệm.

7.2 Đặc thù chương trình PT *(Bespoke)*

Tổ chức các chương trình PT theo yêu cầu riêng của PTN và các chương trình PT trên cơ sở nền mẫu (matrix) đặc thù.

7.3 FAPAS mở rộng tại các nước đang phát triển

Cho các thị trường mới này, **t**rong đó có Việt Nam, với tiềm năng lớn về xuất khẩu thực phẩm và phát triển hệ thống thử nghiệm.

8 TÍNH CẠNH TRANH GIỮA FAPAS VÀ CÁC TỔ CHỨC PT QUỐC TẾ

8.1 Các tổ chức PT provider uy tín trên thế giới

Hiện nay, thị trường PT toàn cầu có nhiều tổ chức lớn hoạt động trong các lĩnh vực thực phẩm, môi trường, dược phẩm, vật liệu và lâm sàng. Một số tổ chức tiêu biểu là:

- FAPAS, https://fapas.com
- LGC Standards, https://www.lgcstandards.com
- American Proficiency Institute (API), https://www.api-pt.com)
- AOAC International, https://www.aoac.org
- BIPEA, https://www.bipea.org
- Collaborative Testing Services, https://www.collaborativetesting.com
- ERA (Waters ERA), https://www.eraqc.com
- ASTM International, https://www.astm.org
- Proficiency Testing Australia, https://www.pta.asn.au
- EPTIS, https://www.eptis.org

Ngoài ra còn nhiều tổ chức khác như DRRR (Đức), NIL (Trung Quốc), NMISA (Nam Phi), Eurofins…trong nước có NIFC, Quatest 3, IPH…

Điều này cho thấy thị trường PT có tính cạnh tranh cao và đa dạng lĩnh vực chuyên môn**.**

8.2 Vị thế của FAPAS với các nhà cung cấp PT có uy tín

Đơn vị vận hành FAPAS hiện nay là công ty Fera Science Ltd (Anh) là một trong các **nhà cung cấp PT hàng đầu thế giới trong lĩnh vực thực phẩm và môi trường**; cung cấp dịch vụ PT cho các PTN tại hơn 130 quốc gia [6] và có lịch sử phát triển từ những năm 1990 với uy tín, độ tin cậy cao trong lĩnh vực an toàn thực phẩm.

8.3 Ưu điểm của FAPAS so với các nhà cung cấp PT có uy tín khác

a) ***Chuyên môn sâu về lĩnh vực thực phẩm và nông nghiệp***. FAPAS tập trung mạnh vào an an toàn thực phẩm; dư lượng thuốc bảo vệ thực vật; độc tố vi nấm; vi sinh thực phẩm. Đặc biệt phù hợp với các PTN phục vụ xuất khẩu thực phẩm; cơ quan quản lý an toàn thực phẩm.

b) ***Uy tín khoa học và tính "chấp thuận theo quy chuẩn-regulatory acceptance"*** cao qua việc xuất phát từ hệ thống nghiên cứu của chính phủ Anh (DEFRA trước đây); được công nhận là nhà cung cấp dịch vụ PT phù hợp với ISO/IEC 17043 và kết quả FAPAS thường được chấp nhận trong đánh giá ISO 17025, có giá trị cho việc đánh giá và thẩm định quốc tế (*international audit*).

c) ***Nền mẫu cung cấp trong dịch vụ PT rất gần giống với thực tế (real matrix).*** Mẫu PT của FAPAS là thực phẩm thật (nền mẫu phức tạp); có mức nhiễm gần sát với thực tế; đây cũng là một ưu điểm so với một số nhà cung cấp PT khác chỉ dùng mẫu với kỹ thuật pha thêm (spike) đơn giản.

d) ***Quy mô toàn cầu và dữ liệu so sánh mạnh.*** Số lượng lớn PTN tham gia chương trình giúp việc so sánh liên phòng có số liệu thống kê đáng tin cậy.

e) ***Danh mục chương trình đa dạng trong lĩnh vực thực phẩm, nước, môi trường, GMO*** với hàng trăm chương trình mỗi năm cho hóa thực phẩm, vi sinh GMO - thực phẩm biến đổi gene; nước [6].

8.4 Nhược điểm của FAPAS

a) chi phí tương đối cao;

b) thời gian tổ chức và giao nhận (logistics) do yếu tố nước ngoài nên phụ thuậtc vận chuyển mẫu, khia báo hải quan, trong khi chương trình PT nội địa thuận tiện hơn;

c) ít linh hoạt theo nhu cầu địa phương. Chương trình thường được thiết kế chuẩn hóa cho toàn cầu; trong khi tổ chức PT nội địa có thể theo yêu cầu cụ thể của khách hàng;

d) không bao phủ tốt tất cả lĩnh vực: FAPAS mạnh về thực phẩm và môi trường, nhưng yếu hơn trong y tế, kim loại …;

e) cạnh tranh mạnh từ các tổ chức lớn như LGC Standards → Cung cấp PT + reference materials + hệ thống digital mạnh; American Proficiency Institute → Giá cạnh tranh + nền tảng báo cáo điện tử tiện lợi; ERA (Waters)→ Mạnh về môi trường và nước.

Nhìn chung, các tổ chức này đang cạnh tranh bằng giá, công nghệ số và dịch vụ.

8.5 Nhận định

FAPAS vẫn giữ vị thế: **"Chuẩn vàng (gold standard)" trong PT lĩnh vực thực phẩm".**

Tuy nhiên, trong bối cảnh cạnh tranh hiện nay các tổ chức khác linh hoạt hơn, rẻ hơn và số hóa mạnh hơn. Đây là áp lực để FAPAS phải đổi mới công nghệ, tinh giản hệ thống quản lý, mở rộng dịch vụ và tăng khả năng tiếp cận tại các nước đang phát triển (như Việt Nam).

10 KẾT LUẬN

FAPAS đã chứng minh vai trò quan trọng trong việc nâng cao chất lượng và độ tin cậy của các phòng thử nghiệm trên toàn cầu. Tại Việt Nam, việc tham gia các chương trình này đã góp phần đáng kể trong việc cải thiện năng lực phân tích, hỗ trợ công nhận quốc tế và thúc đẩy hội nhập.

Tuy nhiên, để tối ưu hóa hiệu quả, cần có kế hoạch giảm chi phí tham gia; tăng cường đào tạo nhân lực và phát triển các chương trình PT trong nước.

FAPAS sẽ tiếp tục là công cụ quan trọng trong hệ thống đảm bảo chất lượng phòng thử nghiệm trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] ISO/IEC 17043: Conformity assessment – General requirements for proficiency testing
[2] FAPAS Annual Reports
[3] Eurachem Guide on Proficiency Testing
[4] Các nghiên cứu về PT trong lĩnh vực an toàn thực phẩm
[5] Báo cáo của các cơ quan quản lý Việt Nam về kiểm nghiệm thực phẩm
[6] BioPharma APAC, https://biopharmaapac.com/.

ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO TRONG QUÁ TRÌNH THÍ NGHIỆM CÓ LẤY MẪU

Đinh Văn Trữ,
Hội Hợp tác các Phòng thí nghiệm TP. Hồ Chí Minh – VINATEST
Email: dinhvantru@gmail.com

Tóm tắt

Độ không đảm bảo đo (ĐKĐB đo) là một khái niệm rất phổ biến trong các phòng thí nghiệm (PTN) từ hơn vài thập niên nay. Tuy nhiên trước đây và đặc biệt ở Việt Nam, ĐKĐB đo chỉ mới được quan tâm và gói gọn trong giai đoạn thí nghiệm, mẫu do khách hàng gửi đến. Một quá trình đo kiểm đầy đủ phải bắt đầu bằng việc lấy mẫu và kết thúc bằng phép thí nghiệm. Như vậy, có rất nhiều bước trung gian như vận chuyển, bảo quản, lưu giữ mẫu … mỗi bước này sẽ gây ra và đóng góp vào ĐKĐB đo của cả quá trình.

Đối tượng thí nghiệm luôn luôn tồn tại một yếu tố quan trọng là không bao giờ đồng nhất tuyệt đối, đây chính là chỉ số quan trọng đóng góp đáng kể vào ĐKĐB đo tổng thể. Dù phương pháp phân tích, thí nghiệm, nhân sự, thiết bị, v.v…có tin cậy đến đâu, nhưng nếu không quan tâm đến quá trình lấy mẫu thì vô hình trung, chúng ta gặp phải thiếu sót, thiếu tin cậy khi cung cấp kết quả với ĐKĐB đo.

Để có một quyết định phù hợp theo quy tắc ra quyết định, cần quan tâm đến ĐKĐB đo, không chỉ trong quá trình thí nghiệm, mà cần lưu ý đầy đủ các yếu tố tham gia để tránh quyết định sai lầm, gây ra hậu quả là thiệt hại tài chính, sức khỏe, môi trường và thậm chí đến pháp lý v.v... Bài viết nêu bao quát về ĐKĐB đo khi thí nghiệm có liên quan đến việc lấy mẫu, những người làm công tác sản xuất, thí nghiệm, giám định, kiểm tra, giám sát…cần quan tâm nhằm đem lại mức độ tin cậy khi đưa ra kết quả đã thực hiện.

Từ khóa

Độ không đảm bảo (uncertainty); lấy mẫu (sampling); sai số (error); thiết kế lặp lại (replicate design); đảm bảo chất lượng (quality assurance); xác định giá trị sử dụng (validation-định trị); thống kê theo độ rộng (range statistics); ANOVA; quy tắc ra quyết định (decision rule).

1 GIỚI THIỆU

Theo định nghĩa của GUM[1], độ không đảm bảo đo là "*Tham số, gắn với kết quả đo, đặc trưng cho sự phân tán của các giá trị có thể quy cho đại lượng đo một cách hợp lý*". Tài liệu GUM là một trong những văn bản rất đầy đủ, mạch lạc và rõ ràng về tính ĐKĐB đo cho công việc thí nghiệm.

[1] JCGM 100:2008 (GUM) Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement [ISO/IEC Guide 98-3] – Đánh giá dữ liệu đo-Hướng dẫn trình bày độ không đảm bảo đo

Thông thường một quá trình thí nghiệm bắt đầu từ khi PTN nhận được mẫu và kết thúc bằng việc ban hành phiếu kết quả thí nghiệm với giá trị trung bình và có thể có ĐKĐB đo kèm theo. Những người công tác trong PTN, chỉ biết trách nhiệm về kết quả mà PTN cung cấp trên cơ sở mẫu do khách hàng gửi đến (trên phiếu kết quả thường có ghi chú điều này). Khách hàng tin tưởng vào kết quả của PTN mà chưa hiểu là kết quả thí nghiệm này có thể chưa phản ánh đúng thực chất với đối tượng mẫu thử mà khách hàng đang mong khảo sát, tìm hiểu, bởi vì một lý do là công việc này chưa quan tâm đến quá trình lấy mẫu, là một nơi tiềm ẩn khá lớn về độ phân tán của kết quả.

ĐKĐB đo có vai trò quan trọng trong việc áp dụng quy tắc ra quyết định[2], khi cần tuyên bố sự phù hợp với yêu cầu kỹ thuật theo các tiêu chuẩn như ISO/IEC 17025:2017.

Các nội dung chính trong bài viết này được lấy từ tài liệu của Nordtest NT TR604, 2020 "*Uncertainty from sampling*" và tham khảo Eurachem/CITAC Guide "*Measurement uncertainty arising from sampling*", 2019.

2 MỤC ĐÍCH VÀ YÊU CẦU VỀ CHẤT LƯỢNG KHI LẤY MẪU

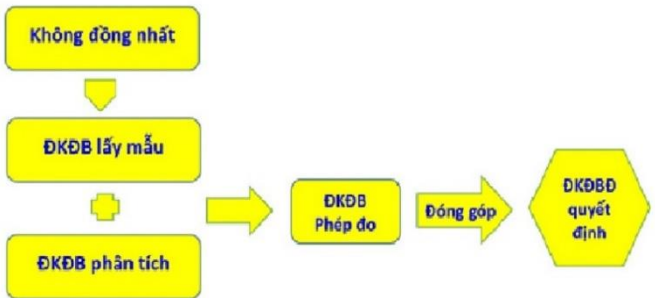
2.1 Mục đích lấy mẫu

Nhìn một cách tổng quát thì mục đích chính yếu của quá trình thí nghiệm là để đi đến một quyết định. Mức độ tin cậy, tín nhiệm của quyết định này lại tùy thuộc vào kiến thức về ĐKĐB của kết quả đo kiểm. ĐKĐB gồm có hai thành phần:

(a) ĐKĐB phát sinh trong quá trình lấy mẫu và sử dụng các mẫu này để đại diện cho toàn bộ đối tượng;

(b) ĐKĐB phát sinh trong quá trình phân tích, thí nghiệm.

Hình 1 mô tả các thành phần ĐKĐB và chuỗi để ra quyết định trong đó phần lấy mẫu do sự không đồng nhất của mẫu nên có đóng góp vào ĐKĐB đo tổng thể khi đưa ra quyết định.



Hình 1. Đóng góp của ĐKĐB từ lấy mẫu (do không đồng nhất) và khi thí nghiệm

2.2 Mục tiêu của lấy mẫu (*Sampling target*)

Khi đã xác định được mục đích lấy mẫu, cần thiết phải quan tâm đến mục tiêu của việc lấy mẫu, đó là đối tượng cần xem xét (ví dụ như khu vực nước cần giám sát; lô hàng vật liệu;

[2] ILAC-G8:09/2019 Guidelines on Decision Rules and Statement of Conformity – Chỉ dẫn về quy tắc ra quyết định và tuyên bố phù hợp.
ASME B89.7.3.1-2001: Quy tắc ra quyết định là quy tắc được lập thành văn bản, mô tả cách thức áp dụng độ không đảm bảo đo, nhằm chấp nhận hay bác bỏ một sản phẩm trên cơ sở yêu cầu kỹ thuật và kết quả đo lường.

cụm đất cát bị ô nhiễm …), xác định rõ nơi cần lấy mẫu, phương thức đo kiểm và thời điểm thực hiện. Mục tiêu lấy mẫu phải được xác định trong thiết kế trước khi tiến hành lấy mẫu.

Việc xác định mục tiêu lấy mẫu đóng vai trò quan trọng khi có xét đến ĐKĐB vì liên quan đến tính đại diện của đối tượng lấy mẫu. Cần quy định cặn kẽ các yêu cầu về nơi chốn lấy mẫu, thời điểm, thông số cần đo kiểm, các thông tin cho báo cáo kết quả …

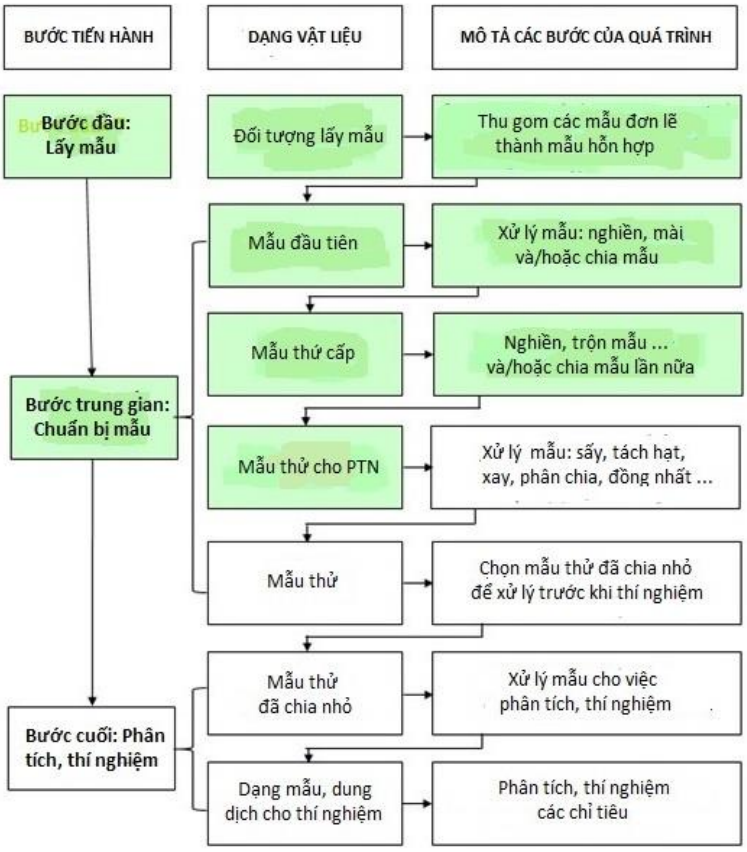
2.3 Yêu cầu về chất lượng

Với mục đích lấy mẫu, phải thiết lập các yêu cầu về chất lượng cho các đại lượng cần đo, chẳng hạn như ĐKĐB chấp nhận được, định tính hay định lượng. Đối tượng lấy mẫu thường không được đồng nhất, tính chất cũng khác nhau nên cần ĐKĐB liên quan đến lấy mẫu và thí nghiệm, kiểm soát mức độ chắc chắn thông qua việc ước lượng ĐKĐB của tất cả các bước trong quá trình.

Yêu cầu về chất lượng đặt ra trên cơ sở mục đích (tại sao cần làm?), mục tiêu (cái gì, ở đâu, khi nào?) cùng với mức độ chắc chắn để đưa ra quyết định. Yêu cầu chất lượng phải phù hợp cho mục đích, sao cho không quá đáng (quá đắt tiền) mà cũng không sơ sài (với hy vọng chi phí rẻ hơn). Các cơ quan, tổ chức thường có đưa ra các yêu cầu kỹ thuật này.

3 LẤY MẪU TRONG QUÁ TRÌNH ĐO KIỂM

Quá trình đo kiểm với các bước tiến hành, đối tượng và thực hiện như sau:



Hình 2. Một quá trình đo kiểm điển hình bắt đầu từ việc lấy mẫu và kết thúc bằng kết quả thí nghiệm. Các bước trung gian như vận chuyển, lưu mẫu, chưa mô tả ở đây… mỗi bước đều có đóng góp vào ĐKĐB đo.

4 SAI SỐ VÀ ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO

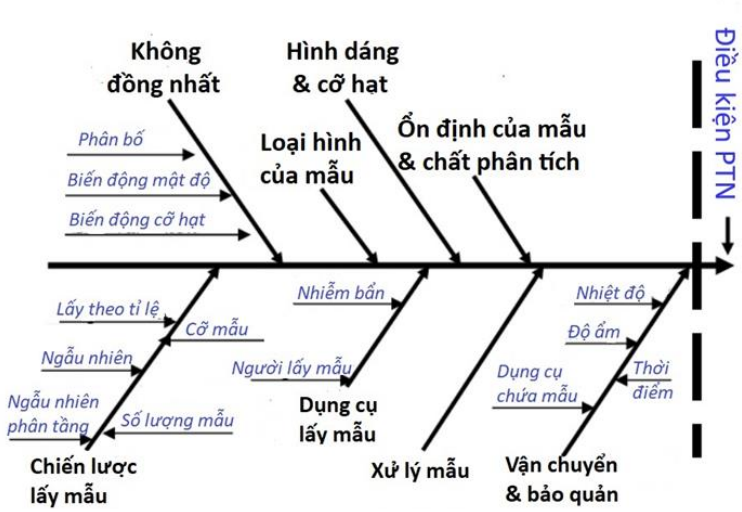
4.1 Các nguồn không đảm bảo

Trong kỹ thuật phân tích, thí nghiệm, các nguồn gây ra không đảm bảo đã được quan tâm, khảo sát khá nhiều, trái lại, trong phần lấy mẫu, các nguồn này chưa được chú trọng lắm. Căn cứ vào kết quả khảo sát các nguồn đóng góp vào không đảm bảo để có thể lựa chọn phương thức hành động phù hợp.

Lấy mẫu	Chuẩn bị mẫu
• Tính không đồng nhất [hay không thuần] tác động chiến lược lấy mẫu cụ thể [vd lấy ngẫu nhiên, phân tầng ngẫu nhiên, tỉ lệ…] • Tác động của sự dịch chuyển khối vật liệu (đặc biệt là mật độ hay kích thước chọn lựa) • Trạng thái vật lý khối vật liệu (rắn, lỏng, khí) • Tác động của nhiệt độ và áp suất • Tác động của quá trình lấy mẫu lên thành phần của mẫu • Nhiễm bẩn • Vận chuyển và bảo quản mẫu	• Tác động từ quá trình đồng nhất mẫu và/hoặc chia mẫu • Sấy, nghiền • Hòa tan • Tách chiết • Nhiễm bẩn • Tính tạo dẫn xuất (tác động hóa học) • Sai số khi pha loãng • Cô đặc • Kiểm soát các tác động đặc biệt

Báng 1. Các nguồn không đảm bảo khi lấy mẫu và chuẩn bị mẫu

Thông thường các nguồn đóng góp vào ĐKĐB được trình bày dưới dạng *sơ đồ nhân - quả* như ví dụ ở Hình 3. Việc khảo sát những nguồn KĐB sẽ hỗ trợ cho việc nhận diện các bước trong quá trình đo kiểm mà có khả năng đóng góp vào ĐKĐB đo tổng thể.



Hình 3. Sơ đồ nhân-quả các nguồn đóng góp vào ĐKĐB của quá trình lấy mẫu

4.2 Tác động hệ thống và tác động ngẫu nhiên

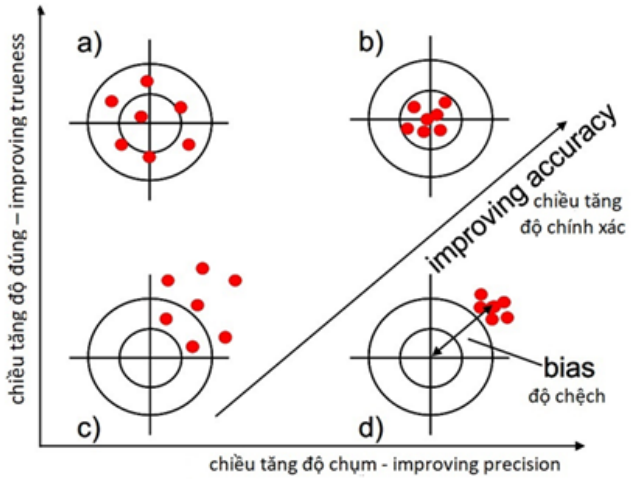
Hình 4 về các lỗ đạn bắn bia cho chúng ta bức tranh khá quen thuộc về tác động hệ thống liên quan đến độ đúng (*trueness*) và tác động ngẫu nhiên liên quan đến độ chụm (*precision*).

Trường hợp a) và b) độ chệch khá tốt vì các kết quả phân bổ bao quanh tâm bia; theo đó a) có độ chụm thấp hơn vì kết quả phân tán rộng hơn b).

Trường hợp d) có độ chụm tốt như b) nhưng độ chệch kém vì xa tâm bia.

Với c) là tệ nhất, vì độ phân tán kém và độ chệch lớn vì xa tâm bia.

Xét theo chiều tăng độ chính xác cho thấy b) là tốt nhất và c) là kém nhất.



Hình 4. Các lỗ đạn bắn bia, tượng trưng cho kết quả đo riêng lẻ, với tâm bia là giá trị đối chứng

Có hai tác động gây ra các ĐKĐB là tác động hệ thống và tác động ngẫu nhiên. Tác động hệ thống gây ra tuy khó định lượng nhưng dễ hạn chế, trong khi tác động ngẫu nhiên tuy dễ định lượng nhưng lại khó tránh hơn.

Tác động hệ thống trong quá trình lấy mẫu chủ yếu do tính không đồng nhất của mẫu và quy trình lấy mẫu. Nguyên nhân do không đồng nhất nội tại của vật liệu, khác nhau kích thước, hình dạng, thành phần, các phần tử, cũng do phân bố, phối trộn không đều, tính chất khác nhau tách thành lớp v.v…

Giải pháp giảm tác động hệ thống bằng phương pháp lấy mẫu thích hợp; tăng cỡ mẫu lên; xử lý mẫu như nghiền mẫu, phối trộn; tránh các phản ứng hóa, vi sinh làm thay đổi mẫu trong quá trình lưu giữ, vận chuyển.

Tác động ngẫu nhiên thì dễ định lượng và giảm thiểu. Nguyên nhân do biến động về thành phần trong mẫu, do sự biến thiên trong quy trình lấy mẫu; xử lý mẫu; có sự tham gia nhiều người; dụng cụ lấy mẫu. Phương án tiếp cận để giảm thiểu tác động ngẫu nhiên và dễ thực hiện là tăng số lượng mẫu lên. Điều lưu ý nếu quá nhiều mẫu thì chi phí cao hơn nhưng chưa chắc tốt hơn.

4.3 Ước lượng ĐKĐB quá trình lấy mẫu

Chúng ta đã biết quá trình lấy mẫu và quá trình phân tích đều có đóng góp vào ĐKĐB tổng thể, các ĐKĐB đến từ việc chuẩn bị mẫu, vận chuyển, lưu giữ v.v... tùy điều kiện có thể tính trong bước lấy mẫu hay bước phân tích.

(a) Thành phần ngẫu nhiên của ĐKĐB được ghi nhận bằng **độ lệch chuẩn** (*standard deviation*)**. Phương sai** (*variance*) của phép đo được tính từ phương sai của quá trình lấy mẫu và của phần phân tích thí nghiệm:

$$s^2_{meas} = s^2_{samp} + s^2_{anal}$$

trong đó: s^2_{meas} : phương sai của phép đo

s^2_{samp} : phương sai của quá trình lấy mẫu

s^2_{anal} : phương sai của quá trình thí nghiệm

(b) Công cụ cơ bản để ước lượng độ lớn ĐKĐB đo s_{meas} của thành phần ngẫu nhiên chính là lặp lại phép đo nhiều lần.

(c) Phương pháp thực tiễn nhất để ước lượng độ lệch chuẩn của quá trình lấy mẫu s_{samp} chính là thiết kế chia mẫu lặp lại hai lần (double split replicate), khi đó s_{anal} là sự biến thiên giữa các lần lặp lại.

(d) Từ công thức trên, tính độ lệch chuẩn ngẫu nhiên khi lấy mẫu s_{samp} như sau:

$$s_{samp} = \sqrt{s^2_{meas} - s^2_{anal}}$$

(e) Độ chệch (sai số hệ thống) khó tính hơn, nhưng có vài phương pháp tiếp cận như sử dụng mẫu chuẩn (tham chiếu, đối chứng); sử dụng thử nghiệm thành thạo về lấy mẫu, so sánh giữa các phương pháp; khi đối tượng lấy mẫu có giá trị đã biết và sử dụng quy trình lấy mẫu chuẩn (mẫu đối chứng, tham chiếu).

4.4 Độ không đảm bảo chuẩn và mở rộng

Trong nhiều trường hợp, **có thể gán ĐKĐB chuẩn lấy mẫu u_{samp} bằng với độ lệch chuẩn lấy mẫu s_{samp},** còn **ĐKĐB chuẩn thí nghiệm u_{anal} thì do PTN cung cấp**, từ đó tính được ĐKĐB chuẩn của phép đo kiểm u_{meas} như sau:

$$u_{meas} = \sqrt{s^2_{samp} + u^2_{anal}}$$

và ĐKĐB đo mở rộng U của phép đo, với độ tin cậy 95 %, hệ số phủ là 2:

$$U = k \cdot u_{meas} = 2 \cdot u_{meas}$$

Một cách lý tưởng, độ không đảm bảo của phép đo phải bao hàm cả quá trình từ lấy mẫu đến phân tích, thí nghiệm và phải xem xét đầy đủ các tác động ngẫu nhiên và tác động hệ thống quan trọng.

5 ƯỚC LƯỢNG ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO BẰNG THIẾT KẾ LẶP LẠI

5.1 Nguyên tắc

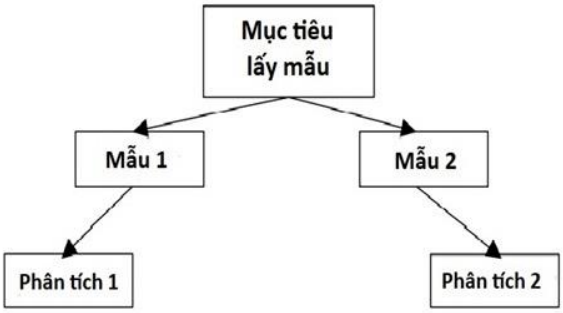
Thiết kế lặp lại là áp dụng cùng một quy trình lấy mẫu cho hai lần hoặc nhiều lần trên cùng đối tượng lấy mẫu.

Về lặp lại có thể chia mẫu một lần (*single split design*) khi ở khâu phân tích thí nghiệm đã xác định được ĐKĐB, khi đó chỉ cần xác định thêm độ lệch chuẩn của phép đo s_{meas}.

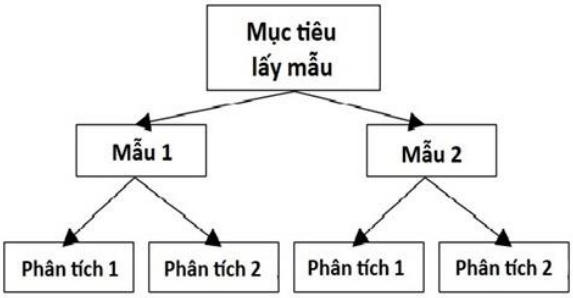
Thiết kế mẫu chia hai lần (*double split design*), cần khảo sát riêng lẻ các bước, thêm thông tin về ĐKĐB như độ lệch chuẩn của lấy mẫu s_{samp} và độ lệch chuẩn của phân tích s_{anal} cũng như chỉnh sửa, mở rộng để có thêm thông tin về sự đóng góp của các khâu khác như cách chia mẫu, bảo quản, vận chuyển …

Tính toán độ rộng trung bình trong thiết kế lặp lại cần có ít nhất 8 phép lặp lại để ước lượng mang tính chất tin cậy hơn.

Số phép lặp lại càng cao thì độ lệch chuẩn ước lượng sẽ càng tốt.



Hình 5a: Thiết kế lặp lại, mẫu chia một lần



Hình 5b: Thiết kế lặp lại, mẫu chia hai lần cân bằng

Trong thiết kế mẫu chia hai lần, có thể áp dụng dạng thiết kế bất cân bằng (*unbalanced design*) một khi đã biết rõ ĐKĐB của khâu lấy mẫu là chủ yếu so với khâu phân tích (có chi phí lớn hơn, tốn thời gian hơn) thì có thể chỉ cần chọn phương thức một hay hai mẫu được phân tích hai lần.

5.2 Tính toán độ rộng trung bình cho phân tích và cho phép đo

Lần	Mẫu 1				Mẫu 2				Tính toán
	x_{i11}	x_{i12}	$D_{i1} = \lvert x_{i11} - x_{i12} \rvert$	$\bar{x}_{i1}$	x_{i21}	x_{i22}	$D_{i2} = \lvert x_{i21} - x_{i22} \rvert$	$\bar{x}_{i2}$	$D_i = \lvert \bar{x}_{i1} - \bar{x}_{i2} \rvert$
1	x_{111}	x_{112}	$D_{11} = \lvert x_{111} - x_{112} \rvert$	$\bar{x}_{11}$	x_{121}	x_{122}	$D_{12} = \lvert x_{121} - x_{122} \rvert$	$\bar{x}_{12}$	$D_1 = \lvert \bar{x}_{11} - \bar{x}_{12} \rvert$
2	x_{211}	x_{212}	$D_{21} = \lvert x_{211} - x_{212} \rvert$	$\bar{x}_{21}$	x_{221}	x_{222}	$D_{22} = \lvert x_{221} - x_{222} \rvert$	$\bar{x}_{22}$	$D_2 = \lvert \bar{x}_{21} - \bar{x}_{22} \rvert$

Lần	**Mẫu 1**				**Mẫu 2**				**Tính toán**
3	x_{311}	x_{312}	$D_{31} = \lvert x_{311} - x_{312} \rvert$	$\bar{x}_{31}$	x_{321}	x_{322}	$D_{32} = \lvert x_{321} - x_{322} \rvert$	$\bar{x}_{32}$	$D_3 = \lvert \bar{x}_{31} - \bar{x}_{32} \rvert$
			$\bar{D}_{i1} = \frac{\sum D_{i1}}{n}$				$\bar{D}_{i2} = \frac{\sum D_{i2}}{n}$		$\bar{D}_{meas} = \frac{\sum D_i}{n}$
Độ rộng trung bình phân tích (*Mean range analysis*)**:** $\bar{D}_{anal} = \frac{\bar{D}_{i1} + \bar{D}_{i2}}{2}$									
Độ rộng trung bình phép đo (*Mean range measurement*)**:** $\bar{D}_{meas} = \frac{\sum D_i}{n}$									
LƯU Ý: Thiết kế mẫu chia hai lần cân bằng (*replicated balanced double split*) x_{ijk} cho 03 đối tượng lấy mẫu (i). Trong mỗi phép lặp lại trên một đối tượng lấy mẫu: lấy hai mẫu (j) và từ mỗi mẫu lại lấy 02 phần (k) đem đi phân tích.									

Bảng 2. Ký hiệu sử dụng trong thiết kế lặp lại và việc tính toán độ rộng trung bình cho phân tích $\bar{D}_{anal}$ và cho phép đo $\bar{D}_{meas}$

5.3 Đóng góp vào độ không đảm bảo trong thiết kế lặp lại

ĐKĐB của quá trình lấy mẫu và quá trình phân tích thí nghiệm đều gồm có độ lặp lại, sự biến động theo ngày (*between day variation*) và các đóng góp khác.

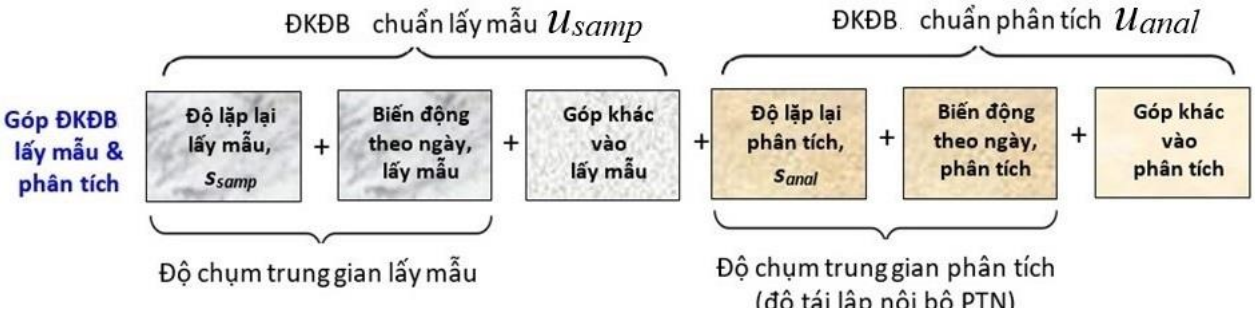
Độ lặp lại và sự biến động theo ngày hay gộp chung lại gọi là **độ chụm trung gian** (*intermediate precision*). Độ chụm trung gian của quá trình phân tích còn được gọi là ***độ tái lập nội bộ phòng thí nghiệm*** *(within-laboratory reproducibility)*, độ chụm này có thể có được nhờ phân tích một hoặc nhiều mẫu kiểm soát, sử dụng để kiểm tra chất lượng nội bộ. Các đóng góp khác thường là các tác động hệ thống, nhưng không rõ ràng lắm.

Sử dụng *thiết kế mẫu lặp chia một lần* tại bước lấy mẫu (Hình 5a) sẽ cung cấp độ lặp lại của phép đo kiểm, s_{meas}, tương ứng với độ lặp lại chung của quá trình lấy mẫu và phân tích ($s_{samp+anal}$).

Sử dụng *thiết kế mẫu lặp chia hai lần (replicate design with double split)* tại bước lấy mẫu và bước phân tích (Hình 5b) sẽ cung cấp riêng rẽ độ lặp lại của quá trình lấy mẫu (s_{samp}) và độ lặp lại của quá trình phân tích (s_{anal}).

ĐKĐB của *các đóng góp không đáng kể,* thường được bỏ qua, ở mức nhỏ. Đặc biệt với tình huống các đối tượng lấy mẫu là không đồng nhất, sự biến động theo ngày và các đóng góp khác vào quá trình lấy mẫu, trong nhiều trường hợp, có thể được xem là không đáng kể so với độ lặp lại của quá trình lấy mẫu, sự biến động theo ngày của quá trình lấy mẫu có thể bao gồm sự biến thiên do thay đổi người lấy mẫu hoặc dụng cụ lấy mẫu.

Tuy nhiên, *các đóng góp khác vào quá trình lấy mẫu* trong nhiều trường hợp, lại có thể đóng góp đáng kể vào quá trình lấy mẫu. Từ đó, khả năng bỏ qua một số đóng góp cần được cân nhắc tùy theo từng trường hợp.



Hình 6: Đóng góp vào ĐKĐB của quá trình lấy mẫu và phân tích, thí nghiệm

Trong nhiều trường hợp, sẽ phù hợp hơn nếu thay **độ lệch chuẩn phân tích** s_{anal} bằng **ĐKĐB chuẩn phân tích** u_{anal} ; u_{anal} do PTN cung cấp, tính toán từ ĐKĐB mở rộng của quá trình phân tích (thông thường $u_{anal} = U_{anal}/2$).

Nếu trường hợp độ lệch chuẩn phân tích s_{anal} lớn hơn ĐKĐB chuẩn phân tích u_{anal}, nghĩa là độ không đồng nhất của các mẫu đem phân tích có khả năng lớn hơn độ không đồng nhất của các mẫu sử dụng để đánh giá ĐKĐB đo của quá trình phân tích. Trường hợp này thì lại nên dùng s_{anal}.

6 HỒ SƠ LẤY MẪU

Hồ sơ quá trình lấy mẫu là cần thiết để hỗ trợ cho tất cả các bước của hoạt động, từ khâu lập kế hoạch đến khâu đánh giá kết quả đo. Hồ sơ tối thiểu nên gồm:

* quy trình lấy mẫu bằng văn bản;
* báo cáo hiện trường của việc lấy mẫu;
* báo cáo lấy mẫu.

Phương pháp lấy mẫu	Mô tả chung các hoạt động lấy mẫu. Phương pháp có thể là phương pháp tiêu chuẩn, phê duyệt bởi tổ chức tiêu chuẩn hóa quốc tế được thừa nhận.
Quy trình lấy mẫu	Mô tả cụ thể các hoạt động dùng để lấy mẫu theo một phương pháp xác định, kèm theo các thiết bị đã xác định.
Báo cáo hiện trường lấy mẫu	Các ghi chép chi tiết tại hiện trường lấy mẫu.
Báo cáo chuyển giao sở hữu	Hồ sơ bằng văn bản ghi nhận việc chuyển giao mẫu, từ lúc lấy mẫu đến lúc phân tích, có ghi nhận điều kiện vận chuyển và lưu giữ.
Báo cáo lấy mẫu	Báo cáo tổng kết quá trình lấy mẫu với nội dung: đối tượng mẫu, viện dẫn các phương pháp và quy trình áp dụng, các ghi chú có liên quan ở hiện trường và trong báo cáo chuyển giao sở hữu.

Bảng 3. Tổng hợp các hồ sơ của quá trình lấy mẫu

Cần có văn bản hướng dẫn cách lấy mẫu, xử lý mẫu, xử lý thiết bị lấy mẫu để giảm thiểu các biến động có thể gây ra, ví dụ như có cá nhân khác nhau tham gia vào quy trình lấy

mẫu. Mỗi tổ chức lấy mẫu thường tự xây dựng quy trình lấy mẫu dựa trên các phương pháp lấy mẫu đã được tiêu chuẩn hóa hoặc được chấp nhận.

Báo cáo hiện trường lấy mẫu nhằm ghi nhận các thông tin chi tiết quan sát được trong quá trình lấy mẫu. Dạng thức của báo cáo hiện trường tùy theo nhu cầu, báo cáo này có thể gộp chung với báo cáo đo lường (phân tích, thí nghiệm).

7 PHƯƠNG THỨC TÍNH TOÁN

Có nhiều phương thức tính toán ĐKĐB cho cả quá trình thí nghiệm, từ lấy mẫu cho đến khi ra kết quả phân tích, tùy thuộc vào nhiều yếu tố như độ rộng nồng độ, độ lệch chuẩn, hệ số biến thiên *CV*; … có thể chọn cách tính theo đơn vị nồng độ hay logarithm, theo độ rộng đo (*range*) hay phân tích phương sai ANOVA, ANOVA thô … Dưới đây bài viết chỉ trình bày tổng quát các thông số cần tính toán theo cách cổ điển. Phần tính toán nâng cao, liên quan nhiều đến kỹ thuật thống kê, bạn đọc xem trong các tài liệu tham khảo.

7.1 Thiết kế chia mẫu một lần và thống kê theo độ rộng tương đối

(a) Phương thức

Thông số	Ký hiệu, công thức tính
Hai kết quả của mỗi cặp lặp lại	x_{i1} và x_{i2}
Chênh lệch tuyệt đối *Di* giữa hai kết quả	$D_i = \lvert x_{i1} - x_{i2} \rvert$
Trung bình của hai kết quả trong cặp lại, $\bar{x}_i$	$\bar{x}_i = \frac{x_{i1} + x_{i2}}{2}$
Chênh lệch tương đối, d_i, tính từ chênh lệch, D_i, và trung bình của mỗi cặp lặp lại	$d_i = \frac{D_i}{\bar{x}_i}$
Trung bình của chênh lệch tương đối, $\bar{d}$, của *n* cặp lặp lại	$\bar{d} = \sum d_i / n$
Hệ số biến thiên, CV cho phép đo, tính dựa trên một hằng số thống kê là 1,128 (khi phân tích theo cặp lặp lại với n = 2)	$CV = \frac{\bar{d}}{1{,}128} \cdot 100\ \%$
Ước lượng độ lệch chuẩn, *s*, tại nồng độ bất kỳ x_0	$s = \frac{CV \cdot x_0}{100}$

Bảng 4. Ký hiệu và công thức tính hệ số biến thiên CV, ước lượng độ lệch chuẩn s từ cặp mẫu lặp lại (thiết kế chia mẫu một lần), thống kê theo độ rộng tương đối.

(b) Ví dụ

Các số liệu kết quả đo và tính toán phép đo lặp lại hai lần cho hàm lượng Cr tổng (mg/kg) trong lô đất với các mẫu được lấy tại 10 vị trí khác nhau. Tính được độ lệch chuẩn của phép đo s_{meas} tại bất kỳ mức x_o nào.

x_{i1}	x_{i2}	$D_i = \lvert x_{i1} - x_{i2} \rvert$	$\bar{x}_i = (x_{i1} + x_{i2})/2$	$d_i = D_i/\bar{x}_i$	Mức x_0	s_{meas}
20	10	10	15	0,67	10	5,70
223	157	66	190	0,35	20	11,4
312	150	162	231	0,70	30	17,1

x_{i1}	x_{i2}	$D_i = \lvert x_{i1} - x_{i2} \rvert$	$\bar{x}_i = (x_{i1} + x_{i2})/2$	$d_i = D_i/\bar{x}_i$	Mức x_0	s_{meas}
816	432	384	624	0,62	40	23,2
55	125	70	90	0,78	50	28,5
54	124	70	89	0,79	100	57,0
442	325	117	384	0,31	200	114
765	755	10	760	0,01	300	171
132	516	384	324	1,19	400	228
650	215	435	433	1,01	500	285
Trung bình độ rộng tương đối của phép đo $\bar{d}$ $\bar{d} = \sum d_i / n$				**0,64**	*CV* phép đo quá lớn, ĐKĐB mở rộng sẽ lớn hơn 100 %, dẫn đến không thực tế. Nên sử dụng dữ liệu qua biến đổi logarithm và tính hệ số KĐB ^{F}U (xem tài liệu EURACHEM/CITAC Guide ww.eurachem.org	
***CV* của phép đo** $CV_{meas} = \frac{\bar{d}}{1{,}128} \cdot 100$				**57 %**		
Độ lệch chuẩn của phép đo tại mức 200 mg/kg: $s_{meas} = CV \cdot \frac{200}{100}$				**114 mg/kg**		

Bảng 5. Tính hệ số biến thiên CV và độ lệch chuẩn của phép đo từ cặp mẫu lặp lại (thiết kế chia mẫu một lần), sử dụng thống kê theo độ rộng tương đối.

7.2 Thiết kế chia mẫu hai lần và thống kê theo độ rộng

(a) Phương thức

Phân tích lặp lại hai lần cho từng mẫu trong nhóm hai mẫu có được khi áp dụng từ thiết kế chia mẫu lặp lại đơn giản, nghĩa là nâng cấp thiết kế chia mẫu lặp lại một lần bằng cách tăng thêm một hoặc nhiều lần lặp lại.

Tính toán độ lệch chuẩn, tất cả các kết quả đo phải cùng nằm trong một độ rộng mà độ lệch chuẩn sẽ tương đối cố định.

(b) Ví dụ

Có 10 lô thức ăn dặm trẻ con (*baby porridge*), từ mỗi lô lấy 01 cặp mẫu lặp lại (40 g), phân tích hàm lượng vitamin A (µg/100 g) mỗi mẫu 02 lần (tất cả 40 lần).

Trung bình của tất cả các kết quả phân tích là 347,9 µg/100 g.

Mẫu 1				**Mẫu 2**				**Độ rộng**
x_{i11}	x_{i12}	$D_{i1} = \lvert x_{i11} - x_{i12} \rvert$	$\bar{x}_{i1}$	x_{i21}	x_{i22}	$D_{i2} = \lvert x_{i21} - x_{i22} \rvert$	$\bar{x}_{i2}$	$D_i = \lvert x_{i1} - x_{i2} \rvert$
402	325	77	363,5	361	351	10	356,0	7,5
382	319	63	350,5	349	362	13	355,5	5
332	291	41	311,5	397	348	49	372,5	61
280	278	2	279,0	358	321	37	339,5	60,5
370	409	39	389,5	378	460	82	419,0	29,5

Mẫu 1				**Mẫu 2**				**Độ rộng**
344	318	26	331,0	381	392	11	386,5	55,5
297	333	36	315,0	341	315	26	328,0	13
336	320	16	328,0	292	306	14	299,0	29
372	353	19	362,5	332	337	5	334,5	28
407	361	46	384,0	322	382	60	352,0	32
$\bar{D}_{i1} = \frac{\sum D_{i1}}{n}$ = **36,5**				$\bar{D}_{i2} = \frac{\sum D_{i2}}{n}$ = **30,7**			$\bar{D} = \frac{\sum D_i}{n}$ = **32,1**	

Độ rộng trung bình của phân tích
Mean range of analysis

$$\bar{D}_{anal} = \frac{\bar{D}_{i1} + \bar{D}_{i2}}{2} = 33{,}6$$

Độ lệch chuẩn của phân tích
Standard deviation of analysis

$$s_{anal} = \frac{\bar{D}_{anal}}{1{,}128} = 29{,}8 \text{ µg/100 g}$$

$$CV_{anal} = \frac{s_{anal}}{\bar{X}} \cdot 100 = \frac{29{,}8}{347{,}9} \cdot 100 = 8{,}6\ \%$$

Độ rộng trung bình của phép đo
Mean range of measurement

$\bar{D}_{meas}$ = 32,1

Độ lệch chuẩn phép đo dựa trên phân tích lặp lại
Std. dev. of measurement based on duplicate analysis

$$s_{meas} = \frac{\bar{D}_{meas}}{1{,}128} = 28{,}5 \text{ µg/100 g}$$

Độ lệch chuẩn của quá trình lấy mẫu/ *Standard deviation of sampling*

$$\boldsymbol{s_{samp} = \sqrt{s_{meas}^2 - \left(\frac{s_{anal}}{\sqrt{2}}\right)^2} = 19{,}1 \text{ µg/100 g}}$$

Nhận xét: Do phân tích dựa trên trung bình của cặp kết quả, nên ở phương trình trên, độ lệch chuẩn của phân tích chia cho căn bậc hai của 2 để đạt độ lệch chuẩn của trung bình.

$$\boldsymbol{CV_{samp} = \frac{s_{samp}}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{19{,}1}{347{,}9} = 5{,}5\ \%}$$

Bảng 6. Tính độ lệch chuẩn lấy mẫu từ cặp mẫu lặp lại và phân tích hai lần (thiết kế chia mẫu hai lần), sử dụng thống kê theo độ rộng.

8 NHẬN XÉT

Việc quan tâm đến ĐKĐB khi lấy mẫu trong quá trình đo kiểm là rất quan trọng, quyết định mức độ tin cậy vào kết quả thí nghiệm cuối cùng, phản ánh được bản chất & thực tế của đối tượng mẫu đang xem xét. Một cách tổng quát, sự không đồng nhất trong đối tượng mẫu là nguyên nhân chính gây nên độ không đảm bảo.

Các giải pháp để có thể có ĐKĐB tối ưu, phản ảnh đúng với thực tế của đối tượng mẫu:

(a) thiết lập quy trình lấy mẫu theo đúng yêu cầu, chú ý về vị trí và thời điểm, số lượng, các chỉ tiêu quan tâm khi lấy mẫu;

(b) chuẩn bị mẫu, xử lý, thí nghiệm… đúng quy trình, đúng phương pháp, chú ý các bước làm ảnh hưởng, đặc biệt khâu làm nhỏ hạt, phối trộn đều, lấy mẫu sao cho thể hiện được tính đại diện của đối tượng mẫu;

(c) tăng cường số lượng khi lấy mẫu và sau khi xử lý mẫu thử là một trong những biện pháp tốt nhất để nâng cao chất lượng, mức độ tin cậy của ĐKĐB đo, thậm chí các yêu

cầu cho thấy thường phải thực hiện trên 8 mẫu hoặc, trong nhiều trường hợp, phương pháp có đến 40 mẫu. Tuy nhiên cần lưu ý chi phí sao cho phù hợp;

(d) lượng mẫu thử khi phân tích cũng ảnh hưởng rất nhiều đến ĐKĐB đo, nên cần phải lưu ý. Ví dụ khảo sát cho thấy khi phân tích hàm lượng vitamin A trong bột ăn dặm của trẻ con, với lượng mẫu 4 g thì ĐKĐB đo phân tích mở rộng là 74 % trong khi lượng mẫu thử 40 g thì ĐKĐB đo phân tích mở rộng chỉ còn 19 %. Cũng nên lưu ý chi phí khi lấy mẫu và xử lý mẫu;

(e) thông thường ĐKĐB của lấy mẫu luôn lớn hơn ĐKĐB của phân tích thí nghiệm (có trường hợp lớn hơn trên 10 lần!), nhất là khi đối tượng lấy mẫu bị phân tán nhiều. Điều này cho thấy việc quan tâm đến ĐKĐB đo kiểm có bước lấy mẫu là điều rất chính đáng;

(f) độ không đảm bảo đo ảnh hưởng đến quy tắc ra quyết định, điều này liên quan đến việc quản lý rủi ro!.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bertil Magnusson, Mikael Krysell, Eskil Sahlin & Teemu Naykki, Uncertainty from sampling, NORDTEST NT TR604 ed2, 2020.

[2] M.H. Ramsey and S.L.R. Ellison (eds.) Eurachem/EUROLAB/CITAC/Nordtest/ AMC Guide: Measurement uncertainty arising from sampling: A guide to methods and approaches. 2nd Edition, Eurochem (2019).

[3] JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) [ISO/IEC Guide 98-3].

[4] ILAC-G8:09/2019 Guidelines on Decision Rules and Statement of Conformity.

[5] ASME, B89.7.3.1-2001 Guidelines for Decision Rules: Considering Measurement Uncertainty in Determining Conformance to Specifications.

[6] D. C. Montgometry, Introduction to Statistical Quality Control 6th edition, John Wiley & Son. Inc. 2009.

Chương 2

ĐO LƯỜNG

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ ĐẾN PHÉP ĐO ĐỘ DÀI VÀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO THEO ISO/TR 16015:2003

Võ Thanh Pho – Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Huỳnh Thị Thu Vân – Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 (Hưu trí)
Email: pho.vt@quatest3.com.vn

1 MỞ ĐẦU

Trong lĩnh vực đo lường kích thước (*dimensional metrology*), nhiệt độ là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đo. Để đảm bảo tính nhất quán và khả năng so sánh giữa các phép đo độ dài, các tiêu chuẩn ở các nước cũng như quốc tế quy định một nhiệt độ tham chiếu chuẩn (*standard reference temperature*).

Nhiệt độ tham chiếu (*reference temperature*) được định nghĩa là nhiệt độ mà tại đó các đặc tính hình học và kích thước của vật thể được quy chiếu đến, thường là 20 ºC theo ISO 1:2022 (*Geometrical Product Specifications – Standard reference temperature for geometrical product specification and verification*). [1]

Lịch sử của nhiệt độ tham chiếu bắt nguồn từ mét nguyên mẫu platimum-iridium năm 1889, được định nghĩa tại 0 ºC (là điểm tan của nước đá). Tuy nhiên nhiệt độ này không tiện lợi cho đo lường công nghiệp. Đến năm 1931, Ủy ban Cân đo quốc tế (*Comité International des Poids et Mesures* - CIPM) chọn 20 ºC làm nhiệt độ chuẩn cho đo lường độ dài trong công nghiệp, dựa trên các yếu tố thực tiễn như nhiệt độ phòng trung bình, dễ thực hiện và kiểm soát.

ISO 1 ban hành lần đầu tiên (năm 1954) và các phiên bản sau này (mới nhất là năm 2022) lưu ý tách biệt nhiệt độ tham chiếu (là nhiệt độ cụ thể cho từng đặc tính) và nhiệt độ tham chiếu chuẩn (luôn là 20 ºC). Điều này cho phép linh hoạt hơn khi đo, nhưng vẫn nhấn mạnh rằng mọi phép đo phải được hiệu chính về nhiệt độ 20 ºC để tránh sai lệch do giãn nở nhiệt.

Mục đích của bài viết này là tóm tắt ảnh hưởng của nhiệt độ đến phép đo độ dài, dựa trên tài liệu ISO/TR 16015:2003 (*Systemmatic errors and contributions to measurement uncertainty of length measurement due to thermal influences*), đồng thời trình bày cách tính toán độ không đảm bảo đo do nhiệt độ để đánh giá mức độ ảnh hưởng khi nhiệt độ khác với nhiệt độ tham chiếu chuẩn.

2 LÝ THUYẾT VỀ ẢNH HƯỞNG NHIỆT ĐỘ ĐẾN PHÉP ĐO ĐỘ DÀI

Nhiệt độ ảnh hưởng đến phép đo độ dài chủ yếu qua hiện tượng giãn nở nhiệt (*thermal expansion*). Khi nhiệt độ thay đổi, chiều dài của vật liệu thay đổi theo công thức cơ bản:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T \qquad (1)$$

trong đó:

ΔL: độ thay đổi về chiều dài

α: hệ số giãn nở nhiệt (*coefficient of thermal expansion, đơn vị là* $^{o}C^{-1}$)

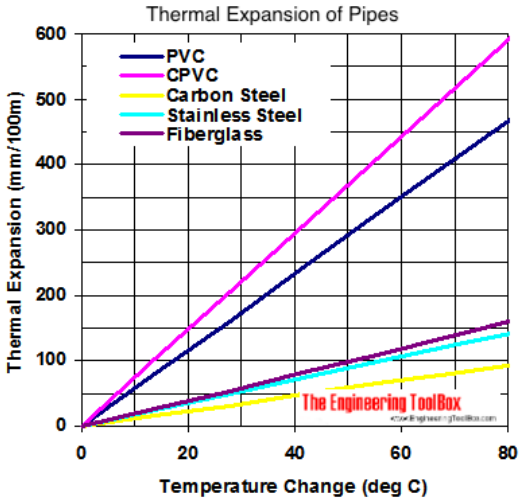
L: chiều dài ban đầu tại nhiệt độ tham chiếu (20 °C)

$\Delta T = T - 20$: chênh lệch nhiệt độ so với 20 °C

Các vật liệu khác nhau có hệ số giãn nở nhiệt khác nhau (hình 1).

Nếu phép đo không diễn ra tại 20 °C, sẽ gây ra sai số hệ thống (*systematic error*) do giãn nở khác biệt giữa chi tiết đo (*workpiece*) và chuẩn (*working standard*). Để giảm thiểu ảnh hưởng của nhiệt độ, cần phải:

- để vật đo "ngấm" (*soaking*) đến trạng thái cân bằng (ví dụ 2 giờ cho chi tiết nhỏ, qua đêm cho chi tiết lớn hoặc qua đêm cho dưỡng đo có độ chính xác cao);
- sử dụng găng tay hoặc dụng cụ cách nhiệt để tránh nhiệt từ tay và kể cả thân nhiệt;
- kiểm soát môi trường đo sao cho nhiệt độ phòng từ 19 °C đến 21 °C, theo dõi độ chênh nhiệt độ (*temperature gradient*) để đảm bảo độ biến động từ 1 °C đến 2 °C theo chiều dọc.
- hiệu chỉnh kết quả đo về 20 °C theo công thức (1).



Hình 1: Đồ thị giãn nở nhiệt theo vật liệu

1 TÍNH TOÁN ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO DO ẢNH HƯỞNG NHIỆT ĐỘ THEO ISO/TR 16015:2003

ISO/TR 16015:2003 cung cấp hướng dẫn đánh giá sai số hệ thống và độ không đảm bảo đo do nhiệt độ trong ba trường hợp sau (hình 2):

a) nhiệt độ trung bình bằng 20 °C;

b) nhiệt độ trung bình không phải 20 °C nhưng có hiệu chính;

c) nhiệt độ trung bình không phải 20 °C và không hiệu chính.

Độ không đảm bảo đo do ảnh hưởng của nhiệt độ được tính theo mô hình toán học của sai số phép đo độ dài, do độ giãn nở khác biệt giữa chi tiết đo và chuẩn, ký hiệu là Δ_{nDE}.

$$\Delta_{nDE} = \Delta_{nEw} - \Delta_{nEs} \; ; \Delta_{nE} = \alpha \cdot L \cdot (T - 20)$$

Nên: $$\Delta_{nDE} = \alpha_w \cdot L_w \cdot (T_w - 20) - \alpha_S \cdot L_S \cdot (T_S - 20) \qquad (2)$$

$$\Delta_{nDE} = \alpha_w \cdot L_w \cdot \theta_w - \alpha_S \cdot L_S \cdot \theta_s$$

Với: $\theta_w = T_w - 20\,;\ \theta_S = T_S - 20$

w là ký hiệu cho chi tiết đo (*workpiece*) và s là ký hiệu cho chuẩn (*standard*).

Dựa trên công thức (2), độ không đảm bảo đo chuẩn tổng hợp do nhiệt độ $u_{cT}(L)$ được tính từ các thành phần chính sau:

1) Độ không đảm bảo đo do phép đo nhiệt độ, $u_{TM}(L)$:

$$u_{TM}(L) = \sqrt{\alpha_w{}^2 L^2 u(\theta_w)^2 + \alpha_s{}^2 L^2 u(\theta_s)^2}$$

Trong đó: $u(\theta_w)$ và $u(\theta_s)$ là độ không đảm bảo đo chuẩn của phép đo nhiệt độ chi tiết đo và chuẩn.

2) Độ không đảm bảo đo do phép đo hệ số giãn nở nhiệt α_w và α_s, $u_{DE}(L)$

$$u_{DE}(L) = \sqrt{L^2 \theta_W{}^2 u(\alpha_w)^2 + L^2 \theta_S{}^2 u(\alpha_s)^2}$$

Trong đó: $u(\alpha_w)$ và $u(\alpha_s)$ là độ không đảm bảo đo chuẩn của hệ số giãn nở của vật liệu chi tiết đo và vật liệu chuẩn.

3) Độ không đảm bảo đo từ biến thiên nhiệt độ môi trường $u_{ETV}(L)$

Dựa trên việc kiểm tra độ biến động về chiều dài do sự biến động nhiệt độ môi trường đo (*Dimensional variation due to environmental temperature variation*) E_{ETV}, giả sử phân bố đều:

$$u_{ETV} = \frac{E_{ETV}}{2\sqrt{3}}$$

- Độ không đảm bảo đo tổng hợp do nhiệt độ $u_{cT}(L)$:

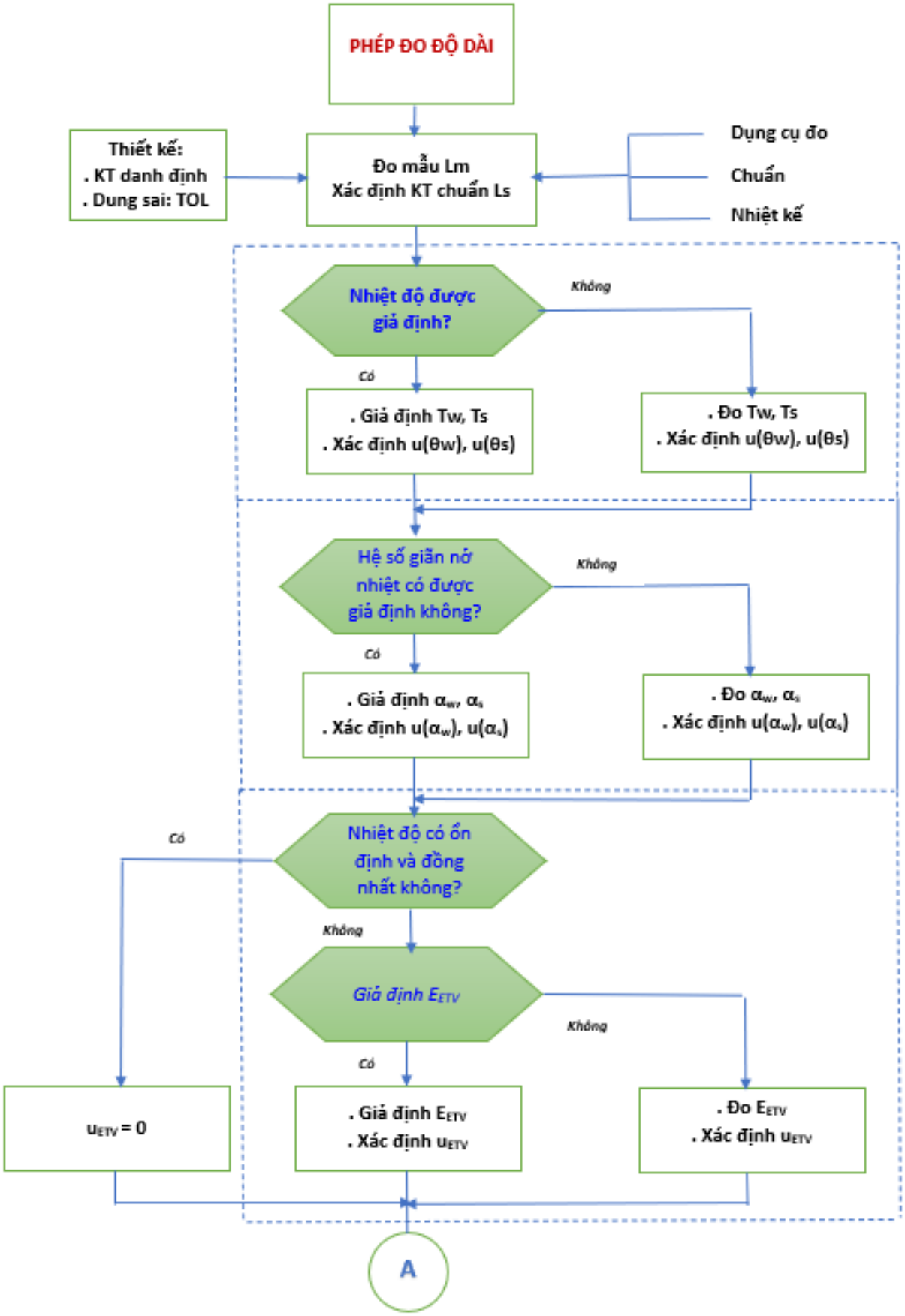
$$u_{cT}(L) = \sqrt{u_{ETV}(L)^2 + u_{DE}(L)^2 + u_{TM}(L)^2}$$

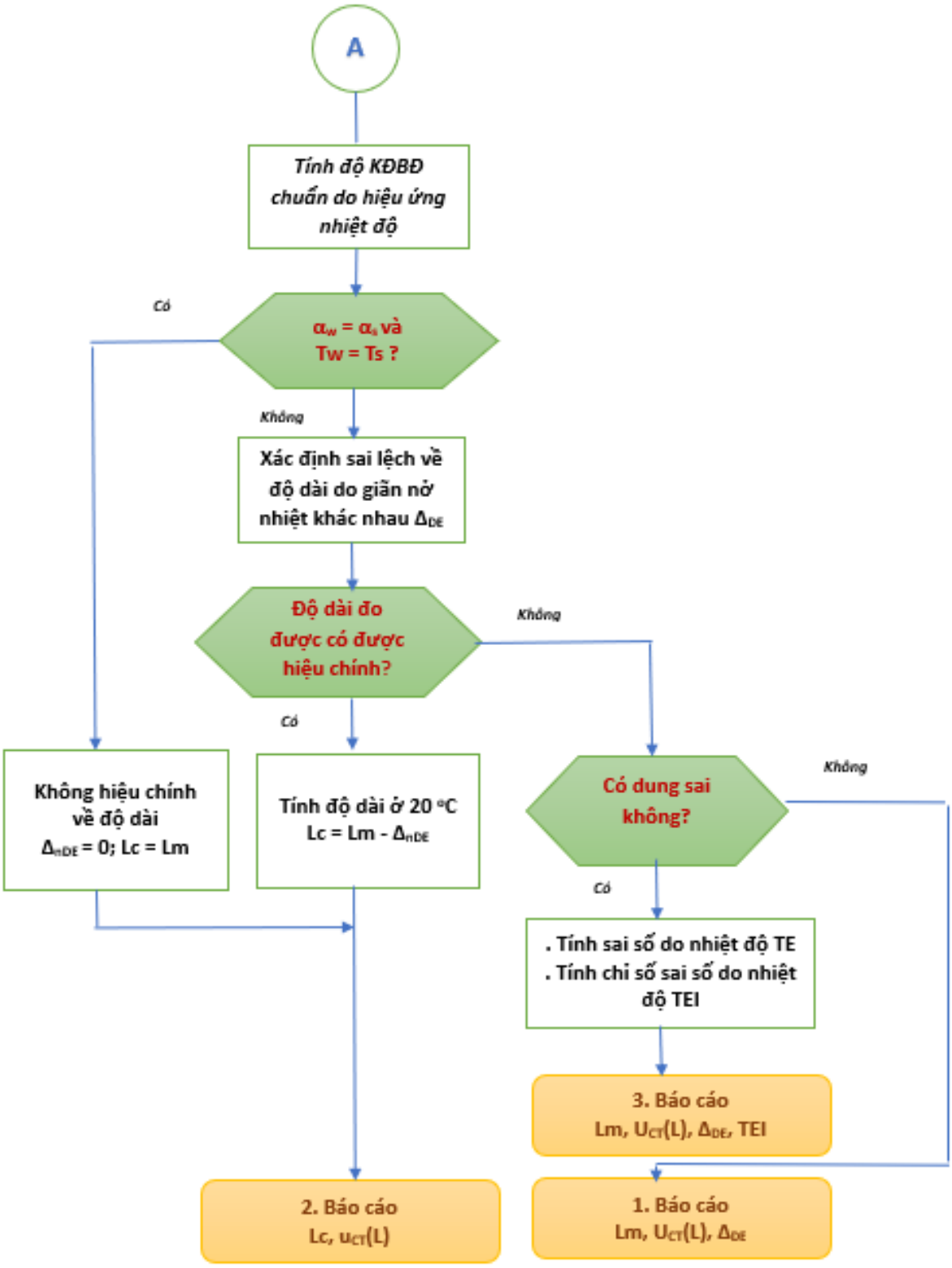
- Sai số đo chiều dài do nhiệt độ TE (*Thermal error*):

$$TE = |\Delta_{nDE}| + 2u_{cT}(L)$$

- Chỉ số sai số do nhiệt độ (*Thermal error index* – TEI):

$$TEI = \frac{2 \cdot TE}{TOL} \cdot 100\,\%\,;$$ (TOL: dung sai)


PHÉP ĐO ĐỘ DÀI
Thiết kế:
. KT danh định
. Dung sai: TOL
Đo mẫu Lm
Xác định KT chuẩn Ls
Dụng cụ đo
Chuẩn
Nhiệt kế
Nhiệt độ được giả định?
Không
Có
. Giả định Tw, Ts
. Xác định u(θw), u(θs)
. Đo Tw, Ts
. Xác định u(θw), u(θs)
Hệ số giãn nở nhiệt có được giả định không?
Không
Có
. Giả định αw, αs
. Xác định u(αw), u(αs)
. Đo αw, αs
. Xác định u(αw), u(αs)
Nhiệt độ có ổn định và đồng nhất không?
Có
Không
Giả định EETV
Không
Có
uETV = 0
. Giả định EETV
. Xác định uETV
. Đo EETV
. Xác định uETV
A



Hình 2: Sơ đồ khối về sai số hệ thống và độ không đảm bảo đo do ảnh hưởng nhiệt của phép đo độ dài. [2]

4 ỨNG DỤNG THỰC TẾ TRONG CÔNG NGHIỆP VÀ ĐO LƯỜNG

4.1 Công nghiệp ô tô: Hãng Volkswagen AG, nhà máy Wolfsburg, Đức

Sai lệch độ dài chi tiết gia công trên máy công cụ (*Computer Numerical Control* - CNC) do nhiệt độ ở xưởng lên đến (80 –100) µm, sử dụng Etalon Lasertracer - NG (Hexagon) đo nhiệt độ của chi tiết đo, máy, môi trường và bù nhiệt thời gian thực. Kết quả giảm sai lệch xuống còn 5 µm đến 8 µm, giảm thời gian hiệu chỉnh thủ công, đảm bảo linh kiện (piston, trục khuỷu, bánh răng) đạt dung sai. Chỉ số sai số do nhiệt (viết tắt là TEI) giảm xuống mức chấp nhận (từ < 20 % đến 30 % dung sai). [3]

4.2 Thiết bị y tế: Chi tiết cấy ghép chỉnh hình

Chi tiết cấy ghép trên người (thân chỏm khớp háng, xương đùi & xương chày của khớp gối,..) với dung sai chặt (từ < 5 µm đến 10 µm), nhiệt độ tăng sau gia công gây sai lệch khoảng hở của khớp. Sử dụng máy đo tọa độ ba chiều (*Coordinate Measuring Machine* - CMM) của hãng Hexagon/ Zeiss với tính năng bù nhiệt tự động, đo nhiệt độ đồng thời chi tiết, chuẩn và môi trường để bù nhiệt thời gian thực, kết quả giảm sai số do nhiệt từ 15 µm đến 20 µm xuống còn từ 2 µm đến 3 µm, chỉ số sai số do nhiệt độ TEI từ < 20 % đến 30 % dung sai, đáp ứng yêu cầu của tiêu chuẩn ISO 13485/FDA và ISO/TR 16015. [4]

4.3 Cơ sở hiệu chuẩn - Quatest 3: Đo độ dài và hiệu chuẩn máy đo độ dài

Ví dụ 1: Đo chiều dày của một tấm chuẩn lớp phủ (*standard foil*) 25 mm, bằng máy CMM tại 5 điểm trên bề mặt, ở nhiệt độ trung bình 20,5 ^{o}C (biến động từ 20,3 ^{o}C đến 20,7 ^{o}C). Tấm chuẩn được làm bằng nhựa PVC. Phép đo được cài đặt ở 2 chế độ đo Stainless steel & PVC để thấy được độ giãn nở được bù khác nhau do khác vật liệu. Thước chuẩn trên máy CMM là Metallur scale grating on glass, với $\alpha = 8{,}0 \times 10^{-6}\ ^{o}C^{-1}$.

Bảng 1: Đo kích thước của chuẩn lớp phủ 25 mm

Điểm đo	Kết quả đo ở chế độ PVC, mm	Kết quả đo ở chế độ Steel, mm	Sai lệch, mm
Điểm 1	25,031 71	25,032 57	0,000 86
Điểm 2	25,038 04	25,038 84	0,000 80
Điểm 3	25,047 21	25,048 00	0,000 79
Điểm 4	25,041 48	25,042 24	0,000 76
Điểm 5	25,045 21	25,045 98	0,000 77

Kết luận: Khi cài đặt vật liệu của chi tiết đo là PVC thì kích thước nhỏ hơn 0,0008 mm. Điều này xảy ra vì PVC có hệ số giãn nở ($52 \times 10^{-6}\ ^{o}C^{-1}$) lớn hơn thép (là $17{,}5 \times 10^{-6}\ ^{o}C^{-1}$), độ lệch nhiệt độ trung bình khi đo so với 20 ^{o}C là 0,5 ^{o}C. Sai lệch về giãn nở do cài đặt khác vật liệu được tính là:

$(52 - 17{,}5) \times 10^{-6} \cdot 25 \cdot 0{,}5 \sim 0{,}000\ 43$ mm.

Kết quả tính không khớp với sai lệch của kích thước đo được ở 2 chế độ cài đặt (Steel & PVC) vì sai số do nhiệt độ ngoài sai lệch do giãn nở khác biệt còn có độ không đảm bảo đo do nhiệt độ, hệ số giãn nở và độ không ổn định nhiệt độ trong quá trình đo.

Áp dụng ISO/TR 16015 tính sai số do nhiệt độ TE của phép đo kích thước 25 mm:

L = 25 mm, $\alpha_w = 52 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}; $u(\alpha_w) = 1{,}2 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1};

Thước chuẩn trên CMM $\alpha_s = 8{,}0 \times 10^{-6}$ °C^{-1}; $u(\alpha_s) = 0{,}58 \times 10^{-6}$ °C^{-1}

Độ không đảm bảo đo của nhiệt độ đo: $u(\theta_w) = u(\theta_s) = 0{,}1$ °C;

Khoảng dao động của nhiệt độ môi trường (từ 20,3 °C đến 20,7 °C)

$$u_{ETV} = \frac{0{,}2 \cdot 25 \cdot (52 \times 10^{-6})}{\sqrt{3}} = 0{,}000\ 15 \text{ mm}$$

$$u_{TM}(L) = \sqrt{25^2 \cdot 0{,}1^2 \cdot (8 \times 10^{-6})^2 + 25^2 \cdot 0{,}1^2 \cdot (52 \times 10^{-6})^2} = 0{,}000\ 13 \text{ mm}$$

$$u_{DE}(L) = \sqrt{25^2 \cdot 0{,}5^2 \cdot (0{,}58 \times 10^{-6})^2 + 25^2 \cdot 0{,}5^2 \cdot (1{,}2 \times 10^{-6})^2} = 0{,}000\ 02 \text{ mm}$$

$$u_{cT}(L) = \sqrt{0{,}000\ 15^2 + 0{,}000\ 13^2 + (0{,}000\ 02)^2} = 0{,}000\ 21 \text{ mm}$$

- Sai lệch giãn nở:

$$\Delta_{nDE} = \Delta\alpha \cdot L\,(T - 20) = [(52 - 8{,}0) \times 10^{-6}] \cdot 25 \cdot 0{,}5 = 0{,}000\ 55 \text{ mm}$$

- Sai số đo chiều dài do nhiệt độ:

TE = 0,000 55 + (2 · 0,000 21) = 0,000 97 mm

Ví dụ 2: Quatest 3 đã tiến hành hiệu chuẩn máy do độ dài vạn năng (*Universal Length Machine* - ULM) tại Công ty KJC (Việt Nam), model CMCKUHNKE, Germany ở Bình Dương. Tuy nhiên, máy ULM này được đặt ở xưởng có nhiệt độ cao 35 °C +/- 5 °C, vì thế khi dùng căn mẫu & thanh chuẩn để kiểm tra thì kết quả sai số rất lớn, từ 6 µm đến 200 µm trong phạm vi 600 mm. Dù hiệu chính giá trị kích thước của căn mẫu ở nhiệt độ tại xưởng, sai số vẫn lớn.

Kết luận: ULM là hệ thống cơ khí phức tạp với nhiều bộ phận gồm thân máy bằng đá granite hoặc thép, thước chuẩn là kính hoặc ceramic với hệ số giãn nở α thấp, đầu dò và cơ cấu di chuyển có α khác nhau, nên giãn nở không đồng đều, gây méo dạng hoặc lệch trục. Hiệu chính kích thước căn mẫu chỉ bù cho chuẩn sử dụng. Máy ULM là "chuẩn cố định" tại 20 °C, ở tại 30 °C máy đã giãn nở, nên quy chiếu (reference) bị lệch, dẫn đến sai lệch hệ thống dù bù ΔL cho căn mẫu. Các máy ULM chính xác thường có phần mềm bù nhiệt, trong đó giá trị hệ số giãn nở nhiệt hiệu quả (xem Bảng 2) được tính toán cụ thể.

* *Hệ số giãn nở nhiệt hiệu quả*

Hệ số giãn nở nhiệt hiệu quả là giá trị "hiệu quả" đại diện cho sự thay đổi kích thước của toàn bộ hệ thống khi nhiệt độ thay đổi. α_{eff} giúp bù nhiệt chính xác hơn bằng cách coi toàn bộ máy như một "vật liệu hiệu quả" đơn giản, thay vì tính riêng từng phần.

a) Phương pháp xác định α_{eff} thực nghiệm

Đo chiều dài chuẩn (L_{ref}) của máy tại 20 °C, thay đổi nhiệt độ và đo lại thay đổi chiều dài (ΔL_{meas}) ở nhiều điểm trên máy, vẽ đồ thị: Trục Y: $\Delta L / L_{ref}$; Trục X: ΔT.

Khớp đường thẳng tuyến tính (linear regression) qua các điểm đo: Slope của đường thẳng là α_{eff} (ppm/°C).

$L_{corrected} = L_{measured} / (1 + \alpha_{eff} \cdot \Delta T)$; ($L_{corrected}$: chiều dài quy về 20 °C).

b) Phương pháp xác định α_{eff} mô hình toán học

Dùng phần mềm (như SolidWorks), xây dựng mô hình 3D của ULM, mô phỏng ΔT, tính ΔL tổng hợp ($\Delta L_{total} = \int \alpha(x) \cdot \Delta T(x) \cdot dx$) , x: vị trí dọc máy), và suy ra $\alpha_{eff} = \Delta L_{total} / (L_{ref} \cdot \Delta T_{avg})$ (ΔT_{avg}: trung bình độ lệch nhiệt độ). [5]

Bảng 2: Hệ số giãn nở hiệu quả của ULM & CMM

STT	Loại máy	α_{eff}, 10^{-6} $^oC^{-1}$
1	ULM Pratt & Whitney Labmaster 1000M	0,5 – 1,0
2	ULM Mahr Precimar 130B	0,1 – 0,5
3	CMM Zeiss Contura	0,5 – 1,5
4	CMM Mitutoyo Crysta-Apex S	1,0 – 2,0
5	CMM Hexagon Global S	0,5 – 2,0

5 KẾT LUẬN

Nhiệt độ là yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến phép đo độ dài qua giãn nở nhiệt (công thức $\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$). Nhiệt độ tham chiếu 20 °C là nền tảng để đảm bảo tính nhất quán. Tiêu chuẩn ISO/TR 16015 cung cấp khung tính độ không đảm bảo đo chuẩn tổng hợp do nhiệt độ, giúp đánh giá và giảm thiểu ảnh hưởng qua sai số đo chiều dài do ảnh hưởng của nhiệt độ và chỉ số sai số do nhiệt độ. Phần mềm bù nhiệt trang bị trên các máy đo thông qua hệ số giãn nở nhiệt có tác dụng rất hiệu quả làm giảm sai số đo chiều dài do ảnh hưởng của chênh lệch nhiệt độ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] ISO 1:2022 – Standard reference temperature for geometrical product specification.

[2] ISO/TR 16015:2003 – Systematic errors and contributions to measurement uncertainty of length measurement due to thermal influences.

[3] Hexagon Manufacturing Intelligence case study – “Safeguarding Precision: Ensuring Machine Tool Performance in Automotive Manufacturing”. Available at: https://hexagon.com/resources/resource-library/safeguarding-precision-ensuring-machine-tool-performance-in-automotive-manufacturing.

[4] Premsanth S. Advanced Metrology Validation: Enhancing Precision and Reliability of Coordinate Measuring Machines (CMM) for Dimensional Inspection in Orthopedic Implant Manufacturing, International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation, 2021, volume 02: 743-745.

[5] Ted D. Uncertainties Related to Thermal Expansion in Dimensional Metrology, Engineering Metrology Group, National Institute of Standards and Technology, Paper 011-2006.

TỪ NGUYÊN MẪU CHUẨN GỐC KILOGAM QUỐC TẾ IPK ĐẾN HẰNG SỐ PLANCK: CUỘC CÁCH MẠNG GIẢI PHÓNG KILOGAM

Võ Quốc Khôi,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: khoi.vq@quatest3.com.vn

1 THỜI GIAN VÀ KHÁT VỌNG VỀ SỰ VĨNH CỬU

Trên phương diện lý thuyết, chúng ta biết không gian có rất nhiều chiều (n chiều). Tuy nhiên để thể hiện một cách tường minh trên hệ trục tọa độ Descartes chỉ biểu diễn tối đa ba chiều x, y, z. Chiều thứ tư ai cũng nhận biết được nhưng không thể thể hiện một cách trực quan được, đó là thời gian. Thời gian chi phối mạnh mẽ đối với vạn vật.

Triết gia Heraclitus từng nói: "*Không ai tắm hai lần trên một dòng sông*". Thời gian trôi qua nhưng chẳng bao giờ nắm lại được. Mọi thực thể vật chất, từ những hạt bụi đến những dãy núi hùng vĩ, đều đang thay đổi theo dòng thời gian và chịu sự bào mòn liên tục.

Trong khoa học đo lường (*metrology*), thời gian là kẻ thù của sự chính xác nhưng lại là chìa khóa của sự vĩnh cửu. Khát vọng của nhân loại trong lĩnh vực đo lường, kể từ Cách mạng Pháp 1789 là tạo ra một hệ thống đo lường " **Cho mọi thời đại, cho mọi dân tộc**" (*À tous les temps, à tous les peuples*). Để làm được điều đó, chúng ta phải giải phóng các đơn vị đo khỏi sự " kìm kẹp" của vật chất hữu hình (các *artifacts* - do con người làm ra) – thứ vốn luôn bị ảnh hưởng bởi thời gian - để đưa chúng vào "địa hạt" của các hằng số vũ trụ bất biến.

Kilogam, đơn vị cơ bản của khối lượng, đơn vị cuối cùng còn "bám trụ" vào một hiện vật "nhân tạo", chính là thành trì cần chinh phục cuối cùng của cuộc cách mạng này.

2 LỊCH SỬ DẪN ĐẾN KHÁC BIỆT "DỄ THƯƠNG" CỦA ĐƠN VỊ KILOGAM

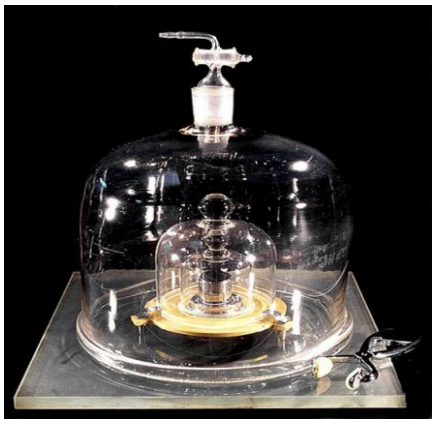
Tại sao đơn vị khối lượng lại là **kilogam** (kg) mà không phải là **gam** (g)? Đây có thể nói là một dấu tích lịch sử mang tính thực dụng. Ban đầu, các nhà khoa học Pháp định nghĩa "**grave**" là khối lượng một lít nước tinh khiết ở nhiệt độ 4 ^{o}C. Tuy nhiên dưới sức nóng của cuộc Cách mạng Pháp, cái tên "grave" bị kỳ thị vì gợi nhớ đến tước hiệu quí tộc!.

Các nhà khoa học Pháp liền đổi sang dùng "**gram**" (Việt Nam dùng chữ gam), nhưng 1 gam nước vốn được định nghĩa là khối lượng của 1 cm^3 nước tinh khiết ở 4 ^{o}C, khối lượng này là quá nhỏ để có thể chế tạo vật chuẩn khối lượng chính xác.

Kết quả, như chúng ta đã biết, một quả cân 1 kilogam bằng hợp kim platinum-iridium (bạch kim - iridi) được chế tạo và cái tên "**kilogram**" nghiễm nhiên trở thành đơn vị cơ bản của đại lượng khối lượng.

Năm 1889, Hội nghị toàn thể về Cân đo (*Conférence générale des poids et mesures* - CGPM) lần thứ nhất đã chính thức hóa "Nguyên mẫu chuẩn gốc kilogam quốc tế (*International Prototype of the kilogram* - IPK) hay còn gọi là Le Grand K" - là một khối platinum - iridium được lưu giữ trong

ba lớp chuông thủy tinh tại hầm của Viện Cân đo Quốc tế (*Bureau International des Poids et Mesures* - BIPM) ở Sèvres, Pháp.



Đến năm 2019, trải qua 130 năm, IPK là đơn vị cơ bản cuối cùng được định nghĩa từ một vật thể nhân tạo. Điều này tạo ra nghịch lý nếu giá trị khối lượng của IPK bị thay đổi (ví dụ như bám bụi hay trầy xước) thì khối lượng của toàn vũ trụ bị thay đổi theo định nghĩa, mặc dù thực tế vật chất không hề biến đổi.

Thực tế các dự án so sánh định kỳ giữa các Viện Đo lường Quốc gia (*National Metrology Institute* - NMI) cho thấy IPK "thay đổi" đi khoảng 50 µg so với các bản sao của nó. Sự thay đổi này chưa thể giải thích rõ ràng, và nó rất có ảnh hưởng đến nền móng của khoa học chính xác.

3 CUỘC CHẠY ĐUA CỦA CÁC GIẢ THUYẾT LƯỢNG TỬ

Để thay thế IPK, cộng đồng khoa học quốc tế đã trải qua nhiều thập kỷ tranh luận giữa hai hướng tiếp cận học thuật đỉnh cao:

∗ **Dự án Avogadro** (Cách tiếp cận nguyên tử): Nhóm nghiên cứu, dẫn đầu bởi Viện Đo lường Quốc gia Đức (PTB), đề xuất định nghĩa kilogam bằng cách đếm số lượng nguyên tử có trong một khối cầu silicon-28 siêu tinh khiết. Mục tiêu là xác định hằng số Avogadro (N_A) với độ chính xác tuyệt đối.

∗ ***Phương pháp cân Kibble*** (Cách tiếp cận điện từ): Do Bryan Kibble tại Viện Đo lường Quốc gia Anh (NPL) đề xuất. Phương pháp này dựa trên cơ sở liên kết khối lượng với hằng số Planck (h) thông qua việc so sánh công suất cơ học và công suất điện.

Sau nhiều vòng thử nghiệm, phương pháp cân Kibble đã giành ưu thế vì nó cho phép thiết lập một mối liên hệ trực tiếp giữa khối lượng và một hằng số nền tảng của cơ học lượng tử. Hằng số Planck liên kết năng lượng của photon với tần số của nó ($E = hf$). Thông qua phương trình nổi tiếng của Einstein ($E= mc^2$), hằng số Planck trở thành "chiếc cầu" nối liền thế giới lượng tử siêu nhỏ với thế giới vĩ mô của chúng ta.

4 TỪ CÔNG THỨC VẬT LÝ ĐẾN ĐỊNH NGHĨA CỦA BIPM

Để định nghĩa lại kilogam, các nhà khoa học đã sử dụng hai phương trình vĩ đại nhất của vật lý hiện đại:

◊ Công thức của Einstein ($E = mc^2$): Cho biết năng lượng (E) và khối lượng (m) thực chất là " hai mặt của đồng xu". Khối lượng có thể quy đổi ra năng lượng.

◊ Công thức của Planck ($E = hf$): Cho biết năng lượng (E) của một hạt ánh sáng (photon) tỉ lệ thuận với tần số (f) thông qua hằng số Planck (h)

Kết hợp hai công thức trên, chúng ta được:

$$mc^2 = hf$$

Suy ra:

$$m = \frac{hf}{c^2}$$

trong đó đơn vị của các đại lượng là:

- m tính bằng kg
- h tính bằng J·s
- f tính bằng s^{-1}

- *c* tính bằng m/s

Công thức trên chính là chìa khóa cơ bản, hợp lý (logic) để liên kết khối lượng với hằng số Planck:

Nếu cố định *h* và *c* (đã cố định để định nghĩa trong đơn vị cơ bản độ dài mét) thì đơn vị khối lượng *m* sẽ được định nghĩa qua tần số *f*

Để thấy được kg nằm ở đâu trong hằng số *h*, cần phân tích đơn vị joule. Theo định nghĩa công cơ học ($A = F \cdot s$), chúng ta có:

$$1\ \text{J} = 1\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

Vậy đơn vị của hằng số Planck (*h*) sẽ là:

$h = \text{J} \cdot \text{s} = (\ \text{kg} \cdot\ \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}\ ) \cdot \text{s} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Từ trên có thể suy ra cách tính 1 kilogam như sau:

$$1\ \text{kg} = \frac{h}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}} = h \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$$

Công thức trên nói lên rằng:

"**kilogam được cấu thành từ hằng số Planck, mét và giây**"

Để 1 kilogam "mới" giống 1 kilogam "cũ" các nhà khoa học đã phải tiến hành đo cực kỳ chính xác giá trị của *h* theo kilogam cũ và đo được:

$$h \approx 6{,}626\ 070\ 15 \cdot 10^{-34} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Để cố định *h* thì thay vì con số trên kèm theo độ không đảm bảo đo thì BIPM tuyên bố:

" **Kể từ nay *h* chính là con số này**" !!!

Nếu chia cả hai vế của công thức trên cho con số mà BIPM tuyên bố và thay dấu xấp xỉ bằng dấu bằng thì được:

$$\frac{h}{6{,}626\ 070\ 15 \cdot 10^{-34}} = 1\ \text{kg} \cdot \text{m}^2\ \cdot \text{s}^{-1}$$

Biến đổi thêm để 1 kilogam về một vế thì được công thức định nghĩa dựa trên các đơn vị cơ bản khác (mét và giây). Đây cũng là công thức chính thức của BIPM:

$$1\ \text{kg} = \frac{h}{6{,}626\ 070\ 15 \cdot 10^{-34}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$$

Để dễ hình dung hơn, lấy ví dụ như sau:

Giống như việc thay vì nói "1 tá là 12 cái", biểu diễn:

1 cái = $\frac{1\ \text{tá}}{12}$ (hãy xem 1 tá ở đây như là *h*, 12 là số đã cố định $6{,}626\ 070\ 15 \cdot 10^{-34}$).

5 TỪ HẰNG SỐ PLANCK ĐẾN KILOGAM THỰC TẾ - CÂN KIBBLE

Cân Kibble trước đây còn gọi là cân watt, là một thiết bị đo lường cực kỳ tinh vi dùng để xác định khối lượng thông qua các đại lượng điện và hằng số Planck. Cân có hai chế độ vận hành riêng biệt diễn ra trên cùng một thiết bị là chế độ cân tĩnh (weighing mode) và chế độ động (moving mode).

Cân Kibble hoạt động dựa trên việc so sánh công suất cơ học và công suất điện. Thay vì so sánh một khối lượng với một khối lượng khác (chuẩn) như thông thường, nó so sánh khối lượng với hằng số Planck thông qua hiệu ứng lượng tử.

Bộ phận chính quan trọng nhất là cuộn dây dẫn đặt trong từ trường rất mạnh của nam châm vĩnh cửu.

Ở chế độ cân tĩnh, vật nặng cần cân có khối lượng *m* được đặt lên đĩa cân. Trọng lực sẽ tác động lên vật nặng một lực $F = mg$ sẽ được cân bằng với lực điện từ (Lorentz) sinh ra khi cho dòng điện *I* chạy qua cuộn dây nằm trong từ trường *B*.

Công thức cân bằng lực:

$$mg = BLI$$

trong đó:

- *m* là khối lượng cần đo;
- *g* là gia tốc trọng trường (đo cực kỳ chính xác và thường bằng máy đo trọng trường laser);
- *B* là cường độ từ trường của nam châm vĩnh cửu;
- *L* là chiều dài dây dẫn của cuộn dây;
- *I* là cường độ dòng điện chạy qua cuộn dây.

Ở chế độ động: Vật nặng được nhấc ra, cuộn dây được điều khiển chuyển động thẳng đứng với vận tốc *v* không đổi xuyên qua chính từ trường *B*. Theo định luật cảm ứng điện từ Faraday, một suất điện động (hiệu điện thế) *U* sẽ xuất hiện hai đầu cuộn dây.

Công thức suất điện động cảm ứng:

$$U = BLv$$

trong đó:

- *U* là hiệu điện thế cảm ứng;
- *v* là vận tốc chuyển động của cuộn dây *(*với *v* không đổi, vuông góc với *B)*

Kết hợp hai công thức tĩnh và động, loại bỏ thành phần B và L, có phương trình công suất cơ = công suất điện

$$mgv = UI$$

Phương trình trên giải thích vì sao trước đây gọi cân Kibble là cân watt

Liên kết với hằng số Planck: Để đạt đến độ chính xác nguyên tử, các đại lượng điện U và I không thể đo bằng đồng hồ thông thường mà được đo thông qua các hiệu ứng lượng tử:

- ***Hiệu ứng Josephson***: Dùng để đo hiệu điện thế *U* dựa trên hằng số Planck *h* và điện tích nguyên tử *e*:

$U = f_j \cdot h/2 \cdot e$ *(*f_j *là tần số siêu cao tần)*

- ***Hiệu ứng Hall lượng tử***: Dùng để đo điện trở *R* từ đó tính ra dòng diện *I* thông qua hằng số Planck *h:*

$$R = h/e^2$$

Khi thay thế các biểu thức lượng tử này vào phương trình *mgv = UI ,* các đại lượng như điện tích *e* sẽ triệt tiêu nhau và còn lại:

$$m = \frac{h \cdot C \cdot f_1 \cdot f_2}{g \cdot v}$$

trong đó *C;* f_1 *;* f_2 là các hằng số thực nghiệm và tần số đo được

Cuối cùng cân Kibble, một kiệt tác vật lý đã cho phép con người biến đơn vị kilogam từ một tạo vật có thể hỏng hóc trở thành một hằng số vĩnh cửu của vũ trụ.

6 ĐO LƯỜNG VÀ SỰ "DÂN CHỦ HÓA" CHUẨN ĐẦU

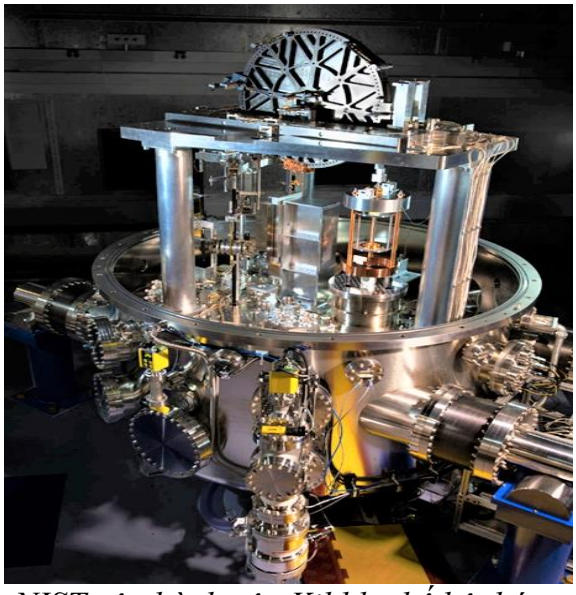
Việc xác lập định nghĩa mới là một nỗ lực toàn cầu với sự tham gia của các viện đo lường quốc gia NMI hàng đầu như:

- ***NIST (Mỹ)***: Với dự án NIST-4, đã đạt được độ không đảm bảo đo cực nhỏ đóng vai trò quyết định trong việc cố định hằng số Planck.

- ***NRC (Canada)***: Đơn vị đầu tiên thực hiện phép đo hằng số Planck với độ chính xác vượt qua giới hạn yêu cầu của BIPM.

- ***PTB (Đức) và METAS (Thụy Sĩ)***: Những đơn vị hàng đầu đi theo hướng phương pháp Avogadro tuy hướng này không được chọn nhưng cũng tạo ra kilogam với độ chính xác đạt yêu cầu đặt ra ban đầu, điều này tạo điều kiện rất tốt cho việc đánh giá kiểm chứng chéo với phương pháp cân Kibble.

Sự dịch chuyển này mang ý nghĩa " dân chủ hóa" đo lường. Trước đây, mọi quốc gia phải gửi chuẩn đầu quốc gia của mình đến



NIST vận hành cân Kibble thế hệ thứ tư NIST-4 từ 2015 để xác định hằng số Planck

Pháp để so với chuẩn. Ngày nay, bất kỳ quốc gia nào có đủ năng lực tài chính, kỹ thuật trang bị cân Kibble đều có thể tạo ra "**Chuẩn đầu kilogam**" ngay tại PTN của mình.

Khoa học vốn dĩ là thuộc về cả nhân loại, khoa học đo lường cũng vậy.

Nhưng trước đây kilogam bị bao bọc bởi biên giới Pháp và tuy chưa xảy ra nhưng hoàn toàn có khả năng trở thành " con tin" nhưng nay thì hạn chế này không còn nưa, kilogam thật sự đã được giải phóng và là của cả nhân loại và sẽ không bị hư hại theo thời gian.

7 KẾT LUẬN

Việc thay đổi định nghĩ kilogam từ IPK sang hằng số Planck không chỉ là một thay đổi về mặt kỹ thuật, nó còn là một sự thay đổi về tư duy của nhân loại. Chúng ta thừa nhận thế giới vật chất là mong manh và chịu sự chi phối nghiệt ngã của thời gian. Để tồn tại vĩnh cửu trong chừng mực nào đó, chúng ta cần phải trú ngụ trong các quy luật của tự nhiên.

Trong bối cảnh kinh tế số và công nghệ phát triển như vũ bão hiện nay, một đơn vị kilogam chính xác ở mức lượng tử là nền tảng cho công nghệ nano, cơ khí siêu chính xác và các phép đo trong không gian vũ trụ...

Giờ đây kilogam, đơn vị cơ bản của đại lượng đo lường khối lượng không còn dựa vào là một vật thể nhân tạo là quả cân chuẩn quốc tế IPK làm bằng hợp kim platinum – iridium, vốn đã bị "giam cầm" bao nhiêu năm trong một căn hầm ở BIPM Sèvres, Pháp mà nó đã trở thành một giá trị độc lập như mong muốn từ ban đầu là:

"***định nghĩa các đơn vị cơ bản dựa vào các giá trị tự nhiên bất biến***".

Kết quả tuyệt vời này sẵn sàng phục vụ cho mọi tiến bộ khoa học và công nghệ của nhân loại trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] NIST (2024). " The kilogram: From a Physical Object to a Fundamental Constant".

[2] Stoc, M., et al. (2019). " The revision of the SI – the result of three decades of progress in metrology".

[3] BIPM Website.

PIPET PITTÔNG VÀ KỸ THUẬT SỬ DỤNG

Huỳnh Ngọc Liễu,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 (Hưu trí)
Email: lieu_huynhngoc@yahoo.com

1 GIỚI THIỆU

Trong các phòng thí nghiệm (PTN) hóa học, sinh học và y học thì việc đo và chuyển một lượng chất lỏng chính xác đến một nơi khác là một yêu cầu vô cùng quan trọng. Pipet là một trong những dụng cụ cơ bản giúp thực hiện công việc này. Nhờ pipet, người ta có thể lấy, định lượng và chuyển chất lỏng với độ chính xác cao, góp phần đảm bảo tính chính xác của các thí nghiệm.

Trải qua nhiều giai đoạn phát triển, pipet đã được cải tiến từ những ống thủy tinh đơn giản thành các thiết bị đo thể tích từ cấu tạo đơn giản đến pipet pittông cơ học và điện tử hiện đại hiện nay. Lịch sử phát triển của pipet phản ánh quá trình tiến bộ của khoa học và kỹ thuật PTN.

2 LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN CỦA PIPET

Những dạng pipet đầu tiên xuất hiện vào khoảng thế kỷ XVIII và XIX, cùng với sự phát triển của hóa học thực nghiệm ở châu Âu. Ban đầu, pipet chỉ đơn giản là những ống thủy tinh dài, đầu nhọn, dùng để hút và chuyển thể tích dung dịch. Việc hút dung dịch thường được thực hiện bằng miệng hoặc bằng bóng cao su gắn ở đầu ống.

Một trong những loại pipet nổi tiếng thời kỳ này là pipet Pasteur, được phổ biến bởi nhà khoa học Pháp Louis Pasteur. Pipet có cấu tạo đơn giản gồm một ống thủy tinh nhỏ và một bóng cao su để hút dung dịch. Dụng cụ này được sử dụng chủ yếu để nhỏ giọt hoặc chuyển dung dịch với lượng nhỏ trong các thí nghiệm hóa học và sinh học. Mặc dù cấu tạo đơn giản, loại pipet này đã đặt nền tảng cho sự phát triển các loại pipet chính xác hơn sau này.

Pipet định mức (*volumetric pipet*) được thiết kế để đo một thể tích cố định với độ chính xác khá cao. Trên thân pipet có một vạch chuẩn duy nhất, giúp người sử dụng lấy đúng thể tích dung dịch cần thiết.

Pipet chia độ (*graduated pipet*) cũng được đưa ra sau đó. Loại pipet này có nhiều vạch chia dọc theo thân, cho phép lấy nhiều thể tích khác nhau. Nhờ những cải tiến này, pipet trở thành dụng cụ quan trọng trong các PTN hóa học, sinh học, dược phẩm và công nghiệp…

Vào giữa thế kỷ XX, do nhu cầu, những dụng cụ có khả năng đo và chuyển những thể tích chất lỏng rất nhỏ, chỉ ở mức microlit (µL) nhằm đáp ứng sự phát triển mạnh của sinh học phân tử và công nghệ sinh học, nên các loại pipet có phạm vi nhỏ, chính xác và tiện dụng ngày càng phát triển.

Năm 1957, nhà khoa học người Đức Heinrich Schnitger đã đề xuất loại micropipet cơ học đầu tiên sử dụng cơ chế pittông. Dụng cụ này cho phép hút và nhả một lượng rất nhỏ chất lỏng với độ chính xác cao. Sau đó, công ty Eppendorf đã phát triển và thương mại hóa thiết kế này, tạo ra các micropipet có thể điều chỉnh thể tích. Sự ra đời của micropipet góp phần thúc đẩy sự phát triển của nhiều lĩnh vực như sinh học phân tử, nghiên cứu DNA và các kỹ thuật phân tích hiện đại.

Vào cuối thế kỷ XX, pipet tiếp tục được cải tiến với sự ra đời của các loại pipet điện tử, loại pipet này sử dụng động cơ điện để hút và nhả dung dịch, giúp cho người sử dụng giảm mỏi tay và tăng độ chính xác trong thao tác. Pipet điện tử còn cho phép lập trình nhiều chế độ làm việc khác nhau như hút nhiều lần, pha loãng dung dịch hoặc phân phối dung dịch theo chuỗi.

Bước sang thế kỷ XXI, nhiều PTN đã áp dụng hệ thống pipet tự động và robot hóa. Những hệ thống này có thể thực hiện hàng trăm đến hàng nghìn thao tác hút & xả trong một thời gian ngắn, giúp tăng năng suất và giảm sai sót của con người. Chúng được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu sinh học, xét nghiệm y học và phát triển dược phẩm…

Bắt đầu từ những ống thủy tinh đơn giản, pipet đã trải qua nhiều giai đoạn cải tiến để trở thành một dụng cụ đo lường chính xác và hiện đại trong PTN. Sự phát triển của pipet không chỉ giúp nâng cao độ chính xác của các thí nghiệm mà còn góp phần thúc đẩy sự tiến bộ của nhiều ngành khoa học như hóa học, sinh học và y học...

Trong tương lai, với sự phát triển của công nghệ tự động hóa và trí tuệ nhân tạo, pipet có thể sẽ tiếp tục được cải tiến để phục vụ tốt hơn cho các nghiên cứu khoa học và các lĩnh vực kỹ thuật phân tích và kiểm tra chất lượng sản phẩm.

3 CÁC LOẠI PIPET

3.1 Pipet thủy tinh

Pipet thủy tinh thường có dạng ống dài, làm bằng thủy tinh trong suốt để người sử dụng có thể quan sát mức dung dịch bên trong. Trên thân pipet có các vạch chia thể tích giúp xác định lượng dung dịch cần xác định.

Một số loại pipet thủy tinh có phần ở giữa thân phình ra để chứa một thể tích dung dịch cố định, trong khi đầu dưới của pipet được thiết kế nhỏ và thuôn tóp nhọn để giúp dung dịch chảy ra chính xác hơn. Khi sử dụng, người ta thường kết hợp pipet thủy tinh với bóng cao su hoặc dụng cụ hút pipet để hút dung dịch vào trong ống.

3.2 Pipet Pasteur

Pipet Pasteur là một loại dụng cụ thí nghiệm được phổ biến chủ yếu dùng để hút, chuyển hoặc nhỏ giọt một lượng nhỏ dung dịch trong quá trình thí nghiệm. Pipet này gồm ba bộ phận chính. Thứ nhất là thân ống, thường được làm bằng thủy tinh hoặc nhựa, có dạng hình trụ dài. Phần thân này có nhiệm vụ dẫn và chứa dung dịch khi hút vào. Thân của pipet thường không có vạch chia thể tích nên dụng cụ này không dùng để đo thể tích chính xác mà chỉ dùng để chuyển dung dịch.

Phần cuối của pipet có được thiết kế thuôn nhọn giúp dung dịch có thể chảy ra thành từng giọt nhỏ, thuận tiện cho việc nhỏ dung dịch vào ống nghiệm, đĩa petri hoặc các dụng cụ thí nghiệm khác. Bóng cao su gắn ở đầu trên của pipet, có chức năng tạo lực hút và đẩy dung dịch.

3.3 Pipet pittông hay micropipet

Pipet pittông hay micropipet (sau đây gọi micropipet) là một dụng cụ thí nghiệm hoạt động dựa trên cơ cấu pittông. Thiết bị này được dùng để hút, đo và chuyển một thể tích nhỏ chất lỏng với độ chính xác cao, thường nằm trong khoảng từ microlit (µL) đến mililit (mL). Sự ra đời của micropipet đã giúp cải thiện đáng kể độ chính xác của các phép đo thể tích nhỏ so với các loại pipet thủy tinh truyền thống, đồng thời giúp thao tác nhanh và thuận tiện hơn trong quá trình làm thí nghiệm.

4 PHÂN LOẠI MICROPIPET



Micropipet là dụng cụ được sử dụng phổ biến trong các PTN sinh học, hóa học, y học… để hút và chuyển các thể tích chất lỏng rất nhỏ, thường tính bằng microlit (µL). Dựa vào các đặc điểm khác nhau, micropipet có thể được phân loại theo nhiều tiêu chí như thể tích đo, cơ chế hoạt động và số kênh hút:

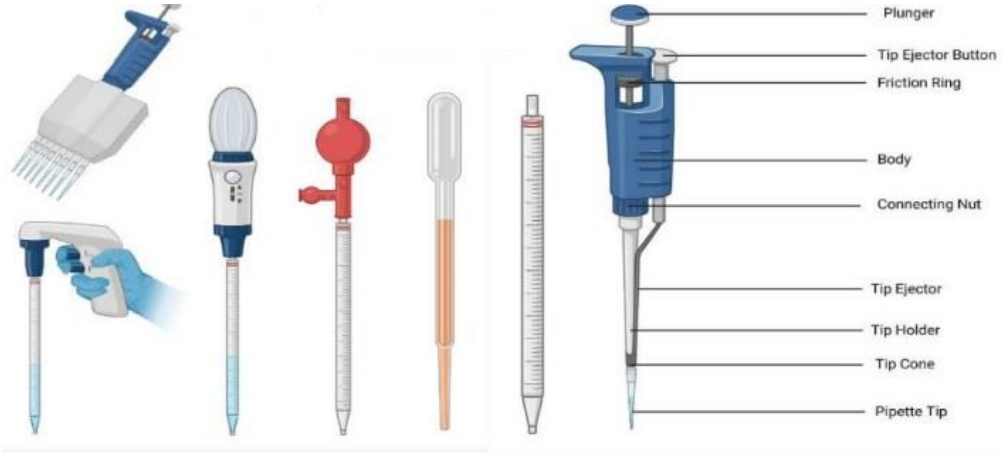
a) **theo thể tích đo**, micropipet được chia thành nhiều loại khác nhau như P10, P20, P100, P200 và P1000…;

b) **theo cơ chế hoạt động,** có hai loại micropipet cơ và micropipet tự động (micropipet điện tử).

Micropipet cơ hoạt động dựa trên hệ thống pittông và lò xo, người sử dụng thao tác bằng cách nhấn nút để hút và xả dung dịch. Đây là loại phổ biến nhất trong phòng thí nghiệm do cấu tạo đơn giản, dễ sử dụng và giá thành tương đối thấp.

Micropipet tự động hoạt động nhờ động cơ và hệ thống điều khiển điện tử, cho phép cài đặt thể tích và thực hiện thao tác hút xả dung dịch một cách tự động. Loại này có độ chính xác và độ lặp lại cao, đặc biệt thích hợp cho các thí nghiệm yêu cầu thao tác nhiều lần liên tiếp.

Micropipet cơ và micropipet tự động đều có vai trò quan trọng trong việc đo và chuyển chất lỏng với thể tích nhỏ. Tuy nhiên, pipet cơ học có cấu tạo đơn giản và giá thành thấp hơn, trong khi pipet tự động mang lại độ chính xác cao hơn, thao tác nhanh hơn và giảm sai số do con người. Vì vậy, tùy vào mục đích sử dụng và điều kiện của phòng thí nghiệm mà người ta lựa chọn loại micropipet phù hợp.



Những khác biệt cơ bản của pipet cơ học và pipet tự động

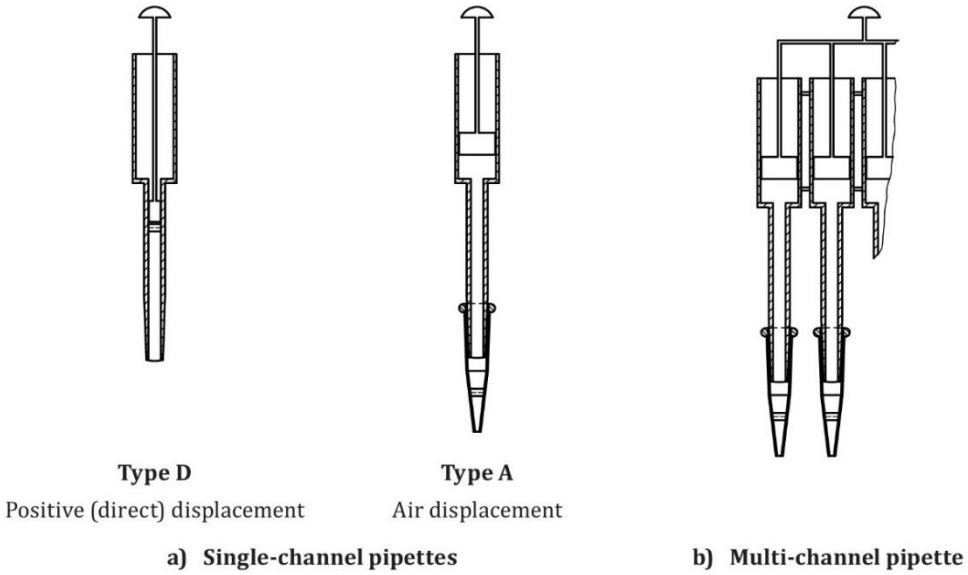
Tiêu chí	Pipet cơ học	Pipet tự động
Vận hành	Pipet hoạt động nhờ lực tay của người sử dụng để điều khiển pittông	Pipet có cơ chế tự động hoặc bán tự động, hỗ trợ hút và xả dung dịch dễ dàng hơn
Nguyên lý hoạt động	Hoạt động bằng cơ chế pittông, áp suất không khí, người dùng nhấn và thả nút bằng tay	Có thể sử dụng động cơ điện hoặc hệ thống điện tử để hút và xả dung dịch
Mức độ chính xác	Độ chính xác cao nhưng phụ thuộc nhiều vào thao tác của người dùng	Ổn định và chính xác hơn, giảm sai số do thao tác
Cách điều chỉnh thể tích	Điều chỉnh bằng núm xoay cơ học trên thân pipet	Điều chỉnh bằng nút bấm hoặc màn hình điện tử
Tốc độ thao tác	Thao tác chậm hơn khi thực hiện nhiều mẫu	Nhanh hơn, đặc biệt khi làm việc với nhiều mẫu
Giá thành	Rẻ hơn	Đắt hơn do có hệ thống điện tử
Ứng dụng	Dùng phổ biến trong các PTN thông thường	Dùng trong PTN hiện đại, nghiên cứu sinh học phân tử, phòng xét nghiệm

Phân loại theo **số kênh hút**, micropipet được chia thành micropipet đơn kênh và micropipet đa kênh. Micropipet đơn kênh chỉ có một đầu hút và thường được sử dụng trong các thao tác hút mẫu riêng lẻ. Ngược lại, micropipet đa kênh có thể có 8 hoặc 12 đầu hút, cho phép hút và phân phối nhiều mẫu cùng lúc, thường được sử dụng khi làm việc với các khay vi chuẩn (*microplate*) trong các thí nghiệm sinh học phân tử hoặc xét nghiệm sinh hóa.

c) **theo ISO 8655:2022** (TCVN 10505:2015)

Micropipet chia làm hai loại chính là loại dịch chuyển dương (*positive "direct" displacement*) loại D và pipet có đệm khí (*air displacement*) loại A.

- **pipet loại D:** loại chia làm 2 loại : Loại D1 là loại có thể sử dụng lại và D2 là loại chỉ sử dụng một lần;
- **pipet loại A**: có 2 loại là pipet đơn kênh và pipet đa kênh.



5 QUY TRÌNH VẬN HÀNH

Pipet được sử dụng theo chu trình vận hành để hút và xả một thể tích chất lỏng theo yêu cầu. Các bước thực hiện theo trình tự sau :

Bước 1: Chọn micropipet phù hợp

Trước khi thao tác, cần lựa chọn micropipet có khoảng thể tích phù hợp với lượng dung dịch cần hút. Không nên điều chỉnh thể tích vượt quá giới hạn cho phép của pipet vì có thể làm hỏng thiết bị hoặc gây sai số trong quá trình đo.

Bước 2: Gắn đầu tip

Gắn đầu tip (đầu hút) dùng một lần vào đầu pipet bằng cách ấn nhẹ pipet vào hộp tip để tip gắn chặt. Việc sử dụng tip mới cho mỗi mẫu giúp **tránh nhiễm chéo giữa các mẫu**. Mỗi loại pipet đều có đầu tip riêng được sản xuất kèm theo . Việc chọn đúng chủng loại sẽ đảm bảo được độ chính xác của phép đo.

Bước 3: Cài đặt thể tích cần hút

Xoay nút điều chỉnh trên thân pipet để cài đặt thể tích mong muốn. Thể tích sẽ được hiển thị trên cửa sổ hiển thị của pipet.

Bước 4: Hút dung dịch

Nhấn nút điều khiển xuống **đến nấc thứ nhất**, sau đó đưa đầu tip vào dung dịch cần hút (khoảng 2 mm – 3 mm dưới bề mặt dung dịch). Sau đó từ từ thả nút điều khiển để dung dịch được hút vào tip một cách ổn định.

Bước 5: Phân phối dung dịch

Đưa đầu tip vào ống hoặc vật chứa cần chuyển dung dịch. Nhấn nút điều khiển **đến nấc thứ nhất để nhả dung dịch**, sau đó tiếp tục nhấn **đến nấc thứ hai** để đẩy hết lượng dung dịch còn lại trong tip.

Bước 6: Bỏ tip đã sử dụng

Sau khi hoàn tất thao tác, nhấn nút ejector để đẩy tip ra khỏi pipet và bỏ đầu tip vào thùng rác chuyên dụng.

Bước 7: Bảo quản pipet

Sau khi sử dụng, micropipet nên được đặt trên giá treo pipet để tránh làm hỏng đầu pipet và đảm bảo thiết bị luôn sạch sẽ.

Tóm lại, việc tuân thủ quy trình sử dụng micropipet không chỉ giúp tăng độ chính xác của phép đo mà còn kéo dài tuổi thọ của thiết bị và đảm bảo an toàn trong PTN.

6 KỸ THUẬT VẬN HÀNH (*Pipetting*)

Kỹ thuật sử dụng, vận hành pipet là tập hợp các thao tác và nguyên tắc mà người sử dụng cần tuân thủ khi dùng pipet để hút và xả chất lỏng trong PTN. Nếu kỹ thuật thao tác không đúng, kết quả đo có thể bị sai lệch đáng kể so với thể tích đã cài đặt trên pipet Việc thực hiện đúng kỹ thuật giúp đảm bảo độ chính xác của thể tích**,** độ lặp lại của phép đo và tránh sự nhiễm bẩn mẫu**.**

6.1 Chọn dãy thể tích phù hợp với pipet

Trước khi sử dụng cần chọn pipet có khoảng thể tích phù hợp với lượng dung dịch cần đo. Ví dụ: pipet 10 µL – 100 µL dùng cho thể tích nhỏ, pipet 100 µL – 1 000 µL dùng cho thể tích lớn hơn. Không nên sử dụng pipet ở mức thể tích quá gần giới hạn tối đa hoặc tối thiểu của pipet.

Dãy thể tích chuẩn: Từ 10 % - 100 % thể tích danh nghĩa. Khi sử dụng thể tích ở mức 10 % giá trị tối đa, đòi hỏi có thao tác tốt.

Dãy thể tích tối ưu: Từ 35 % - 100 % thể tích danh nghĩa, với sự lựa chọn này, đảm bảo được độ chính xác và độ lặp lại, ít phụ thuộc vào thao tác.

Sử dụng pipet với dãy thể tích tối ưu sẽ cải thiện độ chính xác đến 1 %.

6.2 Cài đặt thể tích

Đối với micropipet cơ, khi cài đặt thể tích cần thực hiện các bước sau:

- xoay núm vặn để đặt thể tích mong muốn theo cùng một hướng;
- xoay thêm 1/3 vòng trên giá thị thể tích cần cài đặt;
- quay ngược lại (dial down) tới thể tích cần cài đặt.

Đối với pipet tự động, dung tích cài đặt thực hiện theo hướng dẫn của nhà sản xuất cho từng dụng cụ.



6.3 Góc nghiêng đầu tip khi nhúng

Khi nhúng đầu tip để hút chất lỏng đầu tip, lưu ý cần phải hướng thẳng đúng.



Góc nghiêng không đúng



Góc nghiêng đúng

6.4 Chiều sâu nhúng

Dung tích pipet, µL	Độ sâu khi nhúng đầu tip, mm	Thời gian ngâm, s
2 đến 10	1 - 2	1
20 đến 100	2 - 3	1
200 đến 1 000	2 - 4	1
1 000 đến 5 000	3 - 6	3

Lưu ý: Độ sâu khi nhúng đầu tip phù hợp sẽ cải thiện độ chính xác đến 5 % !

6.5 Thời gian ngâm đầu tip trong chất lỏng

Sau khi nhúng đầu tip vào chất lỏng cần lấy, tiếp đó duy trì thời gian ngâm đầu tip tối thiểu khoảng 1 giây sau khi hút. Sau đó rút đầu tip ra khỏi dung dịch từ từ và nhẹ nhàng, đặc biệt quan trọng đối với mẫu có thể tích lớn và có tính nhớt cao.



6.6 Hút xả trước khi đo (*pre-rinse*)

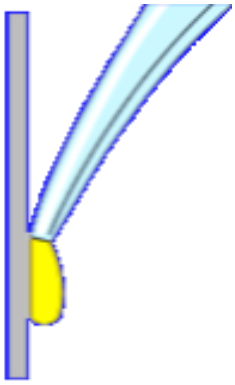
Trước khi đo (*pipetting*) chất lỏng phải được thực hiện hút và xả chất lỏng vài lần sau khi gắn đầu tip vào thân pipet:

- mục đích việc này là tạo bề mặt tiếp xúc như nhau để có độ lặp lại tốt nhất (nhằm đạt trạng thái bảo hòa hơi, tránh bay hơi làm giảm thể tích thực cần hút);
- thực hiện bằng cách hút và xả ngược lại vào trong khay hoặc bỏ đi;
- tiến hành sau khi gắn đầu tip vào thân pipet, sau khi tăng thể tích đo.

6.7 Ảnh hưởng của tốc độ hút

Tốc độ hút phải được kiểm soát và duy trì nhịp nhàng. Hút nhanh quá có thể dẫn đến hiện tượng chất lỏng bị văng lên, làm hư hỏng niêm (*seal*) và pittông. Và cũng có khả năng gây nhiễm chéo mẫu / hoá chất. Để tránh sự nhiễm chéo có thể sử dụng đầu tip có filter lọc.

6.8 Kỹ thuật xả chất lỏng khỏi đầu tip





Có 3 cách xả:

- dọc theo thành của ống nghiệm: Sau khi rút pipet ra khỏi bình chứa mẫu, xả chất lỏng vào bình theo cách để đầu tip chạm vào bình chứa, tiếp đó xả chất lỏng và kéo đầu tip lên vài milimet dọc theo thành bình;
- trên bề mặt chất lỏng; xả chất lỏng trên mặt thoáng bình chứa nhưng đầu tip không chạm vào dung dịch sẵn có trong bình;
- trực tiếp vào chất lỏng.

a) Ảnh hưởng của nhiệt độ

Sự khác biệt từ nhiệt độ môi trường đo, chất lỏng và dụng cụ ảnh hưởng đến độ chính xác phép đo thể tích vì vậy phải để chất lỏng và pipet cân bằng nhiệt trong môi trường đo

Lưu ý:

Khảo sát cho thấy nếu chất lỏng ở 4 °C và pipet ở 21 °C, sai số tiềm ẩn là 5,1 %.

b) Ảnh hưởng do hơi ấm từ bàn tay

Hơi ấm truyền từ bàn tay cũng có ảnh hưởng lớn đến kết quả đo dung tích, do vậy người thao tác tránh cầm lâu thân pipet.

c) Những điều cần nên tránh

- tránh làm nhiễm chéo!;
- không nhúng bất ký vật gì vào mẫu thử nghiệm trừ đầu tip;
- nếu đã hút mẫu, không đặt pipet nằm ngang khi trong tip còn chất lỏng hoặc giữ pipet nghiêng;
- không để dung dịch đi vào thân pipet;
- tránh chỉnh lại;
- không đặt pipet ở thể tích cao hơn giá trị tối đa của pipet;
- nếu pipet bị rơi, phải kiểm tra, hiệu chuẩn lại nếu cần, không nên nghĩ rằng pipet sẽ hoạt động đúng;
- không cài đặt thể tích khi chưa mở khoá.

d) Bảo dưỡng pipet

- kiểm tra và làm sạch trục/dấu niêm và pit tông đúng cách theo hướng dẫn;
- làm sạch pipet nếu có hoá chất hoặc bị văng nước khi không sử dụng tip có lưới lọc;
- luôn làm khô các bộ phận trước khi lắp vào.

Việc áp dụng đúng kỹ thuật sử dụng pipet là yếu tố quan trọng giúp nâng cao độ tin cậy của kết quả thí nghiệm và đảm bảo an toàn trong PTN. Pipet thường là xuất phát điểm của các quá trình phân tích; nếu pipet không hoạt động tốt, quá trình phân tích sẽ bị ảnh hưởng.

7 SAI SỐ CHO PHÉP CỦA PIPET THEO ISO 8655 (TCVN 10505)

Theo tiêu chuẩn quốc tế ISO 8655 (TCVN 10505), sai số lớn nhất cho phép (*maximum permissible error*) của pipet pit tông được qui định tùy phân loại.

Sai số hệ thống phản ánh độ đúng (*accuracy*) của pipet, được xác định bằng độ lệch giữa thể tích trung bình đo được và thể tích danh định đã cài đặt trên pipet.

$E_s = \bar{v} - v_s$

hoặc

$$E_s\,\% = \frac{\bar{v} - v_s}{v_s}\,.100$$

Sai số ngẫu nhiên (random error):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{1}^{n}(v_i - \bar{v})^2}$$

$$CV = \frac{s}{v} .100$$

s: độ lệch chuẩn

CV: hệ số biến thiên.

Sai số ngẫu nhiên biểu thị độ lặp lại (*precision-độ chụm*), thể hiện mức độ phân tán của các giá trị thể tích thu được qua nhiều lần hút – xả mẫu liên tiếp trong quá trình kiểm tra pipet.

Tiêu chuẩn ISO 8655 quy định các giới hạn sai số tối đa cho phép (*maximum permissible error* – MPE) đối với từng khoảng thể tích khác nhau của pipet pittông.

Việc kiểm tra và hiệu chuẩn pipet theo ISO 8655 thường được thực hiện bằng phương pháp đo khối lượng (*gravimetric method*), trong đó thể tích chất lỏng được xác định gián tiếp thông qua khối lượng đo được và khối lượng riêng của chất lỏng.

Sai số thể tích cài đặt cho phép lớn nhất cho pipet pittông đơn kênh
(theo ISO 8655:2022 loại A và D1)

Thể tích cài đặt		**Sai số hệ thống cho phép lớn nhất, ± %**	**Sai số ngẫu nhiên cho phép lớn nhất, ± %**
Thể tích danh nghĩa, µL	**Tỷ lệ cài đặt so với danh nghĩa, %**		
1 đến 3	100	2,5	2,0
	50	5,0	4,0
	10	25	20
> 3 đến 5	100	2,5	1,5
	50	5,0	3,0
	10	25	15
> 5 đến 10	100	1,2	0,8
	50	2,4	1,6
	10	12	8,0
>10 đến 50	100	1,0	0,5
	50	2,0	1,0
	10	10	5,0,
> 50 đến 5 000	100	0,80	0,30
	50	1,6	0,60
	10	8,0	3,0
> 5 000 đến 20 000	100	0,60	0,30
	50	1,2	0,60
	10	6,0	3,0

Ghi chú :

* Sai số hệ thống: biểu thị độ lệch trung bình so với thể tích cài đặt.
* Sai số ngẫu nhiên: biểu thị mức độ lặp lại của các lần đo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] ISO 8655:2022 Piston-operated volumetric apparatus - Part 2: Piston pipettes. (TCVN 10505-2:2015 Dụng cụ đo thể tích có cơ cấu pittông - Phần 2: Pipet pittông).

[2] NPL Measurement Good Practice Guide No.69 The Calibration and Use of Piston Pipettes.

GIẢI PHÁP HIỆU CHUẨN TỰ ĐỘNG PHƯƠNG TIỆN ĐO: XU HƯỚNG, THÁCH THỨC VÀ HIỆU QUẢ TRONG LĨNH VỰC ĐO LƯỜNG ĐIỆN

Nguyễn Thanh Tùng, Vũ Thị Hồng Nhung, Đồng Duy Khang,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: de@quatest3.com.vn

Tóm tắt

Các hệ thống hiệu chuẩn tự động ACS[1] *đang trở thành xu hướng tất yếu trong các phòng thử nghiệm và hiệu chuẩn hiện đại, đáp ứng yêu cầu chuyển đổi số và tiêu chuẩn ISO/IEC 17025:2017. Bài viết này trình bày cấu trúc kỹ thuật, phân tích lợi ích toàn diện, các yêu cầu triển khai của hệ thống ACS. Ứng dụng thực tiễn qua hệ thống hiệu chuẩn tự động đồng hồ đo điện vạn năng hiện số* DMM[2] *phát triển bằng LabVIEW tại phòng Đo lường Điện, Quatest 3 được trình bày để minh chứng hiệu quả.*

Abstract

Automated Calibration Systems (ACS) are becoming an inevitable trend in modern testing and calibration laboratories, supporting digital transformation and meeting the requirements of ISO/IEC 17025:2017. This paper presents the technical architecture, analyzes the comprehensive benefits, and the implementation requirements of ACS. A practical application is demonstrated through an automated calibration system for digital multimeters (DMMs) developed using LabVIEW at the Electrical Metrology Laboratory, illustrating the effectiveness of the approach.

Từ khóa

Hiệu chuẩn tự động, ACS, đo lường điện, ISO/IEC 17025, LabVIEW, quản lý chất lượng.

1 GIỚI THIỆU

Hiệu chuẩn phương tiện đo là hoạt động kỹ thuật thiết yếu trong hệ thống đảm bảo đo lường, nhằm xác định sai số của thiết bị so với chuẩn tham chiếu theo chuỗi liên kết chuẩn. Trong nhiều năm, hoạt động này được thực hiện thủ công với ba hạn chế cốt lõi: phụ thuộc vào kinh nghiệm người vận hành, dễ xảy ra sai sót khi đọc & ghi chép dữ liệu, và thời gian thực hiện kéo dài do thao tác chuyển điểm đo.

Sự phát triển của công nghệ máy tính, thiết bị đo thông minh và các giao thức GPIB (IEEE-488.2), USB-TMC, Ethernet/LXI đã tạo điều kiện tự động hóa toàn bộ quy trình hiệu chuẩn. Hệ thống ACS cho phép điều khiển thiết bị chuẩn, thu thập dữ liệu từ thiết bị cần hiệu chuẩn DUT[3], tính toán sai số và tạo ra báo cáo tự động mà không cần can thiệp của con người. Bên cạnh đó, việc tuân thủ ISO/IEC 17025:2017 [1] ngày càng nghiêm ngặt khiến việc áp dụng ACS không

[1] ACS: Automated Calibration System
[2] DMM: Digital MultiMeter
[3] DUT: Device Under Test

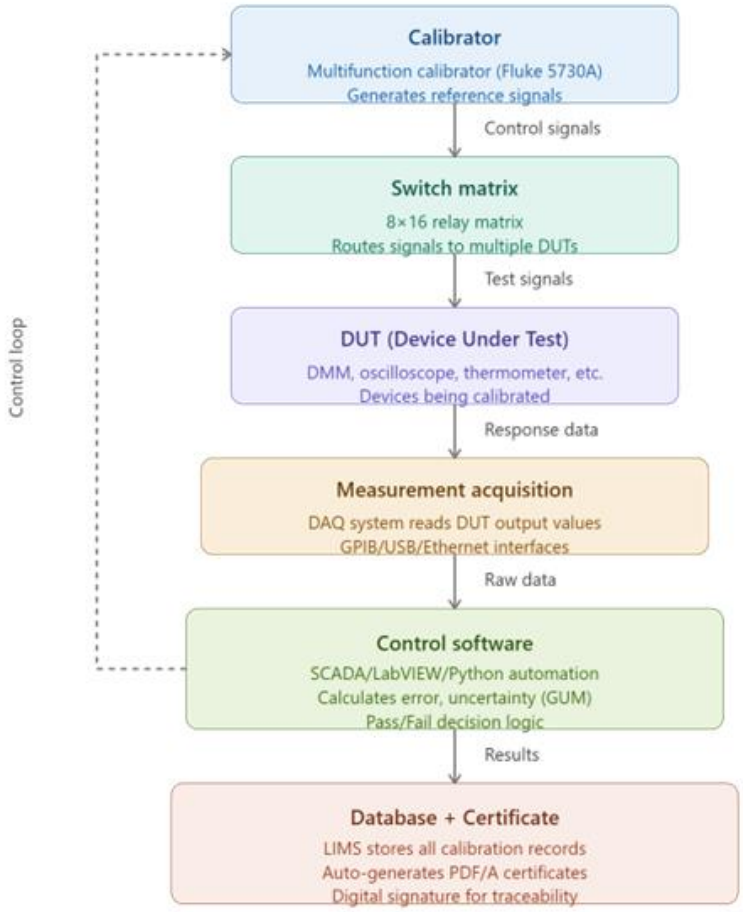
chỉ là lựa chọn kỹ thuật mà còn là yêu cầu quản lý chất lượng.

Bài viết này hệ thống hóa cấu trúc kỹ thuật và nguyên lý hoạt động của ACS, phân tích lợi ích và thách thức trong triển khai, đánh giá theo yêu cầu ISO/IEC 17025, đồng thời trình bày kết quả ứng dụng thực tiễn tại phòng Đo lường Điện, Quatest 3 nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc mở rộng ứng dụng tại các phòng thí nghiệm khác.

2 CẤU TRÚC VÀ NGUYÊN LÝ HỆ THỐNG HIỆU CHUẨN TỰ ĐỘNG

Hệ thống ACS hoạt động theo nguyên lý điều khiển vòng kín: phần mềm gửi lệnh (*Standard Commands for Programmable Instruments* - SCPI) đến thiết bị chuẩn để tạo tín hiệu chuẩn, thu nhận dữ liệu phản hồi từ DUT, tính toán độ không đảm bảo đo theo GUM [2] và lưu trữ kết quả – lặp lại tự động cho từng điểm hiệu chuẩn. Cấu trúc tổng thể gồm sáu thành phần:

(1) chuẩn tham chiếu (thông thường với tỷ lệ độ không đảm bảo đo ≥ 4:1 so với DUT);
(2) thiết bị cần hiệu chuẩn (DUT);
(3) chuyển mạch tự động;
(4) máy tính điều khiển;
(5) phần mềm điều khiển và xử lý dữ liệu;
(6) hệ thống cơ sở dữ liệu (CSDL) đo lường.



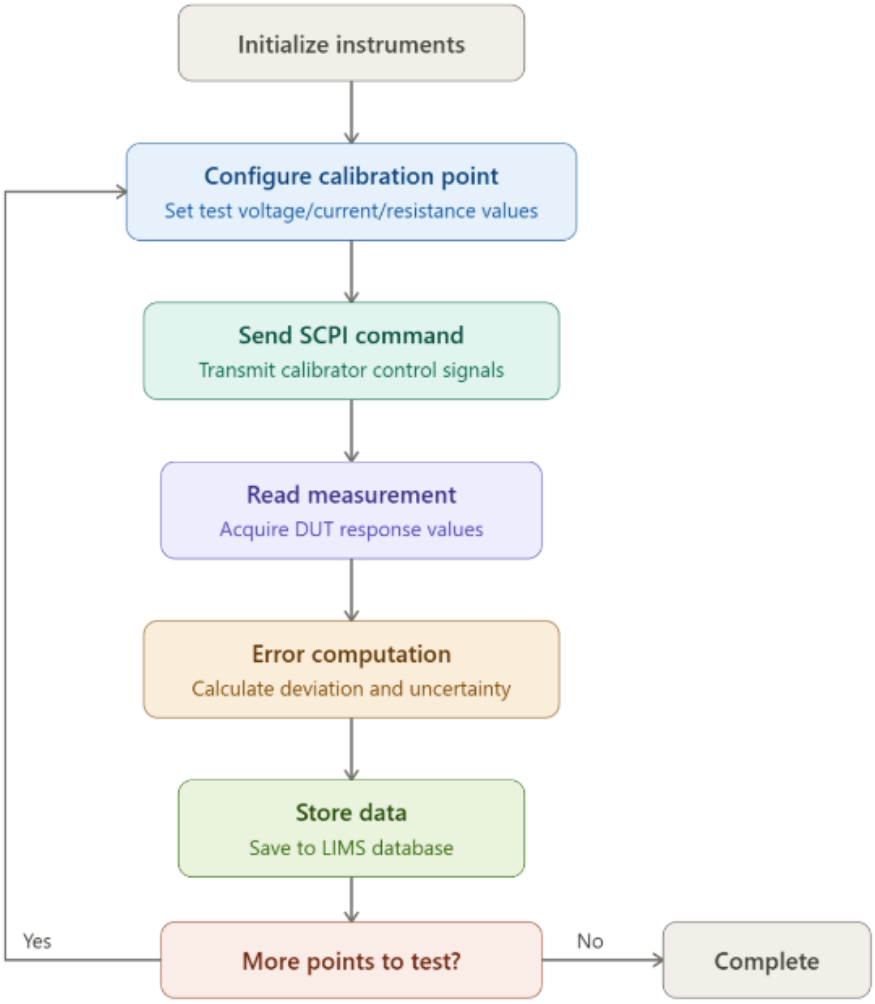
Hình 1: Sơ đồ cấu trúc hệ thống

Trong lĩnh vực đo lường điện, một ví dụ về phần cứng điển hình của hệ thống hiệu chuẩn tự động bao gồm nguồn chuẩn đa năng (Fluke 5700A), đồng hồ đo điện vạn

năng chuẩn (Keysight 3458A), bộ chuyển mạch tự động (Keithley 7001) và cảm biến đo nhiệt độ - độ ẩm của môi trường hiệu chuẩn. Giao thức GPIB/SCPI chuẩn hóa giao tiếp giữa các thiết bị từ nhiều nhà sản xuất khác nhau, đảm bảo tính tương thích và khả năng mở rộng hệ thống mà không cần thay đổi cấu trúc phần mềm.

Về nền tảng phần mềm LabVIEW [5] hiện tại là lựa chọn phổ biến nhất nhờ ngôn ngữ lập trình đồ họa và thư viện IVI/VISA phong phú. Python ngày càng được chú ý do tính linh hoạt và khả năng tích hợp với NumPy, Pandas.

Phần mềm ACS đảm nhận toàn bộ luồng xử lý: điều khiển thiết bị → trình tự điểm đo → thu thập và lọc thống kê → tính toán theo GUM → lưu cơ sở dữ liệu (CSDL) và xuất báo cáo chuẩn.



Hình 2: Sơ đồ cấu trúc chương trình

3 PHÂN TÍCH LỢI ÍCH VÀ YÊU CẦU TRIỂN KHAI

3.1 Lợi ích kỹ thuật và quản lý

Về độ không đảm bảo đo, ACS loại bỏ hoàn toàn sai số đọc hiển thị và sai sót ghi chép, giảm đáng kể thành phần độ không đảm bảo loại A và cải thiện tính lặp lại (*repeatability*). Về năng suất, loại bỏ thời gian thao tác chuyển điểm đo và cho phép hệ thống chạy mà không cần phải giám sát liên tục. Về quản lý dữ liệu, mỗi bản ghi sẽ

có thông tin thời gian, thông tin thiết bị; khả năng phân tích xu hướng lịch sử hỗ trợ hiệu chuẩn, tối ưu chi phí vận hành dài hạn.

3.2 Yêu cầu theo ISO/IEC 17025:2017

Tiêu chuẩn ISO/IEC 17025 đặt ra bốn nhóm yêu cầu trọng tâm khi triển khai ACS.

Thứ nhất, xác nhận giá trị sử dụng phần mềm (điều 7.11); thuật toán tính toán phải được kiểm tra bằng dữ liệu tham chiếu đã biết và ghi tài liệu kiểm soát có kiểm soát phiên bản.

Thứ hai, kiểm soát truy cập phân quyền nhiều cấp (8.4).

Thứ ba, liên kết chuẩn đo lường - hệ thống tự cảnh báo khi thiết bị chuẩn đến hạn hiệu chuẩn lại (6.5).

Thứ tư, quản lý rủi ro và sao lưu dữ liệu tự động để phòng ngừa sự cố phần mềm/phần cứng (8.5).

4 ỨNG DỤNG THỰC TIỄN: HIỆU CHUẨN TỰ ĐỘNG DMM TẠI QUATEST 3

4.1 Ý tưởng và triển khai

Việc lấy dữ liệu hiệu chuẩn theo quy trình hiệu chuẩn thiết bị đo điện vạn năng hiện số trước kia tại Phòng Đo lường Điện, Quatest 3 được thực hiện bằng cách kết nối thiết bị hiệu chuẩn đa năng Fluke 5xxxA và thiết bị đo điện vạn năng hiện số cần hiệu chuẩn, dữ liệu đo được sẽ được nhập từ bàn phím máy tính vào phần mềm Excel; hay hiệu chuẩn bán tự động bằng phần mềm điều khiển thiết bị chuẩn đa năng và nhập dữ liệu đọc được trên thiết bị đo điện vạn năng hiện số vào Excel.

Thiết bị đo điện vạn năng hiện số ngày nay có nhiều loại, có độ chính xác/độ ổn định cao (đến 8-1/2 digits) và số lần lấy dữ liệu nhiều tại nhiều điểm đo cần hiệu chuẩn (dòng điện, điện áp, tần số, điện trở...) nếu thực hiện bằng cách nhập kết quả hiệu chuẩn từ bàn phím máy tính vào bảng tính Excel có thể dẫn đến sai sót về số liệu và mất nhiều thời gian.

Hơn thế nữa, nhiều thiết bị đo điện vạn năng ngày nay do tần suất sử dụng nhiều nên dễ bị hao mòn tuổi thọ, phím bị liệt hoặc hư dẫn đến khó thao tác để thực hiện việc hiệu chuẩn. Do đó, Phòng Đo lường Điện đã ứng dụng điều khiển tự động cho việc hiệu chuẩn thiết bị đo điện vạn năng hiện số để giải quyết những tồn đọng trên.



Hình 3: Kết nối hiệu chuẩn tự động thiết bị chuẩn Fluke 8846A và thiết bị hiệu chuẩn vạn năng Fluke 5700A

Chương trình được viết bằng phần mềm Labview 2022 của hãng National Instrument, USA, lấy giá trị dữ liệu điện áp, dòng điện, điện trở, tần số, tụ điện tự động tại các điểm đo cần hiệu chuẩn từ thiết bị đo điện vạn năng hiện số cùng với điều khiển tự động thiết bị hiệu chuẩn đa năng Fluke 5xxxA. Dữ liệu kết quả đo được hiển thị

trực tiếp trên giao diện của phần mềm và đồng thời được lưu và xuất vào file Excel theo thư mục được chọn sẵn.

4.2 Kết quả

Chương trình điều khiển thiết bị hiệu chuẩn đa năng như Fluke 5xxxA (Fluke 5500A, Fluke 5700A, Fluke 5520A, Fluke 5522A...). và lấy giá trị dữ liệu đo lường tự động từ hầu hết các thiết bị đo điện vạn năng hiện số phổ biến của các hãng như Fluke, Keysight…Sau thời gian áp dụng, kết quả đánh giá so sánh hai phương pháp được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. So sánh hiệu quả hiệu chuẩn thủ công và hiệu chuẩn tự động (ACS)

Tiêu chí đánh giá	Hiệu chuẩn thủ công	Hiệu chuẩn tự động (ACS)
Thời gian hiệu chuẩn	50 phút - 60 phút Phải thực hiện thủ công	40 phút – 45 phút (giảm 25 %) Chạy tự động, không cần giám sát
Thu thập dữ liệu	Ghi chép tay	Tự động, thời gian thực
Sai sót nhập liệu	Có sai sót	Nhỏ (gần bằng 0)
Tuân thủ ISO/IEC 17025	Dựa trên giấy tờ	Số hóa, có bằng chứng điện tử

Kết quả nổi bật nhất là giảm thành phần sai số ngẫu nhiên do thao tác con người. Thời gian hiệu chuẩn giảm được 25 % so với phương pháp thủ công, độ tin cậy đảm bảo các yêu cầu của ISO/IEC 17025.

4.3 Đánh giá độ không đảm bảo đo: So sánh hiệu chuẩn thủ công và ACS

Để định lượng hiệu quả của giải pháp hiệu chuẩn tự động, phần này trình bày ví dụ các thành phần độ không đảm bảo đo tại điểm hiệu chuẩn 10 V (DC) của đồng hồ đo điện vạn năng hiện số, so sánh giữa phương pháp thủ công và phương pháp tự động (ACS). Thiết bị chuẩn sử dụng là Fluke 5700A.

Các thành phần độ không đảm bảo đo được xác định: u_1 – độ lặp lại (Type A), tính từ độ lệch chuẩn của các giá trị đo được; u_2 – độ không đảm bảo của thiết bị chuẩn (từ chứng nhận hiệu chuẩn); u_3 – độ không đảm bảo do độ phân giải DUT (Type B, phân bố chữ nhật: $u_3 = \Delta / 2\sqrt{3}$). Kết quả chi tiết trình bày tại Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần độ không đảm bảo đo tại điểm 10 V(DC) - so sánh hiệu chuẩn thủ công và ACS

Thành phần	Loại	Phân bố	u Thủ công, µV	u ACS, µV
u_1 – Độ lặp lại	A	Chuẩn	1,10	0,58
u_2 – ĐKĐB đo của thiết bị chuẩn	B	Chuẩn	10,0	10,0
u_3 – Độ phân giải DUT	B	Chữ nhật	2,89	2,89

Kết quả cho thấy độ không đảm bảo đo do độ lặp lại giảm từ $u_1 = 1{,}10$ µV (thủ công) xuống còn $u_1 = 0{,}58$ µV (ACS). Sự cải thiện này đến từ: tăng số lần đo n (từ n = 4 lên n = 10) và giảm độ phân tán.

5 THÁCH THỨC, XU HƯỚNG VÀ KHUYẾN NGHỊ

Việc triển khai ACS đối mặt với ba thách thức chính:

a) Tích hợp các thiết bị từ nhiều nhà sản xuất, dù SCPI được chuẩn hóa, nhiều thiết bị triển khai không đầy đủ, đòi hỏi phát triển các tính năng riêng;

b) Chi phí đầu tư ban đầu cao cho phần cứng, bản quyền phần mềm và xác nhận giá trị sử dụng;

c) Nhu cầu đào tạo nhân lực chuyên sâu về cả vận hành lẫn nguyên lý kỹ thuật để đảm bảo khả năng xử lý sự cố.

Để giảm thiểu rủi ro, khuyến nghị nên tiếp cận qua ba giai đoạn: tự động hóa thu thập dữ liệu và tính toán trước (giữ thao tác vật lý thủ công) → tự động hóa hoàn toàn cho loại DUT có số lượng yêu cầu lớn nhất → mở rộng đa dạng loại thiết bị và tích hợp.

Về xu hướng phát triển, các hướng phát triển nổi bật bao gồm: tích hợp AI/Machine Learning để thực hiện hiệu chuẩn dự đoán và phát hiện bất thường tự động; ứng dụng IoT và cloud cho phép hiệu chuẩn từ xa và chia sẻ dữ liệu thời gian thực. Tại Việt Nam, lộ trình phát triển hạ tầng đo lường quốc gia theo Quyết định 996/QĐ-TTg đặt mục tiêu hiện đại hóa cơ sở vật chất đến năm 2030, trong đó ACS là giải pháp kỹ thuật trọng tâm cần được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi.

6 KẾT LUẬN

Bài viết trình bày về cấu trúc, nguyên lý và hiệu quả của hệ thống hiệu chuẩn tự động cho phương tiện đo. Kết quả đã triển khai thực tiễn việc sử dụng và có kết quả tại Phòng Đo lường Điện. Những kết quả này khẳng định tính khả thi về kỹ thuật và hiệu quả kinh tế rõ rệt của ACS, đồng thời cung cấp cơ sở cho việc nhân rộng mô hình tại các phòng thí nghiệm đo lường trong bối cảnh hội nhập quốc tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] ISO/IEC 17025:2017 – General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories.

[2] JCGM 100:2008 (GUM) Joint Committee for Guides in Metrology, Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.

[3] Fluke Calibration, Philosophy in Practice, Everett, WA, USA: Fluke Corporation, 1994.

[4] IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation (IEEE-488), IEEE Std 488-1978, New York, NY, USA.

[5] LabVIEW User Manual, Austin, TX, USA: National Instruments Corporation, 2026.

HIỆN TƯỢNG PHÓNG ĐIỆN CỤC BỘ VÀ HIỆU CHUẨN HỆ THỐNG ĐO PHÓNG ĐIỆN CỤC BỘ

Nguyễn Minh Mẫn, Nguyễn Thanh Tùng,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: de@quatest3.com.vn

Tóm tắt

Phóng điện cục bộ PD[1] *là một trong những chỉ thị nhạy cảm và sớm nhất phản ánh sự suy giảm của hệ thống cách điện trong thiết bị điện cao áp. Bài này trình bày cơ chế vật lý của ba dạng phóng điện cục bộ chính (phóng điện bên trong, bề mặt và vầng quang), nguyên lý đo điện tích biểu kiến theo tiêu chuẩn IEC 60270 và phương pháp hiệu chuẩn hệ thống đo bằng kỹ thuật đưa điện tích chuẩn (charge injection).*

Các yếu tố ảnh hưởng và thành phần độ không đảm bảo đo được đánh giá theo GUM, xác định độ không đảm bảo đo tổng hợp. Việc hiệu chuẩn hệ thống đo PD là yêu cầu bắt buộc để đảm bảo tính liên kết chuẩn đo lường và khả năng so sánh kết quả đo giữa các PTN.

Từ khóa

Phóng điện cục bộ PD, IEC 60270, TCVN 11472, điện tích biểu kiến, hiệu chuẩn, độ không đảm bảo đo.

Abstract

Partial discharge (PD) is among the earliest and most sensitive indicators of insulation degradation in high-voltage electrical equipment. This paper comprehensively presents the physical mechanisms of three main PD types (internal, surface, and corona discharge), the measurement principle of apparent charge per IEC 60270, and the charge injection calibration method. Uncertainty sources are quantitatively evaluated per GUM, yielding a combined measurement uncertainty. Periodic calibration of PD measurement systems is mandatory to ensure metrological traceability and inter-laboratory comparability.

1 GIỚI THIỆU

Độ tin cậy của hệ thống điện cao áp phụ thuộc trực tiếp vào chất lượng cách điện trong các thiết bị như máy biến áp lực, máy phát điện, cáp điện lực và thiết bị đóng cắt. Trong quá trình vận hành lâu dài dưới tác động tổng hợp của nhiệt độ, điện trường, ứng suất cơ học và môi trường …, vật liệu cách điện bị lão hóa và suy giảm dần.

Phóng điện cục bộ (PD) là một trong những dấu hiệu sớm nhất và đáng tin cậy nhất phản ánh sự suy giảm này. PD xảy ra khi cường độ điện trường cục bộ tại vị trí khuyết tật vượt quá độ bền điện môi của vật liệu, tạo ra các xung điện tích biên độ nhỏ (từ vài pC đến vài trăm pC) và thời gian tồn tại cực ngắn (vài nanosecond).

[1] PD: Partial Discharge

Nếu PD lặp lại trong thời gian dài, các quá trình ion hóa, phản ứng hóa học và xói mòn điện môi sẽ làm suy giảm dần cấu trúc phân tử của cách điện, cuối cùng gây sự cố phóng điện hoàn toàn.

Phép đo PD được áp dụng rộng rãi trong ba mục đích chính:

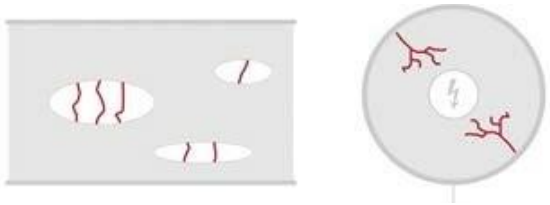
a) thử nghiệm xuất xưởng để kiểm tra chất lượng thiết bị trước khi đưa vào vận hành;
b) giám sát tình trạng vận hành liên tục để phát hiện sớm sự xuống cấp của cách điện;
c) chẩn đoán tuổi thọ cách điện phục vụ lập kế hoạch bảo trì phòng ngừa.

Tuy nhiên, đây là phép đo đòi hỏi kỹ thuật cao vì tín hiệu PD có biên độ rất nhỏ và dễ bị ảnh hưởng bởi nhiễu điện từ môi trường. Tiêu chuẩn IEC 60270 và TCVN 11472 quy định nguyên lý đo và phương pháp hiệu chuẩn hệ thống đo PD nhằm đảm bảo tính chính xác và khả năng truy xuất liên kết chuẩn.

Bài này trình bày về cơ chế vật lý của các dạng PD, nguyên lý đo theo IEC 60270, phương pháp hiệu chuẩn và đánh giá độ không đảm bảo đo khi hiệu chuẩn theo GUM - nhằm cung cấp cơ sở kỹ thuật toàn diện cho công tác đảm bảo chất lượng phép đo PD.

2 CƠ CHẾ VẬT LÝ VÀ CÁC DẠNG PHÓNG ĐIỆN CỤC BỘ

Theo tiêu chuẩn IEC 60270, PD là hiện tượng phóng điện xảy ra cục bộ trong cách điện giữa các điện cực và không tạo thành kênh phóng điện hoàn chỉnh. PD xuất hiện tại các vị trí có sự tập trung điện trường do khuyết tật vật liệu; lỗ rỗng trong cách điện rắn, tạp chất dẫn điện, sự phân lớp giữa các vật liệu khác nhau, bề mặt cách điện bị nhiễm bẩn hoặc điện cực có bán kính cong nhỏ. Ba dạng PD chính cùng cơ chế và thiết bị thường gặp được tổng hợp trong Bảng 1.



Hình 1a. Phóng điện bên trong lỗ rỗng



Hình 1b. Phóng điện vầng quang & bề mặt

Dạng PD	Vị trí / Cơ chế	Thiết bị thường gặp
Phóng điện bên trong (*Internal discharge*)	Lỗ rỗng, khe hở trong cách điện rắn; điện trường trong lỗ rỗng lớn hơn điện trường vật liệu do ε khí < ε rắn	Cáp lực, máy biến áp, tụ điện cao áp
Phóng điện bề mặt (*Surface discharge*)	Tiếp giáp hai môi trường cách điện; điện trường tiếp tuyến gây ion hóa bề mặt khi bị nhiễm bẩn, ẩm ướt	Đầu cáp, sứ xuyên, cách điện ngoài trời
Phóng điện vầng quang (*Corona discharge*)	Điện cực bán kính cong nhỏ trong môi trường khí; điện trường vượt ngưỡng ion hóa không khí	Đường dây truyền tải, trạm phân phối ngoài trời

Bảng 1. Phân loại các dạng phóng điện cục bộ và thiết bị thường gặp

3 NGUYÊN LÝ ĐO VÀ HỆ THỐNG ĐO PHÓNG ĐIỆN CỤC BỘ

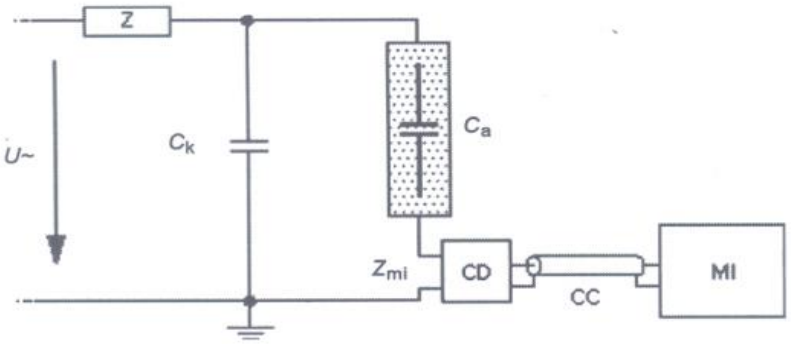
3.1 Điện tích biểu kiến và các tham số đặc trưng

Đại lượng chủ yếu trong phép đo PD là điện tích biểu kiến (*apparent charge*), ký hiệu q, đơn vị pC. Theo IEC 60270, điện tích biểu kiến là lượng điện tích mà nếu đưa tức thời vào hai đầu cực của mẫu thử sẽ tạo ra tín hiệu đo giống như xung PD thực. Điện tích biểu kiến không bằng điện tích thực tại vị trí phóng điện mà là giá trị tương đương dựa trên đáp ứng mạch đo:

$$q = \int i(t)\, dt \qquad (1)$$

trong đó i(t) là dòng xung PD tức thời. Hai tham số điện áp quan trọng được xác định trong thử nghiệm PD là điện áp khởi phát PD (PDIV – *Partial Discharge Inception Voltage*) là điện áp nhỏ nhất tại đó PD bắt đầu xuất hiện khi tăng điện áp; và điện áp dập tắt PD (PDEV – *Partial Discharge Extinction Voltage*) là điện áp tại đó PD biến mất khi giảm điện áp. Thông thường PDEV < PDIV do điện tích không gian (*space charge*) tích lũy trên bề mặt lỗ rỗng duy trì điều kiện phóng điện ở điện áp thấp hơn.

3.2 Cấu hình hệ thống đo PD theo IEC 60270



Các thành phần

U~	Nguồn cao áp	C_a	Đối tượng thử nghiệm
Z_{mi}	Trở kháng vào của hệ thống đo	C_k	Tụ điện ghép
CC	Cáp nối	CD	Thiết bị ghép nối
OL	Dây nối quang	MI	Thiết bị đo
		Z	Bộ lọc

Hình 2. Cấu hình hệ thống đo PD theo IEC 60270 (sơ đồ mạch đo song song)

Một hệ thống đo PD tiêu chuẩn theo IEC 60270 gồm năm thành phần chức năng:

(1) nguồn điện áp cao tần số công nghiệp hoặc một chiều;
(2) mẫu thử (Ca) và tụ ghép (Ck) - tạo thành mạch phân chia dòng PD;
(3) trở kháng đo (Zm) - chuyển đổi dòng PD thành điện áp theo V(f) = Z(f) × IPD(f);
(4) thiết bị phân tích PD - đo biên độ xung, điện tích và vị trí pha; và
(5) thiết bị hiệu chuẩn - đưa điện tích chuẩn để xác định hệ số đo.

IEC 60270 phân loại hệ thống đo PD theo băng thông: Detector băng thông hẹp (narrow-band) hoạt động trong dải 9 kHz - 30 kHz với ưu điểm chống nhiễu tốt hơn; Detector băng thông rộng (*wide-band)* hoạt động trong dải 100 kHz - 1 MHz với độ phân giải thời gian tốt hơn, phù hợp phân tích dạng xung PD. Hệ thống phải có băng thông đủ rộng để phát hiện được xung PD có thời gian sườn lên chỉ vài nano giây (ns).

4 PHƯƠNG PHÁP HIỆU CHUẨN HỆ THỐNG ĐO PD

4.1 Nguyên lý đưa điện tích chuẩn

Phương pháp hiệu chuẩn theo IEC 60270 là phương pháp đưa điện tích chuẩn (*charge injection*). Thiết bị hiệu chuẩn tạo ra xung điện áp ΔU có biên độ xác định, qua tụ hiệu chuẩn C_0 mắc song song với mẫu thử, tạo điện tích chuẩn:

$$q_0 = C_0 \times \Delta U \qquad (2)$$

Xung điện tích này mô phỏng chính xác một xung PD tại đầu cực mẫu thử, cho phép xác định hệ số chuyển đổi S (tỷ số giữa tín hiệu đầu ra và điện tích đầu vào). Các xung PD sau này được quy đổi sang điện tích biểu kiến thực tế theo hệ số S đã xác định. Tụ hiệu chuẩn C_0 thường có giá trị (50–100) pF với sai số ≤ 1% và phải được liên kết chuẩn đến chuẩn quốc gia. Thời gian sườn lên của xung ΔU không vượt quá 60 ns để đảm bảo phổ tần số đủ rộng.

4.2 Quy trình hiệu chuẩn và yêu cầu liên kết chuẩn

Quy trình hiệu chuẩn bao gồm bốn bước chính:

1) kết nối thiết bị hiệu chuẩn PD vào đầu cực mẫu thử, điều kiện mạch đo hoàn chỉnh;
2) đưa các mức điện tích chuẩn đã biết (ví dụ: 50 pC, 100 pC, 200 pC, 500 pC);
3) ghi nhận tín hiệu đầu ra tương ứng và xây dựng đường đặc tính hiệu chuẩn;
4) tính hệ số S và kiểm tra độ tuyến tính trong toàn dải đo.

Việc hiệu chuẩn bắt buộc phải thực hiện khi mẫu thử đã được kết nối trong mạch, vì điện dung của mẫu thử ảnh hưởng trực tiếp đến sự phân bố dòng PD trong mạch và do đó ảnh hưởng đến hệ số S.

Để đảm bảo tính liên kết chuẩn, tụ C_0 và bộ tạo xung ΔU phải được hiệu chuẩn và còn hiệu lực từ phòng hiệu chuẩn được công nhận ISO/IEC 17025, với chuỗi liên kết chuẩn không đứt đoạn đến chuẩn quốc gia hoặc quốc tế.

Theo yêu cầu của IEC 60270 và các tổ chức công nhận, hệ thống đo PD phải được hiệu chuẩn định kỳ, hoặc sau khi thay đổi cấu hình mạch hay khi nghi ngờ độ chính xác.

5 CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG VÀ ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO

5.1 Hệ thống hóa các nguồn ảnh hưởng

Độ chính xác của phép đo PD chịu ảnh hưởng đồng thời từ nhiều nguồn sai số. Bảng 2 hệ thống hóa năm nguồn ảnh hưởng chính, biểu hiện và biện pháp kiểm soát tương ứng.

Nguồn ảnh hưởng	Biểu hiện	Biện pháp kiểm soát
Sai số tụ hiệu chuẩn C_0	Sai lệch điện tích đưa vào, ảnh hưởng trực tiếp hệ số đo S	Dùng tụ chuẩn được hiệu chuẩn, liên kết chuẩn đầy đủ
Độ ổn định nguồn xung ΔU	Biến động biên độ xung làm sai giá trị $q = C_0 \times \Delta U$	Kiểm tra ổn định nguồn trước khi hiệu chuẩn
Đáp ứng tần số hệ đo	Băng thông không phù hợp gây suy giảm/biến dạng xung PD	Kiểm tra đáp ứng tần số, chọn băng thông phù hợp
Nhiễu điện từ môi trường	Giả tín hiệu PD hoặc che khuất xung PD thực	Buồng Faraday, lọc số, kỹ thuật tách nhiễu SPR
Điện dung mẫu thử	Thay đổi phân bố dòng PD trong mạch đo	Hiệu chuẩn khi mẫu thử đã kết nối hoàn chỉnh

Bảng 2. Nguồn ảnh hưởng đến độ không đảm bảo đo PD và biện pháp kiểm soát

5.2 Đánh giá định lượng độ không đảm bảo đo theo GUM [3]

Đánh giá độ không đảm bảo đo của phép đo PD được thực hiện theo JCGM 100:2008 (GUM) . Mô hình toán học phép đo biểu diễn điện tích biểu kiến đo được là hàm số của các đại lượng đầu vào: điện dung tụ chuẩn C_0, biên độ xung ΔU, hệ số băng thông F_bw và nhiễu nền δ_noise. Bảng 3 tổng hợp các thành phần độ không đảm bảo chuẩn và giá trị ước lượng trong điều kiện phòng thử nghiệm điển hình.

Thành phần	Ký hiệu	Loại đánh giá	Phân bố
Tụ hiệu chuẩn C_0	u_1	Loại B	Chuẩn (*normal*)
Bộ tạo xung ΔU	u_2	Loại B	Chữ nhật (*rectangular*)
Băng thông hệ đo	u_3	Loại B	Chữ nhật (*rectangular*)
Nhiễu điện từ nền	u_4	Loại A	Chuẩn (*normal*)
Độ phân giải ADC	u_5	Loại B	Chữ nhật (*rectangular*)

Bảng 3. Các thành phần độ không đảm bảo đo của phép đo PD

Độ không đảm bảo tổng hợp theo GUM:

$$u_c = \sqrt{(u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2)}$$

Độ không đảm bảo mở rộng với hệ số phủ k = 2 (mức tin cậy 95 %):

$$\mathbf{U = k \times uc}$$

Nhiễu điện từ là thành phần đóng góp lớn nhất, nhấn mạnh tầm quan trọng của việc kiểm soát môi trường điện từ trong phòng thử nghiệm. Trong môi trường thực tế tại Việt Nam, mức nhiễu nền thường cao hơn do hạ tầng điện và mật độ thiết bị công nghiệp, đòi hỏi đầu

tư vào buồng cách ly điện từ (*faraday cage*) và nguồn điện áp cao có bộ lọc nhiễu chuyên dụng.

6 KẾT LUẬN

Bài viết trình bày về hiện tượng phóng điện cục bộ và sự cần thiết của việc hiệu chuẩn hệ thống đo PD. Ba nhóm kết quả chính được đưa ra:

- ***Về cơ chế vật lý***: Có ba dạng PD (phóng điện bên trong lỗ rỗng, bề mặt và vầng quang), giải thích cơ sở vật lý của sự hình thành và phát triển phóng điện trong vật liệu cách điện;
- ***Về đo lường và hiệu chuẩn***: Phương pháp đo điện tích biểu kiến theo IEC 60270/TCVN 11472 và kỹ thuật đưa điện tích chuẩn được mô tả chi tiết. Hiệu chuẩn với mẫu thử đã kết nối là yêu cầu bắt buộc, thiết bị hiệu chuẩn phải có chứng chỉ còn hiệu lực và được liên kết chuẩn đến chuẩn quốc gia;
- ***Về độ không đảm bảo đo***: Đánh giá theo tài liệu GUM. Nhiễu điện từ nền là thành phần đóng góp lớn nhất, đòi hỏi cần đầu tư cải thiện môi trường thử nghiệm nhi.

7 KIẾN NGHỊ

Các phòng thử nghiệm điện cao áp tại Việt Nam cần triển khai đồng bộ quy trình đo và hiệu chuẩn hệ thống thử phóng điện cục bộ PD theo IEC 60270 và TCVN 11472.

Thực hiện hiệu chuẩn định kỳ thường không quá 12 tháng, và có báo cáo kết quả hiệu chuẩn kèm giá trị độ không đảm bảo đo, liên kết chuẩn để đảm bảo tính minh bạch và khả năng so sánh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] IEC 60270:2000+AMD1:2015, High-Voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2015.

[2] TCVN 11472:2016, Kỹ thuật thử nghiệm điện áp cao – Đo phóng điện cục bộ.

[3] JCGM 100:2008, Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), Joint Committee for Guides in Metrology.

GIẢI PHÁP BỘ ĐẾM THÔNG MINH CHO ĐỒNG HỒ NƯỚC TRÊN NỀN TẢNG NB-IoT - LỘ TRÌNH CHUYỂN ĐỔI SỐ NGÀNH NƯỚC TẠI VIỆT NAM: TỪ THỬ NGHIỆM ĐẾN THỰC TIỄN TẠI SAWACO

Phan Song Vũ; Lã Thị Thu Hằng,
Công ty Cổ phần Điện tử D.G.S

Email: jackie.la@dg-sensor.com

Tóm tắt

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và áp lực gia tăng đối với công tác quản lý tài nguyên nước, việc ứng dụng công nghệ số trong quản lý hệ thống cấp nước trở thành xu hướng tất yếu. Bài viết này phân tích mô hình quản lý nước thông minh SWM[1] *và vai trò của hạ tầng đo đếm chỉ số tiên tiến* AMI[2] *nhằm nâng cao hiệu quả vận hành của các công ty cấp nước.*

Thông qua so sánh các công nghệ LPWAN[3] *như* NB-IoT[4], LoRaWAN[5] *và* LTE-M[6] *, bài viết làm rõ ưu điểm của công nghệ* NB-IoT *trong môi trường đô thị mật độ cao. Cụ thể trong trường hợp thử nghiệm bộ đếm thông minh* NB-IoT *do Công ty Cổ phần Điện tử D.G.S phát triển và triển khai trên địa bàn Tổng công ty Cấp nước Sài Gòn (*SAWACO*) trong giai đoạn 2021–2024 cho thấy tỷ lệ truyền dữ liệu thành công 98 %–99 %.*

Hệ thống cũng cho phép phát hiện sớm các sự cố như rò rỉ nước, dòng chảy bất thường và các can thiệp trái phép từ môi trường ngoài, góp phần giảm thất thoát nước và tối ưu chi phí vận hành. Bài viết đồng thời đề xuất các hướng phát triển tương lai như tích hợp AI, phân tích dữ liệu lớn và kết nối với trung tâm điều hành đô thị thông minh IOC[7] *.*

Từ khóa

Quản lý nước thông minh; hạ tầng đo đếm tiên tiến; LPWAN; NB-IoT; LoRaWAN; LTE-M; D.S; SAWACO; IOC; Automatic Meter Reading; Advanced Metering Infrastructure.

1 TỔNG QUAN VỀ NHU CẦU THẾ GIỚI VÀ TÍNH CẤP THIẾT CỦA GIẢI PHÁP ĐO ĐẾM TỪ XA

1.1 Khủng hoảng tài nguyên nước và áp lực lên các đô thị

Theo báo cáo của Liên Hiệp Quốc, khoảng 2,3 tỷ người đang sống trong khu vực thiếu hụt tài nguyên nước, và con số này có thể tăng lên hơn 5 tỷ người vào năm 2050 nếu không có các giải pháp quản lý hiệu quả [UN-Water, 2023].

[1] SWM: Smart Water Management
[2] AMI: Advanced Metering Infrastructure
[3] LPWAN: Low Power Wide Area Networks
[4] NB-IoT: Narrowband Internet of Things
[5] LoRaWAN: Long-Range Wide Area Network
[6] LTEM: Long-Term Evolution Machine
[7] IOC: Intelligent Operations Center

Một trong những vấn đề lớn của hệ thống cấp nước là phần nước thất thoát không mang lại doanh thu NRW[8]. Theo nghiên cứu của World Bank, nhiều hệ thống cấp nước tại các nước đang phát triển có tỷ lệ thất thoát 30 % – 40 % tổng sản lượng nước cấp [World Bank, 2019]. Trong đó NRW bao gồm:

* rò rỉ nước vật lý trên mạng lưới;
* sai số do công tác đo đếm chỉ số;
* gian lận hoặc sai lệch dữ liệu chỉ số.

Việc giảm NRW được xem là giải pháp quan trọng nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên nước và giảm chi phí vận hành cho các công ty cấp nước.

1.2 Xu hướng quản lý nước thông minh SWM

Quản lý nước thông minh SWM là mô hình quản lý nước dựa trên dữ liệu thời gian thực thông qua các công nghệ như internet vạn vật, điện toán đám mây, phân tích dữ liệu lớn (*Big Data*) và trí tuệ nhân tạo (AI).

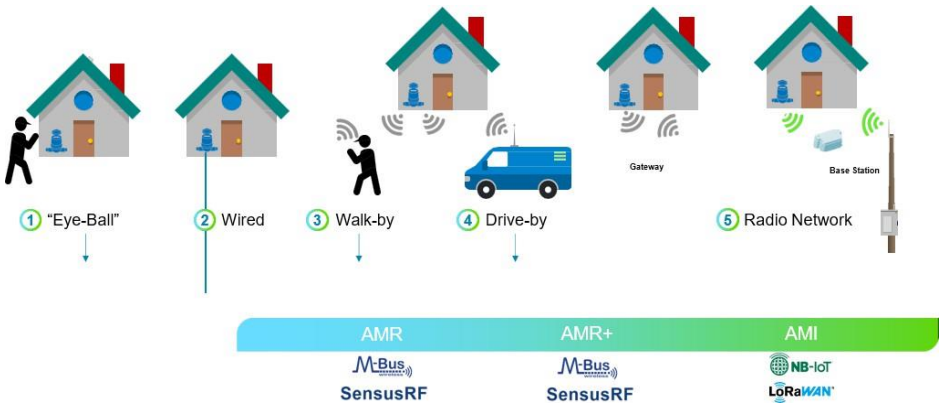
Theo Hiệp hội Nước Quốc tế IWA[9], việc triển khai hệ thống đo đếm thông minh có thể giúp giảm 10 % – 20 % lượng nước thất thoát và tối ưu chi phí vận hành [IWA, 2021].

Một hệ thống SWM thường bao gồm ba lớp:

a) lớp thiết bị: đồng hồ nước thông minh và cảm biến;
b) lớp truyền thông: mạng LPWAN như NB-IoT hoặc LoRaWAN;
c) lớp nền tảng dữ liệu: hệ thống phân tích và quản lý dữ liệu tại trung tâm điều hành.

1.3 Từ công nghệ AMR đến AMI

Mô hình quản lý nước hiện đại được chia thành hai cấp độ:



(a) AMR – *Automatic Meter Reading (Thu thập dữ liệu đồng hồ nước tự động)*

Mô hình AMR cho phép thu thập dữ liệu đồng hồ nước tự động, giảm nhu cầu ghi số thủ công. Tuy nhiên hệ thống này chủ yếu truyền dữ liệu một chiều.

[8] NRW: Non-Revenue Water
[9] IWA: International Water Association

(b) **AMI – *Advanced Metering Infrastructure (Hạ tầng đo tiên tiến)***

Mô hình AMI cho phép giao tiếp hai chiều giữa đồng hồ và hệ thống quản lý, hỗ trợ:

* giám sát lượng nước tiêu thụ theo thời gian thực;
* phát hiện rò rỉ tức thời;
* điều khiển thiết bị đo từ xa.

Do đó AMI được xem là nền tảng quan trọng cho các hệ thống quản lý nước thông minh.

2 PHÂN TÍCH CÔNG NGHỆ TRUYỀN KHÔNG DÂY

2.1 Các công nghệ LPWAN

Đồng hồ nước thường được lắp đặt trong các hố kỹ thuật hoặc dưới lòng đất, do đó công nghệ truyền thông cần thoả mãn các yêu cầu cơ bản sau:

* tiêu thụ năng lượng thấp;
* khả năng xuyên thấu vật cản tốt;
* tuổi thọ pin dài.

Do đó, LPWAN là nhóm công nghệ đáp ứng tốt các yêu cầu này.

(a) **NB-IoT**

NB-IoT là công nghệ do 3GPP phát triển và hoạt động trên băng tần cấp phép của nhà mạng.

* *Ưu điểm*: độ phủ sóng rộng, khả năng xuyên vật cản tốt, hỗ trợ ~50.000 thiết bị/cell. Nhờ cơ chế *Power Saving Mode* (PSM) và *Extended Discontinuous Reception* (eDRX), thiết bị NB-IoT có thể đạt tuổi thọ pin trên 10 năm [3GPP *Technical Specification*].
* *Nhược điểm*: phụ thuộc hạ tầng nhà mạng, chi phí thuê bao cho từng thiết bị.

(b) **LoRaWAN**

LoRaWAN dùng băng tần không cấp phép, cho phép doanh nghiệp tự triển khai hạ tầng mạng.

* *Ưu điểm*: chi phí thiết bị thấp, tiêu thụ năng lượng thấp.
* *Nhược điểm*: dễ bị nhiễu trong môi trường đô thị, cần nhiều gateway khi triển khai diện rộng, cần đội ngũ chuyên môn kỹ thuật cao để vận hành và bảo trì.

(c) **LTE-M**

LTE-M có tốc độ truyền dữ liệu cao hơn NB-IoT nhưng tiêu thụ năng lượng lớn hơn, do đó thường được sử dụng các điểm có lưu lượng lớn hoặc thiết bị cần truyền dữ liệu liên tục.

2.2 So sánh AMR và AMI

AMR chủ yếu tập trung phục vụ mục đích đọc chỉ số trên đồng hồ, trong khi AMI cho phép

quản lý toàn diện hệ thống cấp nước. Theo *International Water Association* IWA, việc triển khai AMI có thể giúp giảm NRW xuống 15 % hoặc thấp hơn trong vòng 5 –7 năm nếu kết hợp với các giải pháp quản lý áp lực mạng lưới [IWA, 2021].

3 THỰC TRẠNG QUẢN LÝ NGÀNH NƯỚC TẠI VIỆT NAM

3.1 Hạn chế của phương pháp ghi số thủ công

Theo Bộ Xây dựng, tỷ lệ thất thoát nước tại các đô thị Việt Nam hiện vẫn ở mức 18 % – 25 %, cao hơn nhiều so với các nước phát triển [Bộ Xây dựng, 2022]. Phương pháp ghi số thủ công hiện tài còn gặp nhiều khó khăn như: sai sót khi đọc chỉ số, khó tiếp cận đồng hồ trực tiếp trong nhà dân, khả năng phát hiện rò rỉ chậm. Những hạn chế này làm giảm hiệu quả quản lý và tăng chi phí vận hành của các công ty cấp nước.

3.2 Áp lực chuyển đổi số

Chính phủ Việt Nam đã có Quyết định 749/QĐ-TTg về chương trình chuyển đổi số quốc gia. Trong đó các lĩnh vực hạ tầng tiện ích như điện, nước và giao thông được xác định là các lĩnh vực ưu tiên. Song song, sự phát triển của hạ tầng NB-IoT tại Việt Nam từ năm 2019–2020 của các nhà mạng lớn (Viettel, Vinaphone, MobiFone) đã tạo những điều kiện thuận lợi cho việc triển khai các giải pháp IoT trong ngành nước.

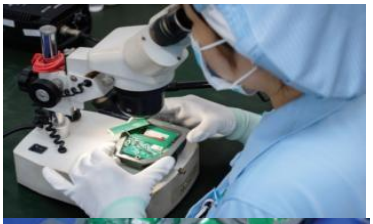
4 CHƯƠNG TRÌNH KHẢO NGHIỆM TẠI SAWACO (2021 - 2024)

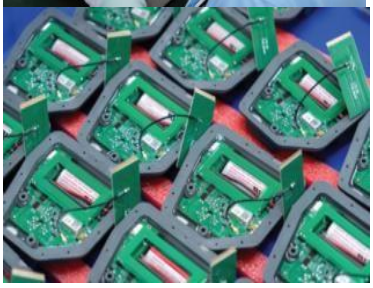
4.1 Quy mô triển khai

Tổng công ty Cấp Nước Sài Gòn SAWACO hiện đang cung cấp nước sạch cho hơn 10 triệu dân tại TPHCM, có khoảng 1,9 triệu đồng hồ nước gắn cho khách hàng. Từ năm 2021, SAWACO triển khai chương trình khảo nghiệm bộ đếm thông minh IoT với nhiều công ty cung cấp sử dụng các loại công nghệ LPWAN, tổng số thiết bị khảo nghiệm khoảng 55.000 thiết bị.









Tổng số thiết bị của công ty D.G.S. sử dụng công nghệ NB-IoT là **11.205** (tính đến thời kiểm nghiệm thu T12/2023) trang bị và được phân bố cho các khu vực như sau:

- Cấp nước Tân Hòa: **6.867**
- Xí nghiệp Cấp nước Nước sạch nông thôn: **2.672**
- Xí nghiệp Cấp nước Cần Giờ: **1.666**

Ba khu vực này đại diện cho các điều kiện vận hành điển hình khác nhau gồm đô thị, bán nông thôn và khu vực ven biển.

4.2 Giải pháp kỹ thuật

Giải pháp sử dụng bộ đếm thông minh gắn ngoài (*add-on module*) cho đồng hồ cơ thay vì thay thế toàn bộ đồng hồ hoặc đồng hồ điện tử.

Cấu tạo bộ đếm thông minh điện tử gắn ngoài bao gồm:

* cảm biến đĩa quay kim loại hoạt động theo cơ chế cảm ứng;
* bộ vi điều khiển thực hiện chứng năng đo đếm đĩa quay của đồng hồ cơ;
* mô đun truyền thông không dây NB-IoT.

Cảm biến ghi nhận chuyển động của kim đồng hồ, tính toán và truyền dữ liệu chỉ số nước hàng ngày qua mạng NB-IoT về cho hệ thống quản lý của SAWACO.

5 KẾT QUẢ NGHIỆM THU VÀ PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ

5.1 Hiệu suất kết nối

Theo báo cáo tổng kết của SAWACO (T12/2023), thiết bị đo đếm NB-IoT của D.G.S đạt:

* tỉ lệ kết nối thành công: 98 % – 99 % theo ngày;
* tỉ lệ truyền dữ liệu thành công: 97 % – 98 % theo tháng.

Kết quả này cho thấy công nghệ NB-IoT hoạt động ổn định ngay cả trong môi trường đô thị có nhiều vật cản lẫn khu vực nông thôn. Độ sai lệch giữa dữ liệu số hoá từ cảm biến điện tử và chỉ số chuẩn (được kiểm định) của đồng hồ cơ nằm trong giới hạn cho phép 0,5 % (hoặc dưới 1 m^3) của các công ty cấp nước.

5.2 Cảnh báo sự cố

Hệ thống AMI tích hợp thiết bị NB-IoT cho phép phát hiện nhiều trường hợp bất thường và cảnh báo trực tiếp đến đơn vị quản lý đồng hồ nước để phối hợp xử lý sớm:

* rò rỉ nước liên tục;
* dòng chảy ngược liên tục;
* can thiệp nam châm hoặc tác động tháo gỡ thiết bị từ người dùng.

Theo EPA WaterSense Program, riêng rò rỉ nhỏ trong hệ thống ống nước gia đình có thể gây thất thoát hơn 38 m^3 nước mỗi năm [EPA, 2021]. Do đó việc phát hiện sớm rò rỉ có ý nghĩa rất quan trọng trong việc giảm thất thoát nước.

5.3 Các khó khăn trong quá trình thử nghiệm

Một số khó khăn thực tế được ghi nhận dựa trên báo cáo của các nhà cung cấp bao gồm:

* yêu cầu phân bố tải cho hạ tầng server khi triển khai số lượng lớn thiết bị IoT;

* các điều kiện ràng buộc, và cơ chế bảo vệ phòng tránh hư hỏng thiết bị do điều kiện lắp đặt và tác động của môi trường;
* một số khu vực có vùng lõm sóng cần phải phối hợp với nhà mạng để tối ưu.

Những vấn đề này cần được giải quyết triệt để khi triển khai hệ thống ở quy mô lớn hơn.

6 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Kết quả khảo nghiệm tại SAWACO vào tháng 12/2023 cho thấy giải pháp bộ đếm thông minh NB-IoT có khả năng đáp ứng tốt yêu cầu của hệ thống cấp nước đô thị tại Việt Nam. Các ưu điểm chính của giải pháp bao gồm:

* kết nối NB-IoT ổn định 98 % – 99 %;
* độ chính xác của cảm biến đo đếm điện tử cao;
* phát hiện sớm rò rỉ và các hiện tượng bất thường trên đường ống.

Ngoài ra, giải pháp sử dụng mô đun gắn ngoài cho đồng hồ cơ giúp tận dụng hạ tầng đồng hồ cơ hiện hữu và giảm chi phí đầu tư. Trong tương lai, việc kết hợp hệ thống AMI với AI và phân tích dữ liệu lớn có thể giúp tối ưu hóa vận hành, cho phép người dùng cài đặt hạn mức cảnh báo theo nhu cầu và hỗ trợ xây dựng các hệ thống đô thị thông minh.

Theo đó, từ năm 2024 đến nay, công ty D.G.S tiếp tục triển khai lắp đặt mở rộng **17.360 thiết bị đo đếm nước** sử dụng giải pháp bộ đếm thông minh NB-IoT gắn trên đồng hồ cơ cho các công ty thành viên của SAWACO:

* Cấp nước Tân Hoà: **7.087**
* Xí nghiệp Cấp nước Nước sạch nông thôn: **7.018**
* Xí nghiệp Cấp nước Cần Giờ: **3.090**
* Cấp nước Trung An: **150**
* Trụ nước uống công cộng TP. HCM: **15**

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] SAWACO, Báo cáo tổng kết thử nghiệm đồng hồ nước thông minh NB-IoT, 2023.
[2] UN-Water, World Water Development Report, 2023.
[3] World Bank, The Invisible Water Crisis, 2019.
[4] International Water Association IWA, Smart Water Networks Report, 2021.
[5] Bộ Xây dựng Việt Nam, Báo cáo ngành nước đô thị Việt Nam, 2022.
[6] 3GPP, NB-IoT Technical Specification, Release 13.
[7] EPA WaterSense Program, Household Water Leak Study, 2021.

HIỆU CHUẨN THIẾT BỊ SO MÀU VÀ TỦ SO MÀU TRONG ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG SẢN PHẨM

Vũ Thị Hồng Nhung; Nguyễn Thanh Tùng,

Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3

Email: de@quatest3.com.vn

Tóm tắt

Màu sắc là thuộc tính chất lượng quan trọng trong nhiều ngành công nghiệp như dệt may, sơn phủ, nhựa và thực phẩm, được đánh giá bằng thiết bị đo màu quang học (colorimeter/spectrophotometer) và tủ so màu. Tuy nhiên, sự lão hóa của nguồn sáng, độ trôi của cảm biến quang học và điều kiện môi trường có thể gây sai lệch đáng kể theo thời gian, dẫn đến sai số ΔE vượt ngưỡng chấp nhận của ngành. Bài báo phân tích cơ sở khoa học phép đo màu theo hệ CIE L*a*b*, *hệ thống hóa các nguồn sai số trong cả hai loại thiết bị, trình bày quy trình hiệu chuẩn theo tiêu chuẩn* ISO/ASTM/CIE *và đánh giá độ không đảm bảo đo tổng hợp. Kết quả nhấn mạnh rằng hiệu chuẩn định kỳ là yêu cầu bắt buộc để đảm bảo tính truy xuất nguồn gốc đo lường và sự thống nhất kết quả đánh giá màu sắc giữa các PTN.*

Từ khóa

Đo màu, hiệu chuẩn, colorimeter, tủ so màu, CIE L*a*b*, *liên kết chuẩn đo lường.*

Abstract

Color is an important quality attribute in many industries such as textiles, coatings, plastics, and food, and it is typically evaluated using optical color measurement instruments (colorimeters/spectrophotometers) and standard color viewing cabinets. However, the aging of light sources, drift of optical sensors, and environmental conditions can cause significant deviations over time, leading to color differences (ΔE) that exceed the acceptable tolerance limits in industry. This paper analyzes the scientific basis of color measurement according to the CIE L*a*b* *color space system, systematically identifies the sources of measurement errors in both types of instruments, presents calibration procedures in accordance with* ISO/ASTM/CIE *standards, and evaluates the combined measurement uncertainty. The results emphasize that periodic calibration is an essential requirement to ensure metrological traceability and consistency in color evaluation results among different testing laboratories.*

1 GIỚI THIỆU

Màu sắc là thuộc tính cảm quan không thể tách rời khỏi giá trị thương mại và chất lượng sản phẩm trong hàng loạt ngành công nghiệp. Trong kiểm soát chất lượng hiện đại, đánh giá màu sắc được thực hiện bằng hai phương pháp bổ trợ nhau: đo màu bằng thiết bị quang học (*colorimeter hoặc spectrophotometer*) cung cấp giá trị trong hệ tọa độ CIE XYZ hoặc CIE L*a*b*; và so màu trực quan trong tủ so màu (*color*

assessment cabinet) dưới các nguồn sáng chuẩn như D65, A, TL84… .

Trong quá trình sử dụng, cả hai loại thiết bị này đều chịu sự suy giảm hiệu năng theo thời gian: cường độ và phổ nguồn sáng thay đổi, cảm biến quang điện bị trôi, bộ lọc quang học lão hóa. Hệ quả là sai số hệ thống tích lũy dần, có thể vượt ngưỡng chấp nhận ΔE của ngành. Nếu thiết bị không được hiệu chuẩn định kỳ, kiểm soát chất lượng sẽ dựa trên số liệu sai lệch, gây tranh chấp thương mại và tổn thất kinh tế.

Bài này phân tích cơ sở khoa học của phép đo màu CIE, hệ thống hóa các nguồn sai số trong thiết bị đo và tủ so màu, trình bày quy trình hiệu chuẩn theo ISO/ASTM/CIE và đánh giá độ không đảm bảo đo, nhằm cung cấp cơ sở kỹ thuật toàn diện cho việc xây dựng hệ thống hiệu chuẩn màu sắc tại các phòng thử nghiệm công nghiệp Việt Nam.

2 CƠ SỞ KHOA HỌC CỦA PHÉP ĐO MÀU CIE

2.1 Hệ tọa độ màu CIE XYZ và CIE L*a*b*

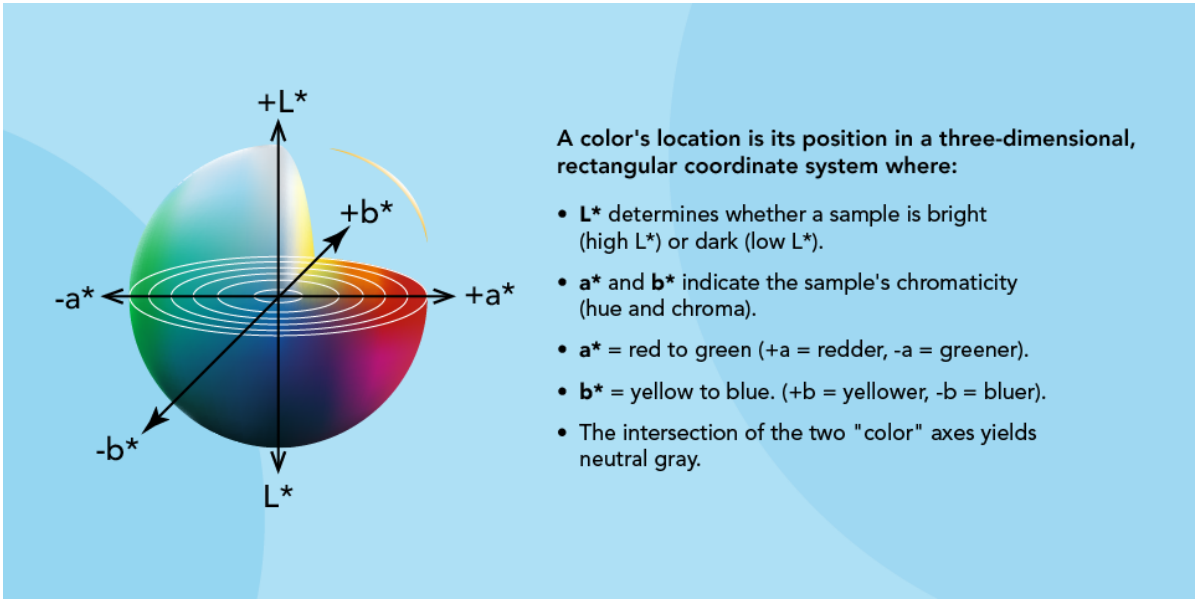
Hệ màu CIE được xây dựng dựa trên đặc tính thị giác của người quan sát. Ba giá trị XYZ được tính theo:

$$X = k\int S(\lambda)R(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda$$
$$Y = k\int S(\lambda)R(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda$$
$$Z = k\int S(\lambda)R(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda$$

trong đó $S(\lambda)$ là phổ nguồn sáng, $R(\lambda)$ là phổ phản xạ của mẫu, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ là hàm phối hợp màu chuẩn CIE. Từ XYZ, hệ L*a*b* được dẫn xuất qua phép biến đổi phi tuyến:

$$L^* = 116f(Y/Yn) - 16$$
$$a^* = 500[f(X/Xn) - f(Y/Yn)]$$
$$b^* = 200[f(Y/Yn) - f(Z/Zn)]$$

với Xn, Yn, Zn là giá trị của nguồn sáng chuẩn. Hệ L*a*b* được sử dụng phổ biến nhất trong đánh giá sai khác màu công nghiệp.



***Hình 1: Màu sắc trong mô hình* CIELAB**

- **L*** xác định độ sáng, giá trị cao biểu thị độ sáng và giá trị thấp biểu thị độ tối;
- **a*** biểu thị vị trí nằm giữa màu đỏ (+a) và màu xanh lá cây (–a);
- **b*** biểu thị vị trí giữa màu vàng (+b) và màu xanh lam (–b);
- Ở giá trị a* = 0 và b* = 0, màu sắc là màu xám trung tính, với độ sáng được xác định hoàn toàn bởi giá trị L*.

Trục dọc L* có giá trị từ 0 (màu đen) đến 100 (màu trắng).

2.2 Sai khác màu ΔE và ngưỡng chấp nhận theo ngành

Sai khác màu giữa hai mẫu được định lượng bằng khoảng cách Euclid trong không gian L*a*b*:

$$\Delta E^*ab = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Công thức cải tiến CIEDE2000 được khuyến nghị cho các ứng dụng yêu cầu cao vì bổ sung thêm các trọng số về sắc thái (hue), độ bão hòa (chroma) và tương tác màu. Sai khác màu giữa mẫu đo và mẫu chuẩn được đánh giá bằng chỉ số ΔE trong không gian màu CIELAB theo các hướng dẫn của CIE và ASTM. Trong thực tiễn công nghiệp, dung sai màu chấp nhận thường nằm trong khoảng ΔE = 0,5 - 2,5 tùy thuộc vào lĩnh vực sản xuất. Bảng 1 tổng hợp ngưỡng ΔE điển hình theo ngành, nhấn mạnh mức độ nghiêm ngặt của yêu cầu đo màu và tầm quan trọng của việc kiểm soát sai số thiết bị.

Ngành công nghiệp	Dung sai ΔE điển hình	Hệ màu
Sơn ô tô và lớp phủ công nghiệp	ΔE ≤ 0,5 - 1,0	CIE L*a*b*
Dệt may và thời trang	ΔE ≤ 1,0 - 1,5	CIE L*a*b*
Nhựa và bao bì	ΔE ≤ 1,0 - 2,0	CIE L*a*b*
In ấn và đồ họa	ΔE ≤ 0,5 - 2,0	CIE L*a*b*
Thực phẩm và dược phẩm	ΔE ≤ 1,5 – 2,5	CIE L*a*b*

(ΔE tính theo CIELAB)

Bảng 1. Ngưỡng sai khác màu ΔE điển hình theo ngành công nghiệp

3 NGUỒN SAI SỐ VÀ SỰ CẦN THIẾT CỦA HIỆU CHUẨN

Cả thiết bị đo màu quang học lẫn tủ so màu đều chịu tác động của nhiều nguồn sai số có thể được phân loại theo cơ chế vật lý. Bảng 2 hệ thống hóa các nguồn sai số chính, ảnh hưởng đo lường và biện pháp kiểm soát tương ứng.

Thiết bị	Nguồn sai số chính	Ảnh hưởng đo lường	Biện pháp kiểm soát
Colorimeter / Spectrophotometer	Độ trôi của cảm biến quang; Lão hóa nguồn sáng; Sai lệch bộ lọc quang học	Dịch chuyển L*, a*, b*; Thay đổi ΔE	Hiệu chuẩn bằng tấm chuẩn trắng/màu; Kiểm tra định kỳ theo ISO 13655

Thiết bị	Nguồn sai số chính	Ảnh hưởng đo lường	Biện pháp kiểm soát
Tủ so màu (Color Asessment Cabinet)	Suy giảm cường độ sáng của đèn; Thay đổi phân bố công suất phổ SPD Thay đổi nhiệt độ màu tương quan CCT	Hiện tượng metamerism; Đánh giá sai màu sắc trực quan	Đo SPD bằng spectroradiometer; Kiểm tra CRI, CCT, độ rọi định kỳ
Cả hai hệ thống	Nhiệt độ, độ ẩm môi trường; Ánh sáng ngoại lai; Bề mặt mẫu không sạch	Sai số ngẫu nhiên; Kết quả không tái lập giữa phòng TN	Kiểm soát môi trường đo; Chuẩn hóa quy trình chuẩn bị mẫu

(SPD = Spectral Power Distribution;
CCT = Correlated Color Temperature; CRI = Colour Rendering Index)

Bảng 2. Nguồn sai số trong hệ thống đo màu và biện pháp kiểm soát

Một hệ quả đặc biệt quan trọng của sự suy giảm phổ tủ so màu là hiện tượng đồng sắc (metamerism): hai mẫu vật có thể xuất hiện cùng màu dưới nguồn sáng D65 nhưng khác biệt rõ rệt dưới đèn A hoặc TL84. Nếu phổ nguồn sáng bị lệch khỏi tiêu chuẩn do lão hóa đèn, kết quả so màu trực quan mất đi tính tham chiếu kỹ thuật và không thể dùng để phân xử tranh chấp chất lượng giữa nhà cung cấp và khách hàng.

4 QUY TRÌNH HIỆU CHUẨN VÀ LIÊN KẾT CHUẨN ĐO LƯỜNG

4.1 Hiệu chuẩn thiết bị đo màu quang học

Quy trình hiệu chuẩn thiết bị đo màu thực hiện theo các bước kiểm tra trước hiệu chuẩn, để thiết bị ổn định nhiệt (15–30) phút, kiểm tra và vệ sinh đầu đo trước khi tiến hành.

Hiệu chuẩn đen (*black/zero calibration*): đo nắp chắn sáng để xác lập điểm không (*zero reflectance*), bước này thường chỉ áp dụng cho thiết bị đo phổ (*spectro-photometer*) có độ chính xác cao; đối với thiết bị đo màu (*colorimeter*) phổ thông, không yêu cầu bước này.

Hiệu chuẩn trắng (*white calibration*): đo tấm chuẩn trắng phản xạ để thiết lập điểm trắng và chuẩn hóa thang đo phản xạ.

Hiệu chuẩn (kiểm định) đa điểm (*multi-point verification*): đo bộ tấm chuẩn màu (xám, đỏ, xanh lá, xanh dương, vàng…) có giá trị L*a*b* được chứng nhận, kiểm tra độ tuyến tính và phát hiện sai lệch theo từng tọa độ màu.

Tấm chuẩn được hiệu chuẩn đảm bảo chuỗi liên kết chuẩn: Viện Đo lường quốc gia → chuẩn phổ phản xạ → tấm chuẩn PTN → thiết bị sản xuất.

Tiêu chí đánh giá dựa trên đặc tính kỹ thuật do nhà sản xuất thiết bị quy định cho từng model cụ thể. Kết quả hiệu chuẩn phải được lưu hồ sơ đầy đủ theo ISO/IEC 17025.

4.2 Hiệu chuẩn tủ so màu

Hiệu chuẩn tủ so màu gồm năm thông số:

(a) độ rọi (*illuminance*, lux) tại mặt phẳng mẫu;

(b) nhiệt độ màu tương quan CCT (*correlated color temperature*, K);

(c) phân bố công suất phổ SPD (*spectral power distribution*);

(d) chỉ số hoàn màu CRI (*colour rendering index*, Ra);

(e) độ đồng đều chiếu sáng trên diện tích đánh giá.

Thiết bị hiệu chuẩn là ***spectroradiometer*** đã được liên kết chuẩn về quang phổ. Quy trình đo yêu cầu ổn nhiệt tủ 30 phút trước khi đo, thực hiện tại ít nhất 9 điểm trên bề mặt mẫu theo lưới 3×3 và so sánh kết quả với giá trị danh nghĩa của nhà sản xuất.

Hiệu chuẩn từng nguồn sáng độc lập: Tủ so màu thường tích hợp nhiều nguồn sáng (D65, A, TL84...). Mỗi nguồn sáng phải được hiệu chuẩn riêng biệt và tuần tự - không đo đồng thời - vì phổ SPD, CCT và CRI của từng nguồn có đặc tính lão hóa khác nhau.

Đánh giá độ đồng đều chiếu sáng (*uniformity*): Theo TCVN 12236:2018 Độ đồng đều độ rọi (U_o) là tỷ số giữa độ rọi tối thiểu với độ rọi trung bình trên bề mặt. Nếu U_o vượt ngưỡng, tủ không đạt tiêu chí đồng đều - cần kiểm tra vị trí đèn, tuổi thọ bóng hoặc độ phản xạ bên trong tủ.

4.3 Ví dụ thực tế: Hiệu chuẩn máy so màu BYK 6834

Để minh họa quy trình hiệu chuẩn thiết bị đo màu, trình bày ví dụ thực tế hiệu chuẩn máy so màu BYK 6834. Điều kiện môi trường: nhiệt độ (23 ± 5) °C, độ ẩm tương đối (50 ± 20) %RH.

Quy trình thực hiện theo thứ tự: Kiểm tra trước hiệu chuẩn; bật máy, ổn định nhiệt, kiểm tra đầu đo không có vết xước; vệ sinh tấm chuẩn. Hiệu chuẩn trắng. Hiệu chuẩn đa điểm; đo lần lượt các tấm chuẩn màu. Kết quả hiệu chuẩn được trình bày tại Bảng 3.

Tấm chuẩn	Nguồn sáng/ Góc quan sát	L* đo	L* tấm chuẩn	ΔE (CIELAB)
CYAN	D65/2°	68,90	69,03	0,02
VIOLET	D65/2°	58,18	58,80	0,02
CYAN	D65/10°	69,68	69,95	0,01
VIOLET	D65/10°	58,89	58,84	0,01

Bảng 3. Kết quả hiệu chuẩn - BYK 6834

So sánh kết quả hiệu chuẩn và yêu cầu về ΔE< 0,03 dựa trên đặc tính kỹ thuật do nhà sản xuất công bố cho thấy thiết bị phù hợp cho các ứng dụng kiểm soát màu sắc trong công nghiệp. Để khai thác đúng đặc tính kỹ thuật của thiết bị, khuyến nghị các phòng thử nghiệm sử dụng đúng theo hướng dẫn của nhà sản xuất, kiểm soát tốt điều kiện môi trường, hiệu chuẩn định kỳ tại các phòng thí nghiệm được công nhận.

5 ĐÁNH GIÁ ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO VÀ THẢO LUẬN

Độ không đảm bảo đo tổng hợp trong phép đo màu được xác định theo GUM:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2}$$

trong đó u_1 là độ lặp lại của thiết bị (Type A), u_2 là độ không đảm bảo đo của tấm chuẩn màu (từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn), u_3 là sai số nguồn sáng (độ trôi phổ, CCT), và u_4 là ảnh hưởng của môi trường (nhiệt độ, ánh sáng ngoại lai). Trong thực tế, u_3 thường là thành phần chi phối và tăng nhanh theo thời gian sử dụng, nếu không hiệu chuẩn định kỳ - có thể khiến u_c vượt ngưỡng chấp nhận của các ngành yêu cầu cao .

$$\boldsymbol{U = k \cdot u_c}$$

Độ không đảm bảo đo mở rộng U được tính theo công thức trên, trong đó k là hệ số phủ (*coverage factor*) xác định theo mức tin cậy yêu cầu. Với phân bố chuẩn và mức tin cậy 95 %, k = 2.

Xét từ góc độ chuỗi cung ứng toàn cầu, khi cùng một lô hàng dệt may được đánh giá bởi nhà sản xuất tại Việt Nam và khách hàng tại châu Âu bằng các thiết bị không được liên kết chuẩn, sai lệch kết quả ΔE có thể dẫn đến từ chối hàng loạt và tranh chấp thương mại tốn kém. Chính vì vậy, nhiều tập đoàn dệt may và ô tô đa quốc gia đã đưa yêu cầu hiệu chuẩn thiết bị đo màu phải tuân thủ hệ thống chất lượng theo ISO/IEC 17025 vào điều khoản hợp đồng cung ứng, biến từ lựa chọn kỹ thuật thành nghĩa vụ thương mại bắt buộc.

6 KẾT LUẬN

Bài này trình bày cơ sở khoa học của phép đo màu CIE L*a*b*, hệ thống hóa các nguồn sai số trong thiết bị đo màu và tủ so màu, xây dựng quy trình hiệu chuẩn theo ISO/ASTM/CIE và phân tích độ không đảm bảo đo tổng hợp.

Các kết quả phân tích xác nhận sai lệch ΔE trong kết quả đo màu có thể gây quyết định sai trong kiểm soát chất lượng của nhiều ngành có yêu cầu nghiêm ngặt; thành phần sai số nguồn sáng chi phối độ không đảm bảo đo và tăng theo thời gian nếu không kiểm soát và hiệu chuẩn định kỳ thiết bị đo màu quang học (theo tấm chuẩn) cùng tủ so màu (theo SPD/CCT/CRI) là yêu cầu kỹ thuật bắt buộc để duy trì tính truy xuất nguồn gốc và khả năng so sánh quốc tế.

Trong bối cảnh hội nhập kinh tế toàn cầu, việc chuẩn hóa quy trình hiệu chuẩn màu sắc được công nhận theo ISO/IEC 17025 tại các PTN công nghiệp Việt Nam không chỉ là yêu cầu kỹ thuật mà còn là điều kiện tiên quyết để duy trì năng lực cạnh tranh trong chuỗi cung ứng quốc tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] International Commission on Illumination (CIE), *Colorimetry*, 3rd ed., CIE Publication 15:2004, Vienna, Austria, 2004.

[2] ISO 11664-1:2019 – Colorimetry — Part 1: CIE Standard Colorimetric Observers.

[3] ISO 11664-4:2019 – Colorimetry — Part 4: CIE 1976 Lab Colour Space*.

[4] ISO 13655:2017 – Graphic Technology — Spectral Measurement and Colorimetric Computation for Graphic Arts Images.

[5] ISO 7724-1:1984 – Paints and Varnishes — Colorimetry — Part 1: Principles,

[6] ISO 7724-2:1984 – Paints and Varnishes — Colorimetry — Part 2: Colour Measurement.

ĐO LƯỜNG NỒNG ĐỘ CÁC LOẠI KHÍ VÀ CÁC VẤN ĐỀ LIÊN QUAN

Nguyễn Lưu Vĩnh Khang,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: khang.nlv@quatest3.com.vn

Tóm lược

Đo lường nồng độ các loại khí là một phần nền tảng của khoa học đo lường hiện đại, đóng một vai trò sống còn trong việc giám sát chất lượng môi trường, đảm bảo an toàn lao động, kiểm soát phát thải từ phương tiện giao thông và duy trì sự ổn định của hệ thống năng lượng quốc gia. Bài này trình bày khái quát về các nguyên lý vật lý và hóa học của các công nghệ cảm biến sử dụng đo khí hiện tại, các văn bản kỹ thuật đo lường Việt Nam (ĐLVN) và các khung pháp lý quản lý nhà nước mới nhất.

Bên cạnh đó phân tích thêm về lộ trình kiểm soát khí thải xe cơ giới theo Quyết định 43/2025/QĐ-TTg, các quy định xử phạt vi phạm hành chính cập nhật theo Nghị định 168/2024/NĐ-CP đối với nồng độ cồn, cũng như Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí xung quanh QCVN 05:2023/BTNMT.

Ngoài ra thiết lập các bảng so sánh trực quan đối chiếu tiêu chuẩn về yêu cầu khí thải và nồng độ cồn giới hạn của Việt Nam so với các quốc gia phát triển và các nước khác cũng như lồng ghép cung cấp thêm các thông tin về công thức chuyển đổi nồng độ khí và các vấn đề an toàn trong việc sử dụng khí chuẩn, từ đó đề xuất các giải pháp nâng cao độ tin cậy của phép đo và chuỗi liên kết chuẩn đo lường quốc gia.

Từ khóa

Nồng độ khí, Cảm biến NDIR, ĐLVN, Khí thải Euro 6, Khí SF6, An toàn lao động, Đo lường Hóa lý.

1 GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh công nghiệp hóa, hiện đại hóa và đô thị hóa diễn ra với tốc độ chóng mặt, sự gia tăng của các loại khí thải độc hại đang đặt ra những thách thức nghiêm trọng đối với môi trường sinh thái và sức khỏe cộng đồng. Bầu khí quyển tự nhiên bao gồm một hỗn hợp các chất khí với tỷ lệ ổn định.

Trong không khí ẩm (*humid air*), các thành phần cơ bản được bao gồm các khí nitrogen (nitơ - N_2) chiếm khoảng 78,1 %, oxygen (oxy - O_2) chiếm 20,9 %, argon (Ar) chiếm 0,9 % và carbon dioxide (CO_2) chiếm khoảng 0,03 %, cùng một số khí hiếm khác như neon (Ne), helium (He) và methane (CH_4).

Bất kỳ sự gia tăng phát thải đột biến nào của các khí như CO, SO_2, NO_x hay sự xuất hiện của các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (*volatile organic compounds* - VOCs) trong không khí hay mức nồng độ cồn (*ethanol*) trong hơi thở của người điều khiển phương tiện giao thông đều đòi hỏi các cơ chế giám sát và đo lường chính xác.

Việc xác định nồng độ của các loại khí – từ không khí xung quanh, khí thải công nghiệp, khí thải xe cơ giới cho đến môi trường làm việc đặc thù – là yêu cầu bắt buộc để quản lý rủi ro cho cộng đồng.

Với sự cải tiến công nghệ không ngừng đã cho phép phát triển các thiết bị đo nồng độ khí theo thời gian thực (*real-time*) đạt độ chính xác cao. Tuy nhiên, tính pháp lý, độ chính xác và độ tin cậy của các thiết bị này chỉ được thừa nhận khi chúng trải qua quá trình khảo sát, đánh giá về mặt khoa học cũng như các quy định pháp lý như thử nghiệm phương tiện đo, phê duyệt mẫu, kiểm định, hiệu chuẩn …ban đầu, định kỳ và sau sửa chữa nghiêm ngặt theo các Văn bản Kỹ thuật Đo lường Việt Nam (ĐLVN).

2 NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG, CÔNG THỨC VÀ CÔNG NGHỆ CẢM BIẾN ĐO KHÍ

Trong đo lường nồng độ cồn ethanol, các kết quả đo được có thể được thể hiện qua nhiều đơn vị đo khác nhau. Các công thức và hằng số chuyển đổi trong đo lường hóa lý được quy định như sau:

- **mg/L** *(BrAC - Breath Alcohol Concentration)***:** Hàm lượng ethanol tính theo miligam có trong 1 lít khí thở;
- **mg/100 mL hoặc %BAC** *(Blood Alcohol Concentration)***:** Hàm lượng ethanol tính theo miligam (hoặc gam) có trong 100 mililít máu;
- **% Promile:** Số gam ethanol có trong 1 lít máu.

Mối liên hệ quy đổi giữa nồng độ cồn ethanol trong hơi thở và trong máu được tính toán theo tỉ lệ phân bổ sinh lý học (tỉ lệ 1:2100 ở nhiệt độ phổi tiêu chuẩn):

0,25 mg/L (BrAC) ≈ 50 mg/100 mL máu ≈ 0,050 % BAC

2.1 Cảm biến điện hóa (*Electrochemical Sensors*), Ứng dụng đo nồng độ cồn

Cảm biến điện hóa hoạt động dựa trên sự thay đổi dòng điện sinh ra từ phản ứng oxy hóa - khử của khí mục tiêu tại bề mặt điện cực xúc tác (thường làm bằng kim loại như platium, vàng, đồng …).

Điện cực được nhúng trong một dung dịch điện phân và khi hơi khí (ví dụ: cồn ethanol) khuếch tán qua màng bán thấm vào cảm biến, phản ứng hóa học xảy ra tạo ra một dòng điện tỉ lệ thuận với số lượng phân tử khí.

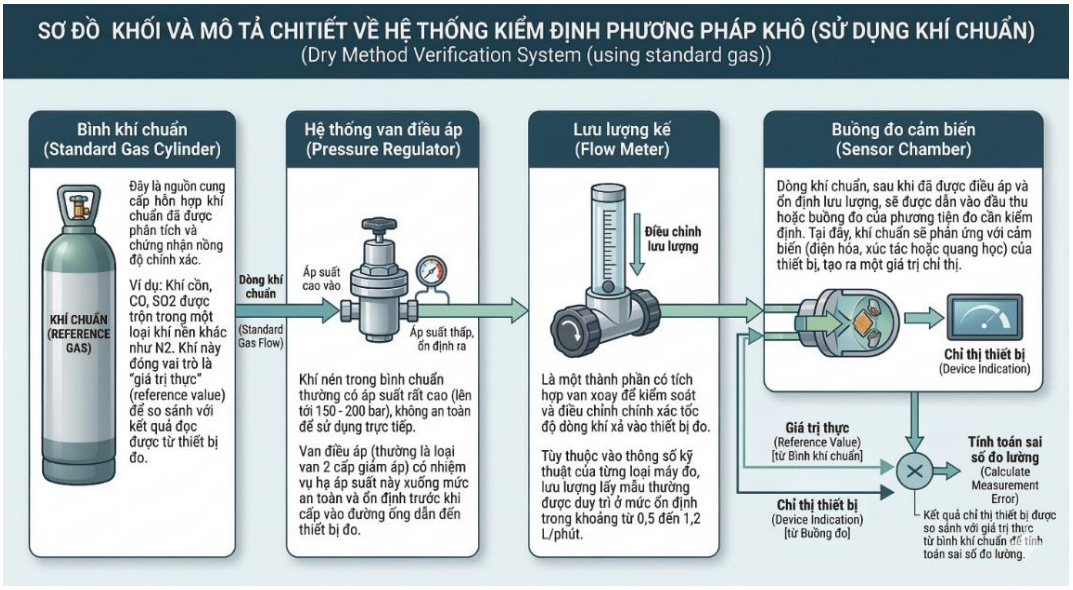
2.2 Cảm biến hồng ngoại không tán sắc (NDIR - *Non-Dispersive Infrared*)

Nhiều loại khí cấu tạo từ hai hoặc nhiều nguyên tử khác nhau (như CO_2, CO, CH_4) có khả năng hấp thụ ánh sáng hồng ngoại ở các bước sóng đặc trưng do sự dao động của các liên kết hóa học.

Cảm biến NDIR phát ra một chùm tia bức xạ đi qua buồng chứa mẫu; một đầu thu quang học đo cường độ tia sáng còn lại. Theo định luật Beer-Lambert, sự sụt giảm cường độ ánh sáng là tỉ lệ hàm mũ với nồng độ khí. Công nghệ này có độ ổn định tuyệt vời, con người không bị ngộ độc hóa học, được ứng dụng làm tiêu chuẩn trong kiểm định khí thải xe cơ giới (đo CO và CO_2).

2.3 Hệ thống kiểm định theo phương pháp khí khô

Để thực hiện việc kiểm định, hiệu chuẩn các loại cảm biến này, phương pháp khí khô (*dry method*) được áp dụng nhằm duy trì độ tinh khiết và nồng độ chuẩn xác của dòng khí thử.



3 QUY TRÌNH KIỂM ĐỊNH CÁC NỒNG ĐỘ KHÍ THEO VĂN BẢN KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG VIỆT NAM

Các thiết bị đo nồng độ khí dùng trong lĩnh vực quan trắc môi trường, an toàn lao động và xử lý vi phạm hành chính đều thuộc vào "Danh mục phương tiện đo bắt buộc phải kiểm định" do nhà nước quy định.

3.1 Các quy trình kiểm định phổ biến

- Phương tiện đo hàm lượng cồn trong hơi thở - Quy trình kiểm định - **ĐLVN 107:2012:** Quy định kiểm định các thiết bị có phạm vi đo (0,000 ÷ 3,000) mg/L. Phép kiểm định sử dụng máy tạo khí chuẩn mô phỏng hơi thở người mang nồng độ cồn xác định với nhiệt độ 34,0 ºC ± 0,5 ºC. Chu kỳ kiểm định là 12 tháng;
- Phương tiện đo khí thải xe cơ giới - Quy trình kiểm định - **ĐLVN 214:2017:** Áp dụng cho thiết bị đo đồng thời các khí (CO, HC, CO_2, O_2). Sai số cho phép khá nghiêm ngặt, ví dụ CO chỉ được phép lệch ± 0,06 % thể tích;
- Phương tiện đo nồng độ SO_2, CO_2, CO, NO_x trong không khí - Quy trình kiểm định - **ĐLVN 265:2016:** Quy trình này thường áp dụng để kiểm định cho các dụng cụ đo khí cầm tay, các cảm biến cảnh báo an toàn trong các nhà máy...;
- Phương tiện đo nồng độ SO_2, CO, NO, NO_2 của trạm quan trắc không khí tự động, liên tục - Quy trình kiểm định - **ĐLVN 333:2016** & Phương tiện đo nồng độ khí của trạm quan trắc khí thải - Quy trình kiểm định - **ĐLVN 380:2021** & Phương tiện đo nồng độ khí của trạm quan trắc chất lượng không khí xung quanh - Quy trình kiểm định - **ĐLVN 389:2021:** Quy định cho trạm quan trắc khí thải công nghiệp (CEMS) và chất lượng không khí xung quanh, kiểm soát chặt chẽ các thông số khí như CO,

SO_2, NO_x, O_2, CO_2, HCl, NH_3, HF, H_2S, O_3, THC (tính theo CH_4), VOCs (tính theo C_6H_6).

3.2 An toàn trong sử dụng bình khí chuẩn và truyền chuẩn

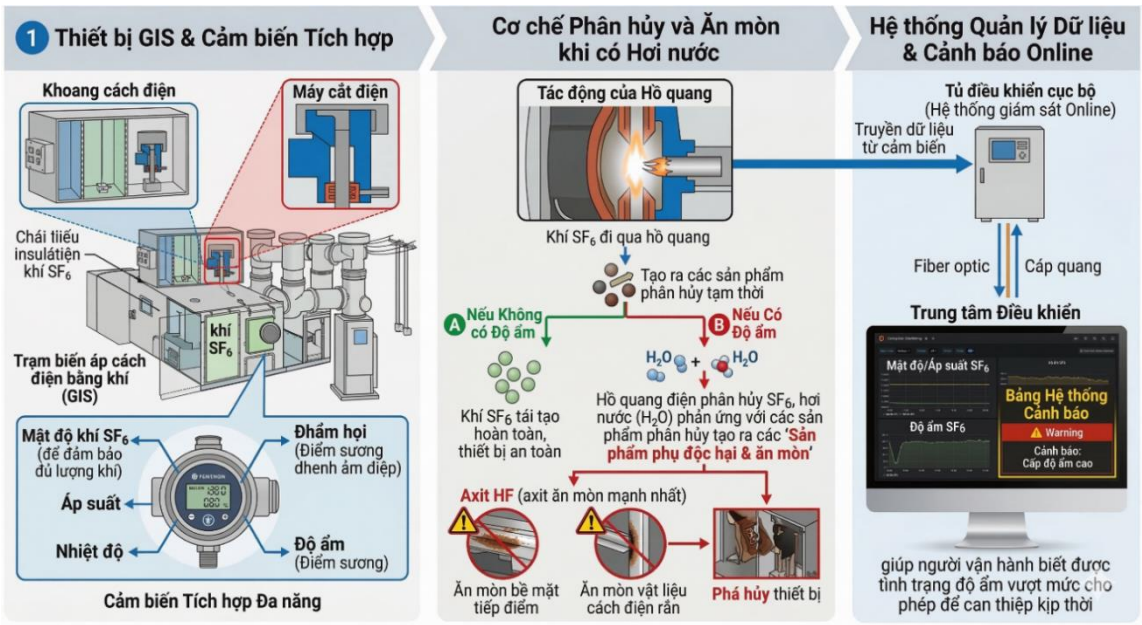
Khí chuẩn được chứng nhận (*Certified Reference Materials* - CRM) là cơ sở quan trọng của toàn chuỗi truyền chuẩn trong hiệu chuẩn/kiểm định. Các bình khí chuẩn chứa các hỗn hợp khí được nén ở áp suất cao (từ 150 bar đến 200 bar). Việc lưu trữ và vận hành đòi hỏi tuân thủ nghiêm ngặt các nguyên tắc an toàn; không để bình khí tiếp xúc với nguồn nhiệt; sử dụng van giảm - điều áp hai cấp (*two-stage regulator*) chuyên dụng bằng thép không gỉ để tránh hiện tượng hấp phụ bề mặt đối với các khí phản ứng như H_2S hay SO_2.

- **Về mặt an toàn lưu trữ** (*safety*)**:** Các bình khí chuẩn chứa khí phản ứng (như H_2S, SO_2, NH_3) hoặc khí dễ cháy nổ thường phải được lưu trữ cách ly khỏi các hóa chất kỵ nhau (*incompatible chemicals*) ở môi trường bên ngoài để phòng tránh nguy cơ ăn mòn vỏ bình, van xả, hoặc gây cháy nổ nếu có rò rỉ;
- **Về mặt toàn vẹn của phép đo** (*measurement integrity*): Trong quá trình vận hành và dẫn khí vào thiết bị đo, hệ thống đường ống và van phải tuyệt đối sạch, không được dính các hợp chất hóa học khác. Nếu có phản ứng chéo xảy ra, nồng độ của khí chuẩn sẽ bị thay đổi ngay lập tức, dẫn đến sai số nghiêm trọng việc hiệu chuẩn/kiểm định.

4 ỨNG DỤNG ĐẶC THÙ: KHÍ SF_6 VÀ MÁY ĐO 04 LOẠI KHÍ TRONG AN TOÀN LAO ĐỘNG

4.1 Khí SF6 và đo điểm sương trong thiết bị điện cao áp

Khí sulfur hexafluoride SF_6 là chất khí được làm vật liệu cách điện và dập hồ quang trong các máy cắt điện (*Circuit Breakers-CB*) và trạm biến áp GIS (*Gas Insulated Switchgear*). Ngoài việc kiểm soát độ tinh khiết của khí SF_6 thì độ ẩm (điểm sương - *dew point*) của khí SF_6 là cũng rất quan trọng. Dưới tác động của hồ quang điện, nếu có lẫn hơi nước, khí SF_6 sẽ phân hủy tạo ra các acid ăn mòn mạnh (như hydrofluoric HF) làm phá hủy thiết bị.



4.2 Giám sát các khí trong an toàn lao động

Trong các không gian hạn chế (hầm lò, cống rãnh) hoặc trong các khu vực bồn chứa sản xuất ở các nhà máy, người lao động bắt buộc phải trang bị máy đo khí thông dụng cầm tay, và các mức cảnh báo thường được đặt dựa trên các giới hạn tiếp xúc nghề nghiệp:

TWA (*Time Weighted Average* - Trung bình trọng số thời gian cho 8 giờ), đây là giới hạn tiếp xúc an toàn trung bình trong một ca làm việc 8 giờ; STEL (*Short-Term Exposure Limit* - Giới hạn tiếp xúc ngắn hạn cho 15 phút), đây là nồng độ tối đa mà người lao động có thể tiếp xúc trong thời gian ngắn (không quá 15 phút) mà không bị ảnh hưởng xấu đến sức khỏe. Cuối cùng là cảnh báo mức cao (*high alarm*), để cảnh báo về nồng độ khí tăng cao đáng kể, yêu cầu người dùng phải lưu ý rời khỏi khu vực đó. Các khí thường được cảnh báo bao gồm:

- **O_2 (oxygen):** Ngưỡng an toàn là 19,5 % - 23,5 %.
- **CO (carbon monoxide):** Ngưỡng cảnh báo rủi ro là 25 mg/L (25 ppm).
- **H_2S (hydrogen sulfide):** Khí độc có mùi như trứng thối, ngưỡng cảnh báo từ 10 mg/L (10 ppm).
- **LEL (Lower Explosive Limit):** Giới hạn nổ dưới của khí cháy (ví dụ methan). Cảnh báo kích hoạt khi nồng độ đạt 10 % LEL.
- **CO_2 (carbon dioxide):** thường được đặt ở mức 5 000 mg/L (ppm) đối với TWA là giới hạn tiếp xúc an toàn trung bình trong một ca làm việc 8 giờ.
- **NH_3 (ammoniac-ammonia):** Thường được đặt ở mức 35 mg/L (ppm) đối với STEL (*Short-Term*) là giới hạn tiếp xúc ngắn hạn cho 15 phút.

5 GIỚI HẠN NỒNG ĐỘ KHÍ: SO SÁNH VỚI QUY ĐỊNH CỦA VIỆT NAM VÀ QUỐC TẾ

Sự hội nhập quốc tế đòi hỏi hệ thống quy chuẩn môi trường của Việt Nam phải tiệm cận với các quy định của Châu Âu và Hoa Kỳ.

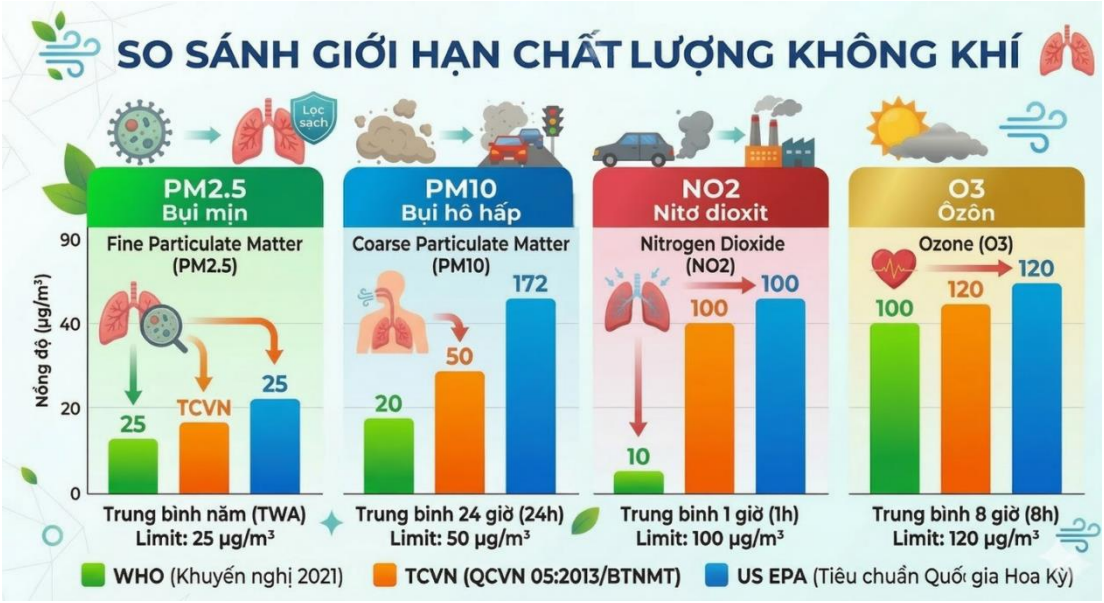
5.1 Quy chuẩn chất lượng không khí xung quanh

Quy chuẩn QCVN 05:2023/BTNMT của Bộ Tài nguyên Môi trường quy định giới hạn tối đa cho các thông số cơ bản trong không khí xung quanh nhằm bảo vệ sức khỏe con người.

Thông số khí	Việt Nam (QCVN 05:2023)	Hoa Kỳ (US EPA NAAQS)	Châu Âu (EU Air Quality)
SO_2	350	~196 (75 ppb)	350
NO_2	200	~188 (100 ppb)	200
CO	30.000	~40.000 (35 ppm)	Không quy định (tính theo 8 h)
O_3	200	~137 (70 ppb – 8 h)	Không quy định (tính theo 8 h)

Bảng 1. So sánh giới hạn chất lượng không khí (µg/m³ tính theo trung bình trong 1 giờ)

Có thể thấy, các quy định của Việt Nam về giới hạn khí SO_2 và NO_2 trong không khí xung quanh hiện đã tiệm cận, hài hòa với các quy định về bảo vệ sức khỏe khắt khe của Liên minh Châu Âu.



5.2 Tiêu chuẩn khí thải xe cơ giới: Lộ trình Euro 5, Euro 6

Quyết định số 43/2025/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ quy định lộ trình áp dụng quy chuẩn khí thải ô tô tham gia giao thông làm 05 mức. Đặc biệt từ 01/01/2028, xe ô tô sản xuất từ năm 2022 tại Hà Nội và TPHCM phải đáp ứng tiêu chuẩn Mức 5 (tương đương với các nền tảng kỹ thuật Euro 5).

Khi so sánh với chuẩn Euro 6 tại Châu Âu, các yêu cầu kỹ thuật đối với động cơ diesel càng trở nên khắt khe. Tiêu chuẩn Euro 6 thắt chặt giới hạn phát thải NO_x từ 0,18 g/km (ở Euro 5) xuống còn 0,08 g/km; đồng thời nồng độ hydrocarbon (HC) giảm từ 0,23 g/km xuống còn 0,17 g/km.

Để đạt được các thông số nồng độ cực thấp này, các phương tiện bắt buộc phải tích hợp hệ thống tuần hoàn khí thải (*Exhaust Gas Recirculation*-EGR), bộ lọc hạt (*Diesel Particulate Filter* DPF) và hệ thống khử xúc tác chọn lọc (*Selective Catalytic Reduction* - SCR) sử dụng dung dịch AdBlue.

Tại Hoa Kỳ, cơ quan EPA không sử dụng chuẩn Euro mà áp dụng chuẩn Tier 3, đánh giá tổng hợp nồng độ NMOG (khí hữu cơ phi methane) + NO_x, mang lại tính toàn diện cao hơn trong việc kiểm soát khói mù quang hóa.

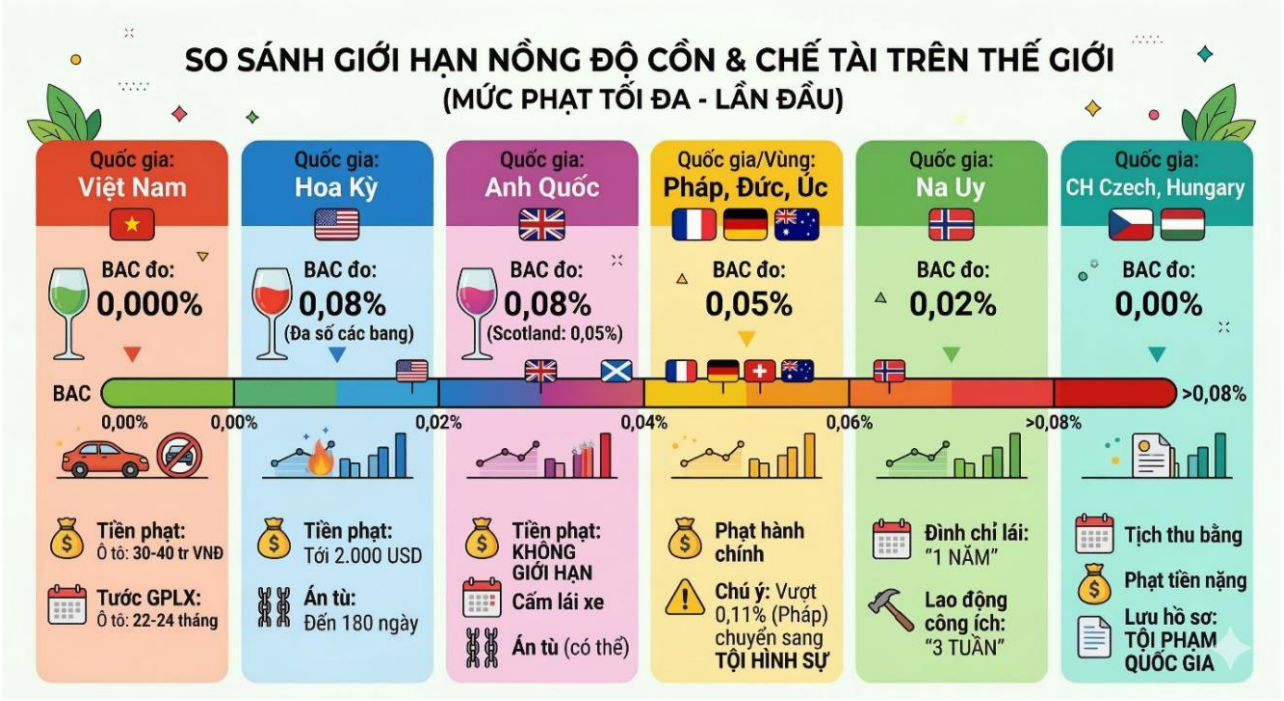
6 CẬP NHẬT QUY ĐỊNH QUẢN LÝ NHÀ NƯỚC VÀ CHẾ TÀI XỬ PHẠT TẠI VIỆT NAM

6.1 Xử phạt vi phạm nồng độ cồn: Đối sánh pháp lý quốc tế

Hành vi điều khiển phương tiện dưới tác động của rượu bia được kiểm soát gắt gao. Theo Nghị định 168/2024/NĐ-CP (áp dụng từ 2025), Việt Nam duy trì chính sách bất kỳ mức nồng độ cồn trong hơi thở nào lớn hơn 0 đều bị xử phạt hành chính.

Bảng 2. So sánh giới hạn nồng độ cồn hợp pháp và chế tài xử phạt

Quốc gia / Vùng	Giới hạn BAC hợp pháp	Mức xử phạt tối đa (Phạm lỗi lần đầu)
Việt Nam	**0,000 %**	Ô tô: Phạt tiền 30-40 triệu VNĐ, tước GPLX 22-24 tháng.
Hoa Kỳ	**0,08 %** (Đa số ở các bang)	Phạt tiền tới 2.000 USD, có thể phạt tù đến 180 ngày.
Anh Quốc	**0,08 %** (Scotland 0,05 %)	Phạt tiền không giới hạn, cấm lái xe, có thể đối mặt án tù.
Pháp, Đức, Úc	**0,05 %**	Phạt tiền hành chính. Vượt 0,11% (Pháp) chuyển sang tội hình sự.
Na Uy	**0,02 %**	Đình chỉ lái xe 1 năm, phạt lao động công ích 3 tuần.
CH Czech, Hungary	**0,00 %**	Tịch thu bằng lái, phạt tiền nặng, lưu hồ sơ tội phạm quốc gia.



Chính sách của Việt Nam tương đồng với các quốc gia Đông Âu (CH Czech, Hungary…) trong việc áp dụng mức giới hạn tuyệt đối 0 %, thể hiện sự quyết liệt trong việc thay đổi thói quen sử dụng rượu bia khi tham gia giao thông, điều này khác biệt với mô hình "vùng xanh" (0,05 % - 0,08 %) của đa số các nước phương Tây.

6.2 Kiểm soát và xử phạt khí thải

Bên cạnh hoạt động đo đạc cồn trong hơi thở của người điều khiển phương tiện giao thông thì việc xả thải khí công nghiệp vượt quy chuẩn cũng chịu chế tài nghiêm khắc. Theo Nghị định 45/2022/NĐ-CP, việc xả khí thải có chứa các thông số môi trường thông thường (như CO, SO_2, NO_x, bụi) vượt quy chuẩn kỹ thuật có thể dẫn đến mức phạt tiền lên tới 1.000.000.000 VNĐ đối với cá nhân và 2.000.000.000 VNĐ đối với tổ chức. Mức phạt được tính lũy tiến dựa trên lưu lượng khí xả và tỷ lệ vượt mức quy chuẩn.

Trong lĩnh vực giao thông, Công văn 534/ĐKVN-PTGTĐB của Cục Đăng kiểm đã quy định việc cấp Giấy chứng nhận kiểm định điện tử từ tháng 03/2026. Phương tiện tham gia giao thông không đạt mức khí thải quy định sẽ bị từ chối cấp Giấy chứng nhận, đồng nghĩa với việc cấm lưu hành.

7 CÁC VẤN ĐỀ KỸ THUẬT TRONG THỰC TIỄN

Hiện tượng "độ nhạy chéo" (c*ross-sensitivity*) của các cảm biến điện hóa vẫn là một thách thức lớn trong kỹ thuật đo lường.

Ví dụ, một lượng lớn khí hydrogen (H_2) có trong môi trường công nghiệp có thể làm cảm biến CO báo các tín hiệu giả. Do đó, quy trình hiệu chuẩn, kiểm định định kỳ bằng các bình khí chuẩn đa thành phần có chứng nhận (*multi-gas* CRM) là một trong những biện pháp bảo vệ tính toàn vẹn của kết quả đo.

Thêm vào đó, với sự tiến bộ của khoa học và kỹ thuật, các công nghệ sản xuất cảm biến cho các loại khí, phải ngày càng thay đổi, cải tiến, đổi mới có thể tránh các tình trạng bị hiện tượng như trên.

8 NHẬN XÉT

Đo lường nồng độ khí không chỉ dừng lại ở các phản ứng hóa lý phức tạp trong PTN mà đã trở thành công cụ để quản lý của cộng đồng về bảo vệ môi trường và sức khỏe con người, quần chúng.

Sự chuyển dịch pháp lý từ việc áp dụng QCVN 05:2023/BTNMT cho môi trường, kiểm soát nồng độ cồn nghiêm ngặt theo Nghị định 168/2024/NĐ-CP đến việc áp dụng lộ trình quy định về khí thải ở nước ta hiện nay đang nỗ lực tiệm cận chuẩn Euro 6 cho thấy Việt Nam đang thiết lập một hành lang pháp lý toàn diện, tương thích với các nước phát triển.

Để thực hiện các mục tiêu này, cần đầu tư các loại cảm biến khí công nghệ mới như NDIR, điện hóa có độ tin cậy cao và tuổi thọ cao cũng như quản lý chặt chẽ việc sử dụng, đảm bảo an toàn các loại khí chuẩn là nhiệm vụ cần thiết của đo lường trong thời gian tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Luật Đo lường 2011.

[2] Quyết định số 43/2025/QĐ-TTg ngày 28/11/2025 quy định lộ trình áp dụng quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về khí thải xe ô tô.

[3] Nghị định 168/2024/NĐ-CP quy định xử phạt vi phạm hành chính trong lĩnh vực giao thông đường bộ.

[4] Nghị định 45/2022/NĐ-CP quy định về xử phạt vi phạm hành chính trong lĩnh vực bảo vệ môi trường.

[5] QCVN 05:2023/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí xung quanh.

[6] Công văn số 534/ĐKVN-PTGTĐB năm 2026 của Cục Đăng kiểm Việt Nam về việc triển khai Quyết định 43/2025/QĐ-TTg.

[7] Văn bản ĐLVN 107:2012, ĐLVN 214:2017, ĐLVN 265:2016, ĐLVN 333:2016, ĐLVN 380:2021, ĐLVN 389:2021 quy trình kiểm định phương tiện đo nồng độ khí.

[8] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).

[9] European Commission, Euro 6 emissions standards for light-duty vehicles.

Chương 3

CƠ – ĐIỆN

KIỂM TRA SIÊU ÂM MỐI HÀN ĐƯỜNG RAY TUYẾN METRO SỐ 1 TP. HỒ CHÍ MINH

Trương Thanh Sơn,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 (Hưu trí)
Email: sontruongthanh@gmail.com

Tóm tắt

Kiểm tra khuyết tật trong vật liệu bằng siêu âm là một phương pháp thử nghiệm không phá hủy khá vạn năng và tương đối rẻ tiền. Một trong những thách thức để đảm bảo độ tin cậy của phép thử này là khi tìm kiếm khuyết tật, làm sao để hướng chùm tia siêu âm chạm vào khuyết tật và thu được năng lượng siêu âm từ khuyết tật quay trở về đầu dò. Việc này đặc biệt phức tạp với những đối tượng thử nghiệm có hình dạng phức tạp, chẳng hạn như mối hàn nối đường ray đường sắt hay đường ray metro.

Bài viết này chia sẻ một số kinh nghiệm của nhóm tác giả thuộc Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 trong việc triển khai phép thử siêu âm mối hàn ray cho dự án tuyến metro số 1 tại Thành phố Hồ Chí Minh trong thời gian vừa qua.

Từ khóa

Thử nghiệm siêu âm (ultrasonic testing UT); thử nghiệm không phá hủy (non-destructive testing NDT); khuyết tật (defect); hàn chảy giáp mép (flash butt welding); hàn nhiệt nhôm (aluminothermic welding); không ngấu (lack of fusion); rỗ khí (porosity); ngậm xỉ (slag inclusions); co ngót (shrinkage); khuyết tật bán nguyệt (flashing or finning).

1 GIỚI THIỆU

Một trong những nội dung cần được tìm hiểu trước khi tiến hành thử nghiệm siêu âm bất kỳ đối tượng nào là tìm hiểu về những sai lỗi đặc trưng của sản phẩm để chọn phương án tối ưu trong quét chùm tia siêu âm nhằm phát hiện được tất cả những bất thường bên trong, cũng như để giải đoán và đánh giá tốt hơn tín hiệu siêu âm phản hồi trở về đầu dò. Việc đầu tiên trước khi xây dựng quy trình thử nghiệm mối hàn ray là tìm hiểu về các phương pháp hàn ray đường sắt thường được sử dụng trong thực tế.

Các tuyến đường sắt hiện nay hầu hết sử dụng ray hàn liên tục, trong đó các đoạn ray được hàn lại với nhau bằng kỹ thuật hàn chảy giáp mép để tạo thành tuyến đường liên tục dài vài kilomet, sau đó sử dụng kỹ thuật hàn nhiệt nhôm để nối các đoạn ray hàn liên tục có sẵn. Với kỹ thuật này, việc di chuyển của các đoàn tàu với nhiều toa trên đường ray trở nên êm ái hơn rất nhiều và sẽ ít cần duy tu bảo dưỡng hơn.

2 CÁC PHƯƠNG PHÁP HÀN RAY

Trong phương pháp hàn chảy giáp mép, ray được gia nhiệt bằng điện với dòng điện rất lớn (khoảng 20.000 A) đi qua vùng tiếp xúc giữa hai đầu ray để làm cho ray nóng chảy, trong

cùng thời gian đó, có một lực nén khoảng 25 tấn đến 34 tấn, ép cho hai đầu ray dính liền lại (TCVN 13965-2).

Còn trong phương pháp hàn nhiệt nhôm, ray được hàn bằng phản ứng nhiệt với oxit sắt làm chất oxi hóa và bột nhôm làm chất khử (TCVN 13965-1), cần sử dụng khuôn để bổ sung kim loại vào khe hở giữa 2 đầu ray nên có bản chất tương tự như một quá trình đúc và do đó có các khuyết tật hàn đặc trưng tương tự như quá trình đúc.

Cả hai phương pháp hàn này đều có đặc điểm là ray được cắt vuông góc (không vát mép như hàn kết cấu) nên sóng siêu âm khi chạm vào các sai lỗi nghiêm trọng như hàn không ngấu (hai vật liệu không hòa tan với nhau để tạo thành mối liên kết đồng nhất) khó quay trở về đầu dò.

3 CÁC SAI LỖI ĐẶC TRƯNG TRONG HÀN CHẢY GIÁP MÉP RAY

Bản chất phương pháp hàn nhiệt nhôm tương tự như quá trình đúc nên các sai lỗi đặc trưng của mối hàn nhiệt nhôm cũng tương tự như đúc, nghĩa là bao gồm các loại rỗ khí, ngậm xỉ, hàn không ngấu và co ngót. Còn sai lỗi đặc trưng trong hàn chảy giáp mép chỉ có hàn **không ngấu** do hai đầu đoạn ray được liên kết trực tiếp với nhau, không sử dụng vật liệu bổ sung. Nhờ vậy, phương pháp thử nghiệm siêu âm mối hàn nhiệt nhôm cũng có thể được sử dụng cho mối hàn ray được hàn chảy giáp mép.

Rỗ khí *porosity*		***Rỗ khí*** trong mối hàn nhiệt nhôm hình thành do khí hoà tan trong kim loại lỏng hay hơi ẩm xuất hiện trong quá trình hàn không thoát ra kịp và bị kẹt lại bên trong vũng hàn. Hơi ẩm này có thể có nguồn gốc từ khuôn, trong oxit trên bề mặt ray hay trong vật liệu bổ sung. Do đặc tính hình thành này, rỗ khí có thể xuất hiện cả bên trong lẫn trên bề mặt của mối hàn.
Ngậm xỉ *slag inclusions*		Hàn nhiệt nhôm sử dụng một số vật liệu để bảo vệ kim loại lỏng không tiếp xúc với không khí cũng như để bảo đảm cơ tính của mối nối sau khi hàn. Các thành phần này có thể không kịp nổi lên trên trong quá trình đông đặc của kim loại hàn, tạo thành lỗi ***ngậm xỉ*** và làm giảm khả năng chịu lực của mối hàn. Cả hai sai lỗi rỗ khí và ngậm xỉ đều có bề mặt phân giới giữa sai lỗi và kim loại cơ bản là dạng cong, thuận lợi cho chùm tia siêu âm phản xạ trở về theo hướng cũ, nghĩa là sẽ dễ dàng phản xạ trở về đầu dò.

Co ngót *shrinkage*		Hiện tượng kim loại bị giảm thể tích khi nguội từ nhiệt độ ở trạng thái lỏng ban đầu đến nhiệt độ đông đặc, giảm thể tích khi chuyển từ trạng thái lỏng sang rắn và từ nhiệt độ đông đặc xuống nhiệt độ môi trường. Trường hợp kim loại lỏng không được bổ sung đầy đủ trước khi đông đặc để tạo thành mối liên kết đồng nhất, mối hàn sẽ có chỗ trống do ***co ngót***. Đây là sai lỗi nghiêm trọng nhưng ít gặp do thiết kế khuôn hàn nhiệt nhôm thường đã được xác nhận về chất lượng thiết kế trong quá trình chứng nhận quy trình hàn.
Khuyết tật bán nguyệt *flashing or finning*		Trong hàn nhiệt nhôm có sử dụng khuôn ghép chứa kim loại ở đầu thanh ray. Trong một số trường hợp, kim loại lỏng có thể bị rò ra ở phía dưới khuôn, lồi ra ở phần đáy của mối hàn. Phần lồi ra này có thể quan sát được bên dưới đường ray và gây ra tập trung ứng suất và làm xuất hiện khuyết tật đặc trưng là ***khuyết tật bán nguyệt.***
Không ngấu *lack of fusion*		***Không ngấu*** là khuyết tật mối hàn do kim loại không đủ nhiệt độ để kết dính lại với nhau. Các nguyên nhân chính thường do gia nhiệt vật liệu không đủ trước khi ép liên kết trong hàn chảy giáp mép, do quá trình hàn không khử được oxyt, tạp chất trên bề mặt liên kết …

4 TRUNG TÂM KỸ THUẬT 3 VÀ THỬ NGHIỆM SIÊU ÂM MỐI HÀN RAY

Với các khuyết tật hàn đặc trưng nêu trên, khó khăn lớn nhất của quá trình kiểm tra siêu âm mối hàn ray là phải bảo đảm phát hiện được tất cả các khuyết tật không ngấu có phương vuông góc với đường ray (*các khuyết tật còn lại như rỗ, xỉ có bề mặt cong nên có thể phát hiện dễ dàng bằng chùm tia siêu âm xung phản hồi thông thường*).

Với lý do này, mẫu chuẩn cũng như mẫu xác nhận giá trị sử dụng của quy trình thử nghiệm siêu âm mối hàn ray phải chứa những bề mặt phản xạ vuông góc với ray để mô phỏng cho khuyết tật không ngấu ở những vị trí khác nhau trên mặt cắt ngang của ray.

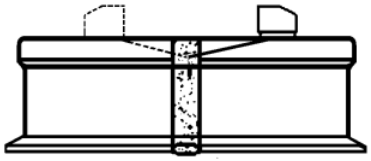
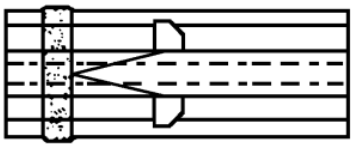
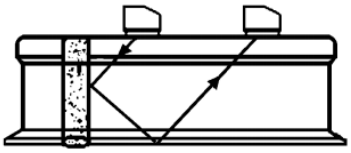
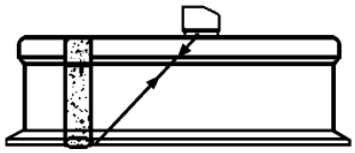
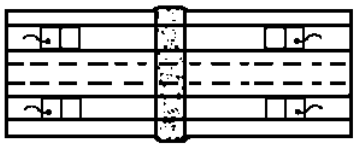
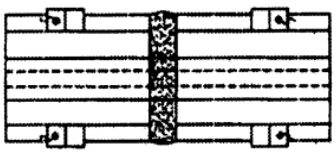
Thách thức lớn nhất trong quét kiểm tra là chỗ để phát hiện khuyết tật nằm vuông góc bề mặt ray phải sử dụng kỹ thuật tandem và pitch-catch, nghĩa là phải di chuyển cùng một lúc hai đầu dò theo một quy luật xác định để bảo đảm nếu có khuyết tật thì năng lượng siêu âm từ đầu dò phát, sau khi chạm vào bề mặt khuyết tật sẽ phản xạ trở về đầu dò thu.

Trong quá trình chuẩn bị và triển khai việc thử nghiệm siêu âm mối hàn đường ray, Trung tâm Kỹ thuật 3 đã xây dựng quy trình riêng cho dự án và đầu tư thêm các thiết bị chuyên

dùng, trong đó quan trọng nhất là mẫu chuẩn đối chứng để cài đặt độ nhạy cũng như xác nhận giá trị sử dụng của quy trình và bộ gá chuyên dùng để di chuyển đầu dò theo kỹ thuật tandem.

Quy trình thử nghiệm này đã được xác nhận giá trị sử dụng và đã thuyết phục được nhà thầu cũng như tư vấn giám sát dự án chấp nhận để sử dụng trong việc thử nghiệm siêu âm mối hàn đường ray tuyến metro số 1 tại TP. Hồ Chí Minh.

Dựa trên yêu cầu kỹ thuật của dự án metro số 1 và tiêu chuẩn EN 14730-1, quy trình thử nghiệm siêu âm mối hàn ray quy định mỗi mối hàn được quét kiểm tra 7 lần, mỗi lần quét một khu vực khác nhau bằng những đầu dò siêu âm khác nhau và phải phát hiện được tất cả những khuyết tật nhân tạo mô phỏng cho khuyết tật hàn đặc trưng của từng vùng được quét kiểm tra. Những bước quét kiểm tra chính của quy trình (không bao gồm bước kiểm tra khuyết tật nằm song song bề mặt ray) có thể tóm tắt trong bảng sau:

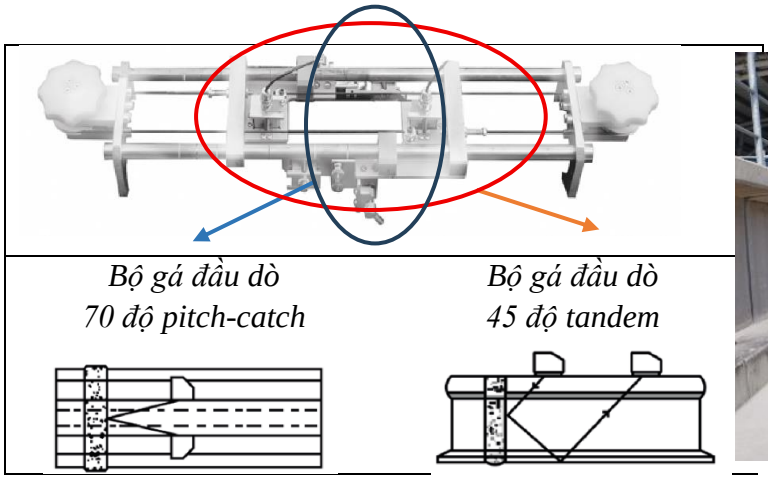
STT	Sơ đồ quét	Mô tả
1		Kiểm tra khuyết tật không phẳng ở nấm ray bằng đầu dò đôi 70 độ
2		Kiểm tra khuyết tật phẳng ở nấm ray bằng 2 đầu dò đơn 70 độ một phát và một thu (pitch-catch)
3		Kiểm tra khuyết tật phẳng thân ray bằng 2 đầu dò đơn 45 độ theo chế độ tandem
4		Kiểm tra vùng chính giữa chân ray bằng 1 đầu dò đơn 45 độ từ cả 2 bên mối hàn
5		Kiểm tra vùng giữa của 2 bên chân ray bằng 1 đầu dò đơn 70 độ từ cả 2 bên mối hàn
6		Kiểm tra vùng ngoài của 2 bên chân ray bằng 1 đầu dò đơn 70 độ từ cả 2 bên mối hàn

Chuẩn đối chứng và chuẩn xác nhận giá trị sử dụng của quy trình là những lỗ đáy bằng, với đường kính 5 mm hoặc 10 mm trong mặt cắt ngang thanh ray, vuông góc bề mặt ở những vị trí xác định theo yêu cầu kỹ thuật của dự án metro số 1 và EN 14730-1.

5 KẾT QUẢ

Với quy trình thử nghiệm đã được nghiên cứu có đầy đủ cơ sở lý thuyết, cơ sở pháp lý và đã được xác nhận giá trị sử dụng, các quy trình, phương pháp thử nghiệm siêu âm mối hàn ray đường sắt của Trung tâm Kỹ thuật 3 đã được Văn phòng Công nhận chất lượng quốc gia (BoA) công nhận phù hợp các chuẩn mực quy định theo TCVN ISO/IEC 17025 - Yêu cầu chung về năng lực của phòng thử nghiệm và hiệu chuẩn, số công nhận VILAS 004.

Việc nghiên cứu triển khai thành công phương pháp kiểm tra siêu âm mối hàn ray đường sắt đã giúp Trung tâm Kỹ thuật 3 vượt qua nhiều tổ chức trong và ngoài nước trong việc thuyết phục nhà thầu, tư vấn giám sát và các bên liên quan để cung cấp dịch vụ này cho dự án, qua đó không chỉ góp phần bảo đảm độ tin cậy hoạt động của hệ thống đường sắt mà còn góp phần nâng cao uy tín của các phòng thí nghiệm Việt Nam trong việc triển khai những kỹ thuật kiểm tra, thử nghiệm mới cho những công trình trọng điểm của đất nước.





Bộ gá đầu dò tandem và hình ảnh kiểm tra siêu âm mối hàn ray tuyến metro số 1 TP. HCM

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] EN 14730-1:2006 + A1:2010 – Railway Applications - Track - Aluminothermic welding of rails - Part 1: Approval of welding processes.

[2] TCVN 13965-1:2024 Ứng dụng đường sắt – Hàn ray – Phần 1: Hàn nhiệt nhôm.

[3] TCVN 13965-2:2024 Ứng dụng đường sắt - Hàn ray - Phần 2: Hàn chảy giáp mép.

[4] https://visco.com.vn/2021/07/29/kiem-tra-moi-han-thanh-ray-cua-cau-truc-va-duong-sat/.

ĐÁNH GIÁ TÌNH TRẠNG CÁCH ĐIỆN CỦA CÁP ĐIỆN TRUNG THẾ- CAO THẾ THÔNG QUA THỬ NGHIỆM PHÓNG ĐIỆN CỤC BỘ PD

Trần Thế Mạnh, Mai Hoàng Vân,
Công ty CP Dây cáp điện Việt Nam CADIVI
Email: manhtt@cadivi.vn; vanmh@cadivi.vn

Tóm tắt

Hệ thống cáp ngầm điện trung/cao thế đóng vai trò huyết mạch trong mạng lưới truyền tải và phân phối điện năng. Sự suy giảm chất lượng của cách điện là nguyên nhân hàng đầu dẫn đến sự cố lưới điện. Bài này trình bày tổng quan về phương pháp thử nghiệm phóng điện cục bộ, phân tích nguyên lý hoạt động, tầm quan trọng của chỉ tiêu này, đi sâu vào hiện tượng "cây nước" (water treeing) trong cáp XLPE, các tiêu chuẩn quốc tế áp dụng và phương pháp thử nghiệm phổ biến hiện nay.

Từ khóa

Phóng điện cục bộ (Partial Discharge - PD); cáp trung/cao thế; cách điện; cáp XLPE; hiện tượng cây nước (water treeing); cây điện (electrical tree).

1 GIỚI THIỆU VÀ SỰ CẦN THIẾT CỦA THỬ NGHIỆM PD[1]

1.1 Phóng điện cục bộ PD

Phóng điện cục bộ được định nghĩa là sự phóng điện nhỏ xảy ra bên trong hoặc trên bề mặt của vật liệu cách điện, kết nối một phần giữa hai điện cực dẫn điện. Trong hệ thống cáp ngầm, đặc biệt là cáp có lớp cách điện bằng polymer như XLPE[2], hiện tượng này thường xuất hiện tại các điểm có bọt khí (*voids*), tạp chất, hoặc các điểm khuyết tật sinh ra trong quá trình sản xuất, vận chuyển và thi công (đặc biệt tại các hộp nối và đầu cáp).

1.2 Tại sao cần thực hiện thử nghiệm này?

- ***Quá trình suy hao không thể phục hồi:*** Các xung PD giải phóng năng lượng dưới dạng nhiệt, ánh sáng, âm thanh và các hóa chất ăn mòn (như *ozone*). Theo thời gian, chúng "ăn mòn" lớp cách điện từ bên trong, làm mở rộng các lỗ hổng.
- ***Phát hiện sớm khuyết tật:*** Khác với thử nghiệm chịu đựng điện áp cao (*Hi-pot test*) chỉ cho kết quả "Đạt hoặc Không Đạt" tại thời điểm đo, thử nghiệm PD là phương pháp **chẩn đoán dự đoán** (*predictive*). Nó cho phép phát hiện các khuyết tật rất nhỏ trước khi chúng phát triển thành sự cố phóng điện hoàn toàn (*breakdown*).
- ***Nghiệm thu chất lượng thi công:*** Hầu hết các sự cố cáp ngầm không nằm ở bản thân sợi cáp mà nằm ở các phụ kiện (hộp nối, đầu cáp) do lỗi thi công của con người (cắt

[1] PD: Partial Discharge - Phóng điện cục bộ
[2] XLPE: Cross-linked Polyethylene

phạm lớp bán dẫn/cách điện, để lọt bụi bẩn, bọt khí). Thử nghiệm PD sau khi lắp đặt giúp đảm bảo chất lượng thi công đạt yêu cầu chuẩn trước khi đóng điện.

2 TẦM QUAN TRỌNG CỦA CHỈ TIÊU PD TRONG QUẢN LÝ TÀI SẢN LƯỚI ĐIỆN

Chỉ tiêu mức phóng điện cục bộ (thường được đo bằng đơn vị picocoulomb - pC) là một trong những thông số quan trọng nhất để đánh giá "sức khỏe" của hệ thống cáp.

2.1 Đánh giá rủi ro và lên kế hoạch bảo trì

Việc theo dõi xu hướng (*trend*) của PD theo thời gian cho phép người quản lý lưới điện biết được tốc độ lão hóa của cáp. Từ đó chuyển đổi từ chiến lược "**bảo trì khắc phục**" (hỏng mới sửa) sang "**bảo trì theo tình trạng**"[3], giúp tiết kiệm chi phí khổng lồ.

2.2 Ngăn ngừa sự cố mất điện diện rộng

Sự cố nổ hộp nối cáp ngầm cao thế thường gây ra gián đoạn cung cấp điện nghiêm trọng và mất nhiều thời gian để khắc phục. Kiểm soát tốt chỉ tiêu PD giúp giảm thiểu tối đa rủi ro này.

2.3 Tối ưu hóa tuổi thọ thiết bị

Nếu phát hiện PD sớm tại một hộp nối, chỉ cần thay thế hộp nối đó thay vì phải thay thế toàn bộ tuyến cáp khi sự cố đã lan rộng.

3 HIỆN TƯỢNG "CÂY NƯỚC"[4] VÀ SỰ LIÊN HỆ VỚI PD

Trong các hệ thống cáp cách điện bằng polymer (như PE, XLPE) vận hành trong môi trường ẩm ướt (chôn ngầm, ngập nước), một hiện tượng lão hóa đặc trưng và nguy hiểm thường xuất hiện là hiện tượng **"Cây nước"**.

3.1 Cây nước là gì?

Cây nước không phải là một cái cây bằng nước vật lý, mà là các cấu trúc phân nhánh vi mô, giống hình rễ cây hoặc bụi cây, hình thành bên trong lớp cách điện rắn. Chúng được tạo ra bởi sự kết hợp của hai yếu tố:

* sự hiện diện của độ ẩm (nước);
* điện trường xoay chiều (AC *stress*).

Nước khuếch tán vào bên trong lớp XLPE thông qua các khuyết tật siêu nhỏ, dưới tác dụng của điện trường cao, các phân tử nước bị phân cực và tạo ra ứng suất cơ học vi mô, làm đứt gãy các chuỗi polymer, từ đó tạo thành các rãnh dẫn chứa đầy nước.

[3] Condition-Based Maintenance CBM
[4] Water Treeing

3.2 Chuyển hóa từ "Cây nước" sang "Cây điện"[5]

Bản thân cây nước phát triển rất chậm (có thể kéo dài hàng năm đến hàng chục năm) và **không sinh ra hiện tượng phóng điện cục bộ (PD)** vì các rãnh này được lấp đầy bởi nước, không có bọt khí để xảy ra quá trình ion hóa.

Tuy nhiên, mối nguy hiểm thực sự nằm ở giai đoạn sau, một khi cây nước phát triển đủ lớn hoặc gặp phải một hiện tượng quá điện áp (như sét đánh, đóng cắt), nó sẽ làm suy giảm nghiêm trọng độ bền điện môi tại vị trí đó. Khi điện trường cục bộ vượt qua giới hạn, nước bên trong có thể bốc hơi, để lại các hốc rỗng.

Lúc này, **"Cây nước"**chuyển hóa thành **"Cây điện".**

Ngay khi cây điện hình thành, **hiện tượng PD sẽ xuất hiện với cường độ lớn** và tốc độ phá hủy lớp cách điện sẽ diễn ra rất nhanh (chỉ trong vài ngày hoặc vài giờ) dẫn đến đánh thủng cáp. Do đó, việc đo PD sẽ giúp phát hiện ngay thời điểm cây nước vừa chuyển hóa thành cây điện để kịp thời cắt điện và xử lý.

4 NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ ĐO PHÓNG ĐIỆN CỤC BỘ

Mục tiêu của thiết bị đo PD là nắm bắt được các xung dòng điện/điện áp cực nhỏ (tần số cao từ vài chục kHz đến vài chục MHz) sinh ra tại vị trí khuyết tật, bị lẫn trong dòng điện dung rất lớn của sợi cáp.

Một hệ thống đo PD cơ bản theo mạch điện tiêu chuẩn bao gồm các thành phần:

4.1 Nguồn điện cao áp sạch (HV *Source*)

Cung cấp điện áp thử nghiệm cho cáp. Nguồn này phải có dạng sóng ổn định (không mang theo sóng hài, xung điện áp hoặc nhiễu nền) để tín hiệu PD đo được phản ánh đúng tình trạng cách điện.

4.2 Đối tượng thử nghiệm (*Test Object - Cáp*)

Đóng vai trò như một tụ điện C_x.

4.3 Tụ điện ghép (*Coupling Capacitor* - C_k)

Được mắc song song với cáp. Tụ có điện dung đủ lớn để tạo ra một đường dẫn, có trở kháng thấp đối với các xung PD (tần số cao), giúp các xung PD chạy qua mạch đo thay vì chạy ngược về nguồn cao áp.

4.4 Bộ trở kháng đo lường (*Measuring Impedance / Quadripole*)

Mắc nối tiếp với tụ ghép C_k (hoặc đối tượng C_x). Bộ này làm nhiệm vụ chuyển đổi xung dòng điện PD thành xung điện áp để đưa vào thiết bị đo.

4.5 Thiết bị xử lý và hiển thị (*PD Detector*)

Khuếch đại, lọc nhiễu và hiển thị tín hiệu. Hiện nay, các thiết bị hiện đại sử dụng biểu đồ **PRPD** (*Phase-Resolved Partial Discharge*) – phân tích xung PD theo góc pha của điện áp

[5] Electrical Tree

tần số công nghiệp (50 Hz/60 Hz) để nhận diện chính xác loại khuyết tật (do bọt khí, do vầng quang, hay do phân lớp).

5 THỬ NGHIỆM PD THƯỜNG XUYÊN[6] TẠI NHÀ MÁY

Khác với **thử nghiệm điển hình**[7] hay **thử nghiệm mẫu**[8] chỉ thực hiện trên một đoạn cáp đại diện, thử nghiệm thường xuyên (*Routine Test*) bắt buộc phải thực hiện trên 100 % các cuộn/rulo cáp sau khi hoàn tất quá trình sản xuất. Mục đích chính là kiểm chứng độ hoàn hảo của toàn bộ chiều dài sợi cáp, đặc biệt là đánh giá chất lượng của quá trình đùn ép nhiều lớp và lưu hóa liên tục (dây chuyền CCV).

5.1 Yêu cầu khắt khe về hạ tầng và thiết bị thử nghiệm

Để đo lường chính xác các xung PD với biên độ cực nhỏ (dưới 5 pC) trên một rulo cáp dài hàng ngàn mét, có điện dung rất lớn, hạ tầng phòng thử nghiệm tại nhà máy phải đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật nghiêm ngặt:

* ***Phòng thử nghiệm bọc thép*** *(lồng Faraday)***:** Môi trường công nghiệp luôn tràn ngập nhiễu điện từ (EMI) từ máy móc, biến tần, cần trục. Lồng faraday là lớp áo giáp cách ly nhiễu bắt buộc, đảm bảo mức nhiễu nền (*background noise*) của hệ thống đo luôn ở mức nhỏ hơn hoặc bằng 1 pC;
* ***Hệ thống nguồn cộng hưởng xoay chiều*** *(AC resonant test system)***:** Để cung cấp đủ công suất cho tải có tính dung lớn (rulo cáp) mà không yêu cầu nguồn cấp quá lớn, người ta sử dụng mạch cộng hưởng (thường điều chỉnh tần số hoặc biến trở kháng cuộn cảm) để đạt trạng thái cộng hưởng với điện dung của cáp, tạo ra điện áp thử nghiệm sạch, dạng sin chuẩn;
* ***Đầu kết nối cáp*** *(cable test terminations)***:** để tránh hiện tượng phóng điện vầng quang (*Corona*), làm nhiễu hoàn toàn kết quả PD, hệ thống dầu cách điện bao bọc đầu cáp để tăng cường độ bền điện môi, ngăn chặn phóng điện bề mặt tại điểm cắt cáp, bóc tách bán dẫn.

5.2 Quy trình đo và tiêu chuẩn đánh giá

Quá trình thử nghiệm phải tuân thủ nghiêm ngặt các tiêu chuẩn quốc tế (như tiêu chuẩn quốc tế IEC, Anh BS, Châu Âu EN, Nhật JIS hoặc Trung Quốc GB), phổ biến nhất là IEC 60502-2 (áp dụng cho cáp trung thế) và IEC 60840 (áp dụng cho cáp cao thế).

Một chu trình đo theo tiêu chuẩn thường diễn ra qua hai giai đoạn liên tiếp:

(a) Giai đoạn chịu đựng điện áp cao *(High-Voltage Withstand)*

Điện áp được nâng lên mức rất cao (ví dụ 2,5 * U_0 hoặc 3,5 * U_0, trong đó U_0 là điện áp pha định mức) và giữ trong một khoảng thời gian nhất định (ví dụ 5 phút hoặc 30

[6] Routine test
[7] Type test
[8] Sample test

phút). Giai đoạn này nhằm "kích hoạt" các khuyết tật ẩn nếu có, hoặc gây đánh thủng màng cách điện tại những điểm quá yếu.

***(b) Giai đoạn đo lường PD** (PD Measurement)*

Ngay sau khi kết thúc thời gian thử chịu đựng, điện áp được hạ xuống mức đo lường (thường là 1,73 * U_0 hoặc 1,5 * U_0). Tại mức điện áp này, thiết bị sẽ ghi nhận mức độ phóng điện cục bộ.

(c) Tiêu chuẩn chấp nhận

Lượng phóng điện cục bộ (PD *level*) lớn nhất ghi nhận được không được vượt quá giới hạn cho phép. Thông thường, tiêu chuẩn IEC yêu cầu mức PD ≤ 5 pC hoặc PD ≤ 10 pC tùy theo cấp điện áp.

5.3 Các khuyết tật trong quá trình sản xuất thường được phát hiện

Thông qua routine test, các kỹ sư quản lý chất lượng có thể phát hiện và sàng lọc các lỗi nghiêm trọng sinh ra trong quá trình đùn ép cách điện XLPE, bao gồm:

* **bọt khí** (*voids*): hình thành do quá trình tách khí không triệt để hoặc lỗi nhiệt độ trong ống lưu hóa;
* **tạp chất** (*impurities/ambers*): hạt nhựa cháy khét hoặc hạt bụi lọt vào buồng đùn;
* **khuyết tật mặt phân cách** (*interface defects*): sự gồ ghề, gai nhọn (*protrusions*) xuất hiện ở bề mặt tiếp xúc giữa lớp bán dẫn trong/ngoài và lớp cách điện XLPE, gây ra sự tập trung điện trường cực đoan.

Trong trường hợp phát hiện rulô cáp không đạt chuẩn PD, hệ thống đo lường tại nhà máy còn được tích hợp tính năng định vị điểm lỗi (*fault location*) dựa trên nguyên lý phản xạ xung (*Time Domain Reflectometry* - TDR). Bằng cách đo thời gian xung PD truyền từ điểm khuyết tật về hai đầu cáp, kỹ sư có thể tính toán chính xác vị trí lỗi nằm ở mét thứ bao nhiêu trên rulô để tiến hành cắt bỏ, tối ưu hóa vật tư và đảm bảo không một đoạn cáp lỗi nào được xuất xưởng.

6 THỬ NGHIỆM HIỆN TRƯỜNG[9]

Việc mang một trạm nguồn có tần số công nghiệp 50 Hz khổng lồ ra hiện trường để thử nghiệm cáp dài là bất khả thi do công suất phản kháng của cáp quá lớn. Do đó, các phương pháp thử nghiệm tại hiện trường (*offline*) hiện nay sử dụng các công nghệ thay thế nguồn:

6.1 Phương pháp VLF (*Very Low Frequency*)

- ***Nguyên lý*:** Sử dụng nguồn xoay chiều có tần số rất thấp, thường là 0,1 Hz thay vì 50 Hz. Việc giảm tần số đi 500 lần giúp công suất nguồn yêu cầu cũng giảm đi 500 lần, làm cho thiết bị trở nên nhỏ gọn, có thể đặt trên xe tải nhỏ.

[9] Field test

- ***Ưu điểm*:** Phổ biến, chi phí hợp lý. Có thể kết hợp để làm cả phép đo tổn hao điện môi (*Tan Delta*) và định vị điểm PD (TDR - *Time Domain Reflectometry*) chạy dọc theo chiều dài cáp.

6.2 Phương pháp DAC (*Damped Alternating Current*)

- ***Nguyên lý*:** Nạp cáp (tụ điện) bằng một nguồn điện áp DC đến mức điện áp thử nghiệm, sau đó đóng cắt qua một cuộn cảm để tạo ra một chuỗi dao động xoay chiều tắt dần (*damped ringing*) với tần số từ 20 Hz đến vài trăm Hz (rất gần với tần số vận hành thực tế).
- ***Ưu điểm*:** Thiết bị rất nhẹ, điện áp thử nghiệm tác động lên cáp rất giống với điều kiện vận hành 50 Hz, cho kết quả biểu đồ PRPD chính xác. Ít gây ứng suất phá hủy lên cáp già cỗi so với phương pháp VLF.

6.3 Đo PD online (trực tuyến)

Được thực hiện khi cáp đang mang điện vận hành. Sử dụng các cảm biến dòng điện tần số cao (HFCT) kẹp vào dây nối đất của màn chắn cáp, hoặc cảm biến điện từ (TEV/UHF).

- ***Ưu điểm*:** Không cần cắt điện.
- ***Nhược điểm*:** Nhiễu môi trường rất cao, độ nhạy kém hơn phương pháp fline, không thể định vị chính xác vị trí khuyết tật trên sợi cáp dài (chỉ phát hiện được quanh khu vực hộp nối).

7 CÁC HÌNH THỨC THỬ NGHIỆM PD THEO TỪNG GIAI ĐOẠN

7.1 Thử nghiệm tại nhà máy sản xuất (*factory test*)

- ***Mục tiêu*:** Kiểm tra chất lượng cách điện ngay sau khi sản xuất, đảm bảo không có khuyết tật nội tại.
- ***Phương pháp*:** Thử nghiệm PD theo IEC 60270 (đo điện tích phóng điện dạng pC) và sử dụng tụ ghép (*coupling capacitor*) hoặc cảm biến HFCT để phát hiện tín hiệu PD.
- ***Tiêu chuẩn áp dụng*:** IEC 60502-2 và các tiêu chuẩn IEC liên quan.

7.2 Thử nghiệm tại trung tâm thử nghiệm độc lập (*independent laboratory test*)

- ***Mục tiêu*:** Đánh giá chất lượng lô cáp trước khi đưa vào sử dụng.
- ***Phương pháp*:** Thử nghiệm PD trong điều kiện phòng thí nghiệm với thiết bị chuyên dụng và đo & phân tích phổ tín hiệu PD để xác định nguồn gốc khuyết tật.
- ***Tiêu chuẩn áp dụng*:** IEC 60270, IEC 60502-2, TCVN 9618-21:2013 (liên quan đến thử nghiệm cáp điện).

7.3 Nghiệm thu tại hiện trường (*on-site acceptance test*)

- ***Mục tiêu*:** Đảm bảo cáp sau khi lắp đặt không bị hư hỏng trong quá trình vận chuyển, kéo cáp, hoặc đấu nối và xác nhận hệ thống sẵn sàng vận hành an toàn.

- ***Phương pháp*:** Thử nghiệm PD online/offline bằng thiết bị di động. Kết hợp với thử điện áp xoay chiều VLF (*Very Low Frequency*) để kích hoạt PD và ghi nhận tín hiệu. Dùng cảm biến HFCT gắn tại đầu cáp hoặc tủ điện để phát hiện PD.
- ***Tiêu chuẩn áp dụng*:** IEC 60270, IEC 60502-2, hướng dẫn của EVN về nghiệm thu cáp ngầm trung thế.

8 KẾT LUẬN

Thử nghiệm phóng điện cục bộ (PD) là một công cụ tinh vi và đắc lực nhất hiện nay trong công tác chẩn đoán, đánh giá chất lượng cách điện của hệ thống cáp trung thế và cao thế. Việc hiểu rõ bản chất của các khuyết tật (như bọt khí, sự hình thành cây nước và cây điện), nắm vững nguyên lý thiết bị và áp dụng đúng phương pháp thử nghiệm (VLF, DAC) không chỉ giúp phát hiện sớm các nguy cơ tiềm ẩn mà còn là nền tảng để xây dựng mạng lưới điện thông minh, vận hành an toàn và tin cậy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Việc thử nghiệm và đánh giá sự kiện phóng điện cục bộ PD phải tuân thủ nghiêm ngặt các tiêu chuẩn quốc tế để đảm bảo tính khách quan và an toàn:

[1] IEC 60270 Các tiêu chuẩn của Ủy ban Kỹ thuật Điện Quốc tế IEC, là nền tảng và quan trọng nhất về kỹ thuật đo lường phóng điện cục bộ dùng cho các thiết bị điện cao áp nói chung.

[2] IEC 60502-2 Tiêu chuẩn cho cáp điện lực có lớp cách điện ép đùn điện áp từ 1 kV đến 30 kV (cáp trung thế).

[3] IEC 60840 Tiêu chuẩn cho hệ thống cáp điện lực có lớp cách điện ép đùn cấp điện áp trên 30 kV đến 150 kV (cáp cao thế).

[4] IEC 62067 Tiêu chuẩn cho hệ thống cáp siêu cao thế (trên 150 kV đến 500 kV).

[5] IEEE 400.3 Hướng dẫn thử nghiệm hiện trường (*field testing*) phóng điện cục bộ cho hệ thống cáp điện lực. [tiêu chuẩn của Hiệp hội Kỹ sư Điện-Điện tử Hoa Kỳ IEEE.

Theo tiêu chuẩn IEC đối với thử nghiệm nghiệm thu tại nhà máy (Routine test), mức PD cho phép thường phải nhỏ hơn 5 pC *hoặc* 10 pC *ở mức điện áp quy định (thường là* 1,5 * U_0 *đến* 2 * U_0*, cụ thể* 1,73 * U_0*).*

THỬ NGHIỆM ĐỘ DAI PHÁ HỦY VẬT LIỆU CTOD

Phạm Văn Út,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: ut.pv@quatest3.com.vn

1 GIỚI THIỆU

Hầu hết các thử nghiệm cơ tính truyền thống chỉ tập trung vào những đặc tính tĩnh của vật liệu như độ bền kéo, giới hạn chảy, độ giãn dài… Những chỉ tiêu thử truyền thống này chỉ cho biết vật liệu hoạt động như thế nào trong điều kiện hoàn hảo.

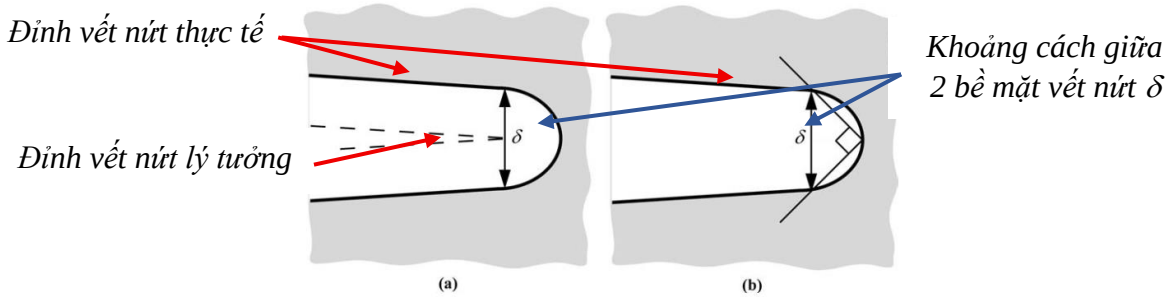
Nhưng bên cạnh đó còn có những đặc tính chưa được quan tâm: *Vật liệu trong thực tế có những khiếm khuyết là các vết nứt nhỏ, những tạp chất, sai lỗi hàn. Dưới tác động của ứng suất, những khuyết tật này có thể sẽ lớn dần trong quá trình hoạt động sẽ dẫn đến hư hỏng cấu trúc*.

Thử nghiệm truyền thống cho biết vật liệu hoàn hảo bền đến mức nào; còn thử nghiệm CTOD cho biết vật liệu không hoàn hảo sẽ hoạt động như thế nào khi có sự cố xảy ra. CTOD sẽ làm rõ sự khác biệt giữa một vết nứt ngừng phát triển và một vết nứt sẽ xé toạc toàn bộ cấu trúc.

CTOD là viết tắt của **Crack-Tip Opening Displacement**, tạm dịch là **độ mở rộng khe hở đầu vết nứt**, thực chất là biến dạng tổng (biến dạng đàn hồi + biến dạng dẻo) ở vị trí gần đỉnh vết nứt ban đầu. Như vậy, thử nghiệm CTOD sử dụng mẫu có sẵn vết nứt, tác dụng tải thử và đo chính xác độ mở rộng của vết nứt trước khi vật liệu bị phá hủy.

Về nguyên tắc, mẫu thử CTOD khi chịu tải phải trải qua các giai đoạn sau:

(a) giai đoạn đàn hồi: vật liệu và vết nứt biến dạng đàn hồi, nghĩa là khe hở rãnh cắt và khe hở đầu vết nứt trở về giá trị ban đầu khi bỏ tải trọng ngoài;
(b) giai đoạn biến dạng dẻo: vật liệu và vết nứt bắt đầu biến dạng dẻo, nghĩa là không trở về trạng thái ban đầu khi bỏ tải trọng ngoài;
(c) giai đoạn tới hạn: điểm mà vết nứt trở nên không ổn định;
(d) giai đoạn gãy vỡ: mẫu bị phá hủy.



Hình 1. Các cách định nghĩa khác nhau của giá trị CTOD

Giá trị CTOD δ được định nghĩa là khoảng cách giữa hai mặt đối diện của đầu vết nứt, trong đó 2 cách đo phổ biến nhất được thể hiện như trên Hình 1. Giá trị CTOD càng cao nghĩa là khả năng chống lại sự phát triển vết nứt của vật liệu càng tốt.

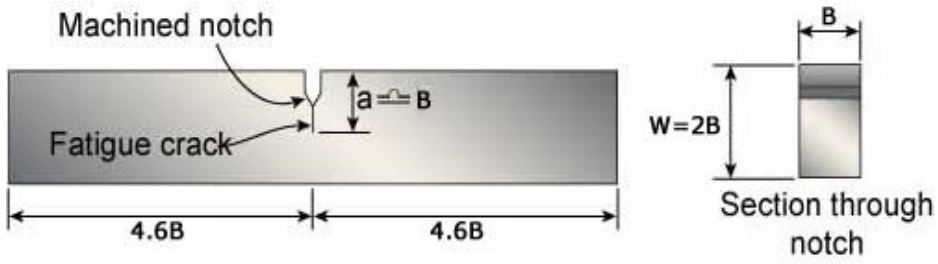
Thử nghiệm CTOD là một phép thử phức tạp, có những yêu cầu nghiêm ngặt về thiết bị, điều kiện thử cũng như chuẩn bị mẫu thử nghiệm.

2 QUY TRÌNH THỬ NGHIỆM CTOD

Gồm những bước chính như sau:

2.1 Gia công mẫu

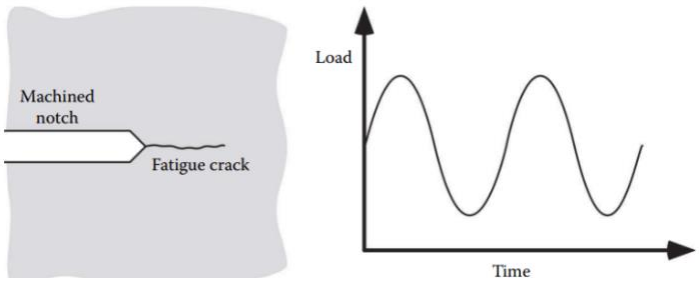
Cắt phôi và gia công mẫu thử, thường là mẫu uốn 3 điểm – SENB (Hình 2) có rãnh khía (*notch*) tạo bằng máy theo đúng kích thước và tỷ lệ tiêu chuẩn. Rãnh khía có thể được tạo ra bằng máy công cụ hoặc gia công tia lửa điện (EDM).



Hình 2. Mẫu CTOD mặt cắt ngang chữ nhật

2.2 Tạo vết nứt ban đầu do mỏi (*Fatigue Pre-cracking*)

Sử dụng máy thử mỏi thiết lập tải trọng chu kỳ (*cyclic loading*) để tạo ra một vết nứt tự nhiên, sắc nhọn, phát triển từ đáy rãnh khía gia công như Hình 3.



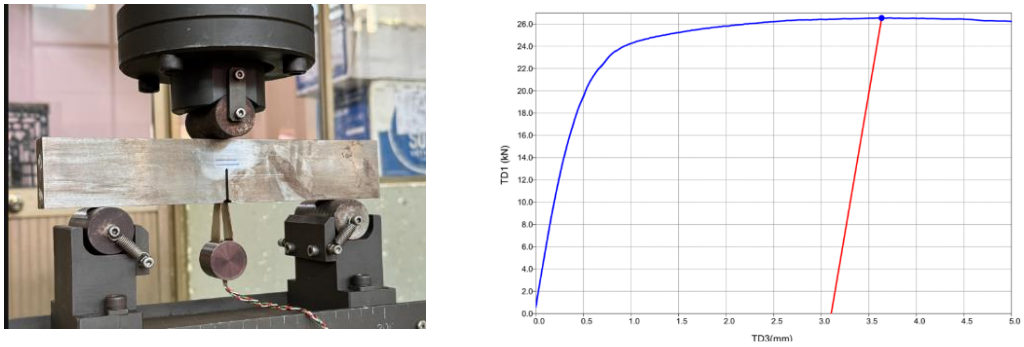
Hình 3. Tạo vết nứt mỏi trên mẫu thử. Vết nứt mỏi được tạo ra ở đầu của rãnh (gia công cơ) bằng cách sử dụng tải trọng chu kỳ (mỏi).

2.3 Tiến hành thử nghiệm - thử bẻ gãy

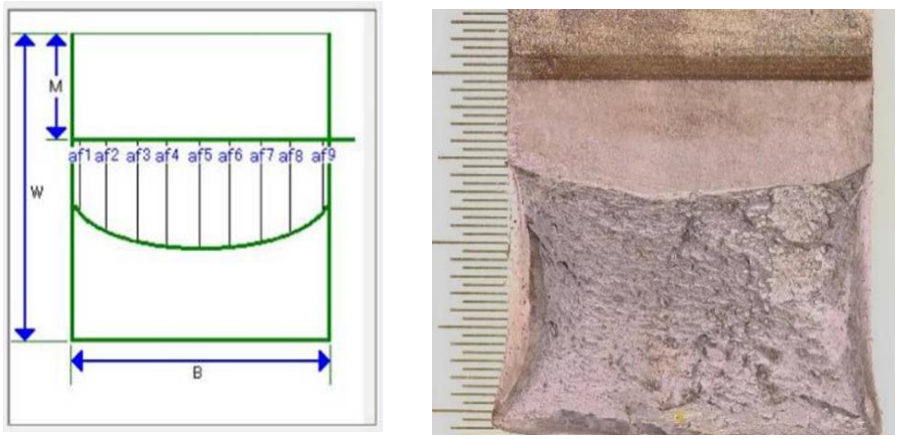
Tiến hành gia tải tĩnh (thường là uốn 3 điểm) với tốc độ được quy định, được kiểm soát chặt chẽ. Hệ thống phần mềm sẽ ghi lại liên tục biểu đồ tương quan giữa lực tác dụng (P) và độ mở miệng rãnh khía (CMOD) - Hình 4.

2.4 Đo chiều sâu vết nứt thực tế (*Post-test Measurement*)

Sau khi thử xong, nếu mẫu chưa gãy rời, tiếp tục bẻ gãy hoàn toàn mẫu. Quan sát mặt gãy dưới kính hiển vi hoặc dụng cụ chuyên dụng để đo chính xác chiều sâu vết nứt mỏi ban đầu tại nhiều điểm theo quy định (Hình 5).



Hình 4. Minh họa cách lắp đặt và biểu đồ tương quan P - CMOD



Hình 5. Sơ đồ đo vết nứt trên mặt gãy để xác nhận giá trị phép thử

2.5 Tính toán kết quả

Dựa vào đặc tính của biểu đồ P - CMOD, kích thước mẫu đo thực tế và chiều sâu vết nứt, sử dụng các công thức toán học trong tiêu chuẩn để tính toán ra giá trị CTOD.

Trong quá trình thử nghiệm, dữ liệu được ghi lại tự động trên biểu đồ tải trọng P theo chuyển vị CMOD. Hình 6 minh họa các hình dạng đường cong khác nhau có thể được tạo ra trong đó:

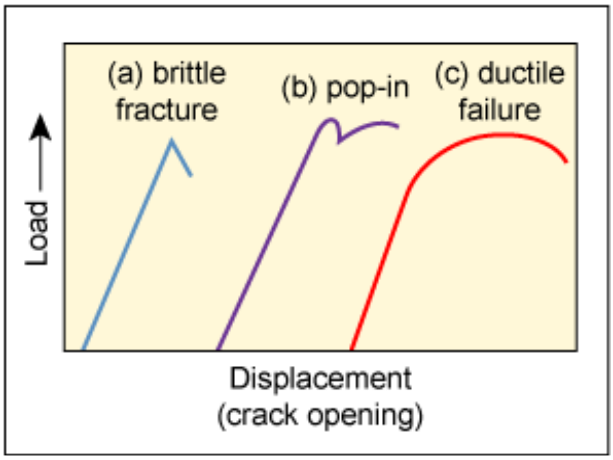
a) thử nghiệm theo đó mẫu bị gãy theo kiểu giòn với rất ít hoặc không có biến dạng dẻo;

b) thể hiện hiện tượng "nứt đột ngột" (*pop-in*).

Nghĩa là vết nứt giòn xuất hiện nhưng chỉ lan truyền một khoảng ngắn trước khi bị chặn lại trong vật liệu cứng hơn - điều này có thể xảy ra nhiều lần và tạo ra đường cong có dạng răng cưa hoặc vật liệu sau một lần nứt đột ngột tiếp tục biến dạng kiểu dẻo cho đến khi gãy, tương tự như trong (c), cho thấy hành vi hoàn toàn dẻo.

Trong quá trình thử nghiệm mẫu thử quy trình hàn, vị trí của vết cắt trong vùng ảnh hưởng nhiệt (*heat affected zone* - HAZ) của mối hàn hoặc trong kim loại cơ bản rất quan trọng, vì

vết nứt mỏi nằm sai vị trí sẽ không đại diện cho vùng cần quan tâm và làm cho việc thử nghiệm trở thành không hợp lệ.



Hình 6. Đường cong tải trọng theo độ dịch chuyển khe nứt thể hiện ba kiểu hành vi gãy vỡ.

Để chắc chắn rằng đầu vết nứt nằm chính xác trong vùng quan tâm, mẫu cần được đánh bóng và tẩm thực (*etching*), sau đó kiểm tra cấu trúc kim loại bằng kính hiển vi kim tương (*metallographic microscope*) trước khi gia công rãnh cắt và tạo vết nứt mỏi. Việc kiểm tra cũng có thể được thực hiện sau khi bẻ gãy để xác nhận lại tính hợp lệ của kết quả thử nghiệm.

Sau khi mẫu được bẻ gãy, bề mặt gãy được kiểm tra để đảm bảo rằng vết nứt mỏi có mặt trước tương đối thẳng. Các ứng suất dư có trong mối hàn [13] có thể làm cho mặt trước của vết nứt mỏi không đều - nếu điều này không kiểm soát tốt, thử nghiệm có thể không hợp lệ. Đáng tiếc là các nguyên nhân gây ra lỗi thử nghiệm này chỉ có thể được xác định sau khi thử nghiệm hoàn tất và bề mặt vết nứt được kiểm tra.

Trong thử nghiệm CTOD, các dữ liệu cần được thu thập phải có cả những dữ liệu của phép thử nghiệm kéo tĩnh. Báo cáo thử nghiệm CTOD có thể bao gồm các thông số K, J và giá trị CTOD (δ). Công thức tính toán các giá trị này khá phức tạp, phụ thuộc vào loại mẫu, loại tải trọng tác dụng cũng như đặc trưng chống lại sự hình thành và bắt đầu lan rộng của vết nứt của vật liệu. Chi tiết về cách tính toán cũng như đánh giá tính hợp lệ của phép thử được trình bày chi tiết ở các tiêu chuẩn về phương pháp thử nghiệm áp dụng.

3 PHƯƠNG PHÁP THỬ CTOD

Hiện nay, các tiêu chuẩn phương pháp thử CTOD thường được sử dụng là:

(a) BS 7448 Parts 1-4: Fracture Mechanics Toughness Tests - Thử nghiệm độ dai gãy, chủ yếu áp dụng cho thép kết cấu trong đó tập trung vào thử nghiệm mối hàn.

(b) ASTM E1820: Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness - Phương pháp thử nghiệm tiêu chuẩn đo độ dai gãy, áp dụng cho nhiều loại vật liệu, nhiều dạng mẫu thử và các quy định về xác nhận thống kê

(c) ISO 12135: Metallic Materials - Unified Method for Fracture Toughness Testing - Vật liệu kim loại - Phương pháp thống nhất để thử nghiệm độ dai gãy, chủ yếu áp dụng cho đánh giá chất lượng vật liệu trong các ứng dụng quan trọng.

4 TRUNG TÂM KỸ THUẬT 3 VÀ THỬ NGHIỆM CTOD

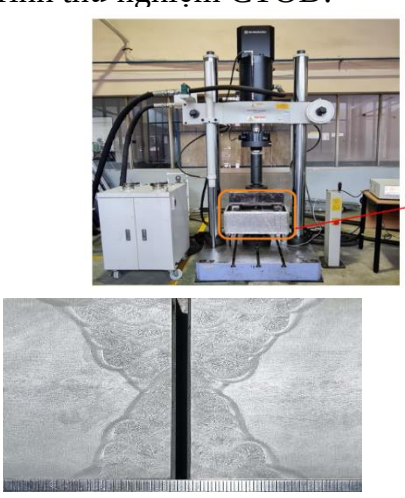
Hiện nay Trung tâm Kỹ thuật 3 là một trong những đơn vị đầu tiên của Việt Nam có năng lực cung cấp đầy đủ dịch vụ thử nghiệm CTOD từ việc chuẩn bị mẫu đến việc đánh giá cấu trúc tế vi trước và sau khi thử, đặc biệt khi cần đánh giá phạm vi hạt thô trong vùng ảnh hưởng nhiệt GCHAZ (*Grain coarsened heat affected zone*).

Trung tâm có thể thử nghiệm CTOD cho vật liệu kim loại và mối hàn với chiều dày lên đến 110 mm tại nhiệt độ trong khoảng từ -70 ^{o}C đến nhiệt độ phòng và tại nhiệt độ -196 ^{o}C. Phép thử CTOD này đã được công nhận phù hợp với tiêu chuẩn ISO/IEC 17025:2017 với mã số VILAS 004 và đã đáp ứng các yêu cầu khắt khe của các chủ đầu tư cũng như các đơn vị tư vấn giám sát là các tổ chức đăng kiểm nổi tiếng thế giới như Lloyd's Register (LR - Anh), Det Norske Veritas (DNV – Na Uy), Bureau Veritas (BV - Pháp)….

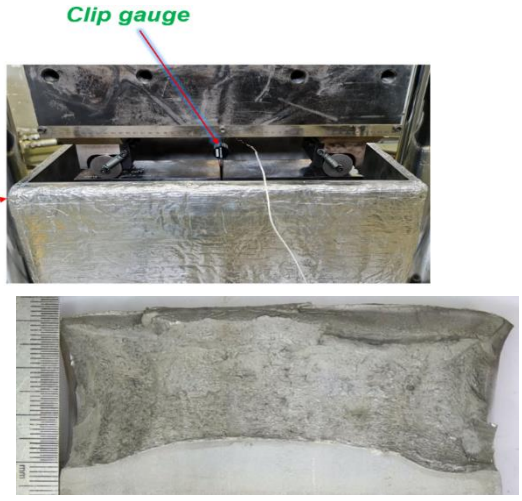
Trong thời gian qua, Trung tâm Kỹ thuật 3 đã cung cấp dịch vụ thử nghiệm CTOD cho các dự án xây lắp ngành dầu khí, điện gió mà Việt Nam có tham gia như SHWE Gas Project, Block B Gas Project, Gallaf 3 Project, Sư tử Trắng giai đoạn 2B, dự án mỏ Thiên Nga - Hải Âu, dự án mỏ Đại Hùng Nam, dự án đường ống dẫn khí Ô môn – Lô B… .

Hình 7 và 8 là hình ảnh thử nghiệm CTOD loại SE(B) mẫu quy trình hàn dày 80 mm ở nhiệt độ - 20 ^{o}C với hướng cắt rãnh là chính giữa tâm mối hàn tại Trung tâm Kỹ thuật 3.

Trong Hình 9 thể hiện mặt gãy mẫu thử đã được thực hiện. Bề mặt vết nứt mỏi phẳng, nhẵn và vết nứt phát triển theo hình "cánh cung" liên tục, không bị gãy khúc trên suốt biên dạng là bằng chứng trực quan về sự hợp lệ của quá trình tạo vết nứt mỏi ban đầu cũng như toàn bộ quá trình thử nghiệm CTOD.



Hình 7. Rãnh cắt tại tâm

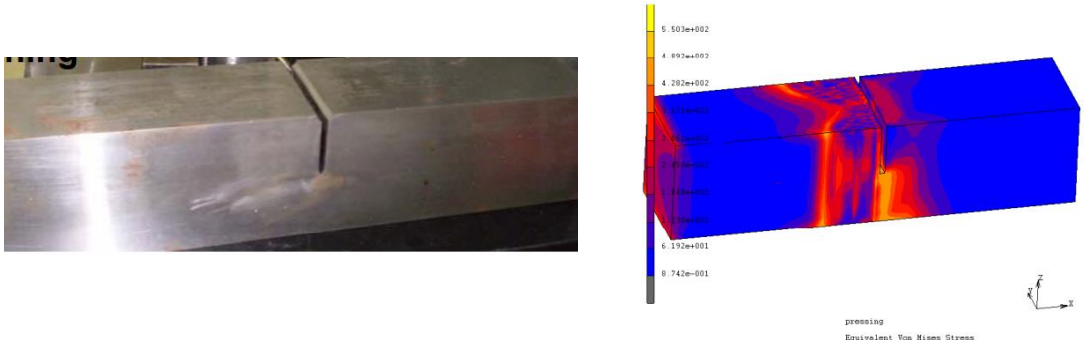


Hình 8. Bề mặt phá hủy của mẫu sau khi thử

Trong quá trình triển khai phép thử CTOD, một trong những khó khăn mà Trung tâm Kỹ thuật 3 đã tốn khá nhiều thời gian và phải trải qua không ít lần thất bại là quá trình tạo vết nứt mỏi ban đầu.

Kinh nghiệm thực tế cho thấy nếu không xử lí được ứng suất dư thì không thể tạo được vết nứt mỏi cho vị trí mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt phù hợp quy định. Hiện nay, Trung tâm Kỹ thuật 3 tạo vết nứt mỏi (*và cả thử bẻ gãy* CTOD) trên máy Shimadzu Servopulser 300 kN/ 450 kN với phần mềm chuyên dụng của hãng Shimadzu, có thể tạo vết nứt mỏi với chiều dài vết nứt tùy chọn. Hệ thống sẽ tự động dừng khi vết nứt mỏi đạt đến giá trị quy định.

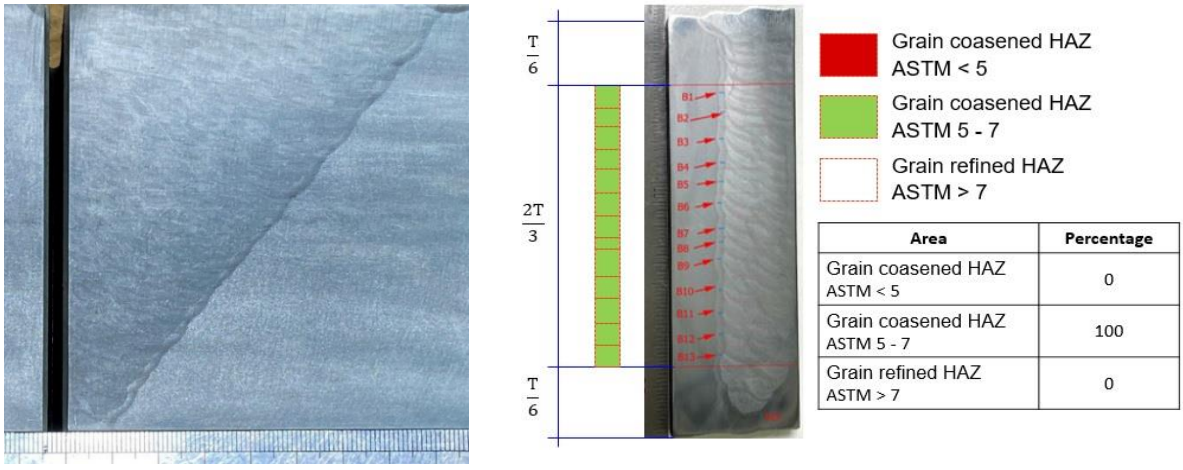
Ngoài ra, phần mềm tiên tiến này còn cho phép điều khiển quá trình theo hệ số cường độ ứng suất trong quá trình tạo vết nứt mỏi. Điều này thực sự hữu ích vì mối quan hệ phi tuyến giữa chiều dài vết nứt mỏi và hệ số cường độ ứng suất.



Hình 9. Mẫu thử với rãnh cắt tại vùng HAZ và sự phân bố ứng suất xung quanh mối hàn.

Bên cạnh thách thức về lĩnh vực cơ học, việc lập bản đồ cấu trúc tế vi (*micro-map*) để xác nhận tính hợp lệ vị trí rãnh cắt thông qua đánh giá tổ chức tế vi vùng GCHAZ bằng kích thước hạt (*grain size*) theo ASTM E112 cũng là một thách thức trong thử nghiệm CTOD tại vùng ảnh hưởng nhiệt của mối hàn HAZ.

Trung tâm đã xây dựng quy trình đánh giá trước và sau khi thử (*Pre-testing & Post-testing Metallography*) phù hợp với các yêu cầu của EEMUA 158[1].



Hình 10. Bản đồ vi cấu trúc vùng HAZ
Sketch micro-map of microstructures & grain sizes in HAZ

[1] EEMUA (Engineering Equipment and Materials Users Association**)** Publication 158: Construction Specification for Fixed Offshore Structures

5 KẾT LUẬN

Thử nghiệm CTOD là một trong những hoạt động nghiên cứu triển khai thử nghiệm theo nhu cầu xã hội thực tế của Trung tâm Kỹ thuật 3. Với mục tiêu là thay thế cho các dịch vụ phải thuê nước ngoài, giúp khách hàng tiết kiệm thời gian cũng như chi phí cho kiểm soát chất lượng sản phẩm có yêu cầu cao.

Trong năm 2025, Trung tâm Kỹ thuật 3 đã thực hiện với số lượng khoảng 140 mẫu thử CTOD, cho thấy kết quả hoạt động của Trung tâm đã dần tiếp cận và phù hợp với các chuẩn mực quốc tế, đáp ứng được các nhu cầu của doanh nghiệp.

Đây cũng là cột mốc hoàn thành chặng đường đầu tiên trong kế hoạch nghiên cứu của Trung tâm về lĩnh vực thử nghiệm cơ học phá hủy (*fracture mechanics*) như cường độ ứng suất tới hạn (*fracture toughness* K1C), tốc độ phát triển nứt mỏi (*fatigue crack growth rate)* cho cho các vật liệu có độ bền cao, tính dẻo thấp [10], [15] như vật liệu ray dùng cho các dự án đường sắt đô thị, đường sắt tốc độ cao mà Việt Nam đang chuẩn bị triển khai trong thời gian tới.

Với đội ngũ nhân sự hầu hết là những người trẻ, có năng lực, nhiệt tình, trang thiết bị thử nghiệm khá hiện đại và đa dạng, hệ thống quản lý chất lượng tốt, Trung tâm Kỹ thuật 3 tự tin có đủ cơ sở kỹ thuật và nguồn lực để thực hiện cam kết luôn đồng hành và hỗ trợ cộng đồng doanh nghiệp trong việc tiếp cận những kỹ thuật mới nhằm cải thiện khả năng cạnh tranh cho hàng hóa, dịch vụ của Việt Nam trên thị trường trong nước cũng như quốc tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Anderson, T. L. (2017). Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications (4th ed.).

[2] BS 7910:2019+A1:2020 - Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures.

[3] ISO 15653: 2018 Metallic materials - Method of test for the determination of quasistatic fracture toughness of welds.

[4] ISO 12135 :2016 Metallic materials — Unified method of test for the determination of quasistatic fracture toughness.

[5] DNV-OS-C401 (2021) Fabrication and testing of offshore structures.

[6] BS 7448 -1;2 Fracture mechanics toughness tests - Method for determination of KIc, critical CTOD and critical J values of metallic materials.

[7] ASTM E 1290 - 08 Standard Test Method for Crack-Tip Opening Displacement (CTOD) Fracture Toughness Measurement.

[8] ASTM E 1820 - 15a Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness.

[9] EEMUA 158 : 2014 Construction Specification For Fixed Offshore Structures.

[10] BS EN 13674-1 :2011 Railway applications – Track – Rail.

[11] https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/ctod-testing-076

[12] Zong tao Fanga, Bo Sunb and Chun run Li - Experimental Study on CTOD Fracture Toughness of Welded Joints of Low Temperature Steel

[13] Hermawan Agus Suhartono, Heryana Yana, Gilang Cempaka Kusuma - Kyushu University Institutional Repository - Assessing Toughness of Pressurized Fluid Channel: Experiment using CTOD in Spiral Submerged Arc Welded Pipes.

[14] Gil M. Agag Jr - Mapua , University Experimental investigation of CTOD fracture toughness in FCAW-GS welds of offshore jacket structure; https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7196752/v1.

15] Diego F. B. Sarzosa, Claudio Ruggier - Marine Systems & Ocean Technology, University of São Paulo - Experimental validation of relationship between fracture parameters J and CTOD for SE(B) and SE(T) specimens during ductile crack growth *;* DOI 10.1007/s40868-015-0005-4.

THỬ NGHIỆM XÁC ĐỊNH THAY ĐỔI CHIỀU CAO CỘT VỮA TRONG QUÁ TRÌNH ĐÔNG KẾT CỦA VỮA KHÔNG CO NGÓT BẰNG THIẾT BỊ CẢM BIẾN DỊCH CHUYỂN LASER

Trần Ngọc Sâm,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: sam.tn@quatest3.com.vn

1 ĐẶC TÍNH CỦA VỮA KHÔNG CO NGÓT

Vữa không co ngót[1] là một loại vật liệu xây dựng đặc biệt, được thiết kế để khắc phục nhược điểm cố hữu của vữa xi măng truyền thống là sự co ngót thể tích trong quá trình đóng rắn. Đây là hỗn hợp trộn sẵn bao gồm xi măng, cát mịn được tuyển chọn, xử lý và phối trộn với các phụ gia đặc biệt.

(a) Đặc điểm kỹ thuật chính của vữa không co ngót

- **Giãn nở:** điểm khác biệt cốt lõi nằm ở khả năng giãn nở xảy ra ở giai đoạn sớm để bù co ngót, khi đóng rắn hoàn toàn có thể **giãn nở nhẹ** hoặc **giữ nguyên thể tích**;
- **Cường độ nén cao:** thường đạt từ 60 MPa trở lên, tuỳ sản phẩm có thể cao hơn nữa, giá trị này cao hơn nhiều so với bê tông và các loại vữa;
- **Độ chảy lỏng tốt:** có khả năng tự san phẳng và len lỏi vào các khe hở nhỏ mà không cần đầm rung;
- **Không tách nước:** đảm bảo tính đồng nhất của khối vữa trong suốt quá trình thi công;
- **Kháng va đập và rung động:** chịu được tải trọng động từ máy móc và thiết bị công nghiệp.

(b) Ứng dụng: Vữa không co ngót thường được ứng dụng vào:

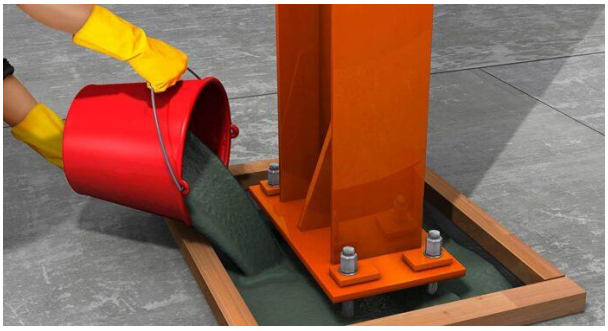
- **Công trình hạ tầng:** kết nối các kết cấu đúc sẵn; Làm gối cầu, khe co giãn, cố định các bu lông neo cường độ cao;




- **Lắp đặt thiết bị:** làm bệ máy, chân cột thép nhà xưởng, đường ray máy cẩu;
- **Sửa chữa kết cấu:** trám vá các lỗ rỗng (*honeycomb*) trong bê tông, các hốc sau khi rút các ty xuyên sàn;

[1] Non-shrinkage grout.

- **Chống thấm:** đổ cổ ống thoát nước sàn, các vị trí mạch ngừng thi công.





.2 CÁC YÊU CẦU THỬ NGHIỆM CHÍNH CỦA VỮA KHÔNG CO NGÓT

Chỉ tiêu thí nghiệm	Tiêu chuẩn ASTM	Tiêu chuẩn TCVN
Độ chảy xòe	ASTM C1437 / C939	TCVN 3121-3
Cường độ nén (28 ngày)	ASTM C109	TCVN 3121-11
Độ giãn nở (2 trạng thái: dẻo/đóng rắn)	ASTM C827/ASTM C1090	TCVN 9204
Thời gian ninh kết	ASTM C191	TCVN 3121-8

Bài viết này đề cập đến phương pháp thử để xác định một đặc tính quan trọng của vữa không co ngót, là độ giãn nở, đặc biệt là độ giãn nở ở trạng thái dẻo (thay đổi chiều cao cột vữa trong quá trình đông kết).

Việc đánh giá chính xác một đặc tính độ giãn nở ở trạng thái dẻo - lại gặp khó khăn do bộ thiết bị thí nghiệm theo đúng mô tả trong các tiêu chuẩn như TCVN 9204 hay ASTM C827 hầu như rất khó tìm thấy ở thị trường Việt Nam hiện nay.

2.1 Độ giãn nở ở trạng thái dẻo (*early age*)

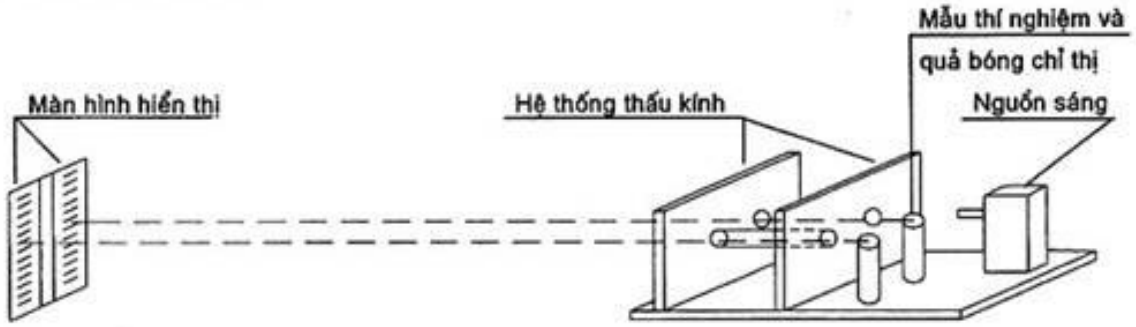
Thay đổi chiều cao cột vữa trong quá trình đông kết**.** Đây là phép thử đo sự thay đổi chiều cao (giãn nở hoặc co ngót) của hỗn hợp vữa **ngay sau khi đổ** cho đến khi nó bắt đầu **ninh kết cứng** (*set*).

(a) ***Ý nghĩa*:** Khi vữa còn ướt, nước có xu hướng bay hơi hoặc bị cốt liệu hấp thụ gây co ngót sớm (*plastic shrinkage*);

(b) ***Tính cần thiết*:** Với vữa không co ngót, phụ gia giãn nở phải hoạt động ngay trong giai đoạn này để bù đắp lượng thể tích bị mất đi, đảm bảo vữa luôn tiếp xúc chặt với bản mã thép;

(c) ***Kết quả*:** Thường yêu cầu độ giãn nở dương trong giai đoạn dẻo để đảm bảo tính điền đầy không tạo vết nứt tại biên tiếp xúc.

Theo tiêu chuẩn ASTM C827 và TCVN 9204 đều yêu cầu sử dụng hệ thống thiết bị đo không tiếp xúc như hình minh hoạ dưới đây:



Hệ thiết bị quang học này cần được bố trí ở trong một phòng tối có chiều dài tối thiểu 5 m, có màn hiển thị và một hệ thấu kính có độ phóng đại từ 90 đến 110 lần cùng với nguồn sáng thích hợp.

Trong thực tế, hiện nay hệ thiết bị này hầu như không còn được cung cấp trên thị trường, nên để có thể thử nghiệm chỉ tiêu độ co ngót với thiết bị này là một khó khăn cho các PTN. Xuất phát từ yêu cầu thử chỉ tiêu này, PTN Xây dựng Quatest 3 đề xuất quy trình cải tiến sao cho phù hợp với tiêu chuẩn phương pháp thử.

3 THỬ NGHIỆM ĐỘ CO NGÓT CỦA VỮA THEO QUY TRÌNH XD.TC.1050

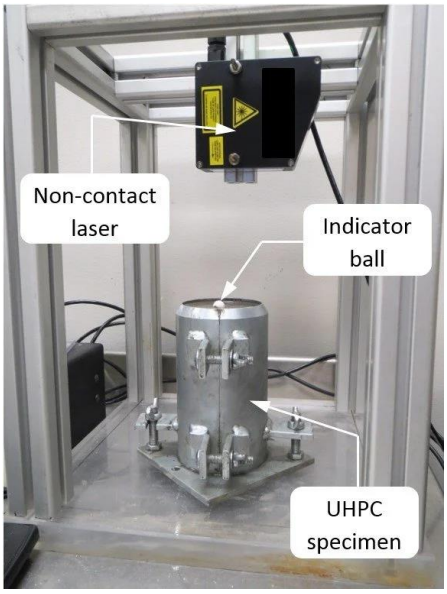
3.1 Cơ sở của đề xuất

Theo tài liệu "*Volume Stability and Cracking Potential of Prebagged, Cement-Based Nonshrink Grouts for Field-Cast Connections*" của *Carmelo Di Bella* và *Benjamin A. Graybeal* trên tạp chí "*Transportation Research Record (TRR)*", các tác giả đã khảo sát sự tương quan giữa hai phương pháp đo theo tiêu chuẩn và phương pháp cải tiến bằng cách sử dụng cảm biến laser.

Hệ cảm biến laser không những cho kết quả tương đương với phương pháp trong tiêu chuẩn mà còn cho kết quả và độ lặp lại khá tốt, điều này có thể do hạn chế được sự tác động của con người trong quá trình thử nghiệm.



ASTM C827 – Early Height Change



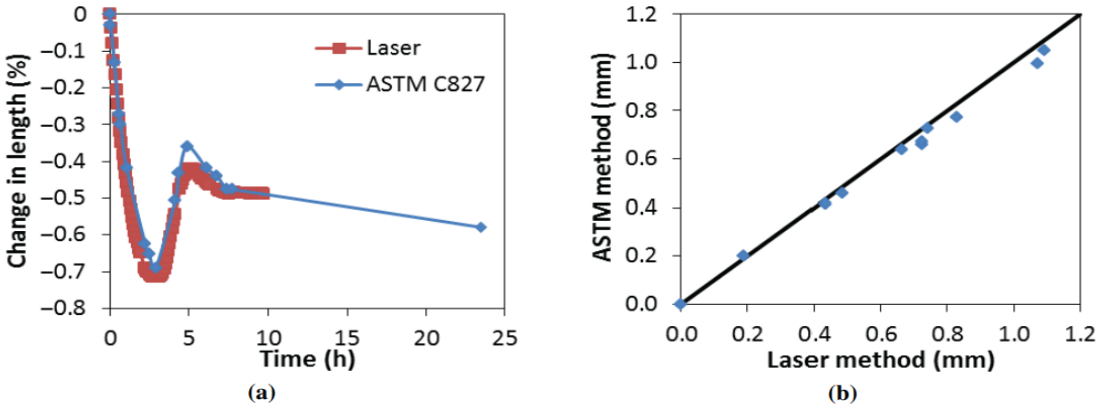


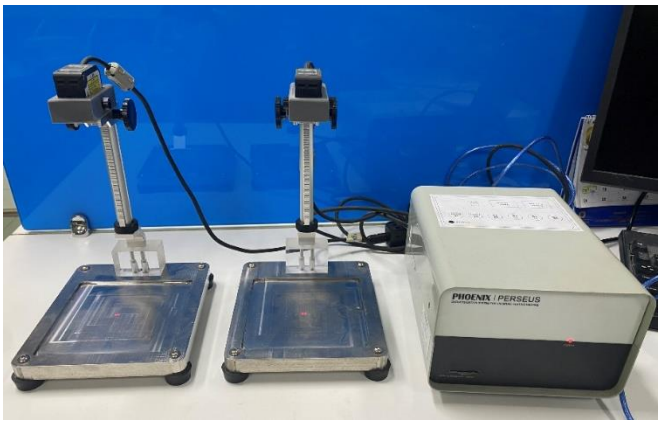
FIGURE 2 Results of (*a*) change in length determined with ASTM method and laser system method and (*b*) comparison of change in length measured with ASTM method and laser system method.

3.2 Phương án của QUATEST 3

Để giải quyết vấn đề, PTN Xây dựng đã chuẩn bị quy trình thử nghiệm XD.TC.1050, trên cơ sở thay thế thiết bị đo quang học bằng cảm biến dịch chuyển laser, tuân thủ hoàn toàn các yêu cầu về chuẩn bị mẫu và điều kiện thí nghiệm theo TCVN 9204:2012.

a) ***Chuẩn bị mẫu***: Mẫu được lấy và trộn theo mục 6.2 của tiêu chuẩn TCVN 9204:2012; khuôn thử nghiệm mẫu theo yêu cầu 6.6.2 của TCVN 9204:2012 (Chiều cao gấp đôi đường kính trong, khuôn đang sử dụng có đường kính 75 mm, chiều cao 150 mm)

b) ***Nguyên lý***: Một cảm biến dịch chuyển laser có độ chính xác 0,001 mm được đặt cố định, chiếu tia vuông góc lên bề mặt miếng chỉ thị đặt trên mẫu thử. Sự thay đổi chiều cao của mẫu (do co/giãn nở) sẽ làm thay đổi khoảng cách từ cảm biến đến bề mặt quả bóng. Dữ liệu được ghi nhận liên tục và hiển thị qua phần mềm thu thập dữ liệu (*data acquisition software*)





c) ***Các thay đổi chính***: Thiết bị đề xuất thay thế có khả năng đọc tốt hơn (0,001 mm so với 0,02 mm); thiết bị đo theo tiêu chuẩn ASTM C827 là khá phức tạp, chiếm một không gian lớn, đắt tiền và so sánh các nội dung giữa hai phương án như sau:

Nội dung	**Thiết bị quang học theo TCVN 9204/ASTM C827**	**Thiết bị cảm biến laser đề xuất XD.TC.1050**
Độ phân giải	0,02 mm (quy đổi từ độ phóng đại)	0,001 mm (cao hơn 20 lần)
Không gian thí nghiệm	Cần phòng tối, chiều dài tối thiểu 5 m	Nhỏ gọn, chỉ cần khoảng 1 m², dễ bố trí
Tần suất ghi dữ liệu	Thủ công, mỗi 1 phút (theo tiêu chuẩn)	Liên tục (theo từng giây), qua phần mềm
Tính khách quan	Phụ thuộc vào thao tác đọc của kỹ thuật viên	Tự động hóa, loại bỏ sai số do thao tác của con người
Khả năng mở rộng	Khó khăn, chỉ thực hiện được 1 mẫu/máy	Dễ dàng kết nối nhiều đầu đo để thử nhiều mẫu song song
Theo dõi quá trình	Gián đoạn, không thấy được sự phát triển, đáp ứng của vật liệu	Trực quan hóa bằng biểu đồ, giúp phân tích ứng xử của vữa trong suốt quá trình ninh kết

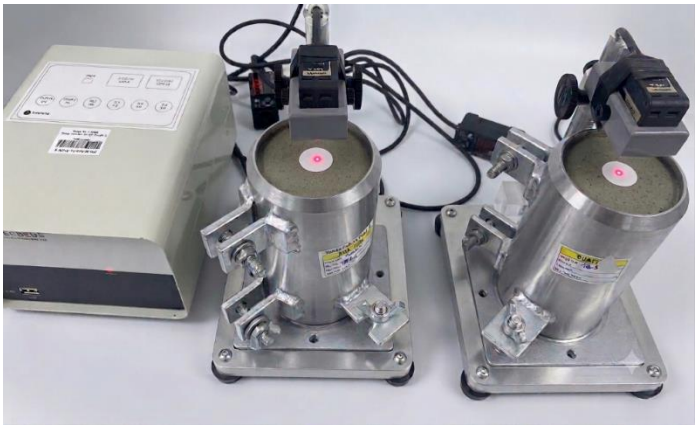
d) ***Tóm tắt quy trình thử nghiệm XD.TC.1050 của QUATEST 3***

Tiến hành thử nghiệm theo các bước sau:

- chuẩn bị mẫu theo TCVN 9204/ASTM C827;
- đặt tấm chỉ thị lên bề mặt mẫu ngay sau khi đổ vữa;



- thiết lập hệ thống đo: lắp đặt cảm biến laser, kết nối với máy tính, khởi tạo dự án và nhập thông tin;

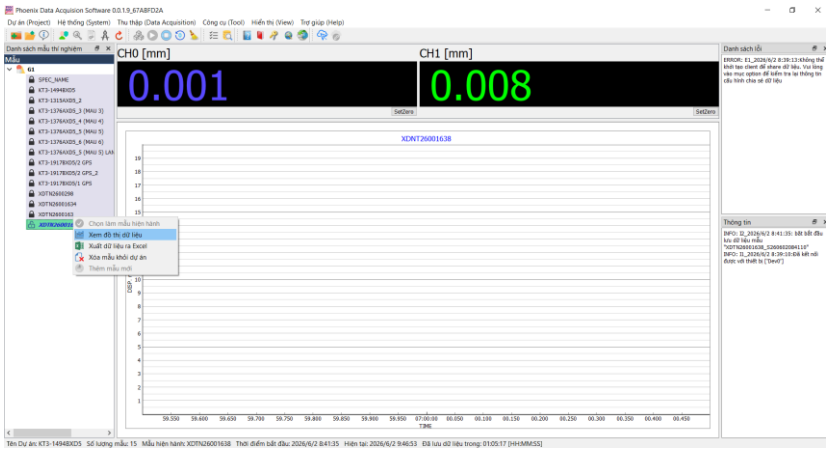


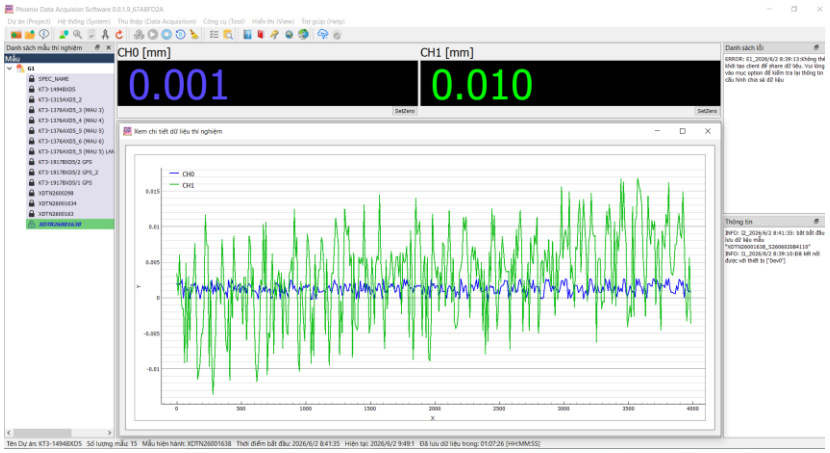


- bắt đầu khởi động phần mềm, ghi nhận dữ liệu;



- kết thúc phép đo sau 24 giờ (hoặc theo yêu cầu), xuất dữ liệu và báo cáo.

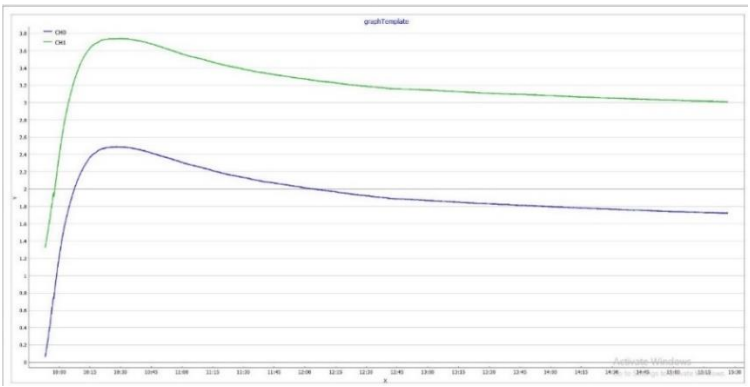




4 KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Thực hiện thử nghiệm theo phương pháp này nhiều lần, trên các sản phẩm vữa khác nhau của nhiều đơn vị sản xuất. Kết quả thử cho thấy khá ổn định, phù hợp với công bố của các nhà sản xuất có uy tín trên sản phẩm, cũng như khi so sánh liên phòng với các PTN độc lập khác. Áp dụng thực tế với sản phẩm Sikagrout 214 của nhà sản xuất phổ biến tại Việt Nam là SIKA.

ID	name	status	consolidationStatus	s
SIKA GROUT 06/06_S2	SIKA GROUT 06/06	1	-1	
TIME_in_STRING	TIME	CH0	CH1	
6/6/2024 9:53	1717642389	0.069267	1.329136958	
6/6/2024 9:53	1717642399	0.088415	1.356021993	
6/6/2024 9:53	1717642409	0.117576	1.37918494	
6/6/2024 9:53	1717642419	0.144542	1.401176393	
6/6/2024 9:53	1717642429	0.165511	1.422747691	
6/6/2024 9:53	1717642439	0.186134	1.449350974	
6/6/2024 9:54	1717642449	0.219492	1.474397208	
6/6/2024 9:54	1717642459	0.243002	1.495691697	
6/6/2024 9:54	1717642469	0.267482	1.520970253	
6/6/2024 9:54	1717642479	0.290151	1.543238515	
6/6/2024 9:54	1717642489	0.321708	1.571972235	
6/6/2024 9:54	1717642499	0.356572	1.597646232	
6/6/2024 9:55	1717642509	0.381653	1.616538418	
6/6/2024 9:55	1717642519	0.405992	1.643245504	
6/6/2024 9:55	1717642529	0.432643	1.672043483	
6/6/2024 9:55	1717642539	0.467912	1.700796975	
6/6/2024 9:55	1717642549	0.499235	1.725803665	
6/6/2024 9:55	1717642559	0.527916	1.752698585	
6/6/2024 9:56	1717642569	0.560104	1.782386306	
6/6/2024 9:56	1717642579	0.596684	1.812395323	
6/6/2024 9:56	1717642589	0.630208	1.8333466	
6/6/2024 9:56	1717642599	0.656128	1.86560828	
6/6/2024 9:56	1717642609	0.686725	1.896197681	
6/6/2024 9:56	1717642619	0.722295	1.922095819	
6/6/2024 9:57	1717642629	0.74854	1.950263128	
6/6/2024 9:57	1717642639	0.737351	1.921114157	
6/6/2024 9:57	1717642649	0.766167	1.941462694	
6/6/2024 9:57	1717642659	0.803037	1.970221959	
6/6/2024 9:57	1717642669	0.838671	2.001585838	
6/6/2024 9:57	1717642679	0.865777	2.027562903	
6/6/2024 9:58	1717642689	0.900546	2.057081848	
6/6/2024 9:58	1717642699	0.938066	2.091380849	



Kết quả đo thực tế tại PTN Xây dựng bằng thiết bị sử dụng cảm biến dịch chuyển laser

Dữ liệu thu được hầu như tương đồng với kết quả thử nghiệm và công bố của hãng nằm trong khoảng sai lệch (0,25 % - 1,0 %) và đường cong ứng xử của mẫu cho thấy được các giai đoạn giãn nở của mẫu phù hợp với mục đích thiết kế cấp phối của NSX.

Điều này cho thấy, kết quả thử nghiệm tại PTN Xây dựng Quatest 3 với hệ thiết bị đề xuất này hoàn toàn có thể tin cậy được.

5 XÁC ĐỊNH GIÁ TRỊ CỦA PHƯƠNG PHÁP

Phương pháp thử theo quy trình XD.TC.1050 của QUATEST 3 đã được xác định giá trị sử dụng qua độ lệch chuẩn và tính lặp lại, tái lập như sau:

PTN xác định độ lặp lại và giới hạn độ lặp lại (cùng người thực hiện, cùng máy móc, cùng phòng thí nghiệm, trong một thời gian ngắn) với 6 lần thử nghiệm; thực hiện tính độ tái lập nội bộ và giới hạn của độ tái lập giữa hai thử nghiệm viên khác nhau.

Do phương pháp thử không quy định độ chụm, độ chệch nên PTN lựa chọn việc đánh giá dữ liệu ghi nhận bằng chuẩn Grubbs (*Grubbs' Test*) phân tích ANOVA (*single factor*) để có được những kết quả như sau:

5.1 Phương pháp thử theo TCVN 9204:2012

Chỉ tiêu	Độ lặp lại		Độ tái lập nội bộ	
	s_r	r	S_R	R
Độ thay đổi chiều cao của cột vữa trong quá trình đông kết, %	0,04	0,11	0,04	0,11

5.2 Phương pháp thử theo ASTM C827-16

Chỉ tiêu	Độ lặp lại		Độ tái lập nội bộ	
	s_r	r	S_R	R
Độ thay đổi chiều cao của cột vữa trong quá trình đông kết, %	0,04	0,11	0,04	0,12

6 KẾT LUẬN

Trong tình hình khó khăn về thiết bị thử nghiệm cho chỉ tiêu độ co ngót của vữa, việc đề xuất biện pháp thay thế thiết bị trong phép thử này là một hướng phát triển tốt hơn cho sự phát triển, tiết kiệm chi phí, giảm thiểu không gian đặt thiết bị và tự động hóa, thuận tiện cho người thử nghiệm. Điều này giúp nâng cao hiệu quả công việc, phù hợp xu thế số hóa hiện nay.

Phép thử này cũng đã được đăng ký năng lực thử nghiệm của QUATEST 3 với giấy chứng nhận 1887/TĐC-HCHQ.

Kiến nghị về phép thử này là khi soát xét tiêu chuẩn TCVN 9204:2012, việc rất cần là cập nhật các thiết bị đo dễ tìm kiếm trên thị trường và phù hợp với xu thế phát triển của xã hội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] ASTM C827/C827M-16 Standard Test Method for Change in Height at Early Ages of Cylindrical Specimens of Cementitious Mixtures.

[2] TCVN 9204:2012 TCVN 9204:2012: Vữa xi măng khô trộn sẵn không co.

[3] Carmelo Di Bella và Benjamin A. Graybeal "Volume Stability and Cracking Potential of Prebagged, Cement-Based Nonshrink Grouts for Field-Cast Connections" của -"Transportation Research Record (TRR)".

THỬ NGHIỆM TƯƠNG THÍCH ĐIỆN TỪ TẠI TRUNG TÂM KỸ THUẬT 3

Lương Trọng Sĩ và cộng sự,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: si.lt@quatest3.com.vn

Giới thiệu

Trong bối cảnh Việt Nam đẩy mạnh hội nhập kinh tế toàn cầu, nhu cầu đảm bảo chất lượng kỹ thuật cho hàng hóa, đặc biệt là thử nghiệm tương thích điện từ (EMC), ngày càng gia tăng. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết về việc xây dựng năng lực thử nghiệm trong nước. Với vai trò là đơn vị đi những bước đầu, Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 (Trung tâm Kỹ thuật 3) đã đầu tư và phát triển hạ tầng kỹ thuật hiện đại theo tiêu chuẩn ISO/IEC 17025:2017 (VILAS 004). Hệ thống này đáp ứng các yêu cầu khắt khe về kỹ thuật và pháp lý đối với hàng hóa xuất nhập khẩu, đồng thời hỗ trợ doanh nghiệp vượt qua các rào cản kỹ thuật thương mại, đảm bảo tương thích điện từ, an toàn và tính ổn định cho hệ sinh thái thiết bị điện - điện tử tại Việt Nam.

1 Tương thích điện từ EMC[1]

EMC là khả năng một thiết bị, hệ thống hoạt động bình thường trong môi trường điện từ mà không gây ra nhiễu quá mức cho các thiết bị khác. Một thiết bị đạt chuẩn EMC bắt buộc phải thỏa mãn hai tiêu chí kỹ thuật song hành:

- ***Phát xạ (Emission)***: Kiểm soát mức phát xạ sóng điện từ không vượt quá giới hạn cho phép để tránh gây can nhiễu cho các thiết bị xung quanh.
- ***Miễn nhiễm (Immunity)***: Duy trì khả năng vận hành ổn định, không sai lệch chức năng khi chịu tác động từ các nguồn nhiễu điện từ bên ngoài.

Sự cần thiết của EMC xuất phát từ thực tế thiết bị điện tử hiện đại đang phát triển theo xu hướng gia tăng tốc độ xử lý nhưng giảm công suất tiêu thụ, khiến chúng trở nên cực kỳ nhạy cảm với nhiễu. Thêm vào đó, sự bùng nổ của các thiết bị không dây trong kỷ nguyên này đã dẫn đến tình trạng ô nhiễm phổ tần số nghiêm trọng.

Do đó, EMC không chỉ là yêu cầu kỹ thuật mà còn là điều kiện pháp lý bắt buộc để sản phẩm được phép lưu thông trên thị trường.

Về mặt lịch sử, thế giới đã hình thành *Ủy ban Quốc tế đặc biệt về nhiễu vô tuyến* - CISPR[2] từ năm 1934 và sau đó, đã nâng tầm yêu cầu tương thích điện từ EMC thành tiêu chuẩn sống còn trong thiết bị quân sự từ Thế chiến II.

Tại Việt Nam, trước năm 2005, hạ tầng thử nghiệm và tiêu chuẩn EMC gần như là một khoảng trống. Bước ngoặt chỉ thực sự đến khi Việt Nam gia nhập WTO (2007), cần phải

[1] EMC: Electromagnetic Compatibility – Tương thích điện từ
[2] CISPR: Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques - Ủy ban Quốc tế đặc biệt về nhiễu vô tuyến

hòa nhập với yêu cầu chung và Bộ Khoa học & Công nghệ đã ban hành quy chuẩn đầu tiên QCVN 9:2012/BKHCN (sau này được cập nhật thành QCVN 9:2019/BKHCN).

2 THỰC TRẠNG VÀ NHU CẦU THỬ NGHIỆM EMC TẠI VIỆT NAM

Trong vài thập niên hiện nay, Việt Nam hiện là điểm đến của các chuỗi cung ứng công nghệ cao của thế giới, kéo theo nhu cầu thử nghiệm EMC bùng nổ trong các lĩnh vực trọng điểm:

- ***Năng lượng sạch***: Các hệ thống điện mặt trời, điện gió và công nghệ lưu trữ năng lượng;
- ***Điện y tế***: Thiết bị chẩn đoán và chăm sóc sức khỏe đòi hỏi độ chính xác tuyệt đối;
- ***Hệ internet vạn vật IoT và hạ tầng viễn thông di động (5G, 6G)***: Môi trường kết nối vạn vật với mật độ thiết bị dày đặc;
- ***Thiết bị tích hợp trí tuệ nhân tạo AI, công nghệ bán dẫn và vi mạch***: Các linh kiện vận hành ở tần số cao và mức điện áp thấp, nơi mà khả năng miễn nhiễm (*immunity*) trở thành yếu tố quyết định sự ổn định hơn bao giờ hết.



Hình 1. Nhu cầu thử nghiệm EMC tại Việt Nam ngày càng gia tăng mạnh mẽ

Để thâm nhập các thị trường có yêu cầu cao, khó tính như Mỹ và EU, doanh nghiệp Việt Nam phải đáp ứng đồng thời quy chuẩn quốc gia (QCVN) và các tiêu chuẩn quốc tế cập nhật từ IEC[3], CISPR.

Tuy nhiên, việc xây dựng năng lực thử nghiệm nội địa đối mặt với nhiều thách thức: chi phí đầu tư phòng thử nghiệm EMC cực kỳ cao, nhân lực chuyên môn sâu khan hiếm và sự thay đổi liên tục của các phiên bản tiêu chuẩn kỹ thuật.

3 PHƯƠNG PHÁP THỬ NGHIỆM VÀ HẠ TẦNG KỸ THUẬT

Năng lực của Quatest 3 không chỉ là kết quả của việc đầu tư trang thiết bị, mà còn phản ánh định hướng chiến lược dài hạn trong phát triển hạ tầng thử nghiệm. Ngay từ năm 2000,

[3] IEC: International Electrotechnical Commission - Ủy ban Kỹ thuật Điện Quốc tế

khi thị trường Việt Nam chưa hình thành nhu cầu rõ rệt, đơn vị đã thực hiện các chuyến khảo sát thực tế tại các phòng thử nghiệm lớn trên thế giới. Đây là giai đoạn "đón đầu" quan trọng trước khi chính thức đầu tư quy mô lớn vào năm 2005.

PTN Tương thích điện từ (PTN EMC) – Quatest 3 được đầu tư theo Quyết định số 1059/QĐ-TĐC ngày 30/12/2004 của Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng. Nguồn vốn đầu tư được huy động từ ngân sách Tổng cục, Quỹ phát triển và các nguồn Viện trợ Quốc tế. Đơn vị chính thức vận hành từ năm 2006.

Hiện nay, PTN EMC tại Quatest 3 hoạt động dưới sự quản lý của Ủy ban Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng Quốc gia thuộc Bộ Khoa học và Công nghệ, vận hành theo hệ thống quản lý chất lượng theo chuẩn mực ISO/IEC 17025:2017 (mã số VILAS 004). Phương châm hoạt động của đơn vị luôn đảm bảo tính:

Chính xác, khách quan, kịp thời, tin cậy.

Về trang thiết bị, PTN EMC được đầu tư đồng bộ với quy mô và mức độ hiện đại cao.



Anechoic Chamber 3 m	*Shielded Room*	*Compact Hybrid Chamber 3 m*

Hình 2. Các thiết bị EMC của Quatest 3

Buồng hấp thu Anechoic Chamber 3 m, buồng chắn nhiễu (Shielded Room), buồng Compact Hybrid Chamber 3 m, hệ thống thử nghiệm miễn nhiễm, harmonic & flicker.

PTN được trang bị các thiết bị tiên tiến từ các nước G7. Đây là một trong những yếu tố quan trọng giúp đơn vị trở thành đối tác tin cậy của nhiều doanh nghiệp lớn như Samsung, Sony, TCL, Panasonic, Friwo và BOE… và các đơn vị chứng nhận, các trung tâm kỹ thuật.

(a) Buồng hấp thu (Anechoic Chamber 3 m)

Đo nhiễu bức xạ: chắn nhiễu có mặt phẳng nền kim loại và vật liệu hấp thu trên 5 mặt còn lại. Đo miễn nhiễm bức xạ: vật liệu hấp thu được đặt trên mặt phẳng nền để chống phản xạ khi thử miễn nhiễm bức xạ. Hệ thống được tự động hóa trong quá trình thu thập và xử lý dữ liệu.

(b) Buồng chắn nhiễu (Shielded Room)

Buồng có nhiệm vụ đo nhiễu dẫn và công suất nhiễu. Tính năng được đánh giá bằng hiệu quả chắn nhiễu, tối thiểu 60 dB đối với trường từ và 100 dB đối với trường điện.

(c) Buồng Compact Hybrid Chamber 3 m

Các phép thử phát xạ theo tiêu chuẩn CISPR và các phép thử nhiễm nhiễu phát xạ tần số vô tuyến.

(d) Hệ thống thử nghiệm miễn nhiễm, harmonic và flicker



Hình 3. Hệ thống miễn nhiễm, harmonic & flicker

Thực hiện các phép thử phóng tĩnh điện, miễn nhiễm đối với từ trường tần số nguồn, miễn nhiễm dẫn tần số vô tuyến và thực hiện các phép đo hài, nháy theo tiêu chuẩn. Thử miễn nhiễm như quá độ điện nhanh, xung sét, sụt áp, ngắt quãng và gián đoạn điện áp, quá độ dao động tắt dần. Các phép thử EMC do đơn vị thực hiện đều là các tiêu chuẩn được quốc tế thừa nhận

4 NHÂN SỰ CÓ CHẤT LƯỢNG

Sau bao nhiêu năm hình thành và xây dựng, đào tạo, học hỏi, PTN EMC của Quatest 3 sở hữu đội ngũ kỹ sư có trình độ chuyên môn cao và kinh nghiệm thực tiễn trong lĩnh vực EMC, được đào tạo chuyên môn tại nhiều phòng thử nghiệm quốc tế như TDK RF Solution (US), Korea Testing Lab. (KTL Korea), EMTEST Karmen Lab. (Germany), Japan Quality Assurance (JQA Japan). Được huấn luyện tại chỗ bởi các khóa huấn luyện của chuyên gia IEC, JICA…

PTN thường xuyên tham gia các chương trình thử nghiệm thành thạo (*proficiency testing*), so sánh liên phòng được tổ chức bởi KOLAS, IFM, JBMIA,.. và đã có những kết quả thử nghiệm thành thạo tốt.

Phòng cũng có cơ hội tham gia các hội thảo, hợp tác quốc tế, đóng góp ý kiến cho quá trình phát triển của lĩnh vực EMC trong khu vực và quốc tế, nhằm mục đích thúc đẩy trao đổi chuyên môn, chia sẻ công nghệ mới và hợp tác kỹ thuật giữa các cơ quan nghiên cứu, phòng thử nghiệm, tổ chức đánh giá sự phù hợp và doanh nghiệp trong lĩnh vực điện – điện tử như:

- "*Phiên thảo luận chuyên đề về tương thích điện từ" năm 2025 với Tiểu ban Chuyên trách về Tương thích Điện từ* (EMCJ) thuộc Viện Kỹ thuật Điện tử, Thông tin và Truyền thông Nhật Bản (IEICE);
- *Hội nghị 2025 ANF GA* tại Singapore về thúc đẩy An toàn và Tuân thủ Sản phẩm

Điện & Điện tử tại Châu Á;

- *Chương trình phát triển chuyên gia trẻ 2025* "Young Expert Program (YEP) tại Tokyo Nhật Bản,…



Hội nghị ANF-GA 2025 (Singapore)



Chương trình JBMIA 2025



EMCJ làm việc tại TTKT3

Hình 4. Quatest 3 tham gia các hoạt động EMC

5 NĂNG LỰC THỬ NGHIỆM

PTN EMC của Quatest 3 hoạt động với yêu cầu luôn liên tục cập nhật tiêu chuẩn quốc gia, quốc tế và không ngừng nâng cao năng lực thử nghiệm.

Bảng 1. Danh mục năng lực thử nghiệm tương thích điện từ của Quatest 3

Nhóm sản phẩm	Tiêu chuẩn áp dụng
Thiết bị vô tuyến	QCVN 18:2022; EN 301- 489 v2.2.3
Gia dụng & dụng cụ điện	TCVN 7492-1:2018; CISPR 14-1:2020; CISPR 14-2:2020
Thiết bị chiếu sáng	TCVN 7186:2018; CISPR 15:2018/A1:2024; IEC/EN 61547:2020
Thiết bị đa phương tiện	CISPR 32:2015/A1:2019; CISPR 35:2016
Thiết bị y tế	IEC 60601-1-2:2014
Công tơ điện	ĐLVN 237:2021; IEC/EN 62052-11:2020
Thông tin hàng hải	IEC 60945:2002/COR1:2008
Thiết bị công nghệ thông tin	TCVN 7189:2009 (CISPR 22:2008); TCVN 7317:2003 (CISPR 24:2010)
Thiết bị radio/TV	TCVN 7600:2010 (CISPR 13:2009)
Thiết bị tần số radio (ISM)	TCVN 6988:2018; CISPR 11:2024
Máy điện quay	IEC 60034-1:2017
Bộ chỉ thị cột bơm nhiên liệu	ĐLVN 97:2017

6 PHỤC VỤ QUẢN LÝ NHÀ NƯỚC VÀ DOANH NGHIỆP



Hình 5. PTN EMC Quatest 3 là một trong những nền tảng đảm bảo cho chất lượng quốc gia và thúc đẩy quá trình hội nhập quốc tế

Sự hiện diện của PTN EMC tại Quatest 3 tại khu kinh tế trọng điểm của đất nước mang lại giá trị chiến lược đa cấp cho hạ tầng chất lượng quốc gia:

- ***Phục vụ quản lý nhà nước***: Đơn vị phục vụ đắc lực cho Bộ Khoa học và Công nghệ trong việc kiểm soát chất lượng các nhóm sản phẩm gia dụng, chiếu sáng. Đồng thời, đáp ứng các yêu cầu thử nghiệm cho nhóm sản phẩm viễn thông, vô tuyến vốn trước đây thuộc phạm vi quản lý của Bộ Thông tin và Truyền thông;
- ***Hỗ trợ doanh nghiệp và hội nhập***: Bằng việc cung cấp các kết quả thử nghiệm được quốc tế công nhận, Quatest 3 giúp doanh nghiệp nội địa giảm thiểu rủi ro pháp lý, rút ngắn thời gian đưa sản phẩm ra thị trường, giảm chi phí thử nghiệm tại nước ngoài và vượt qua được các rào cản kỹ thuật thương mại để tiến quân vào thị trường lớn như Mỹ, EU,..
- ***Bảo vệ người tiêu dùng*:** Đảm bảo các sản phẩm lưu thông trên thị trường hoạt động ổn định, an toàn, không gây ra các rủi ro về can nhiễu điện từ có thể ảnh hưởng đến sức khỏe con người hoặc tính bền vững của các hệ thống hạ tầng quan trọng.

7 NHẬN XÉT

Phòng Thử nghiệm EMC của Quatest 3 hiện là một trong những đơn vị có uy tín nhất định tại Việt Nam trong lĩnh vực thử nghiệm EMC, luôn luôn đảm bảo kết quả chính xác, khách quan, minh bạch và cung cấp dịch vụ EMC có giá trị cao, đã và đang là đối tác tin cậy, chất lượng cho mọi khách hàng.

Trang thiết bị hiện đại, đáp ứng đa dạng tiêu chuẩn quốc tế, đội ngũ kỹ thuật có trình độ cao, giàu kinh nghiệm, hỗ trợ doanh nghiệp từ thử nghiệm đến cải tiến sản phẩm. Quy trình thử nghiệm độc lập, khách quan, không phụ thuộc vào lợi ích thương mại. Được các doanh nghiệp lớn, cơ quan quản lý và tổ chức chứng nhận tin cậy và lựa chọn.

Với những yếu tố trên, PTN EMC của Quatest 3 đã và đang là địa chỉ, đối tác tin cậy, chất lượng, khách quan cho mọi khách hàng có nhu cầu kiểm định và chứng nhận EMC tại Việt Nam, khẳng định vị thế là đơn vị đi trước thời đại, biến tầm nhìn chiến lược từ những năm 2000 thành một hạ tầng thử nghiệm EMC kiểu mẫu tại Việt Nam.

Trong kỷ nguyên của trí tuệ nhân tạo AI, công nghiệp bán dẫn và kết nối 5G/6G, năng lực của Quatest 3 không chỉ dừng lại ở việc cung cấp các con số đo lường, hỗ trợ doanh nghiệp nâng cao chất lượng sản phẩm và khả năng cạnh tranh, mà còn góp phần đảm bảo cho sự phát triển bền vững của ngành công nghiệp điện - điện tử Việt Nam trên bản đồ công nghệ thế giới.

Việc không ngừng đầu tư, phát triển nhân lực chuyên sâu và cập nhật mạng lưới hợp tác quốc tế giúp đơn vị duy trì vai trò then chốt trong việc tạo dựng giá trị cho xã hội và doanh nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Mark I. Montrose Edward M. Nakauchi, Testing for EMC Compliance - Approaches and Techniques, IEEE Electromagnetic Compatibility Society, A John Wiley & Sons, Inc. 2004.

[2] Ron Schmitt, Electromagnetics Explained, Elsevier Science, 2002

[3] TCVN 7492-1:2018 Tương thích điện từ - Yêu cầu đối với thiết bị điện gia dụng, dụng cụ điện và thiết bị điện tương tự - Phần 1: Phát xạ

[CISPR 14-1:2020 Electromagnetic compatibility - Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus - Part 1: Emission]

[4] TCVN 7492-2:2018 Tương thích điện từ - Yêu cầu đối với thiết bị điện gia dụng, dụng cụ điện và thiết bị điện tương tự - phần 2: miễn nhiễm - Tiêu chuẩn họ sản phẩm

[CISPR 14-2:2020 Electromagnetic compatibility - Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus - Part 2: Immunity - Product family standard]

[5] TCVN 7186:2018 Giới hạn và phương pháp đo đặc tính nhiễu tần số radio của thiết bị chiếu sáng và thiết bị điện tương tự

[CISPR 15:2018 Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment]

[6] CISPR 32:2015 Electromagnetic compatibility of multimedia equipment - Emission requirements.

Chương 4

HÓA – SINH

ỨNG DỤNG KỸ THUẬT SẮC KÝ LỎNG GHÉP PHỔ KHỐI LC- MS/MS KIỂM TRA VÀ ĐÁNH GIÁ AURAMINE O TRONG SẦU RIÊNG

Trương V. Thân; Nguyễn T.N. Hà; Nguyễn T. Duy; Nguyễn L.K. Diễm; Lê T. Thọ; Lý T. Kiệt; Nguyễn Đ. Tuấn

Trung tâm Dịch vụ Phân tích Thí nghiệm và Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng TPHCM

Email: thantv@case-smq.vn; duynt@case-smq.vn

Tóm tắt

Sầu riêng là một trong những mặt hàng nông sản xuất khẩu chủ lực của Việt Nam, đặc biệt là thị trường Trung Quốc. Tuy nhiên, trong thời gian gần đây, các quy định kiểm soát an toàn thực phẩm đối với sầu riêng nhập khẩu ngày càng nghiêm ngặt, đặc biệt đối với dư lượng chất màu công nghiệp Auramine O. Đây là chất bị cấm sử dụng trong thực phẩm và được xếp vào nhóm có nguy cơ gây ung thư cho người theo Cơ quan Nghiên cứu Ung thư Quốc tế (IARC).

Nghiên cứu đề xuất phương pháp phân tích Auramine O bằng kỹ thuật sắc ký lỏng ghép phổ khối (LC-MS/MS). Phương pháp được thẩm định thông qua các thông số như độ tuyến tính, giới hạn phát hiện (LOD), giới hạn định lượng (LOQ), độ thu hồi và độ lặp lại nhằm đảm bảo mức tin cậy của kết quả phân tích. Mẫu sầu riêng được xử lý bằng quy trình ly trích đơn giản.

Kết quả thẩm định cho thấy giới hạn định lượng của phương pháp đạt 1 µg/kg (ppb). Hiệu suất thu hồi tại các mức nồng độ 1 µg/kg và 1,5 µg/kg lần lượt đạt khoảng 88,0 %–97,0 % và 98,7 % –100 %, với độ lặp lại và độ tái lập đều nhỏ hơn 5 %.

Kết quả cũng cho thấy phương pháp LC-MS/MS có độ nhạy và độ chính xác cao, phù hợp để áp dụng trong kiểm soát dư lượng Auramine O trong sầu riêng, phục vụ mục đích giám sát an toàn thực phẩm và hỗ trợ hoạt động xuất khẩu.

Keywords

Auramine O, Sầu riêng, LC-MS/MS, UPLC-UV-MS/MS.

1 MỞ ĐẦU

Sầu riêng là một trong những loại trái cây nhiệt đới có giá trị kinh tế cao và đóng vai trò quan trọng trong ngành xuất khẩu nông sản của Việt Nam. Trung Quốc hiện là thị trường tiêu thụ sầu riêng lớn nhất của Việt Nam và chiếm tỷ trọng lớn trong tổng kim ngạch xuất khẩu trái cây.

Song song với sự tăng trưởng này, các yêu cầu kiểm soát chất lượng và an toàn thực phẩm của thị trường nhập khẩu cũng ngày càng nghiêm ngặt. Trong đó, việc kiểm soát các hóa chất cấm như Auramine O đang trở thành một vấn đề được quan tâm đặc biệt [1], [2].

Auramine O ban đầu là một loại thuốc nhuộm màu vàng được sử dụng trong nhiều ứng dụng công nghiệp như nhuộm vải, giấy và gỗ, cũng như trong công thức sơn… AO tan trong nước, phát sáng dưới ánh sáng UV và hợp chất bền trong các điều kiện môi trường như ánh sáng, nhiệt độ. Những năm đầu 1990, AO cũng được sử dụng trong lĩnh vực y tế để nhuộm vi khuẩn kháng axit và làm thuốc nhuộm huỳnh quang trong kính hiển vi [4].

Tuy nhiên, một số trường hợp AO đã bị lạm dụng trong thực phẩm để tạo màu sắc hấp dẫn, khiến người tiêu dùng dễ dàng ưa chuộng các sản phẩm có màu sắc bắt mắt hơn, từ đó làm tăng giá trị thương mại [5].

Trước đây, AO từng bị phát hiện trong các sản phẩm như cải chua, thịt gà và măng khô. Gần đây, theo thông tin từ Trung Quốc, AO đã được phát hiện trong sầu riêng có nguồn gốc từ Thái Lan, làm dấy lên lo ngại về chất lượng sầu riêng xuất khẩu, không chỉ ảnh hưởng đến Thái Lan mà còn tác động tiêu cực đến thị trường sầu riêng của Việt Nam [2].

Tuy nhiên, nó bị cấm sử dụng trong thực phẩm do độc tính [4]:

- Cơ quan Nghiên cứu Ung thư Quốc tế (IARC) xếp vào Nhóm 2B (gây ung thư cho người);
- Con người khi tiếp xúc lâu dài với AO có thể gây ung thư gan...;
- Ô nhiễm môi trường: khó phân hủy, tích tụ trong nước và đất.

Theo tiêu chuẩn an toàn thực phẩm quốc gia GB 2760 của Trung Quốc, Auramine O không nằm trong danh mục phụ gia thực phẩm được phép sử dụng và được xem là chất bị cấm hoàn toàn trong thực phẩm [6].

Theo Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn Việt Nam đã chính thức đưa AO vào danh mục các chất bị cấm nhập khẩu, sản xuất, kinh doanh và sử dụng trong thức ăn chăn nuôi [3].

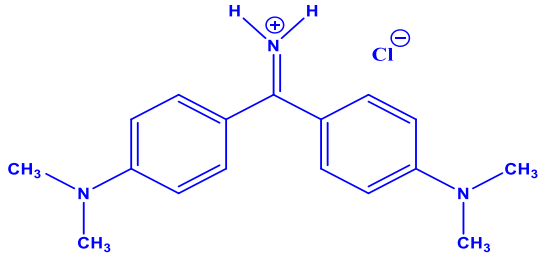
Hiện nay có nhiều phương pháp phân tích được sử dụng để xác định Auramine O trong thực phẩm. Phương pháp sắc ký lỏng hiệu năng cao (HPLC) được sử dụng phổ biến để phân tích các phẩm màu tổng hợp [12]. Tuy nhiên, phương pháp này đôi khi gặp hạn chế về độ nhạy khi phân tích ở mức vết. Các phương pháp quang phổ như UV-Vis có thể được sử dụng để phát hiện nhanh Auramine O do chất này có khả năng hấp thụ mạnh trong vùng khả kiến [10], [11]. Tuy nhiên, phương pháp này thiếu tính chọn lọc và dễ bị nhiễu bởi nền mẫu phức tạp. Phương pháp sắc ký lỏng ghép phổ khối LC-MS/MS là một trong những phương pháp phổ biến để xác định Auramine O trong thực phẩm [7], [8], [9].

Do đây là chất cấm không được phép sử dụng trong thực phẩm nên đòi hỏi phương pháp phân tích phải có độ nhạy càng cao càng tốt.

Vì thế HPLC–MS/MS có thể xem là kỹ thuật phân tích là phương pháp có độ chọn lọc và độ nhạy cao để xác định Auramine O trong sầu riêng là rất cần thiết nhằm kiểm soát chất lượng và đáp ứng yêu cầu xuất khẩu.

2 THỰC NGHIỆM

2.1 Hóa chất và nguyên liệu



Hình 1: Công thức cấu tạo Auramine O

Acetonitril và Methanol HPLC grade của Merck. Acid Formic ≥ 99 %. Acid Acetic glacial. Chuẩn Auramine O dùng trong phân tích của hãng Merck. Q-sep QuEChERS d-SPE (150 mg $MgSO_4$, 50 mg C_{18}), QuEChERS Extract Pouch Original ($MgSO_4$, NaCl) của CNW và một số thiệt bị chuyên dụng dùng trong phòng thí nghiệm.

2.2 Dung dịch chuẩn

Dung dịch chuẩn gốc và dung dịch chuẩn trung gian được pha trong acetonitrile. Dung dịch chuẩn gốc được bảo quản ở nhiệt độ ≤ −18 °C, trong khi dung dịch chuẩn trung gian được bảo quản ở nhiệt độ (2–8) °C.

2.3 Chuẩn bị mẫu với kỹ thuật QuEChERS

Mẫu sầu riêng đã được đồng nhất, cân 2 g mẫu vào ống ly tâm 15 mL, do mẫu dễ bị vón cục khi tiếp xúc với dung môi hữu cơ nên mẫu được trộn thêm 2 mL nước khử ion, vortex khoảng 1 phút, sau đó thêm 5 mL ACN, vortex 1 phút, chiết siêu âm 30 phút. Cân 0,8 g $MgSO_4$ + 0,2 g NaCl cho vào dịch lọc, vortex 1 phút, ly tâm 5 phút, tốc độ 7000 vòng/phút, rút 1 mL lớp trên cho vào dSPE 2 mL chứa (150 mg $MgSO_4$, 50 mg C_{18}), vortex, ly tâm. Cho qua siêu lọc CNW PTFE 0,22 µm, cho vào vial. Phân tích trên thiết bị LC-MS/MS.

2.4 Máy sắc ký lỏng ghép phổ khối UPLC-MS/MS

Thiết bị sử dụng là hệ UPLC-MS/MS Endura và đầu dò phổ khối TSQ Endura Triplequad của hãng Thermo Scientific kết hợp với cột phân tích sắc ký pha đảo InertSustain C18 HP 3 µm (100 x 2,1) mm và cột bảo vệ.

Tốc độ dòng 0,4 mL/phút; nhiệt độ cột 40 ^oC; nhiệt độ autosampler 20 ^oC, chương trình gradient của H_2O (0,1 % HCOOH) và ACN (100 %); thể tích tiêm mẫu 5 µL và thông số đầu dò phổ khối được thiết lập theo ***Bảng 1.***

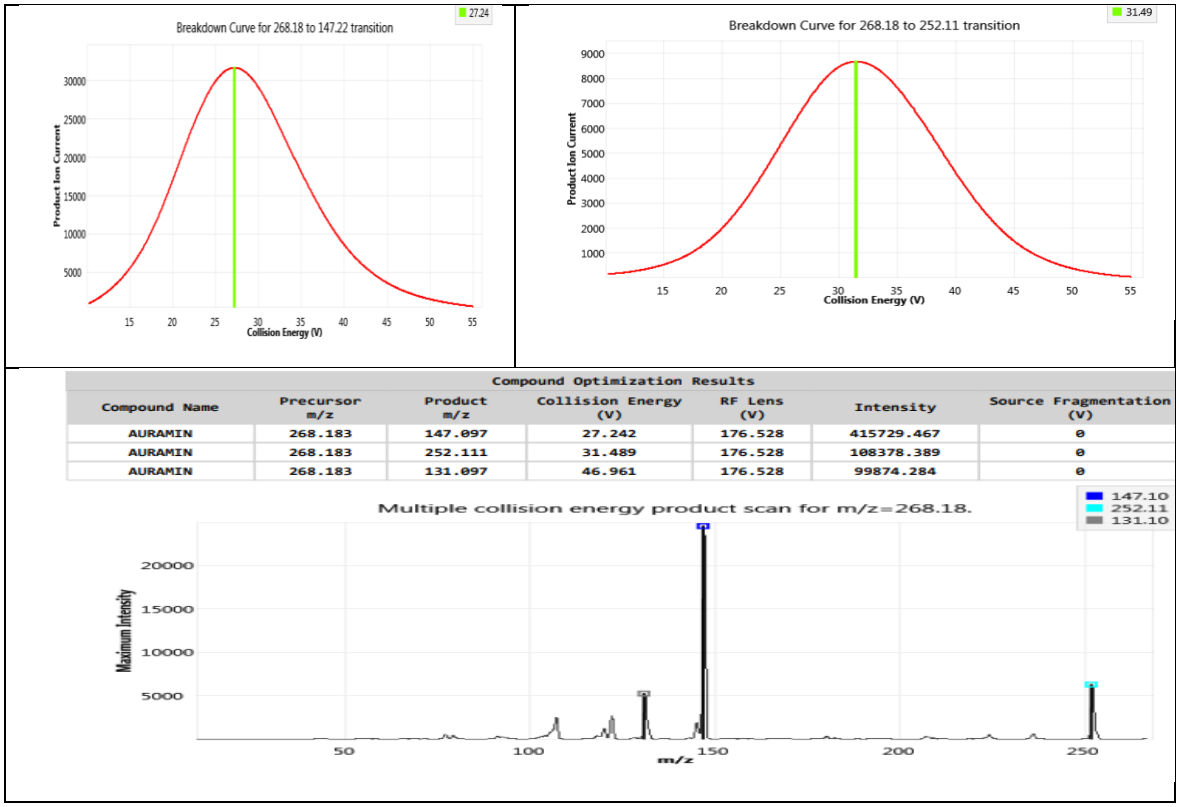
Chất phân tích	Thời gian lưu (phút)	Mode	Ion mẹ (m/z)	Ion con (m/z)	Năng lượng va chạm (V)	RF Lens (V)
Auramin O	3,20	(+)	268,2	252,0 (C)	30	150
			268,2	147,1 (Q)	30	150

Bảng 1. Các thông số phổ khối ở chế độ SRM [Q: ion định lượng; C: ion định tính]

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Khảo sát điều kiện tối ưu đầu dò phổ khối

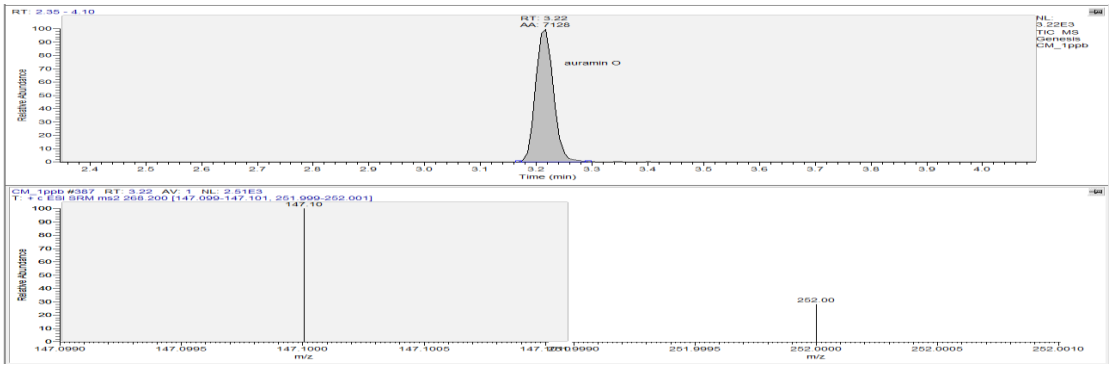
Qua tham khảo các tài liệu [7], [8], [9] kết hợp với khảo sát thực nghiệm tại phòng thí nghiệm, chúng tôi đã tối ưu hóa các điều kiện phổ khối ở chế độ phân mảnh ion MS/MS. Kết quả lựa chọn các ion phân mảnh tối ưu để phân tích Auramin O trên hệ thống UPLC-MS/MS Endura được trình bày trong Bảng 1.



Hình 2: Thông số tối ưu phân mảnh Auramine O trên thiết bị UPLC-MS/MS

3.2 Đường chuẩn

Khoảng tuyến tính của đường chuẩn trên nền mẫu sầu riêng được khảo sát ở các mức nồng độ 0,3 µg/kg; 0,6 µg/kg; 1,5 µg/kg; 3 µg/kg; 6 µg/kg với hệ số bình phương tuyến tính đạt R^2 = 0,9999, đáp ứng tiêu chí đường chuẩn đạt $R^2 \geq 0,99$ theo AOAC [13].



Hình 3: Sắc ký đồ chuẩn 1 µg/kg Auramine O

3.3 Độ thu hồi, độ lặp lại và độ tái lập, độ không đảm bảo đo

Độ lặp lại của phương pháp được thể hiện thông qua độ lệch chuẩn lặp lại (RSDr), còn độ tái lập được đánh giá thông qua độ lệch chuẩn tái lập (RSD_R) của các kết quả nghiên cứu ở hai ngày thực hiện phân tích khác nhau.

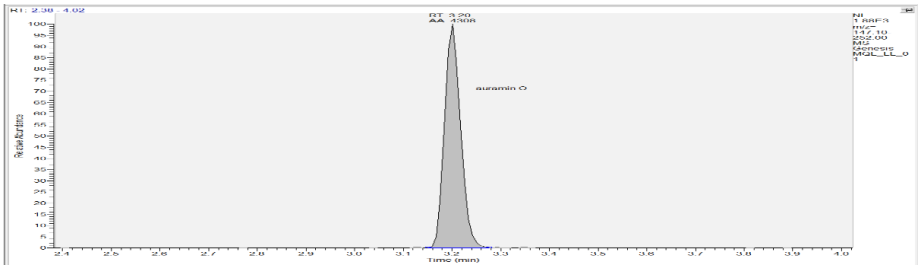
Chất phân tích	Nồng độ thêm mẫu (µg/kg)	Recovery (%) n=12	RSD_r (%) n=6	RSD_R (%) n=12	Độ không đảm bảo đo U_{exp} (%)
Auramine O	1,0	92,17	1,57	3,33	12
	1,5	99,56	0,55	0,59	

Bảng 2: Kết quả độ thu hồi, độ lặp lại và độ tái lập, độ không đảm bảo đo

Các giá trị thu được về hiệu suất thu hồi, độ lặp lại và độ tái lập, độ không đảm bảo đo đều đạt theo tiêu chuẩn AOAC [13].

3.4 Giới hạn định lượng

Theo SANTE/11312/2021 [14], MQL là nồng độ thêm chuẩn ở nồng độ nhỏ nhất mà phương pháp có thể xác định với độ lặp lại, độ tái lặp nhỏ hơn 20 %, hiệu suất thu hồi đạt từ 70 % – 120 %, phương pháp có ý nhĩa khi MQL nên bằng hoặc nhỏ hơn giới hạn chất cấm nhỏ nhất cho phép. Trong phần nghiên cứu này, mẫu sầu riêng không có chất phân tích thêm chuẩn ở nồng độ 1 µg/kg để xác định giá trị MQL. Kết quả phân tích thu được tất cả các chất đều có hiệu suất thu hồi trên 80 %, độ tái lặp nhỏ hơn 20 %. Như vậy, MQL của phương pháp đối với nền mẫu sầu riêng là 1 µg/kg.



Hình 4: Sắc ký đồ giới hạn định lượng MQL Auramine O

4 KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1 Kết luận

Phương pháp xác định Auramine O trong sầu riêng bằng kỹ thuật UPLC-MS/MS kết hợp với việc xử lý mẫu bằng kỹ thuật QuEChERS đạt được độ nhạy, độ chọn lọc và độ chính xác cao phù hợp theo tiêu chuẩn của Châu Âu, AOAC, SANCO… Phương pháp có thể được ứng dụng để đánh giá Auramine O trong sầu riêng góp phần kiểm soát chặt chẽ vấn đề an toàn vệ sinh thực phẩm nhằm hướng tới môi trường thực phẩm an toàn cho người tiêu dùng. Phương pháp này còn xác định Auramine O các nền khác như măng, thịt gà, mì sợi, mít…

4.2 Kiến nghị

- Tăng cường kiểm soát Auramine O trong toàn chuỗi cung ứng, đặc biệt là các mặt hàng xuất khẩu trọng điểm (sầu riêng, măng…).

- Xây dựng và áp dụng quy trình thử nghiệm chuẩn hóa tại các phòng thí nghiệm trọng điểm để đồng bộ kết quả phân tích.

- Đẩy mạnh hợp tác quốc tế trong thử nghiệm và giám sát an toàn thực phẩm nhằm bảo vệ uy tín nông sản Việt Nam trên thị trường toàn cầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn. Báo cáo xuất khẩu sầu riêng Việt Nam." https://mae.gov.vn/xuat-khau-sau-rieng-tang-truong-3-con-so-20967.htm"

[2] Báo Nông nghiệp "https://nongnghiep.vn/bao-trung-quoc-chat-vang-o-tu-thai-lan-sau-rieng-viet-nam-va-lay-d418463.html" (03-02-2025).

[3] Thông tư 42/2015/TT-BNNPTNT, Ban hành danh mục bổ sung hóa chất, kháng sinh cấm nhập khẩu, sản xuất, kinh doanh và sử dụng trong thức ăn chăn nuôi gia súc, gia cầm tại Việt Nam, Bộ Nông Nghiệp và Phát triển Nông thôn, 2015.

[4] WHO IARC, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2010),99:111-135.

[5] Gavriela Feketea, Sophia Tsabouri, Common food colorants and allergic reactions in children: Myth or reality, Food Chemistry, Volume 230, 2017, Pages 578-588, ISSN 0308-8146, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.043.

[6] National Health Commission of China. GB 2760 – National Food Safety Standard for Food Additives.

[7] Luo Y., Shen J., Huang C. Determination of Auramine O in food by LC-MS/MS, 2025, Vol.46, No.15.

[8] TCVN 12267:2018, Thực phẩm - Xác định hàm lượng Auramine - Phương pháp sắc ký lỏng ghép phổ khối LC -MS/MS (2019).

[9] Ha Nguyen Thi, Nu Nguyen Bich, Thao Le Phuong. Determination of Auramine O in animal feedstuffs using ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry, Tạp chí Khoa học & Công nghệ, số 6, 2019, 53-58.

[10] Gray KM., Walker MJ., Burn MJS., Mazur M., Niedzwiedzka K., Liszka K., et al. Illegal Dyes in Food and Spices - A 2006 LGC LC-UV/Visible Method Reviewed and Updated for 19 Dyes. J Assoc Public Anal. 2016, 44:18-39.

[11] Yan J, Huang X, Liu S, Yang J, Yuan Y, Duan R, Zhang H, Hu X, A Simple and Sensitive Method for Auramine O Detection Based on the Binding Interaction with Bovin Serum Albumin. Anal Sci. 2016;32(8):819-24. doi: 10.2116/analsci.32.819.

[12] Lestari, A.D., Rohman, A. and Martono, S. Analytical method validation of reversed phase HPLC for quantitative analysis of tartrazine and auramine o in powder drinks. Food Research 4 (6): 2037 - 2041 (2020), https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(6).120.

[13] Guidelines for Standard Method Performance Requirements, AOAC Official Methods of Analysis (2016).

[14] Guidance document on analytical quality control and validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed, SANTE/11312/2021.

CƠ SỞ VÀ KHẢ NĂNG THỬ NGHIỆM VẬT LIỆU TIẾP XÚC VỚI NƯỚC UỐNG: ĐỀ XUẤT HƯỚNG TIẾP CẬN PHÙ HỢP ÁP DỤNG TẠI VIỆT NAM

Nguyễn Hoàng Linh,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: linh.nh@quatest3.com.vn

Tóm tắt

An toàn sức khỏe đối với vật liệu và sản phẩm tiếp xúc trực tiếp với nước uống là nội dung quan trọng trong quản lý chất lượng nước theo tiếp cận dựa trên rủi ro. Hệ thống tiêu chuẩn do NSF International ban hành, bao gồm NSF/ANSI/CAN[1] 61 và NSF/ANSI/CAN 600, được xem là mô hình đánh giá toàn diện đối với mức độ thôi nhiễm hóa học từ vật liệu vào nước uống và cơ sở thiết lập giới hạn độc tính.

Bài này phân tích nguyên lý khoa học của hệ thống văn bản, tổng hợp các nhóm nguy cơ hóa học phát sinh từ vật liệu tiếp xúc với nước và đánh giá khả năng triển khai thử nghiệm trong điều kiện phòng thí nghiệm (PTN) tại Việt Nam. Trên cơ sở đó, đề xuất hướng tiếp cận kỹ thuật phù hợp với điều kiện tại Việt Nam.

Từ khóa

Vật liệu tiếp xúc với nước uống; NSF/ANSI/CAN; WRAS/BS 6920; ACS; KTW-BWGL; TAC/SPAC; QCVN 12 (2011/BYT).

1 GIỚI THIỆU

1.1 Tổng quan

Quản lý chất lượng nước uống hiện đại không chỉ tập trung vào kiểm soát chất lượng nước tại điểm ra khỏi nhà máy xử lý mà còn xem xét toàn bộ chuỗi cung ứng, bao gồm hệ thống phân phối và các vật liệu tiếp xúc trực tiếp với nước. Trong quá trình sử dụng, các vật liệu như ống dẫn, phụ kiện, gioăng kín, lớp phủ bảo vệ và thiết bị xử lý có thể trở thành nguồn phát sinh thứ cấp các chất ô nhiễm thông qua cơ chế thôi nhiễm hoặc phân hủy hóa học.

Các nghiên cứu quốc tế đã ghi nhận sự hiện diện của monomer dư, phụ gia polymer, kim loại nặng, nitrosamine và các hợp chất hữu cơ bán bay hơi trong nước sau tiếp xúc với vật liệu. Do đó, nhiều quốc gia đã áp dụng cơ chế đánh giá an toàn vật liệu dựa trên thử nghiệm thôi nhiễm kết hợp đánh giá độc tính.

[1] NSF/ANSI/CAN – Tiêu chuẩn của NSF International (trước đây là Tổ chức Vệ sinh Quốc gia Hoa kỳ - National Sanitation Foundation), tiêu chuẩn NSF được Viện Tiêu chuẩn Quốc gia Hoa Kỳ (ANSI) công nhận là tiêu chuẩn quốc gia Hoa Kỳ.

1.2 Trên thế giới

Việc quản lý vật liệu tiếp xúc nước uống thường được thực hiện qua các hệ thống chứng nhận tự nguyện hoặc bắt buộc tùy quốc gia, cụ thể một số hệ thống như sau:

(a) Hệ thống NSF/ANSI/CAN (Bắc Mỹ): Sử dụng NSF/ANSI/CAN 61 và 600. Đánh giá dựa trên độc tính thực tế (*risk-based*), danh mục hóa chất mở, cập nhật liên tục các chất mới nổi như PFAS[2]. Tuy nhiên, chi phí thử nghiệm và đánh giá cao, đòi hỏi một hạ tầng dữ liệu độc tính đồ sộ;

(b) Hệ thống WRAS/BS 6920 (Vương quốc Anh): Tập trung vào việc thay đổi chất lượng nước (mùi, vị, sự phát triển vi sinh vật) và thôi nhiễm kim loại. Hệ thống này có quy trình rõ ràng, phổ biến trong khối thịnh vượng chung. Tuy nhiên, it tập trung vào phân tích sâu các hợp chất hữu cơ vi lượng khi so sánh với NSF;

(c) Hệ thống ACS (Pháp) và KTW-BWGL (Đức): Dựa trên danh mục các chất được phép sử dụng (*positive list*). Kiểm soát chặt chẽ từ đầu vào nguyên liệu. Tuy nhiên, việc kiểm soát này có thể hạn chế sự sáng tạo vật liệu mới do phụ thuộc vào danh mục cố định.

1.3 Tại Việt Nam

Hệ thống quy chuẩn kỹ thuật hiện hành chủ yếu kiểm soát chất lượng nước thành phẩm, chưa có quy định chuyên biệt đối với vật liệu tiếp xúc nước uống. Các tiêu chí được lồng ghép trong các tiêu chuẩn sản phẩm ống cấp thoát nước như TCVN 7305 Ống polyethylen (PE) và phụ tùng dùng để cấp nước, là "đảm bảo an toàn và theo các qui định của pháp luật" trong khi chưa có một quy định cụ thể về vấn đề này, gây khó khăn cho nhà sản xuất và bỏ ngõ chất lượng sản phẩm khi tiếp xúc với nước, có thể làm phát sinh các điểm không phù hợp trong thương mại.

Việc tham khảo các mô hình quốc tế là cần thiết nhằm xây dựng cơ sở khoa học, đề xuất hướng tiếp cận kỹ thuật phù hợp điều kiện tại Việt Nam phù hợp với điều kiện trong nước.

2 CƠ SỞ KHOA HỌC CỦA HỆ THỐNG ĐÁNH GIÁ THEO NSF

Việc lựa chọn NSF/ANSI/CAN 61 làm mô hình tham khảo chính mang lại những ưu thế vượt trội dựa trên đánh giá thông qua một số yếu tố sau:

* ***Tính thực tế cao***: điều kiện thử nghiệm (nhiệt độ, pH, thời gian) mô phỏng sát với vận hành thực tế của hệ thống cấp nước;
* ***Tiếp cận dựa trên rủi ro***: không chỉ dừng lại ở việc "có hay không" một chất, mà là "nồng độ đó có gây hại không" thông qua giá trị TAC/SPAC;
* ***Sự tương thích kỹ thuật***: năng lực thiết bị hiện đại tại Việt Nam (như ICP-MS, GC-MS/MS) hoàn toàn tương thích với các ngưỡng phát hiện mà NSF yêu cầu.

[2] PFAS: Per - and polyfluoroalkyl substances.

2.1 Nguyên lý thử nghiệm thôi nhiễm

Theo tiêu chuẩn NSF/ANSI/CAN 61, việc đánh giá an toàn vật liệu dựa trên mô phỏng điều kiện sử dụng thực tế, trong đó mẫu vật liệu được tiếp xúc với nước chiết theo các điều kiện chuẩn hóa về:

* tỉ lệ diện tích bề mặt/ thể tích nước (DSA/volume);
* thời gian tiếp xúc;
* nhiệt độ thử nghiệm;
* số chu kỳ thay nước.

Sau giai đoạn tiếp xúc, dịch chiết được phân tích bằng các kỹ thuật phân tích có độ nhạy cao. Nồng độ các chất được chuẩn hóa theo điều kiện sử dụng và so sánh với giới hạn cho phép.

Cách tiếp cận này phản ánh trực tiếp mức độ phơi nhiễm tiềm tàng của người tiêu dùng thông qua nước uống.

2.2 Đánh giá độc tính và thiết lập giới hạn

NSF/ANSI/CAN 600 cung cấp phương pháp luận đánh giá độc tính, bao gồm:

* phân tích dữ liệu độc học;
* xác định liều tham chiếu;
* áp dụng hệ số an toàn;
* nồng độ tối đa cho phép của một hóa chất trong nước uống dựa trên dữ liệu độc tính - *Total Allowable Concentration* (TAC) hoặc hần nồng độ cho phép của một hóa chất được phân bổ cho một sản phẩm hoặc một loại vật liệu cụ thể - *Single Product Allowable Concentration* (SPAC).

Cách tiếp cận dựa trên độc tính cho phép đánh giá linh hoạt các hóa chất mới, kể cả những chất chưa được quy định cụ thể trong danh mục truyền thống. Thay vì thử nghiệm mù quáng mọi chỉ tiêu, hướng tiếp cận dựa trên mối liên quan giữa cấu trúc và độc tính (SAR/QSAR) cho phép dự đoán rủi ro dựa trên cấu trúc hóa học và đặc điểm vật liệu. Điều này giúp:

* *khoanh vùng trọng tâm*: chỉ tập trung thử nghiệm các nhóm chất có khả năng thôi nhiễm cao nhất từ nền polymer đó (ví dụ: chỉ thử nitrosamine cho vật liệu cao su);
* *tối ưu chi phí*: giảm số lượng phép thử không cần thiết, giảm thời gian giám sát mà vẫn đảm bảo an toàn sức khỏe.

3 CÁC CƠ CHẾ PHÁT SINH VÀ THÔI NHIỄM HÓA CHẤT

Các vật liệu khi sử dụng có tiếp xúc trực tiếp với nước, các điều kiện hóa lý và vi sinh của nước như pH, hàm lượng chlorine dư, vi sinh vật, … tác động đến chất lượng làm thôi nhiễm các chất không mong muốn từ vật liệu vào nguồn nước, làm thay đổi chất lượng

nước. Thông thường các chất thôi nhiễm là do bản chất, vật liệu, cấu trúc hóa học, độ bền của vật liệu:

* ***monomer dư (như vinyl chloride)***: có khả năng gây ung thư (nhóm 1 theo IARC), ảnh hưởng đến gan và hệ thần kinh trung ương;
* ***phụ gia (phthalate)***: là chất gây rối loạn nội tiết, ảnh hưởng đến hệ sinh sản, đặc biệt là ở trẻ em;
* ***sản phẩm phân hủy (nitrosamine)***: nhóm hợp chất có độc tính cực cao, gây tổn thương gen và nguy cơ ung thư thực quản, dạ dày;
* ***kim loại nặng (Pb, Cd)***: tích tụ trong xương và thận, gây suy giảm nhận thức (*chì*) và tổn thương chức năng lọc của thận (*cadmium*).

3.1 Monomer dư

Trong vật liệu polymer, monomer có thể tồn dư do phản ứng trùng hợp không hoàn toàn. Ví dụ điển hình là vinyl chloride trong PVC. Các monomer này có thể khuếch tán ra môi trường nước theo thời gian, đặc biệt ở giai đoạn đầu của quá trình sử dụng.

Đối với PVC và CPVC, việc xác định hàm lượng monomer vinyl chloride dư (RVCM) được thực hiện trực tiếp trên vật liệu nhằm đánh giá nguy cơ tiềm ẩn.

3.2 Phụ gia và chất ổn định

Polymer thường chứa phụ gia như:

* chất hóa dẻo (*phthalate*);
* chất ổn định nhiệt;
* chất chống oxy hóa;
* chất bôi trơn.

Các hợp chất này có thể di chuyển khỏi nền polymer do cơ chế khuếch tán, đặc biệt khi có chênh lệch nồng độ giữa vật liệu và môi trường nước.

3.3 Sản phẩm phân hủy

Dưới tác động của chlorine dư hoặc oxy hòa tan, polymer, cao su có thể bị oxy hóa, thành:

* phenol và dẫn xuất phenol;
* bisphenol;
* nitrosamine (từ vật liệu chứa amin thứ cấp). Nitrosamine là nhóm có độc tính cao và thường được kiểm soát ở mức nồng độ rất thấp.

3.4 Thôi nhiễm kim loại

Ăn mòn kim loại hoặc giải phóng ion kim loại từ lớp phủ có thể gây tăng nồng độ Pb, Cd, Cr, As và các nguyên tố khác trong nước phân phối.

3.5 Hợp chất mới nổi

Xu hướng quốc tế hiện nay mở rộng kiểm soát sang các hợp chất bền vững như PFAS[3], phản ánh sự chuyển dịch sang mô hình quản lý rủi ro toàn diện.

4 KHẢ NĂNG THỬ NGHIỆM TRONG ĐIỀU KIỆN PTN TẠI VIỆT NAM

4.1 Yêu cầu kỹ thuật của thử nghiệm thôi nhiễm

Thử nghiệm theo mô hình NSF đòi hỏi:

- phòng chuyên biệt kiểm soát các nhiễm nền;
- thiết bị phân tích có giới hạn phát hiện ở mức µg/L hoặc thấp hơn;
- quy trình kiểm soát chất lượng nghiêm ngặt;
- nhân sự có năng lực phát triển và thẩm định phương pháp đa dư lượng.

4.2 So sánh hệ thống tiêu chuẩn NSF với QCVN 12 (2011/BYT) về thôi nhiễm

Nhóm QCVN 12 (QCVN 12-1 đến 12-4:2011/BYT) quy định yêu cầu an toàn đối với vật liệu, bao bì tiếp xúc thực phẩm, trong đó có nội dung thử nghiệm thôi nhiễm tổng và thôi nhiễm riêng phần. Tuy nhiên, mục tiêu và cách tiếp cận có sự khác biệt đáng kể so với hệ thống NSF dành cho vật liệu tiếp xúc nước uống.

Bảng 1. So sánh tổng hợp hệ thống NSF và QCVN 12 , điều kiện PTN trong nước

Tiêu chí	NSF/ANSI/CAN 61/600	QCVN 12 (2011/BYT)	Điều kiện PTN trong nước	Nhận xét tổng hợp
Mục tiêu quản lý	An toàn sức khỏe đối với vật liệu tiếp xúc nước uống	An toàn vật liệu, bao bì tiếp xúc thực phẩm	Đã triển khai thử nghiệm cho tiếp xúc cả nước và thực phẩm.	Phơi nhiễm tiếp xúc với nước uống mang tính dài hạn và liên tục hơn.
Cách tiếp cận	Dựa trên rủi ro (*risk-based*), kết hợp độc tính.	Dựa trên nhóm chỉ tiêu hoá lí có tính chất chung và các chỉ tiêu thôi nhiễm rất đặc trưng của vật liệu.	Chủ yếu áp dụng giới hạn quy định.	Cần bổ sung mô hình đánh giá độc tính trong điều kiện sử dụng.
Môi trường thử nghiệm	Nước chiết mô phỏng nguồn nước cấp được sử dụng trong thực tế.	Dung môi mô phỏng (nước, acid acetic 4 % , ethanol 20 % , heptan) theo đặc tính loại thực phẩm.	Có kinh nghiệm thử nghiệm tiếp xúc thực phẩm.	Có thể kế thừa kỹ thuật, nguyên lý thử nghiệm từ QCVN 12
Chuẩn hóa DSA/volume	Quy định chi tiết theo cấu hình sản phẩm	Tỷ lệ diện tích mẫu thử/thể tích chiết chung cho bao bì.	Đã thiết lập mô hình diện tích/thể tích cho thử nghiệm.	NSF chi tiết và sát thực tế hơn

[3] PFAS: Per - and polyfluoroalkyl substances; là một nhóm lớn chất hóa học nhân tạo, bao gồm perfluorooctanoic acid (PFOA) và perfluorooctane sulfonate (PFOS)

Tiêu chí	NSF/ANSI/CAN 61/600	QCVN 12 (2011/BYT)	Điều kiện PTN trong nước	Nhận xét tổng hợp
Chu kỳ chiết	Nhiều chu kỳ, mô phỏng sử dụng dài hạn.	Thường 1–3 lần chiết, điề kiện giả lặp tương đối môi trường sử dụng thực tế của sản phẩm, thời gian chiết thường là 30 – 60 phút.	Có kinh nghiệm thử nghiệm tiếp xúc thực phẩm, đáp ứng các yêu cầu của qui trình chiết mô phỏng.	NSF đa dạng, sát thực tế hơn.
Danh mục các chất kiểm soát	Mở, bao gồm cập nhật hóa chất mới nổi, thông tin từ nhà sản xuất…	Danh mục quy định sẵn	Có khả năng mở rộng phân tích đa dư lượng	NSF linh hoạt hơn và theo kịp các rủi ro phát sinh
Kim loại nặng	Kiểm soát ở mức µg/L hoặc thấp hơn	Quy định giới hạn thôi nhiễm theo mg/kg hoặc mg/L	Có thể thử nghiệm và đáp ứng đươc yêu cầu độ nhạy và chọn lọc cao.	NSF hướng tới chất lượng của nước uống trực tiếp. QCVN 12 hướng tới chất lượng của bao bì, vật liệu.
VOC	Purge & Trap GC-MS; yêu cầu µg/L	Không phải nhóm trọng tâm	Phương pháp hiện đại, độ nhay và chọn lọc cao..	Xu hướng bắt buộc trong nước uống.
Phthalate, PAH	Kiểm soát chi tiết	Có quy định một số chất cho một số vật liệu	Phương pháp hiện đại, độ nhay và chọn lọc cao..	Xu hướng bắt buộc trong nước uống.
Nitrosa-mine	Kiểm soát ở ng/L	Có quy định cho một số vật liệu cao su.	Phương pháp hiện đại, độ nhay và chọn lọc cao.	Xu hướng bắt buộc trong nước uống.
Nhóm hóa chất vĩnh cửu (PFAS)	Có cơ chế cập nhật	Chưa cập nhật	Phương pháp hiện đại, độ nhay và chọn lọc cao.	Xu hướng bắt buộc trong nước uống.
Monome dư (RVCM)	Phân tích trực tiếp trên vật liệu	Có quy định giới hạn	Phương pháp hiện đại, độ nhay và chọn lọc cao..	Xu hướng bắt buộc trong nước uống.
Hoạt độ phóng xạ	Kiểm soát tổng alpha/beta	Không thuộc phạm vi QCVN 12	Phương pháp hiện đại, độ nhay và chọn lọc cao.	Xu hướng bắt buộc trong nước uống.
Đánh giá độc tính (TAC/ SPAC)	Có hệ thống tính toán đầy đủ	Không có	Chưa thiết lập hệ thống tính toán nội địa.	Phù hợp thực tế thi công, công trình.
Hệ thống quản lý CL	ISO/IEC 17025	ISO/IEC 17025	Áp dụng ISO/IEC 17025	Tương thích

Qua so sánh theo bảng 1, nhận thấy sự khác biệt cốt lõi nằm ở triết lý an toàn:

* **QCVN 12** - thiết kế cho tiếp xúc thực phẩm (ngắn hạn, gián đoạn), tập trung vào độ sạch của vật liệu thông qua các chỉ tiêu thôi nhiễm tổng số; trong khi đó:

* **NSF/ANSI/CAN 61** - thiết kế cho nước uống (dài hạn, suốt đời). NSF yêu cầu các chu kỳ thay nước lặp lại để đánh giá mức độ thôi nhiễm ổn định theo thời gian, điều mà QCVN 12 chưa bao quát;
* **NSF/ANSI/CAN 61** qui định các chất cần được kiểm soát dựa trên rui ro thoi nhiễm từ vật liệu cấu thành sản phẩm. NSF/ANSI/CAN 61 qui định kết quả đánh giá cuối là kết hợp giữa kết quả thử nghiệm trên nước chiết và hệ số hiện trường thực tế.

Vì vậy theo chúng tôi, việc chỉ áp dụng thực hiện QCVN 12 cho ống nước là chưa đủ vì nó còn bỏ sót các rủi ro từ việc phơi nhiễm khi sử dụng hệ thống ống dẫn cấp nước.

4.3 Năng lực phân tích hiện có

Trong điều kiện thực tế tại PTN Môi trường, Quatest 3, khả năng thử nghiệm nước ở các nhóm chỉ tiêu chính gồm:

- kim loại nặng bằng ICP-MS;
- VOC bằng purge & trap GC-MS;
- phthalate, PAH bằng GC-MS;
- nitrosamine bằng GC-MS/MS;
- bisphenol và hợp chất phân cực bằng LC-MS/MS;
- RVCM bằng headspace GC-MS;
- hoạt độ alpha và beta.

Các phương pháp được xây dựng trên cơ sở tham khảo phương pháp của EPA[4] và được thẩm định nội bộ theo yêu cầu chuẩn mực công nhận ISO/IEC 17025. Giới hạn phát hiện đạt mức phù hợp với yêu cầu kiểm soát thôi nhiễm trong nước uống.

4.4 Đánh giá mức độ đáp ứng

So sánh yêu cầu kỹ thuật của hệ thống NSF với điều kiện triển khai trong nước cho thấy:

- hệ thống thiết bị phân tích đáp ứng yêu cầu về độ nhạy;
- năng lực phân tích đa dư lượng đã được thiết lập;
- quy trình kiểm soát chất lượng phù hợp tiêu chuẩn quốc tế;
- còn thiếu cơ sở dữ liệu độc tính nội địa để thiết lập giới hạn đặc thù.

Như vậy, về mặt kỹ thuật thử nghiệm, điều kiện PTN trong nước có thể đáp ứng yêu cầu triển khai thử nghiệm và đánh giá thôi nhiễm hóa học theo mô hình tham khảo.

4.5 Khảo sát và bố trí thử nghiệm xác định các thông số kỹ thuật của các phương pháp thử theo yêu cầu của NSF/ANSI/CAN 61

(a) Các nền mẫu đươc chọn dựa trên các sản phẩm thông dụng trong ngành cấp thoát nước như: ống nhựa HDPE, ống nhựa uPVC, gioăng cao su EDPM, sơn phủ epoxy. PTN lựa chọn và khảo sát đối với nền mẫu uPVC;

[4] EPA: Environment Protection Agency – Cục Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ

(b) **Mẫu vật liệu được xử lý** qua tuân thủ quy trình điều hòa và chiết mẫu theo NSF/ANSI/CAN 61, dung dịch chiết sau đó được xem như nền mẫu nước và sử dụng các phương pháp phân tích phù hợp để tiến hành phân tích, sử dụng chủ yếu kỹ thuật phân tích LC-MS/MS và GC-MS/MS. Thông số khảo sát thu được như sau:

Bảng 2. Ví dụ về các thông số khảo sát nền mẫu uPVC

TT	Hợp chất	LOD, µg/L	LOQ, µg/L	Mean, µg/L	Re, % **	RSD_R,% (n = 12)	MU, % 95 % *	Khoảng, µg/L ***
1	Vinyl chloride	0,07	0,20	0,20	100	6	16	0,2 – 5,0
2	Trichlorofluoromethane	0,30	1,00	1,03	103	8	24	1 - 25
3	Isoprene	0,30	1,00	1,05	105	7	23	1 - 25
4	Carbondisulfide	0,30	1,00	0,98	98	11	31	1 - 25
5	Allylchloride	0,30	1,00	1,13	113	4	29	1 - 25
6	MTBE	0,30	1,00	1,00	100	11	29	1 - 25
7	2-chloro-1,3-butadien	0,07	0,20	0,21	106	6	21	0,2 – 5,0
8	1,2-dichloroethene	0,30	1,00	1,09	109	3	20	1 - 25
9	2-butanone	0,70	2,00	1,76	88	7	30	2 - 50
10	Methyl acrylate	0,07	0,20	0,20	98	10	27	0,2 – 5,0
11	bromochloromethane	0,30	1,00	1,13	113	5	30	1 - 25
12	Tetrahydrofuran	0,30	1,00	0,97	97	9	24	1 - 25
13	Trichloromethane	0,70	2,00	2,02	101	9	26	2 - 50
14	1,1,1-trichloroethane	0,30	1,00	1,11	111	6	27	1 - 25
15	Carbontetrachloride	0,30	1,00	1,09	109	7	27	1 - 25
16	1,1-dichloro-1-propene	0,07	0,20	0,20	99	5	15	0,2 – 5,0
17	Benzen	0,15	0,50	0,53	106	4	17	0,5 - 12,5
18	1,2-dichloroethane	0,15	0,50	0,53	106	4	17	0,5 - 12,5
19	Trichloroethylene	0,15	0,50	0,54	107	3	17	0,5 - 12,5
20	1,2-dichloropropane	0,15	0,50	0,53	106	8	27	0,5 - 12,5
21	Methyl methacrylate	0,30	1,00	1,05	105	6	20	1 - 25
22	Dichlorobromomethane	0,70	2,00	2,21	110	5	25	2 - 50
23	Epichlorohydrin	0,05	0,30	0,31	104	8	24	0,3 - 7,5
24	Cis-1,3-dichloropropene	0,07	0,20	0,22	109	4	21	0,2 – 5,0
25	Toluen	0,30	1,00	0,89	89	5	25	1 - 25
26	Trans-1,3-dichloropropene	0,07	0,20	0,19	95	6	19	0,2 – 5,0
27	1,1,2-trichloroethane	0,07	0,20	0,22	111	8	31	0,2 – 5,0

TT	Hợp chất	LOD, µg/L	LOQ, µg/L	Mean, µg/L	Re, % **	RSD_R,% (n = 12)	MU, % 95 % *	Khoảng, µg/L ***
28	Tetrachloroethylen	0,15	0,50	0,46	93	13	39	0,5 - 12,5
29	1,3-dichloropropane	0,30	1,00	1,10	110	6	27	1 - 25
30	2-hexanone	0,30	1,00	0,90	90	6	26	1 - 25
31	Dibromochloromethane	0,70	2,00	2,19	109	5	23	2 - 50
32	Monochlorobenzen	0,30	1,00	1,04	104	6	18	1 - 25
33	1,1,1,2-tetrachloroethane	0,07	0,20	0,22	112	4	27	0,2 – 5,0
34	Ethyl benzen	0,30	1,00	0,95	95	8	24	1 - 25
35	p,m-xylen	0,30	1,00	0,93	93	5	20	1 - 25
36	o-xylen	0,30	1,00	0,92	92	3	18	1 - 25
37	Styrene	0,30	1,00	0,96	96	2	10	1 - 25
38	Tribromomethane	0,70	2,00	2,17	109	4	21	2 - 50
39	Cyclohexanone	0,70	2,00	1,84	92	8	27	2 - 50
40	1,1,2,2-tetrachloroethane	0,07	0,20	0,22	108	6	24	0,2 – 5,0
41	1,2,3-trichloropropane	0,30	1,00	1,08	108	7	25	1 - 25
42	n-propylbenzene	0,30	1,00	0,98	98	4	11	1 - 25
43	2-chlorortoluen	0,30	1,00	0,97	97	3	12	1 - 25
44	1,2,4-trimethylbenzene	0,30	1,00	0,91	91	2	18	1 - 25
45	4-chlorotoluen	0,30	1,00	1,03	103	2	8	1 - 25
46	Alpha-methylstyrene	0,07	0,20	0,20	101	4	11	0,2 – 5,0
47	Tert-butylbenzene	0,30	1,00	1,06	106	4	17	1 - 25
48	1,3,5-trimethylbenzene	0,30	1,00	0,92	92	8	27	1 - 25
49	4-isopropyltoluen	0,30	1,00	0,98	98	4	13	1 - 25
50	1,4-dichlorobenzene	0,30	1,00	0,97	97	14	40	1 - 25
51	n-bultylbenzene	0,30	1,00	1,02	102	3	8	1 - 25
52	1,2-dichlorobenzene	0,30	1,00	0,99	99	4	12	1 - 25
53	Hexachloroethane	0,07	0,20	0,21	104	9	28	0,2 – 5,0
54	1,2-dibromo-3-chloropropane	0,07	0,20	0,21	107	7	25	0,2 – 5,0
55	Divinylbenzene	0,30	1,00	1,06	106	3	15	1 - 25
56	Nitrobenzene	0,70	2,00	1,93	96	10	28	2 - 50
57	1,3,5-trichlorobenzene	0,30	1,00	1,07	107	3	16	1 - 25
58	1,2,4-trichlorobenzene	0,30	1,00	1,05	105	6	20	1 - 25
59	Hexachloro-1,3-butadien	0,13	0,40	0,40	101	6	18	0,4 – 10,0

TT	Hợp chất	LOD, µg/L	LOQ, µg/L	Mean, µg/L	Re, % **	RSD_R,% (n = 12)	MU, % 95 % *	Khoảng, µg/L ***
60	Naphthalen	0,30	1,00	0,98	98	3	9	1 - 25
61	1,2,3-trichlorobenzene	0,30	1,00	0,97	97	7	20	1 - 25

Ghi chú:

* giá trị độ không đảm bảo đo được tính từ độ chệch và độ tái lập nội bộ phòng thí nghiệm, với độ tin cậy k = 95 %; hệ số phủ k = 2

** tính toán hiệu suất thu hồi dựa trên mẫu thêm chuẩn

*** khoảng làm việc có thể mở rộng nếu pha loãng mẫu

LOD: giới hạn phát hiện của phương pháp

LOQ: giới hạn định lượng của phương pháp

Re: hiệu suất thu hồi của mẫu thêm chuẩn

Mean: giá trị trung bình thu được của mẫu thêm chuẩn

RSD_R: độ lệch chuẩn tương đối

(c) Kết quả xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp thu được: hiệu suất thu hồi tại các hàm lượng LOQ đều đạt trong khoảng (80 – 120) %, độ lệch chuẩn tương đối lặp lại, độ lệch chuẩn tương đối tái lập nội bộ PTN dưới 20 %, độ không đảm bảo đo mở rộng từ 8 % – 40 %.

5 GIÁ TRỊ ĐỐI VỚI GIÁM SÁT CHẤT LƯỢNG VẬT LIỆU TIẾP XÚC NƯỚC UỐNG

Từ phân tích trên, chúng tôi đề xuất việc giám sát chất lượng vật liệu tiếp xúc với nước uống tại Việt Nam có thể dựa trên các nguyên tắc:

* áp dụng thử nghiệm thôi nhiễm làm cơ sở đánh giá;
* thiết lập giới hạn dựa trên dữ liệu độc tính và điều kiện tiêu thụ trong nước;
* thực hiện lộ trình áp dụng theo nhóm vật liệu ưu tiên;
* phát triển cơ sở dữ liệu quốc gia về thôi nhiễm và độc tính;
* tham khảo mô hình các quốc gia phát triển để áp dụng trong điều kiện còn nhiều hạn chế tại Việt Nam như hệ tầng kỹ thuật, chi phí và mức chấp nhận rủi ro.

Cách tiếp cận này phù hợp với xu thế quản lý rủi ro hiện đại và khả thi về mặt kỹ thuật.

6 KẾT LUẬN

Hệ thống tiêu chuẩn NSF/ANSI/CAN 61 và NSF/ANSI/CAN 600 cung cấp một nền tảng khoa học cho việc đánh giá an toàn sức khỏe đối với vật liệu tiếp xúc nước uống thông qua mô hình thử nghiệm thôi nhiễm kết hợp đánh giá các độc tính.

Phân tích thông tin trang thiết bị thử nghiệm trong các phòng thí nghiệm tại Việt Nam, năng triển khai thử nghiệm cho thấy năng lực kỹ thuật về phân tích vết và siêu vết của các PTN đã cơ bản đáp ứng yêu cầu. Đây là tiền đề quan trọng cho việc nghiên cứu, xây dựng các văn bản giám sát chất lượng vật liệu tiếp xúc với nước uống trong thời gian tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] QCVN 12-1:2011/BYT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn vệ sinh đối với bao bì, dụng cụ bằng nhựa tổng hợp tiếp xúc trực tiếp với thực phẩm, ban hành kèm theo Thông tư số 34/2011/TT-BYT ngày 30 tháng 8 năm 2011.

[2] EPA Method 524.2 - Measurement of Purgeable Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry.

[3] EPA Method 625.1 - Base/Neutrals and Acids by GC/MS.

[4] EPA Method 8260D - Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS).

[5] BS 6920 - Suitability of non-metallic materials and products for use in contact with water intended for human consumption with regard to their effect on the quality of the water.

[6] ISO/IEC 17025 - General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories.

[7] NSF/ANSI/CAN 61 - Drinking Water System Components: Health Effects.

[8] NSF/ANSI/CAN 600 - Health Effects Evaluation and Criteria for Chemicals in Drinking Water.

[9] Ministère de l'Action et des Comptes publics. (2006), Arrêté du 24 décembre 2006 relatif au droit de conformité sanitaire des matériaux et objets entrant en contact avec l'eau. (Về chứng nhận ACS của Pháp).

[10] Umweltbundesamt (UBA). (2025), Evaluation criteria for plastics and other organic materials in contact with drinking water (KTW-BWGL). umweltbundesamt.de

[11] Water Regulations Approval Scheme (WRAS), Material Guidance - WRAS Approval. wrasapprovals.co.uk

PHƯƠNG PHÁP ĐỊNH LƯỢNG MỘT SỐ VI SINH VẬT TRONG CÁC CHẾ PHẨM SINH HỌC

(*L. rhamnosus, L. paracasei, L. delbrueckii, L. acidophilus, L. casei, L. fermentum, Bacillus subtilis*)

Trần Thị Ánh Nguyệt,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: nguyet.tta@quatest3.com.vn

Tóm lược

Chế phẩm sinh học (probiotic) được ứng dụng rộng rãi trong thực phẩm, y học, chăn nuôi và nông nghiệp nhờ khả năng cải thiện hệ vi sinh vật đường ruột và góp phần tăng cường sức khỏe cho người và vật nuôi. Hiệu quả của các sản phẩm probiotic phụ thuộc đáng kể vào mật độ vi sinh vật sống có trong sản phẩm. Do đó, việc định lượng và định danh chính xác các chủng vi sinh vật probiotic là yêu cầu quan trọng trong kiểm soát và đánh giá chất lượng sản phẩm. Nghiên cứu này nhằm xây dựng phương pháp định lượng và định danh đến loài đối với một số vi sinh vật probiotic phổ biến gồm Lactobacillus rhamnosus, Lactobacillus paracasei, Lactobacillus delbrueckii, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus casei, Lactobacillus fermentum và Bacillus subtilis. Quy trình phân tích bao gồm hai bước: (i) định lượng vi khuẩn thuộc chi Lactobacillus spp. hoặc Bacillus spp. bằng phương pháp nuôi cấy trên môi trường thạch thích hợp để xác định mật độ vi sinh vật (CFU); và (ii) khẳng định đến loài bằng kỹ thuật phổ khối MALDI-TOF MS[1] dựa trên phổ protein ribosome đặc trưng của vi sinh vật.

Phương pháp được kiểm tra xác nhận trên nhiều chủng vi khuẩn có nguồn gốc khác nhau, bao gồm các chủng chuẩn ATCC[2] và các chủng phân lập từ các sản phẩm probiotic thương mại. Kết quả cho thấy phương pháp đạt độ chọn lọc mục tiêu và độ chọn lọc loại trừ 100 %, đồng thời đáp ứng các yêu cầu về độ đúng, độ chính xác và độ chụm nội bộ, với giá trị SIR dao động từ 0,09 đến 0,15 đối với các loài được nghiên cứu. Phương pháp được xây dựng có độ tin cậy cao, cho phép định lượng và định danh chính xác các vi sinh vật probiotic ở mức loài, góp phần hỗ trợ hiệu quả cho công tác kiểm nghiệm, kiểm soát chất lượng và công bố sản phẩm probiotic trên thị trường.

Từ khóa

Chế phẩm sinh học, probiotic; mật độ vi sinh vật; phổ khối MALDI-TOF MS; chủng chuẩn ATCC và các chủng phân lập.

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, chế phẩm sinh học (probiotic) ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như thực phẩm, y học, chăn nuôi và nông nghiệp nhờ khả năng cải

[1] MALDI-TOF MS: Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization – Time-of-Flight Mass Spectrometry
[2] ATCC: American Type Culture Collection

thiện cân bằng hệ vi sinh vật đường ruột, tăng cường miễn dịch và hỗ trợ phòng ngừa một số rối loạn tiêu hóa. Nhiều chủng vi sinh vật có lợi, đặc biệt là các loài thuộc chi *Lactobacillus* và *Bacillus*, đã được sử dụng phổ biến trong các sản phẩm probiotic thương mại. Hiệu quả của các sản phẩm này phụ thuộc chủ yếu vào mật độ vi sinh vật sống cũng như sự hiện diện của đúng chủng vi sinh vật được công bố trên nhãn sản phẩm. Do đó, việc định lượng chính xác và định danh đến loài các vi sinh vật probiotic đóng vai trò quan trọng trong đánh giá chất lượng, hiệu quả và tính minh bạch của sản phẩm.

Thực tế hiện nay một số tiêu chuẩn và phương pháp thử nghiệm chưa đáp ứng yêu cầu phân tích để định lượng và xác nhận đồng thời nhiều loài vi sinh vật probiotic phổ biến còn sống trong các chế phẩm. Cụ thể, các phương pháp vi sinh truyền thống hiện nay chủ yếu dựa trên kỹ thuật nuôi cấy và thường chỉ cho phép định lượng đến mức chi, trong khi khả năng phân biệt và xác nhận đến loài còn hạn chế.

Bên cạnh đó, các kỹ thuật hiện đại như Realtime PCR[3] hoặc Digital PCR có thể định lượng tới cấp loài, nhưng không phân biệt được tế bào sống – chết, do đó không phản ánh chính xác giá trị sinh học của sản phẩm hoặc phương pháp giải trình tự gen 16sRNA, tuy nhiên, việc triển khai gặp nhiều hạn chế do yêu cầu thiết bị, chi phí cao, quy trình phức tạp (tách chiết DNA, khuếch đại PCR, tinh sạch, giải trình tự và so sánh với ngân hàng gen NCBI[4]). Điều này gây khó khăn trong việc kiểm soát chất lượng các sản phẩm probiotic chứa nhiều chủng vi sinh vật khác nhau.

Trước thực tế đó, việc nghiên cứu xây dựng phương pháp định lượng kết hợp với kỹ thuật định danh chính xác đến loài là cần thiết nhằm nâng cao độ tin cậy trong thử nghiệm và đánh giá chất lượng các sản phẩm probiotic. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xây dựng và xác nhận phương pháp định lượng đối với một số vi sinh vật probiotic phổ biến, bao gồm các loài thuộc chi *Lactobacillus* như *Lactobacillus rhamnosus, Lactobacillus paracasei, Lactobacillus delbrueckii, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus casei, Lactobacillus fermentum* và loài *Bacillus subtilis*, thông qua kết hợp phương pháp nuôi cấy truyền thống và kỹ thuật phổ khối MALDI-TOF MS.

2 NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Nội dung

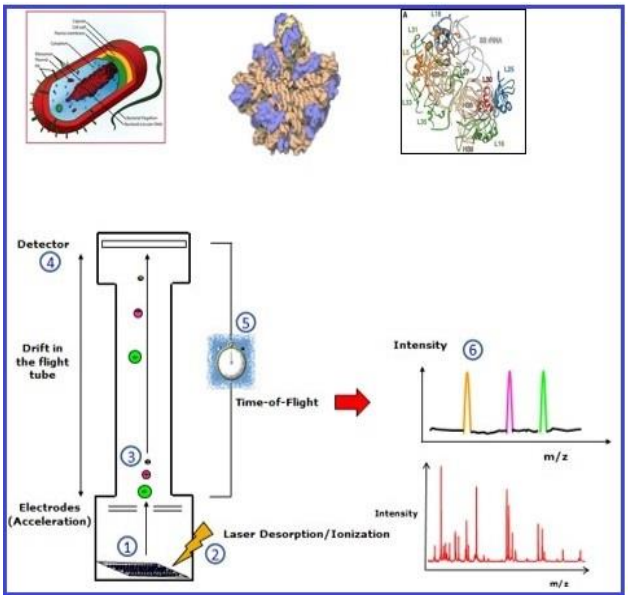
Nghiên cứu được triển khai với hai nội dung chính nhằm xây dựng và đánh giá phương pháp định lượng và định danh vi sinh vật probiotic đến mức loài.

(a) Đánh giá khả năng phân biệt và khẳng định đến loài của vi sinh vật bằng công nghệ phổ khối MALDI-TOF MS.

Nội dung này tập trung khảo sát khả năng ứng dụng của kỹ thuật phổ khối MALDI-TOF MS trong việc định danh và phân biệt các loài vi sinh vật probiotic. Các chủng vi sinh vật mục tiêu và không mục tiêu được phân tích phổ protein đặc trưng và so sánh với cơ sở dữ liệu chuẩn nhằm xác định khả năng nhận diện chính xác đến mức loài. Kết quả thu được

[3] PCR: Polymerase Chain Reaction.
[4] NCBI: National Center for Biotechnology Information, US National Institutes of Health.

được sử dụng để đánh giá độ tin cậy và khả năng áp dụng của phương pháp trong khẳng định các chủng vi sinh vật probiotic thường gặp.



Nguyên lý cơ bản

1 Mẫu được tinh thể hóa nhờ chất nền

2 Thiết bị sử dụng chùm tia laser năng lượng cao bắn phá cấu trúc protein của mẫu

3 Các mãnh vỡ protein được ion hóa thành các ion dương trong điện trường

4 Bay lên đầu dò khối phổ (detector)

5 Thời gian bay phụ thuộc vào khối lượng của các ion

6 Detector thu nhận tín hiệu của các ion và biểu thị ở dạng các peak phổ khối lượng

7 So sánh với thư viện phổ chuẩn (reference library) để đưa ra kết quả định danh/khẳng định.

Hình 1. Nguyên lý cơ bản của phương pháp định danh/ khẳng định vi sinh vật với kỹ thuật MALDI-TOF MS

Trong nghiên cứu này, các chủng vi sinh vật sử dụng làm đối tượng nghiên cứu bao gồm các chủng chuẩn có chứng nhận từ ATCC và các chủng vi sinh vật phân lập từ nhiều nguồn mẫu khác nhau như sản phẩm probiotic thương mại hoặc mẫu môi trường. Sử dụng chủng chuẩn ATCC nhằm đảm bảo tính chuẩn xác, khả năng truy xuất nguồn gốc của vật liệu nghiên cứu.

Đối với các chủng phân lập, việc định danh và khẳng định đến loài được thực hiện bằng các phương pháp sinh hóa và sinh học phân tử phù hợp, bao gồm hệ thống kit API® 20C AUX, API® 50 CHL và giải trình tự vùng 16s RNA, ITS rRNA. Việc sử dụng kết hợp các phương pháp định danh này giúp đảm bảo độ tin cậy trong xác định loài của các chủng vi sinh vật được sử dụng trong nghiên cứu, đồng thời tạo cơ sở dữ liệu tham chiếu phục vụ cho việc đánh giá và xác nhận khả năng định danh bằng công nghệ phổ khối MALDI-TOF MS.

(b) Đánh giá các thông số của quy trình phân tích được xây dựng dựa trên phương pháp nghiên cứu so sánh đa yếu tố (*factorial study*) **theo ISO 16140-4.**

Trên cơ sở quy trình phân tích đã được xây dựng, các thông số hiệu năng của phương pháp được đánh giá nhằm xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp. Thiết kế thí nghiệm được thực hiện theo phương pháp nghiên cứu đa yếu tố (*factorial study*) nhằm khảo sát đồng thời ảnh hưởng của các yếu tố đến kết quả phân tích và đánh giá độ ổn định của phương pháp. Các thông số được đánh giá bao gồm:

* **độ đúng tương đối** (*relative trueness*): Độ đúng tương đối của phương pháp được đánh giá bằng cách so sánh kết quả thu được từ phương pháp nghiên cứu với giá trị tham chiếu hoặc phương pháp so sánh. Sai khác giữa hai giá trị được phân tích và

biểu diễn thông qua **biểu đồ Bland–Altman**, cho phép đánh giá mức độ phù hợp giữa hai phương pháp và xác định giới hạn sai khác chấp nhận được.

* **độ chính xác** (*accuracy*): Độ chính xác của phương pháp được đánh giá thông qua **hồ sơ độ chính xác** (*accuracy profile*), trong đó sai số tổng hợp của phương pháp được xác định dựa trên sự kết hợp giữa độ đúng và độ chụm. Khoảng dung sai chấp nhận được được thiết lập trước, và phương pháp được coi là đạt yêu cầu khi khoảng tin cậy của kết quả phân tích nằm trong giới hạn dung sai này trên toàn bộ khoảng đo khảo sát.

* **độ chụm nội bộ** (*intermediate precision – S_{R,in-house}*)**:** Độ chụm nội bộ của phương pháp được xác định thông qua các phép thử lặp lại trong cùng phòng thử nghiệm dưới các điều kiện thay đổi có kiểm soát (ví dụ: ngày phân tích, người phân tích hoặc lô môi trường nuôi cấy). Giá trị **độ lệch chuẩn nội bộ** (*S_{R,in-house}*) được tính toán nhằm đánh giá mức độ biến thiên của kết quả và khả năng tái lập của phương pháp trong điều kiện phòng thử nghiệm.

Kết quả đánh giá các thông số hiệu năng được sử dụng để xác nhận rằng phương pháp đáp ứng các yêu cầu về độ tin cậy và có thể áp dụng trong phân tích định lượng và định danh các vi sinh vật probiotic.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Các loài thuộc chi Lactobacillus

(a) Chủng chuẩn

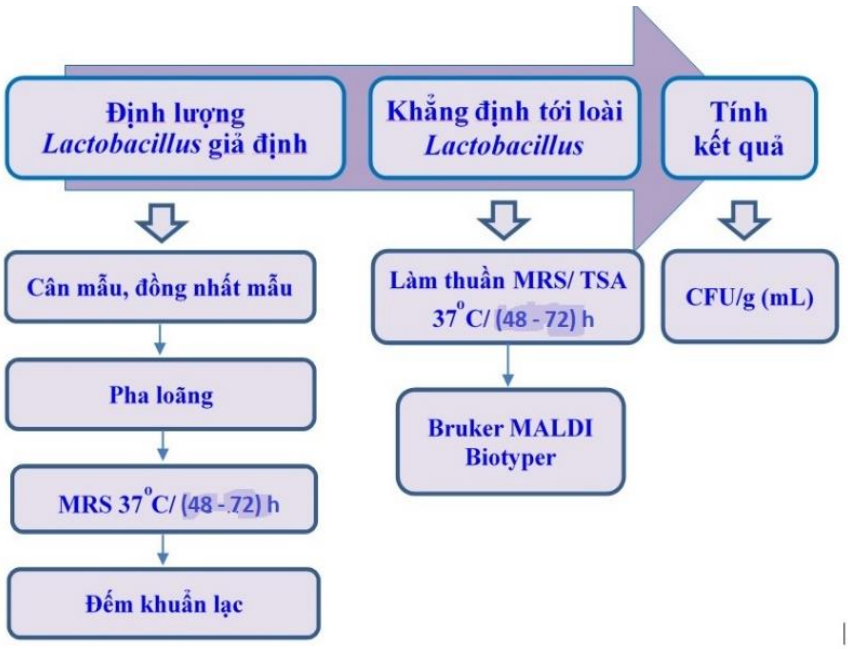
Nghiên cứu sử dụng tổng cộng 27 chủng vi khuẩn sinh lactic thuộc chi *Lactobacillus* (bao gồm các *loài L. acidophilus, L. rhamnosus, L. fermentum, L. delbrueckii, L. casei và L. paracasei*). Chủng chuẩn có nguồn gốc khác nhau gồm 9 chủng chuẩn được thu nhận từ ngân hàng vi sinh vật ATCC và 18 chủng được phân lập thực tế từ thực phẩm bảo vệ sức khỏe cũng như các sản phẩm sữa chua ăn, sữa chua uống thương mại quen thuộc. Việc kết hợp giữa các chủng chuẩn quốc tế và chủng phân lập từ các sản phẩm trên thị trường giúp bộ mẫu nghiên cứu có tính đại diện và mang giá trị thực tiễn cao. Các chủng được phân lập được định danh bằng kỹ thuật sinh hóa hoặc giải trình tự gen trước khi sử dụng cho nghiên cứu.

(b) Thiết kế nghiên cứu

Loại sản phẩm	Sản phẩm cụ thể	Số lượng mẫu	Số phần mẫu thử / mẫu	Ghi chú
Nền mẫu/ (food) category: Chế phẩm sinh học				
CPSH dạng lỏng	CPSH dùng trong thủy sản	3	2	Hỗn hợp chủng Vi sinh vật: X1: *L.casei; L.paracasei; B.bifidums* X2: L. *delbrueckii; L.acidophilus; S.thermophilus* X3*: L.fermentum; L.rhamnosus; B.subtilis*
CPSH dạng bột	CPSH GROW - B	6	2	
CPSH dạng viên	CPSH XLMT dạng viên	3	2	

Bố trí thí nghiệm									
12 (food) items từ 3 (food) types	4 (food) items (X1 - L1)	AB1		AB4		AB7		AB10	
	4 (food) items (X1-L2)	AB2		AB5		AB8		AB11	
	4 (food) items (X1-L3)	AB3		AB6		AB9		AB12	
Setting/ nghiệm thức		1	2	1	2	1	2	1	2
Yếu tố 1 (F1)	Kiểm nghiệm viên	TNV1	TNV2	TNV1	TNV2	TNV1	TNV2	TNV1	TNV2
Yếu tố 2 (F2)	Môi trường	Lô 1	Lô 2	Lô 2	Lô 1	Lô 2	Lô 1	Lô 1	Lô 2
Yếu tố 3 (F3)	pH	7,1-7,5	7,6-8,2	7,1-7,5	7,6-8,2	7,6-8,2	7,1-7,5	7,6-8,2	7,1-7,5
Yếu tố 4 (F4)	Thiết bị (Ủ mẫu)	TB1	TB2	TB1	TB2	TB1	TB2	TB1	TB2
12 (food) items x 2 setting (2 test portion) x 2 lần lặp lại = 48 lần phân tích (96 kết quả)									

Bố trí thí nghiệm được thực hiện tương tự cho các từng hỗn hợp chủng khác nhau X1, X2,



Quy trình phân tích Lactobacillus

2.2.2 Bacillus subtilis

(a) Chủng chuẩn

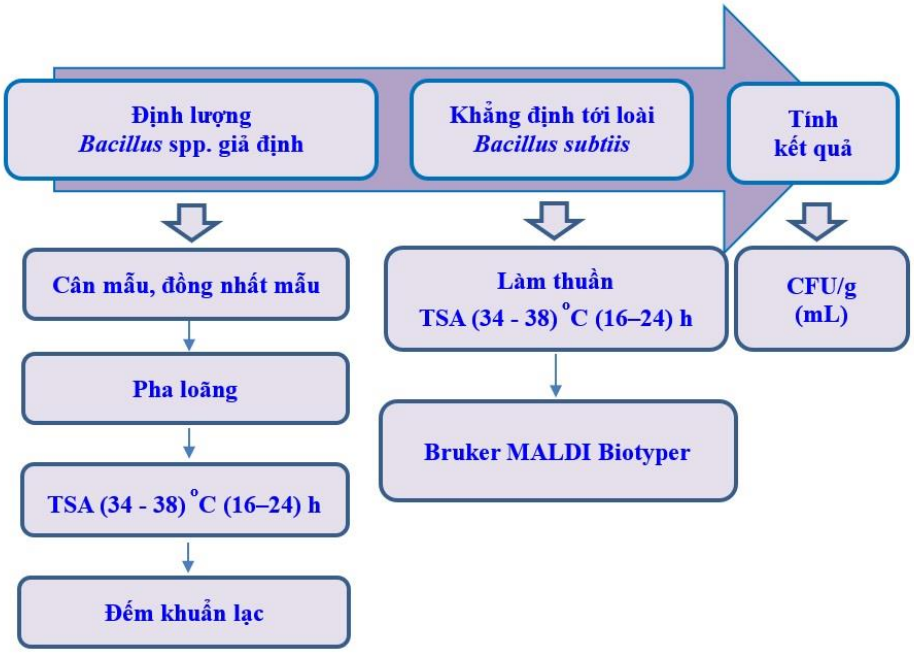
Nghiên cứu sử dụng bộ sưu tập đa dạng gồm 29 chủng vi sinh vật, trong đó 18 chủng *Bacillus* thuộc nhiều loài khác nhau (điển hình như *B. subtilis, B. cereus, B. licheniformis*). Bên cạnh các nhóm vi khuẩn có lợi và nấm men (*Lactobacillus, Bifidobacterium, Saccharomyces*), nghiên cứu còn bao gồm các chủng vi khuẩn chỉ thị và gây bệnh phổ biến

(*Staphylococcus aureus, Salmonella, Listeria, Vibrio...*) thường được dùng làm đối chứng thử nghiệm. Về nguồn gốc, đa số chủng chuẩn từ ngân hàng vi sinh vật ATCC, giúp đảm bảo độ tin cậy và tính chính xác cho các kết quả phân tích của nghiên cứu.

(b) Thiết kế nghiên cứu

Loại sản phẩm (food) type	**Sản phẩm cụ thể (food)**	**Số lượng mẫu (12 mẫu)**	**Số lượng phần mẫu thử/mẫu**	**Nồng độ gây nhiễm**	**Chủng gây nhiễm**
CPSH đơn dòng *Bacillus* ứng dụng trên người	A - sữa bột	3	2	Gây nhiễm tại 3 nồng độ khác nhau (L1, L2, L3)	*B. subtilis*
CPSH đơn dòng *Bacillus* ứng dụng trong nông nghiệp, chăn nuôi, nuôi trồng thuỷ sản	B - Chế phẩm sinh học trong thủy sản	3	2		*B. subtilis* *S. cerevisiae* *L. rhamnosus*
CPSH đa dòng *Bacillus* ứng dụng trên người	C - Sữa chua uống	3	2		*B. subtilis* *B. licheniformis* *S. thermophilus* *B. bifidum*
CPSH đa dòng *Bacillus* ứng dụng trong nông nghiệp, chăn nuôi, nuôi trồng thuỷ sản	D - Chế phẩm sinh học trong chăn nuôi	3	2		*B. subtilis* *B. pumilus* *B. megaterium* *S. thermophilus* *B. bifidum*

Bố trí thí nghiệm									
12 (food) items từ 3 (food) types	4 (food) items (Mức nhiễm L1)	A1		B1		C1		D1	
	4 (food) items (Mức nhiễm L2)	A2		B2		C2		D2	
	4 (food) items (Mức nhiễm L3)	A3		B3		C3		D3	
Setting/ nghiệm thức		1	2	1	2	1	2	1	2
Yếu tố 1 (F1)	Kiểm nghiệm viên	TNV1	TNV2	TNV1	TNV2	TNV1	TNV2	TNV1	TNV2
Yếu tố 2 (F2)	Môi trường	Lô 1	Lô 2	Lô 2	Lô 1	Lô 2	Lô 1	Lô 1	Lô 2
Yếu tố 3 (F3)	Thời gian ủ (h)	16-20	20-24	16-20	20-24	20-24	16-20	20-24	16-20
Yếu tố 4 (F4)	Tủ ấm	TB1	TB2	TB2	TB1	TB1	TB2	TB2	TB1
12 (food) items x 2 setting (2 test portion) x 2 lần lặp lại = 48 lần phân tích									



Quy trình phân tích Bacillus subtilis

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả cho thấy kỹ thuật phổ khối MALDI-TOF MS đã khẳng định nhanh và chính xác các loài vi sinh vật probiotic mục tiêu trong phạm vi nghiên cứu. Việc sử dụng các chủng chuẩn có chứng nhận từ ATCC, kết hợp cùng các chủng vi sinh vật phân lập từ nhiều nguồn khác nhau (đã được khẳng định qua các phương pháp định danh độc lập như API® 20C AUX, API® 50 CHL và giải trình tự gen 16S/vùng ITS rRNA) đã cung cấp cơ sở dữ liệu tham chiếu vô cùng đáng tin cậy.

Kết quả phân tích phổ protein ribosome đặc trưng cho thấy các loài vi sinh vật mục tiêu được nhận diện rõ ràng, đạt mức độ tương đồng cao với dữ liệu tham chiếu của hệ thống Bruker MALDI Biotyper (*score value* > 2,0). Điều này chứng tỏ công nghệ MALDI-TOF MS có khả năng phân biệt và khẳng định chính xác các loài probiotic, đồng thời rút ngắn đáng kể thời gian phân tích so với các phương pháp sinh hóa truyền thống.

Các thông số xác nhận giá trị sử dụng của quy trình phân tích được đánh giá thông qua thiết kế thí nghiệm nghiên cứu đa yếu tố (*factorial study*) nhằm khảo sát ảnh hưởng của các điều kiện khác nhau đến kết quả. Các tiêu chí thẩm định đều đạt kết quả tối ưu:

* **Độ chụm nội bộ:** Đánh giá trên 6 loài *Lactobacillus* (*L. rhamnosus, L. paracasei, L. delbrueckii, L. acidophilus, L. casei, L. fermentum*) và *Bacillus subtilis* cho thấy giá trị $S_{R, in-house}$ dao động ở mức rất thấp, từ 0,09 đến 0,15 log CFU/g (hoặc mL). Các giá trị này thấp hơn đáng kể so với tiêu chí chấp nhận của phương pháp ($S_{R, in-house} \le$ 0,25 log CFU/g hoặc mL), chứng tỏ mức độ biến thiên giữa các lần thử nghiệm trong cùng điều kiện là rất nhỏ, quy trình có khả năng lặp lại tốt;

- **Độ đúng tương đối:** Phân tích thông qua biểu đồ Bland–Altman nhằm so sánh sự sai khác giữa giá trị đo được và giá trị tham chiếu cho thấy 100 % giá trị quan sát đều nằm trong khoảng giới hạn tin cậy 95 % (LL; UL). Kết quả này đáp ứng hoàn toàn tiêu chí chấp nhận (không có nhiều hơn 1/20 giá trị nằm ngoài giới hạn), minh chứng cho sự phù hợp cực kỳ tốt giữa phương pháp nghiên cứu và giá trị tham chiếu;
- **Độ chính xác:** Đồ thị hồ sơ độ chính xác (accuracy profile) chỉ ra rằng toàn bộ các giá trị đo được của các mẫu nghiên cứu đều nằm trọn trong giới hạn chấp nhận (acceptance limits – AL) của phương pháp (AL = ± 0,5log CFU/g hoặc mL). Điều này khẳng định sai số tổng hợp của phương pháp được kiểm soát chặt chẽ trong phạm vi cho phép trên toàn bộ khoảng đo được khảo sát trong nghiên cứu.

Các kết quả đạt được cho thấy quy trình kết hợp giữa phương pháp nuôi cấy định lượng và định danh bằng MALDI-TOF MS đáp ứng tốt các yêu cầu về độ tin cậy trong kỹ thuật phân tích vi sinh. Phương pháp này đáp ứng cao hơn các phương pháp truyền thống vốn mất nhiều thời gian và có giới hạn trong việc phân biệt các loài có quan hệ họ hàng gần, mở ra khả năng ứng dụng hiệu quả trong thử nghiệm thường quy.

Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn còn một số điểm cần mở rộng trong tương lai:

- **Phạm vi khảo sát:** hiện chưa bao phủ số lượng lớn các chủng vi sinh vật, đặc biệt là các chủng có giấy chứng nhận thương mại. Cần có những khảo sát sâu hơn trên các chủng đặc thù thường được sử dụng trong các dòng sản phẩm probiotic hiện nay;
- **Riêng đối với *Bacillus subtilis***: do đây là một đại diện thuộc nhóm phức hệ (*Bacillus subtilis group*), việc áp dụng các kỹ thuật định danh hiện đại và có tính chuyên biệt cao như MALDI-TOF, Real-time PCR hay giải trình tự là bắt buộc để đảm bảo kết quả khẳng định là chính xác tuyệt đối.

Tóm lại, các kết quả đánh giá cho thấy quy trình xây dựng đạt yêu cầu đối với tất cả các tiêu chí xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp, bao gồm độ chụm, độ đúng và độ chính xác, do đó có thể áp dụng hiệu quả trong phân tích định lượng và định danh các vi sinh vật probiotic như các loài *Lactobacillus* và *Bacillus subtilis* trong các sản phẩm probiotic.

Thông số		**Độ chụm nội bộ**	**Độ đúng tương đối**	**Độ chính xác**
Tiêu chí đánh giá		S_R-in-house ≤ 0,25	Không nhiều hơn 1/20 giá trị dữ liệu nằm ngoài các giá trị [LL, UL] (độ tin cậy 95 %)	Tất cả các mẫu nghiên cứu nằm trong giới hạn chấp nhận AL của phương pháp (với AL = ± 0,5 log CFU/g hoặc mL)
Dữ liệu thực hiện nghiên cứu	*L. paracasei*	0,12	Tất cả các giá trị dữ liệu đều nằm trong khoảng [LL, UL] (độ tin cậy 95 %)	Tất cả các mẫu nghiên cứu nằm trong giới hạn chấp nhận AL của phương pháp
	L. casei	0,09		
	L. delbrueckii	0,12		
	L. acidophillus	0,13		
	L. rhamnosus	0,14		
	L. fermentum	0,15		
	B. subtilis	0,12		

4 KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã xây dựng thành công phương pháp định lượng và định danh đến mức loài đối với các vi sinh vật probiotic quan trọng, bao gồm *Lactobacillus spp.* và *Bacillus subtilis*, thông qua sự kết hợp giữa phương pháp nuôi cấy định lượng và công nghệ phổ khối MALDI-TOF MS.

Kết quả xác nhận giá trị sử dụng cho thấy phương pháp đạt các tiêu chí về độ chụm, độ đúng và độ chính xác, với giá trị S_{R,in-house} từ 0,09–0,15 log CFU/g (hoặc mL) và toàn bộ kết quả nằm trong giới hạn chấp nhận ± 0,5 log CFU/g (hoặc mL).

Phương pháp cho phép khẳng định nhanh và chính xác các loài vi sinh vật probiotic, đồng thời đảm bảo độ tin cậy trong định lượng mật độ vi sinh vật sống trong sản phẩm. Kết quả nghiên cứu góp phần hoàn thiện cơ sở phương pháp luận cho việc đánh giá và công bố chất lượng các sản phẩm probiotic trên thị trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] AOAC 2017.10 Confirmation and identification of *Listeria monocytogenes, Listeria* spp. and other Gram-Positive organisms by Bruker Maldi Biotyper Method

[2] *Bacillus* Classifcation Based on Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry—Effects of Culture Conditions- Lin-Jie Shu & Yu-LiangYang

[3] Bosshard, P. P., R. Zbinden, S. Abels, B. Böddinghaus, M. Altwegg, and E. C. Böttger. 2006. 16S rRNA gene sequencing versus the API 20 NE system and the Vitek 2 ID-GNB card for identification of nonfermenting gram-negative bacteria in the clinical laboratory. J. Clin. Microbiol. 44**:**1359-1366.

[4] BS EN 15784:2021 Animal feeding stuffs: Methods of sampling and analysis - Detection and enumeration of *Bacillus spp.* used as feed additive.

[5] ISO 16140-3:2021 Part 3: Protocol for the verification of reference methods and validated alternative methods in a single laboratory

[6] ISO 16140-4:2020 Part 4: Protocol for method validation in a single laboratory

[7] Lau, S. K. P., K. H. L. Ng, P. C. Y. Woo, K.-T. Yip, A. M. Y. Fung, G. K. S. Woo, K.-M. Chan, T. I. Que, and K.-Y. Yuen. 2006. Usefulness of the MicroSeq 500 16S rDNA bacterial identification of anaerobic gram-positive bacilli isolated from blood cultures. J. Clin. Pathol. *5*9**:**219-222

[8] TCVN 13043:2020 Thức ăn chăn nuôi - phân lập và định lượng Bacillus spp. giả định.

[9] TCVN 8736:2011 Thuốc thú y – phương pháp định lượng tổng số bào tử *Bacillus.*

[10] UK Standards for Microbiology Investigations ID 9: identification of *Bacillus* species.

[11] Biomerieux REF 50300

[12] BS EN 15787:2021 Animal feeding stuffs. Detection and enumeration of *Lactobacillus* spp used as feed additive.

[13] ISO 16140-4:2020 Part 4: Protocol for method validation in a single laboratory

[14] TCVN 7849:2008 (ISO 20128: 2006) Sữa và sản phẩm sữa - Định lượng Lactobacillus acidophilus giả định trên môi trường chọn lọc - Kỹ thuật đếm khuẩn lạc ở 37 °C

[15] TCVN 8177: 2009 (ISO 7889: 2003) Sữa chua – định lượng các vi sinh vật đặc trưng – kỹ thuật đếm khuẩn lạc ở 37 °C

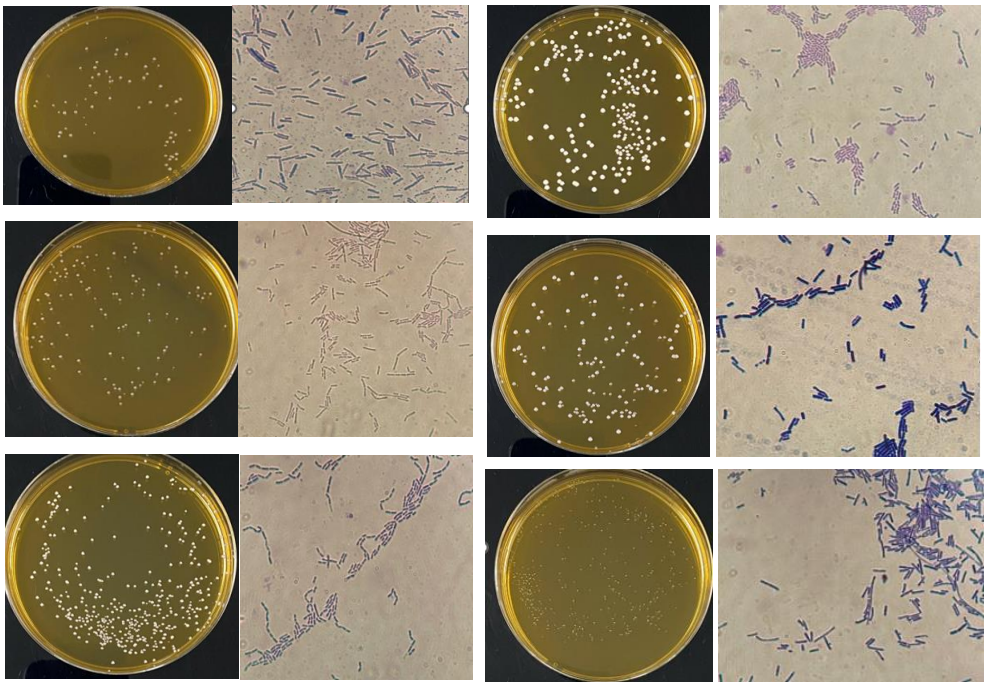
[16] TCVN 8182:2009 (ISO 9232: 2003) về Sữa chua - Nhận biết các vi sinh vật đặc trưng.

PHỤ LỤC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1 Kết quả khẳng định vi sinh vật bằng kỹ thuật MALDI TOF MS

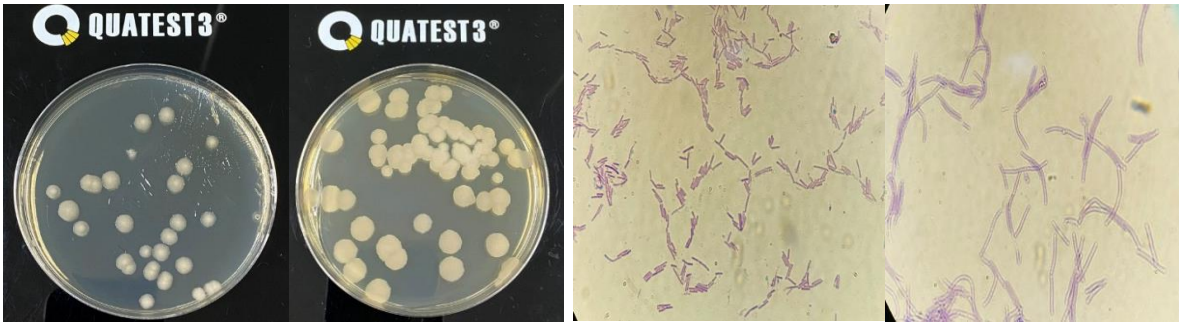
Loại chủng vi sinh vật	**Score value**
L. delbrueckii	2,12 – 2,30
L. paracasei	2,08 – 2,43
*L. casei (*homotypic synonym: *Lactobacillus paracasei* ATCC 334*)*	2,01 – 2,32
L. acidophilus	2,14 – 2,41
L. fermentum	2,01 – 2,16
L. rhamnosus	2,16 – 2,48
S. thermophilus	2,06 – 2,39
S. cerevisiae	2,09 – 2,20
Bacillus subtilis	2,10 – 2,17
Bacillus thuringiensis	2,08 – 2,14
Bacillus pumilus	2,06 – 2,16
Bacillus badius	2,32
Bacillus pumilus	2,06 – 2,16
Bacillus atrophaeus	2,12
Bacillus paranthracis	2,07
Bacillus cereus	2,26 – 2,29
Bacillus licheniformis	2,28 – 2,44
*Priestia megaterium (*Synonym of *Bacillus megaterium)*	2,31
*Weizmannia coagulans (*Synonym of *Bacillus coagulans)*	2,07

2 Hình thái của vi sinh vật sau khi nuôi cấy của một số loài *Lactobacillus*



Trên môi trường MRS 37 ºC/ (48 ± 3) h ủ trong điều kiện kỵ khí, khuẩn lạc Lactobacillus có màu trắng đến trắng đục, dạng trực khuẩn dài, mảnh hoặc ngắn, đôi khi có dạng trực cầu khuẩn và hình thành chuỗi.

3 Hình thái của vi sinh vật sau khi nuôi cấy của một số loài *Bacillus*

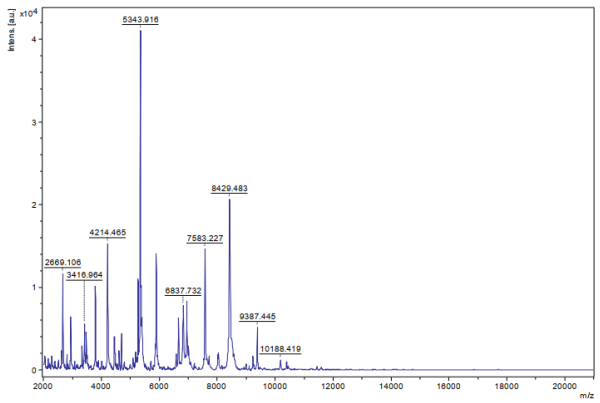


Bacillus subtilis ATCC 6633 *Bacillus subtilis* ATCC 19659

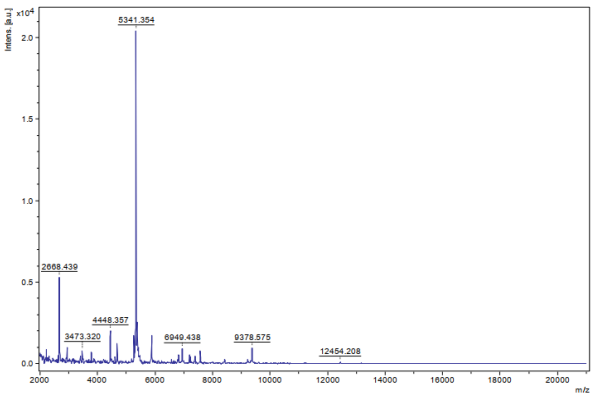
Trên môi trường TSA sau 24 giờ nuôi cấy có trắng đục, trắng đục, tròn bờ không đều, kích thước (3 – 8) mm, bề mặt khô, nhăn hoặc trơn. Trực khuẩn (que dài), bắt màu tím khi nhuộm gram (kính hiển vi 100X)

4 Phổ đặc trưng của một số loài vi sinh

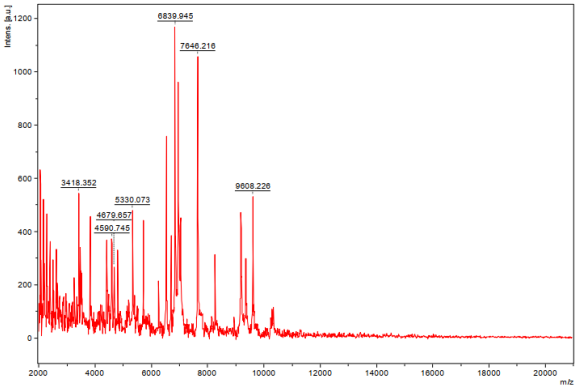
Chủng *L. paracasei* ATCC 334



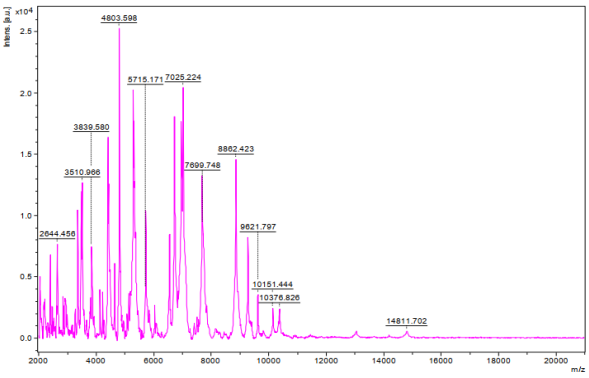
Chủng *L. rhamnosus* ATCC 53103



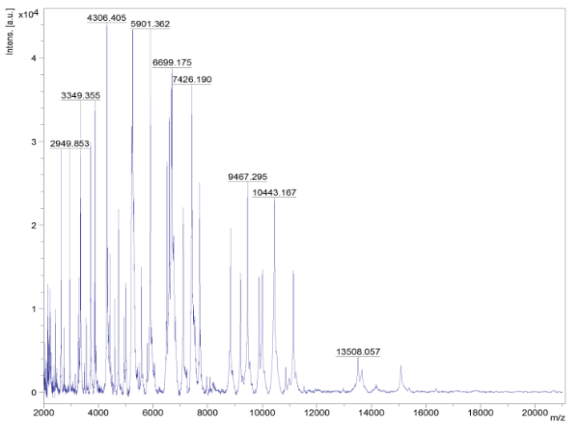
Chủng *L. acidophilus* ATCC 314



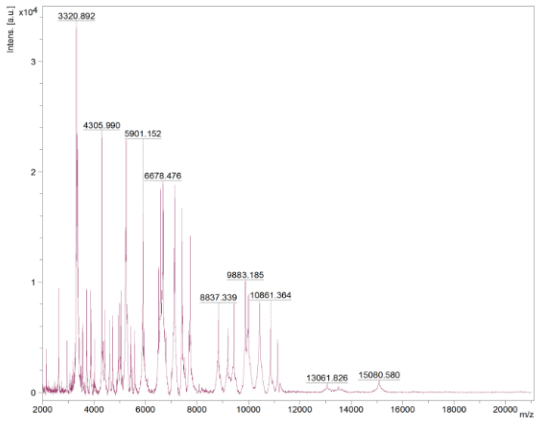
Chủng *L. delbrueckii* ATCC 12315



Chủng *Bacillus subtilis* ATCC 11774



Chủng *Bacillus subtilis* ATCC 6633



KỸ THUẬT PHÂN TÍCH PHỔ KHỐI TỈ LỆ ĐỒNG VỊ

Nguyễn Phan Chinh,
Chuyên gia đánh giá hệ thống chất lượng PTN hóa học (BoA)

Email: phanchinh2004@yahoo.com

Tóm lược

Phổ khối tỉ lệ đồng vị[1] (IRMS) là một kỹ thuật chuyên biệt được sử dụng để cung cấp thông tin về nguồn gốc địa lý, hóa học và sinh học của các chất. Khả năng xác định nguồn gốc của một chất hữu cơ xuất phát từ tỉ lệ phân bố tương đối của các đồng vị của các nguyên tố cấu thành nên nguyên vật liệu đó.

Bởi vì tỉ lệ đồng vị của các nguyên tố như carbon, hydro, oxy, lưu huỳnh và nitơ có thể bị làm giàu hoặc làm nghèo cục bộ thông qua nhiều yếu tố động học và nhiệt động học, việc đo tỉ lệ đồng vị có thể được sử dụng để phân biệt giữa các mẫu có thành phần hóa học giống hệt nhau.

Hiện nay có phương pháp được áp dụng để đưa mẫu vào cho các máy phổ khối tỉ lệ đồng vị. Phương pháp đốt cháy thường được sử dụng nhất cho phân tích đồng vị số lượng lớn, trong khi sắc ký khí và sắc ký lỏng chủ yếu được sử dụng cho phân tích đồng vị theo thời gian thực của các hợp chất cụ thể trong hỗn hợp.

Một số ứng dụng mới nổi bật bao gồm xác thực sản phẩm thực phẩm hữu cơ, pháp y, gian lận thực phẩm, đánh giá giá nguồn gốc gây ô nhiễm, truy xuất nguồn gốc địa lý… Trong bài này, chúng tôi giới thiệu các phép đo tỉ lệ đồng vị của các nguyên tố nhẹ phổ biến trong các nguồn hữu cơ; chưa quan tâm và đề cập đến lĩnh vực quan trọng không kém là phép đo phổ khối tỉ lệ các đồng vị vô cơ.

Từ khóa

Phổ khối tỉ lệ đồng vị (Isotope ratio mass spectrometry - IRMS); EA- IRMS; GC-IRMS; LC-IRMS; Gasbench-IRMS; xác thực thực phẩm và đồ uống; tính toàn vẹn của thực phẩm; nguồn gốc thực phẩm; sản phẩm hữu cơ.

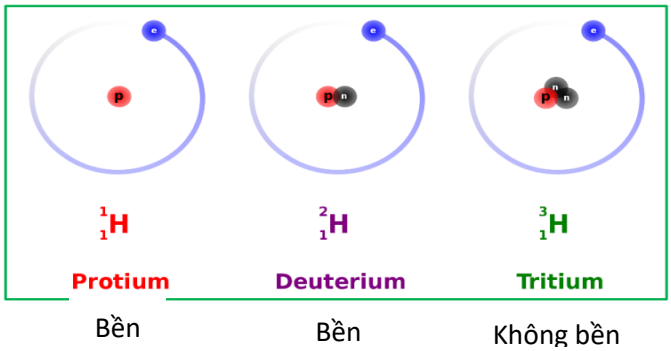
1 ĐỒNG VỊ

1.1 Đồng vị là gì?

Đồng vị là các nguyên tử của cùng một nguyên tố hóa học, có cùng số proton (*Z*) trong hạt nhân nhưng khác nhau về số neutron, dẫn đến số khối (*A*) khác nhau.

Chúng có tính chất hóa học tương đồng nhưng tính chất vật lý (khối lượng, độ bền hạt nhân) khác nhau. Ví dụ như ba đồng vị tự nhiên của hydrogen là:

[1] IRMS - Isotope ratio mass spectrometry



Hình 1. Ba đồng vị tự nhiên của hydrogen

1.2 Đồng vị bền

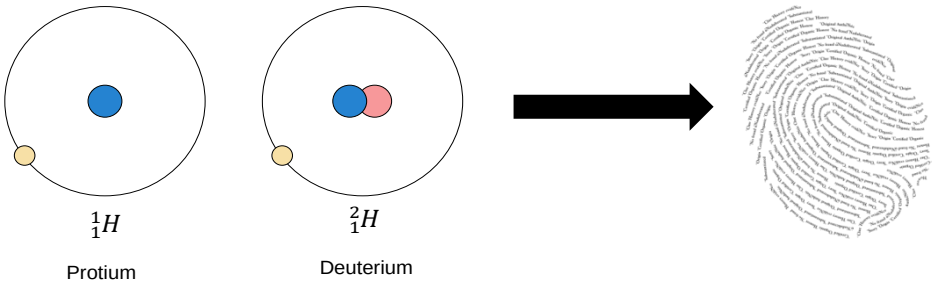
Đồng vị bền của một nguyên tố là không trải qua quá trình phân rã phóng xạ, nhưng chúng có thể là đồng vị phóng xạ (tức là được tạo ra do quá trình phân rã phóng xạ).

1.3 Isotopic abundances (tỉ lệ đồng vị)

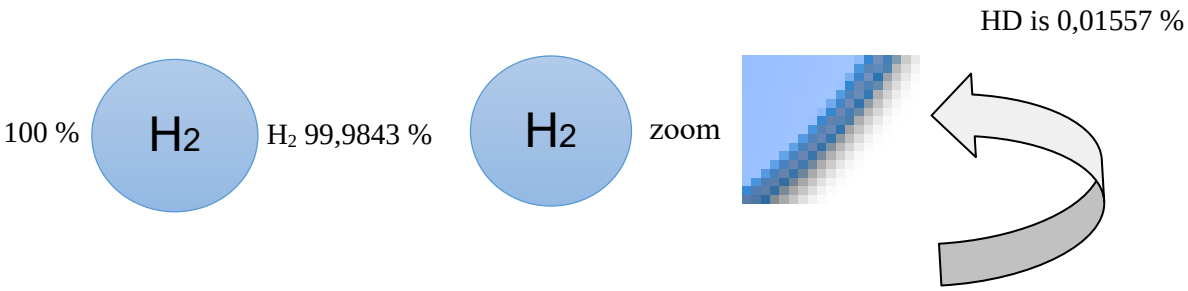
Các nguyên tố trong tự nhiên chủ yếu là hỗn hợp của các đồng vị.

Ví dụ như nguyên tố C ổn định tự nhiên với tỉ lệ: 98,89 % là ^{12}C; 1,11 % là ^{13}C. Tùy thuộc vào nguồn gốc, hàm lượng ^{13}C có thể thay đổi đáng kể từ 1,00 đến 1,12.

1.4 Phần trăm (%) đồng vị - dấu vân tay



2 CÁC ĐỒNG VỊ BỀN QUAN TRỌNG NHẤT



Bảng 1. Các nguyên tố cùng đồng vị hiếm và tỉ lệ

Nguyên tố	Đồng vị hiếm	Thành phần đồng vị trong tự nhiên, %
Hydrogen	^{2}H (D)	0,01557
Carbon	^{13}C	1,11140
Nitrogen	^{15}N	0,36630
Oxygen	^{18}O	0,20004
Sulfur	^{34}S	4,21500

Công thức tính giá trị Delta như sau.

Giá trị Delta :

$$\delta\,[‰] = \left(\frac{R_{(Sample)}}{R_{(Reference)}} - 1\right) * 1000$$

Element	symbol	Isotop F [atom-%]	standard name	R
hydrogen	^{1}H ^{2}H=D	99.9855 0.0145	Standard Mean Ocean Water (=SMOW)	0.00015576
carbon	^{12}C ^{13}C	98.892 1.108	Pee Dee Belemnite (=PDB)	0.011237
nitrogen	^{14}N ^{15}N	99.6337 0.3663	Air (Air nitrogen) (=AIR)	0.0036765
oxygen	^{16}O ^{17}O ^{18}O	99.7587 0.0375 0.2039	Standard Mean Ocean Water (=SMOW)	0.00200520
sulfur	^{32}S ^{33}S ^{34}S ^{36}S	95.018 0.750 4.215 0.02	Canyon Diablo Troilite (=CDT)	0.0450045

33

Bảng 2. Các nguyên tố và đồng vị bền của chúng, là những thành phần quan trọng của vật chất sống (nguyên tố sinh học), thành phần tỉ lệ trung bình trong tự nhiên F, tên của chuẩn đồng vị quốc tế và tỷ lệ đồng vị R của hai đồng vị bền chiếm tỉ lệ cao

3 SỰ PHÂN TÁCH ĐỒNG VỊ

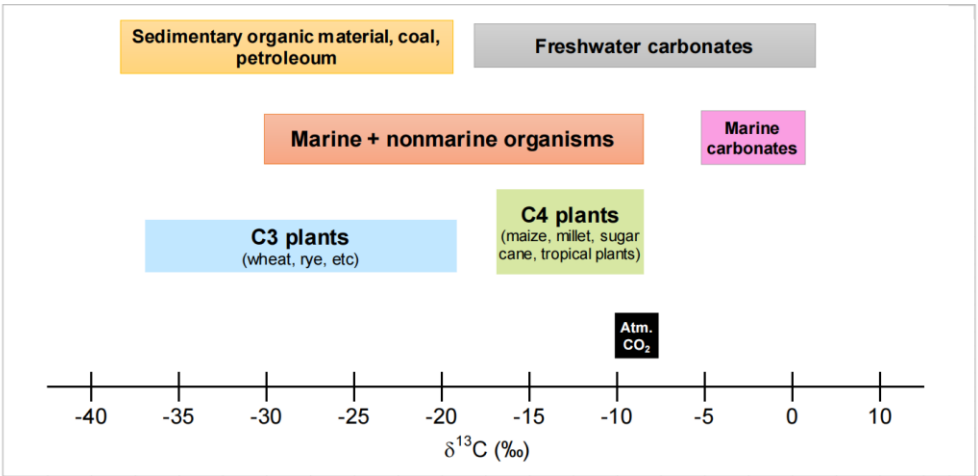
(a) Các đồng vị của nguyên tố trải qua cùng các phản ứng hóa học và quá trình vật lý;

(b) Sự khác biệt về khối lượng có thể ảnh hưởng đến tốc độ hoặc mức độ của:

- các quá trình vật lý (ví dụ: sự bay hơi);
- các phản ứng hóa học (ví dụ: quang hợp);
- sự phân bố khác nhau của các đồng vị giữa các pha.

(c) Sự tách đồng vị trong các quá trình hóa học, vật lý hoặc sinh học được gọi là sự phân tách đồng vị.

4 SỰ HỮU ÍCH CỦA ĐỒNG VỊ BỀN



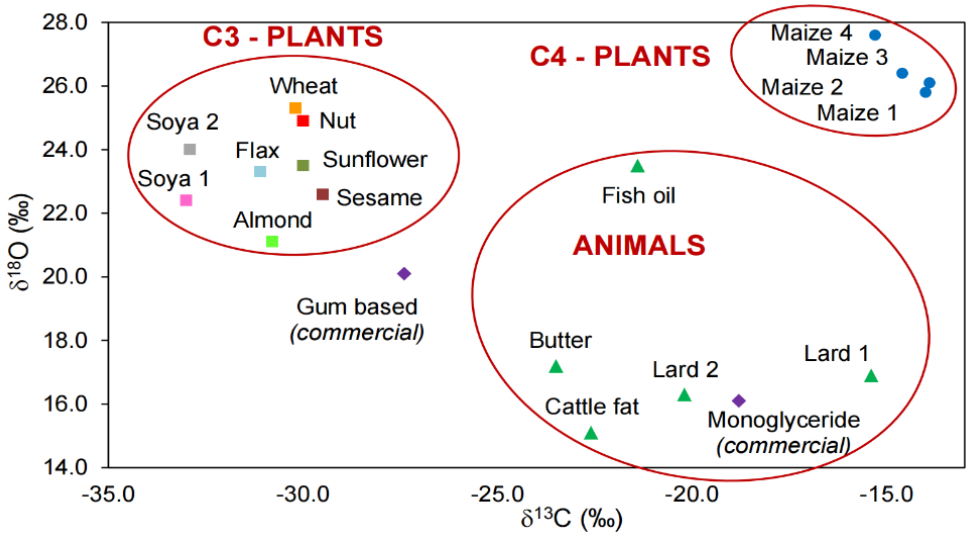
Bảng 3. Giá trị $\delta^{13}C$ (‰) của các loại thực vật khoáng sản,…

(a) Các đồng vị bền rất hữu ích trong các trường hợp sau:

- là chất chỉ thị cho các quá trình vật lý hoặc hóa học (bao gồm cả sinh học) và chu trình địa hóa học;
- chất đánh dấu bảo toàn để xác định, ví dụ, nguồn thực phẩm, chu trình dinh dưỡng.

(b) Đối với một vài nguyên tố sẽ có sự khác biệt tốt hơn;

(c) Các mẫu glycerol được chiết xuất từ chất béo có nguồn gốc thực vật và động vật.



Bảng 4. Giá trị $\delta^{13}C$ (‰) và $\delta^{18}O$ (‰) của các loại thực vật và động vật

5 PHƯƠNG PHÁP ĐO PHỔ KHỐI LƯỢNG TỈ LỆ ĐỒNG VỊ (IRMS)

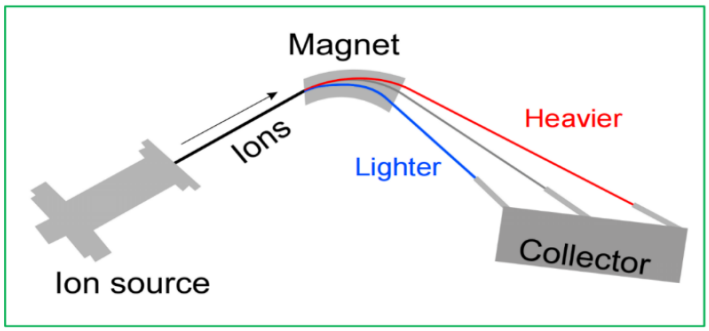
Tỉ lệ phân bố của các đồng vị của một nguyên tố trong mẫu là cực kỳ nhỏ và được đo với độ chính xác rất cao.

Thông thường, các nguyên tố nhẹ (hệ đồng vị ổn định truyền thống) được sử dụng: H, C, N, O hoặc S, nhưng các đồng vị phi truyền thống (Li, B, Mg, Ca, Fe, Mo, v.v..) cũng có thể hữu ích trong một số ứng dụng.

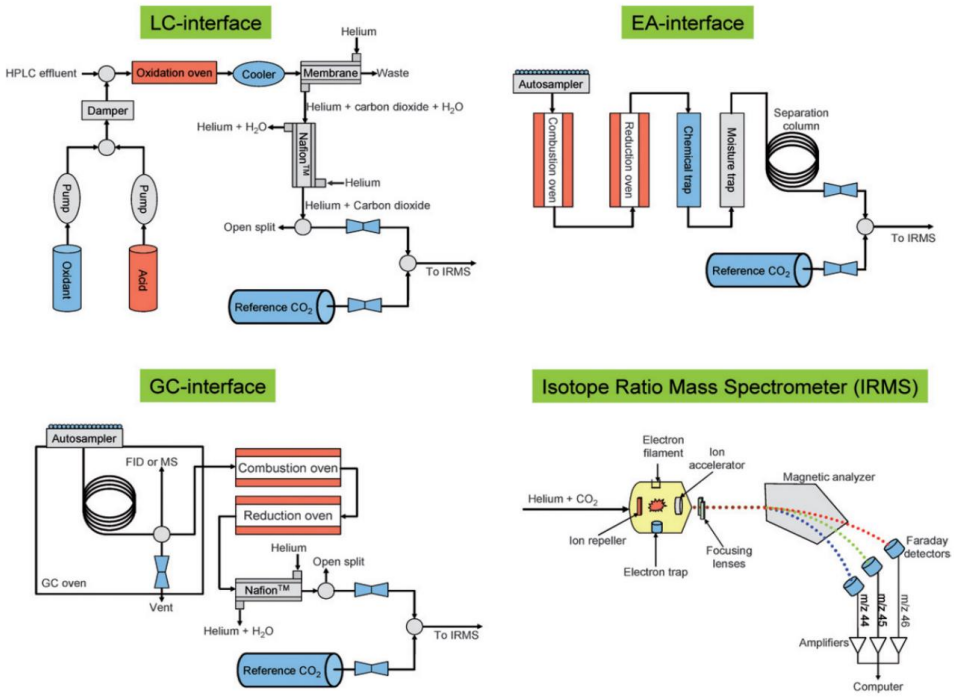
Tỉ lệ đồng vị bền trong các hợp chất hữu cơ là:

- carbon C ($^{13}C/^{12}C$);
- nitrogen N ($^{15}N/^{14}N$);
- oxygen O ($^{18}O/^{16}O$);
- hydrogen H ($^{2}H/^{1}H$).

6 CÁC HỆ THIẾT BỊ PHÂN TÍCH IRMS



Hình 2. Bộ thu các đồng vị trong thiết bị IRMS



Hình 3. Mô tả các loại thiết bị phân tích IRMS

Hệ thống	Tên thiết bị
EA- IRMS system	Elemental analyzer for bulk sample analysis
GC-IRMS system	Gas Chromatographer for compound specific analysis of volatile compounds
LC-IRMS	Liquid Chromatographer for analysing polar compounds
Gasbench-IRMS	Online dilution system for gas samples analysis

Bảng 5. Các kỹ thuật & thiết bị phân tích với IRMS

7 ỨNG DỤNG KỸ THUẬT IRMS

7.1 Xác thực tính chất của thực phẩm

(a) ***Qua dấu vân tay đồng vị trong việc xác thực thực phẩm và đồ uống***

Nguyên tố	Diễn giải quá trình sinh hóa học	Ví dụ về tính toàn vẹn của thực phẩm	Những sản phẩm nào có thể bị ảnh hưởng?
Carbon	Nguồn gốc thực vật (quang hợp C3, C4 và CAM)	Pha trộn (ví dụ: thêm đường rẻ tiền để tạo vị ngọt)	Mật ong, rượu mạnh, rượu vang, dầu ô liu, bơ, hương liệu, thịt động vật
Nitrogen	Quá trình hấp thụ đất và phân bón	Ghi nhãn sai (phân biệt giữa sản phẩm hữu cơ và không hữu cơ)	Trái cây và rau quả, thịt động vật avegetablesanimal meat
Sulfur	Điều kiện thổ nhưỡng địa phương, khoảng cách đến bờ biển	Nguồn gốc sản phẩm	Trái cây và rau quả, thịt động vật, mật ong
Oxygen	Chủ yếu liên quan đến lượng mưa địa phương và khu vực, và do đó phụ thuộc vào khu vực địa lý.	Pha chế đồ uống, Nguồn gốc sản phẩm	Cà phê, rượu vang, rượu mạnh, nước, đường, thịt động vật, hương liệu
Hydrogen	Chủ yếu liên quan đến lượng mưa địa phương và khu vực, và do đó phụ thuộc vào khu vực địa lý.	Pha chế đồ uống, Nguồn gốc sản phẩm	Cà phê, rượu vang, rượu mạnh, nước, đường, thịt động vật, hương liệu

Bảng 6. Kỹ thuật phân tích IRMS và tính toàn vẹn thực phẩm - đồ uống

(b) Ý nghĩa tính xác thực của thực phẩm

Thay thế	Báo cáo sai	Pha trộn	Sai lệch
Thay thế toàn bộ hoặc một phần thực phẩm bằng một chất khác có tính chất tương tự mà không làm thay đổi đặc tính tổng thể của nó.	Bán sản phẩm dưới danh nghĩa sản phẩm không đúng với thực tế (bao gồm ghi nhãn sai, xuất xứ địa lý).	Làm giảm chất lượng thực phẩm bằng cách thêm chất lạ.	Làm sai lệch quá trình chế biến hoặc sử dụng thực phẩm hoặc chất khác so với mục đích ban đầu.

Bảng 7. Kỹ thuật phân tích IRMS và ý nghĩa xác thực thực phẩm - đồ uống

7.2 Tính toàn vẹn của thực phẩm

(a) Phương pháp thử

Các phương pháp chính thức trong ứng dụng kiểm tra tính toàn vẹn thực phẩm - Codex Alimentarius International Food Standards (FAO/WHO):

- Recommended methods of analysis and sampling CXS 234-1999;
- CEN Technical Committee 460 'Food Authenticity' Working Group 6 – IRMS.

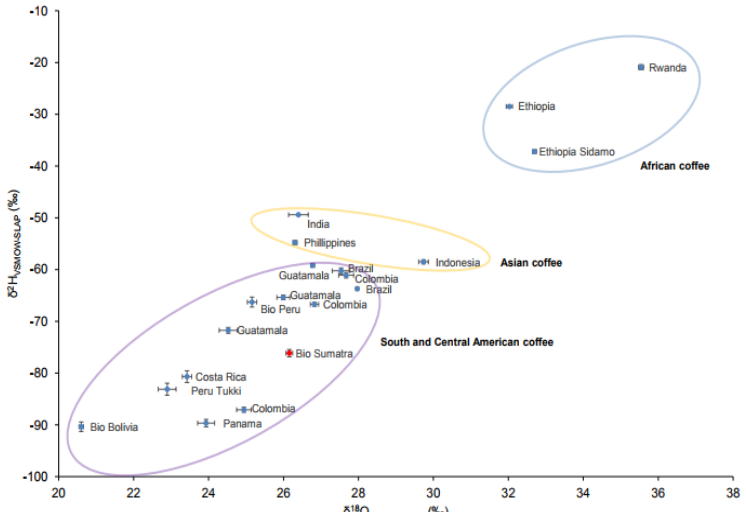
Phương pháp/ Official method	Dấu vết đồng vị/ Isotope fingerprint	Mẫu/ Sample	Tính chất, nguồn gốc/ What does it address	Kỹ thuật phân tích/ Analytical solution
1 Rượu vang/ Wine				
OIV-MA-AS2-12	$\delta^{18}O$	Water	Adulteration, Geographical origin, Year of vintage	Gasbench-IRMS
OIV-MA-AS312-06	$\delta^{13}C$	Ethanol,Wine must, Grape sugar	Adulteration, origin	EA -IRMS GC-IRMS
OIV-MA-AS312-07	$\delta^{13}C$	Glycerol in Wines	Adulteration by addition of glycerol from C4 maize or Fossil sources	GC-IRMS LC-IRMS
OIV-OENO 510-2013	$\delta^{13}C$	Acetic acid in wine, Vinegar		GC-IRMS
OIV-OENO 510-2013	$\delta^{18}O$	Water in wine, Vinegar	Adulteration, Geographical origin, Year of vintage	Gasbench-IRMS
2 Vang sủi/ Sparkling wine				
OIV-MA-AS314-03	$\delta^{13}C$	CO_2 in sparkling wine	Origin and adulteration of sparkling wine	Gasbench, EA-IRMS
3 Rượu mạnh/ Spirits				
OIV-MA-AS312-07	$\delta^{13}C$	Glycerol in Spirits	Adulteration by addition of glycerol from C4 maize or Fossil sources	GC-IRMS LC-IRMS

Phương pháp/ Official method	Dấu vết đồng vị/ Isotope fingerprint	Mẫu/ Sample	Tính chất, nguồn gốc/ What does it address	Kỹ thuật phân tích/ Analytical solution
4 Nước trái cây/ Food Juice				
EU-CEN 1995	$\delta^{13}C$	Sugars	Adulteration	Gasbench, GC-IRMS, LC-IRMS
USA-AOAC 1981	$\delta^{13}C$	Sugars	Adulteration	Gasbench, GC-IRMS, LC-IRMS
EU-CEN 1998	$\delta^{13}C$	Sugars and pulp	Adulteration	Gasbench, GC-IRMS, LC-IRMS
EU-CEN 1995	$\delta^{2}H$ and $\delta^{18}O$	Water	Adulteration	Gasbench, GC-IRMS, LC-IRMS

Bảng 8. Tổng hợp áp dụng kỹ thuật phân tích IRMS cho đồ uống

(b) Cà phê của bạn đến từ đâu?

- dấu ấn đồng vị hydrogen và oxygen;
- cây cà phê (coffea spp.) mang dấu ấn đồng vị liên quan đến lượng mưa địa phương, khu vực;
- phân biệt hạt cà phê Mỹ, châu Á và châu Phi;
- nhận diện cà phê bị dán nhãn sai (ví dụ: mẫu cà phê từ Bio Sumatra trong biểu đồ).

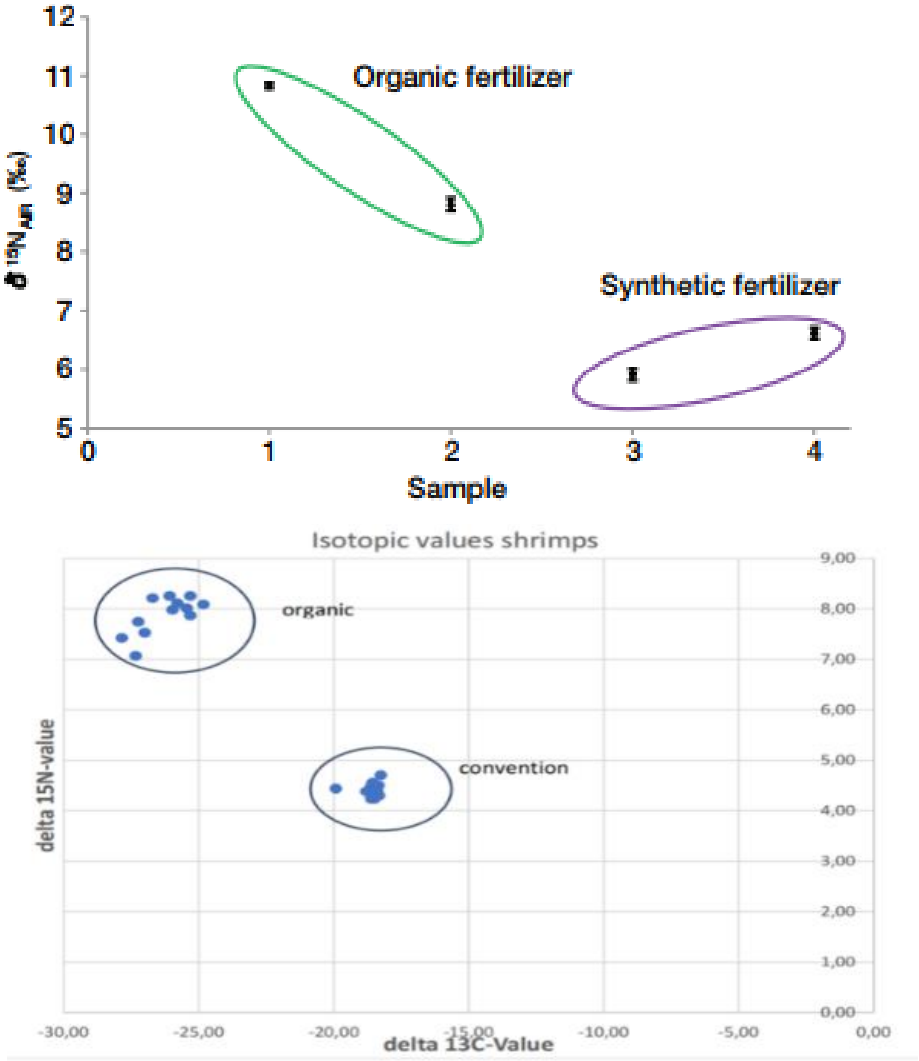


Hình 4. Phân biệt nguồn gốc cà phê bằng thiết bị phân tích IRMS

(c) Thực phẩm của bạn có phải là sản phẩm hữu cơ?

- dấu ấn đồng vị nitrogen;
- phân bón hữu cơ so với phân bón tổng hợp;
- sự khác biệt về đồng vị nitơ trong thực vật và đất do sự bay hơi ammonium, khử nitrate, nitrate hóa, …;

- dấu ấn phân bón hữu cơ từ +8 ‰ đến +20 ‰ ;
- dấu ấn phân bón tổng hợp từ +3 ‰ đến +6 ‰ .



Hình 5. Phân biệt nguồn sản phẩm hữu cơ bằng kỹ thuật IRMS

8 KẾT LUẬN

Phương pháp phân tích tỉ lệ đồng vị IRMS bền cũng là một công cụ hữu ích trong việc kiểm soát tính xác thực và nguồn gốc thực phẩm, thành phần thực phẩm và đồ uống, đặc biệt là nước trái cây và rượu được nghiên cứu nhiều trên thế giới.

Ở Việt Nam đang thực hiện dự án truy xuất nguồn gốc thực phẩm bằng công nghệ thông tin (IT) dựa trên bộ cơ sở dữ liệu từ trung tâm mã số, mã vạch Quốc gia GS1 thuộc Viện Tiêu chuẩn Chất lượng Việt Nam, nhưng việc này chỉ thực hiện được nếu nguồn gốc sản phẩm được cung cấp đúng, đủ và có sự hợp tác chặt chẽ giữa nhà cung cấp dịch vụ truy xuất điện tử (thiết kế phần mềm) với các bên tham gia chuỗi sản xuất sản phẩm. Vì vậy, việc nghiên cứu xác lập căn cứ khoa học đủ tin cậy trong việc truy xuất nguồn gốc thực phẩm đang là một vấn đề mới, cấp thiết trong thực tiễn,

Các nguyên tố tự nhiên chủ yếu là hỗn hợp các đồng vị với tỉ lệ đồng vị của các nguyên tố có thể thay đổi tùy thuộc vào nguồn gốc của nguyên liệu. Tỉ lệ phân bố của các đồng vị bền H, C, O, N và S là phương pháp được sử dụng phổ biến nhất. Trong các phương pháp thì IRMS cho phép đo tỉ lệ của đồng vị với độ chính xác rất cao.

Hiện nay, trên thị trường Việt Nam có rất nhiều các loại táo nhập khẩu có nguồn gốc chủ yếu từ các nước như Mỹ, Newzealand và Trung Quốc với nhiều chủng loại đa dạng và phong phú. Nhưng có một thực trạng là sự thiếu trung thực của người cung cấp sản phẩm đã gây cho người tiêu dùng nỗi lo sản phẩm không đảm bảo an toàn.

Do vậy, việc xác định nguồn gốc sản phẩm đang trở thành vấn đề thiết yếu trong thương mại và mang tính pháp lý toàn cầu, vừa đáp ứng việc truy xuất nguồn gốc thực phẩm thay vì sử dụng mã số mã vạch như đã đề cập bên trên.

Các tổ chức chứng nhận sản phẩm hữu cơ (organic) đang dựa trên việc đánh giá định kỳ để cấp chứng nhận organic cho nông sản, thủy sản,….cũng tương tự như việc truy xuất nguồn gốc, tức là cần các phương pháp phân tích bằng IRMS để chứng thực sản phẩm được công bố có đúng thực chất như công bố hay không?

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] FIRMS - Good Practice Guide For Isotope Ratio Mass Spectrometry - Second Edition

[2] IRMS Application ThermoFisher Scientific

[3] Isotope Ratio Mass Spectrometry - Article in The Analyst March 2009

[4] Charles Sturt University - The Application of GC-C-IRMS to the Authentication Charasterisation of Food and Beverages - August 2017

[5] Lan Anh Ha, Phân tích sự khác biệt về thành phần đồng vị bền $\delta^{2}H$ và $\delta^{18}O$ trong mẫu nước chiết từ quả dâu tây ở Đà Lạt và Mộc Châu, tạp chí Khoa học Công nghệ Việt Nam, 64(8) 8.2022.

PHÂN TÍCH SO MÀU DI ĐỘNG PHỤC VỤ SỐ HÓA DỮ LIỆU PHÂN TÍCH

Nguyễn Thành Danh[1]

Viện Công nghệ tiên tiến,
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Tóm tắt

Trong những năm gần đây, các hệ thống cảm biến phân tích di động kết hợp internet vạn vật (IoT) và trí tuệ nhân tạo (AI) đang trở thành xu hướng quan trọng trong lĩnh vực quan trắc môi trường và số hóa dữ liệu phân tích. Bài viết này trình bày các kết quả nghiên cứu bước đầu về hệ thống phân tích so màu di động sử dụng bộ tách màu RGB[2] *và camera điện thoại thông minh nhằm xác định nhanh các chỉ tiêu nitrogen (nitơ) vô cơ trong nước.*

Hệ thống được tích hợp kết nối IoT, lưu trữ dữ liệu đám mây (cloud) và xử lý tín hiệu bằng các thuật toán "học máy" nhằm nâng cao độ chính xác phân tích. Kết quả cho thấy hệ thống có khả năng xác định NH_4^+ *và* NO_2^- *với độ nhạy cao, giới hạn phát hiện thấp và tương quan tốt với phương pháp UV–Vis truyền thống. Công nghệ này mở ra tiềm năng lớn trong giám sát môi trường nước tại thời gian thực, trong lĩnh vực nuôi trồng thủy sản thông minh và phát triển các nền tảng dữ liệu lớn phục vụ số hóa phân tích và quản lý môi trường tự động.*

Từ khóa:

Cảm biến so màu, RGB, IoT, học máy, NH_4^+, NO_2^-, *smartphone.*

1 GIỚI THIỆU

Các phương pháp phân tích so màu hiện nay được sử dụng rộng rãi trong phân tích môi trường, thực phẩm, y sinh, môi trường, thủy sản do có ưu điểm về tính đơn giản, chi phí thấp và khả năng triển khai nhanh. Tuy nhiên, phần lớn các thiết bị phân tích truyền thống vẫn phụ thuộc vào hệ thống phòng thí nghiệm, chi phí đầu tư cao và khó triển khai cho các ứng dụng giám sát liên tục ngoài hiện trường.

Sự phát triển của cảm biến di động, điện thoại thông minh, IoT và trí tuệ nhân tạo đã mở ra một hướng tiếp cận mới cho các hệ thống phân tích so màu thế hệ mới. Các hệ thống này không chỉ cho phép đo nhanh tại hiện trường mà còn hỗ trợ kết nối trực tuyến, lưu trữ dữ liệu trên nền tảng đám mây và xử lý dữ liệu bằng các thuật toán "học máy"[3] nhằm nâng cao độ chính xác phân tích.

[1] Phó Giáo sư/Tiến sĩ.
[2] RGB: Mô hình hệ màu bổ sung trên cơ sở ba màu chính: đỏ (red R); xanh (green G) và lục (blue B).
[3] Machine Learning ML- Học máy.

Trong bài viết này, nhóm nghiên cứu tại Viện Công nghệ tiên tiến đã phát triển hệ thống phân tích so màu di động phục vụ việc xác định các chỉ tiêu nitrogen vô cơ trong nước, hướng đến ứng dụng trong giám sát môi trường nước và nuôi trồng thủy sản thông minh.

2 HỆ THỐNG PHÂN TÍCH SO MÀU DI ĐỘNG

Hệ thống được thiết kế theo hai hướng chính gồm:

(i) thiết bị phân tích sử dụng bộ tách màu RGB; và

(ii) hệ thống phân tích sử dụng camera điện thoại thông minh.

Đối với hệ RGB chuyên dụng, thiết bị bao gồm nguồn sáng LED ổn định, bộ tách màu RGB, và bộ phát wifi kết nối đám mây (*cloud*). Hệ thống cho phép sử dụng linh hoạt với nhiều loại KIT phân tích so màu khác nhau [1].

Song song đó, hệ thống điện thoại thông minh (*smartphone*) được phát triển nhằm tận dụng ưu thế phổ biến của điện thoại thông minh. Hình ảnh màu sắc được thu nhận trực tiếp từ camera điện thoại, sau đó được xử lý bằng các thuật toán học máy nhằm giảm sai số gây ra bởi điều kiện chiếu sáng và sự khác biệt giữa các thiết bị điện thoại.

Bên cạnh đó, nhóm đã phát triển hệ reference calibration (màu chuẩn tham chiếu) nhằm hiệu chỉnh tín hiệu màu và nâng cao tính đồng nhất, độ ổn định của dữ liệu phân tích giữa các thiết bị khác nhau [2].

Ngoài ra, hệ thống còn được tích hợp khả năng lưu trữ dữ liệu trực tuyến, định vị vị trí đo và đồng bộ dữ liệu thời gian thực lên nền tảng cloud nhằm phục vụ xây dựng cơ sở dữ liệu lớn cho các ứng dụng giám sát môi trường thông minh.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hệ thống đã được ứng dụng để xác định NH_4^+ và NO_2^- trong nước sử dụng các bộ kit phân tích so màu tương ứng. Đối với NH_4^+, phản ứng indophenol-salicylate được sử dụng, trong khi NO_2^- được xác định thông qua phản ứng Griess–Saltzman.

Kết quả cho thấy hệ thống đạt giới hạn phát hiện thấp với:

$$NH_4^+: LOD = 0{,}0134\ mg.L^{-1} \text{ và } NO_2^-: LOD = 0{,}0054\ mg.L^{-1}.$$

Các giá trị này cho thấy khả năng ứng dụng tốt trong giám sát môi trường nước và nuôi trồng thủy sản.

Các thuật toán học máy được áp dụng nhằm cải thiện độ chính xác phân tích từ dữ liệu màu RGB. Kết quả cho thấy mô hình Dual - Regime Calibration (DRC) và các mô hình phi tuyến tính cho hiệu quả xử lý tốt với hệ số xác định cao, đạt tới $R^2 \approx 0.9999$ đối với hệ RGB chuyên dụng.

Đối với hệ smartphone, các mô hình học máy phi tuyến tính đạt R^2 khoảng 0,90 – 0,954. Đặc biệt, việc sử dụng hệ màu chuẩn tham chiếu giúp giảm đáng kể sai số giữa các thiết bị smartphone khác nhau, với mức cải thiện từ 42 % đến 76 %. Điều này cho thấy tiềm năng lớn của phương pháp trong việc chuẩn hóa dữ liệu màu thu nhận từ điện thoại thông minh.

Hệ thống cũng đã được thử nghiệm trên các mẫu nước thực tế tại TP. Hồ Chí Minh. Kết quả phân tích cho thấy có sự tương quan tốt với phương pháp UV–Vis truyền thống, chứng minh khả năng ứng dụng thực tế của hệ thống.

4 KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phát triển thành công hệ thống phân tích so màu di động kết hợp IoT và trí tuệ nhân tạo, phục vụ số hóa dữ liệu phân tích môi trường. Hệ thống sử dụng bộ tách màu RGB và smartphone cho phép phân tích nhanh tại hiện trường với chi phí thấp và khả năng kết nối trực tuyến.

Trong những nghiên cứu tiếp theo, nhóm nghiên cứu đang phát triển hệ thiết bị cảm biến hoàn toàn tự động tích hợp bơm mẫu, bơm hóa chất, và ứng dụng AI nhằm hướng đến các nền tảng giám sát môi trường nước thông minh theo thời gian thực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Cao, T.-D.; Phan, N.-M.; Huynh, T.K.-C.; Pham, M.-T.; Nguyen, T.-H.; Nguyen, C.-H.; Giang, T.T.H.; Chi, T.T.K.; An, T.N.M.; Pham, D.-Q. Colorimetric detection of ampicillin using a gold nanoparticle–aptamer sensor: Integrating portable readout and smartphone-based online machine learning. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2025**, 120935.

[2] Quoc, T.N.; Phan, M.-V.; Dang, K.P.; Gia, H.N.H.; Thien, P.N.T.; Hoang, V.T.; Do, T.-L.; Tran, T.-B.; Do, M.-H.; Nguyen, L.-K.-T. Smartphone-Based Colorimetric Sensing with Reference Calibration and Ensemble Machine Learning for Enhanced Detection of Nitrite and Ammonium ions. *Analytica Chimica Acta* **2026**, 345097.

VIỆN CÔNG NGHỆ TIÊN TIẾN
VIỆN HÀM LÂM KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

Phương pháp phân tích so màu di động - phục vụ số hóa dữ liệu phân tích



Đơn vị: Viện Công nghệ tiên tiến (IAT)
Người trình bày: PGS.TS. Nguyễn Thành Danh

Viện Công nghệ tiên tiến (IAT) - VAST







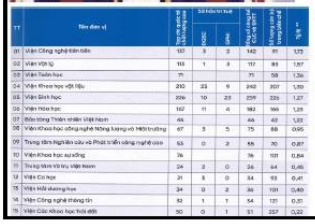




Viện Công nghệ tiên tiến (IAT) - VAST



Tổng số VC-NLĐ: 200
Số biên chế 95/100; GS: 05; PGS: 08; TS: 65; ThS, KS,...: 122



Chức năng: Nghiên cứu, triển khai và đào tạo sau đại học.

Lĩnh vực: Hóa vô cơ, hữu cơ, Hóa lý, Phân tích, khoa học vật liệu, vật lý, công nghệ sinh học, sinh thái học,...

Nội dung

1. Phương pháp so màu di động và Những thành tựu hiện nay
2. Kết quả nghiên cứu tại IAT
3. Kết luận và định hướng trong tương lai

Thiết bị phân tích so màu

Phòng thí nghiệm

Thiết bị di động







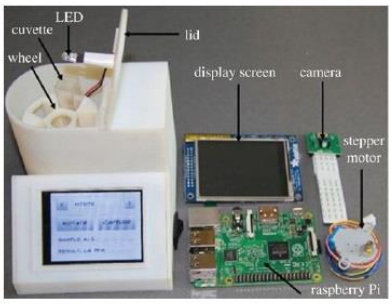


- Chi phí cao, không thích hợp với đa số người dùng
- Xác định giới hạn số lượng chất
- Không thể đánh dấu vị trí tự động, khó số hóa dữ liệu,...

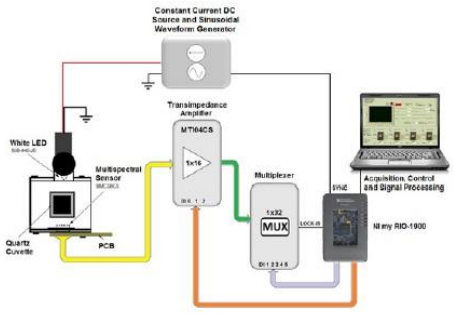
Cảm biến kết hợp IoT - AI



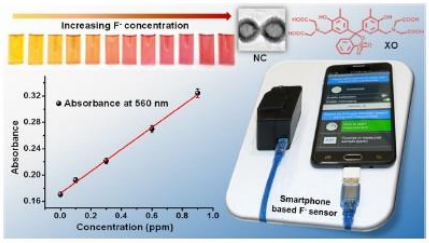
Thiết bị cảm biến so màu di động



Thiết bị cảm biến so màu di động



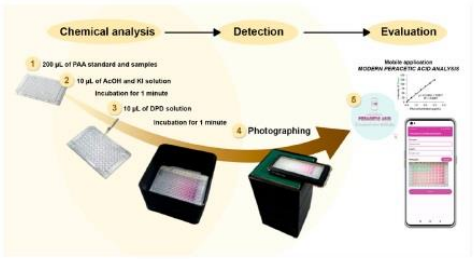
Thiết bị cảm biến so màu di động



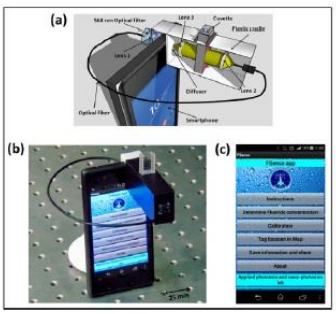
Lợi: Di động đo tại hiện trường, ổn định, ít bị ảnh hưởng môi trường.
Bất lợi: Không lưu trữ hệ thống online, khó tự động hóa,

Anal. Chem. 2017, 89, 1, 767–775 *ACS Omega* 2020, 5, 39, 25253–25263; *Sensors*, **2017**, *17*(8), 1730

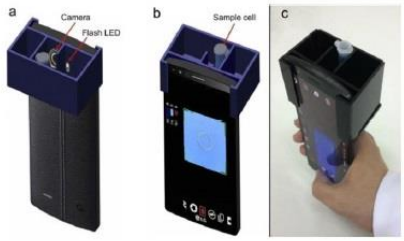
Thiết bị so màu sử dụng camera smart phone



Thiết bị so màu sử dụng camera smart phone



Thiết bị so màu sử dụng camera smart phone



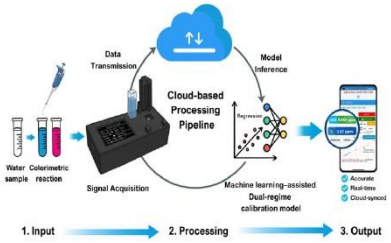
Lợi: Nhanh, IoT, online, big data, di động.
Bất lợi: bị ảnh hưởng bởi nhiều tác nhân phụ thuộc từng thiết bị

Groundwater for Sustainable Development, 2015, 1, 1–11

Kết quả nghiên cứu tại AIT

1. Hệ thống thiết bị so màu di động

Smartphone-based RGB sensing for Water Quality Monitoring



- Sử dụng bộ tách màu RGB
- Kết nối IoT và lưu trữ cloud
- Xử lý số liệu bằng thuật toán học máy
- Sử dụng được cho nhiều loại KIT so màu

13

Kết quả nghiên cứu tại AIT

2. Hệ thống camera smartphone

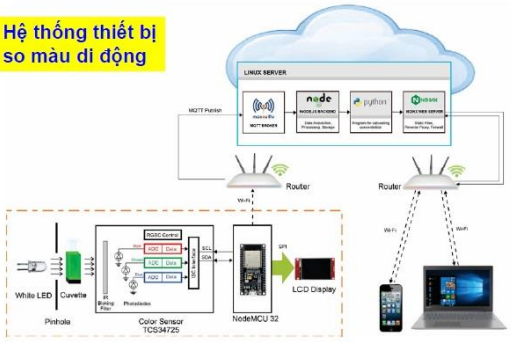


- Sử dụng bộ tách màu RGB
- Kết nối IoT và lưu trữ cloud
- Xử lý số liệu bằng thuật toán học máy
- Sử dụng được cho nhiều loại KIT so màu

14

Kết quả nghiên cứu tại AIT

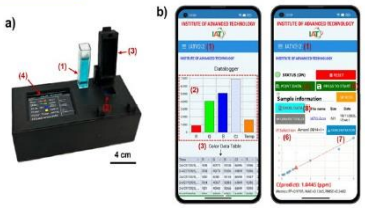
Hệ thống thiết bị so màu di động



15

Kết quả nghiên cứu tại AIT

Hệ thống thiết bị so màu di động



- Sử dụng bộ tách màu RGB
- Kết nối IoT
- Lưu trữ Cloud
- Xử lý số liệu bằng thuật toán học máy
- Sử dụng được cho nhiều loại KIT so màu

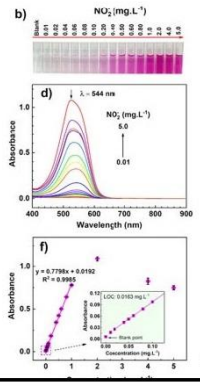
16

Hệ thống thiết bị so màu di động

Đánh giá hiệu quả KIT NO_2^-



Kit NO_2^-



- Kit NO_2^-: Phản ứng Griess-Saltzman
  Part A: N-(1-naphthyl)ethylenediamine
  Part B: Sulfanilic acid

NO_2^-: 0,01 to 1,0 mg.L^{-1}
LOD = 0,0054 mg.L^{-1}
LOQ = 0,0163 mg.L^{-1}

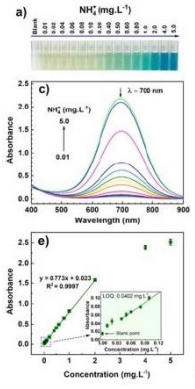
17

Hệ thống thiết bị so màu di động

Đánh giá hiệu quả KIT NH_4^+



Kit NH_4^+



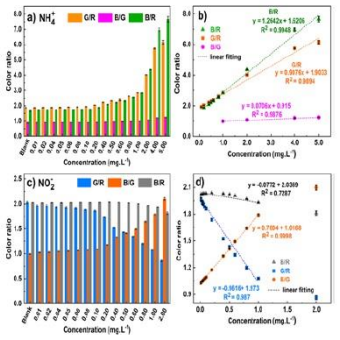
- Kit NH_4^+:
  Part A: NaOH, EDTA-2Na, citrate-Na
  Part B: Nitroprusside-Na, salicylate-Na
  Part C: NaClO

NH_4^+: 0,04 – 2,0 mg.L^{-1}
LOD = 0,0134 mg.L^{-1}
LOQ = 0,0402 mg.L^{-1}

18

Hệ thống thiết bị so màu di động

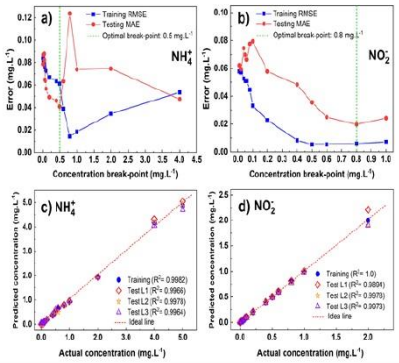
Tuyến tính thông thường



19

Hệ thống thiết bị so màu di động

Xử lý sử dụng học máy



20

Hệ thống thiết bị so màu di động

Criteria	UV-Vis		Single RGB-ratio	
	NH_4^+	NO_2^-	NH_4^+	NO_2^-
Linear range (mg.L⁻¹)	0.0402 – 2.0	0.0163 – 1.0	0.0664 – 5.0	0.0288 – 1.0
LOD – LOQ (mg.L⁻¹)	0.0134 – 0.0402	0.0054 – 0.0163	0.0221 – 0.0664	0.0096 – 0.0288
R^2	0.9997	0.9985	0.9894	0.9998
RSD (%)	6.64	5.48	3.06	1.30

MLR model		DRC model	
NH_4^+	NO_2^-	NH_4^+	NO_2^-
0.3266 –5.0	0.2907 – 2.0	0.0664 – 5.0	0.0288 – 2.0
0.3266 – 0.9898	0.2907 – 0.3941	0.0221 – 0.0664	0.0096 – 0.0288
0.9964	0.9983	0.9982	0.9999
6.05	2.17	1.14	1.78

21

Hệ thống thiết bị so màu di động

Phân tích mẫu nước thực tế

Mẫu nước tại TPHCM	Thời gian lấy mẫu	NH_4^+ (mg.L⁻¹)		NO_2^- (mg.L⁻¹)	
		DRC	UV-Vis	DRC	UV-Vis
Vị trí A	8:00 AM	1,756 ± 0,042	1,574 ± 0,065	1,711 ± 0,015	1,516 ± 0,036
	5:00 PM	0,565± 0,025	0,522 ± 0,012	2,383 ± 0,193	2,590 ± 0,069
Vị trí B	8:00 AM	1,136 ± 0,076	1,190 ± 0,035	0,562 ± 0,030	0,573 ± 0,020
	5:00 PM	1,839 ± 0,146	1,940 ± 0,056	2,516 ± 0,067	2,391 ± 0,044
Vị trí C	8:00 AM	9,552 ± 0,591	9,143 ± 0,054	11,210 ± 1,052	10,285 ± 0,155
	5:00 PM	LOD	LOD	LOD	LOD

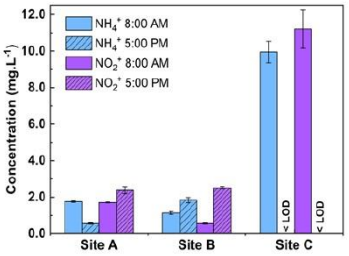
Kết quả phân tích sai số thấp
so với thiết bị phòng thí nghiệm

22

Hệ thống thiết bị so màu di động

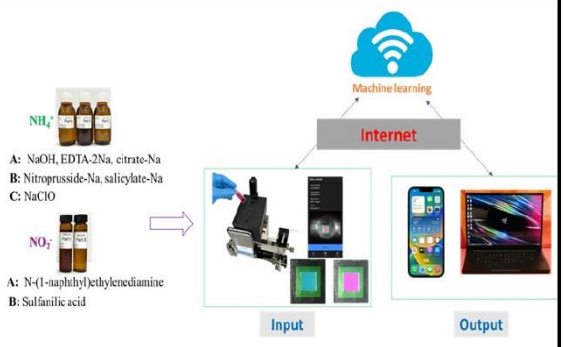
Phân tích mẫu nước thực tế

Kết quả phân tích sai số thấp so với thiết bị phòng thí nghiệm



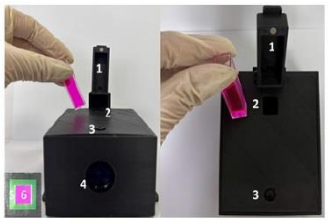
23

Hệ thống camera điện thoại thông minh



24

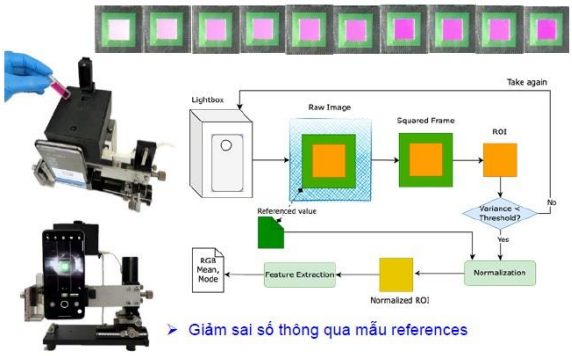
Hệ thống camera điện thoại thông minh



- Chi phí thấp
- Sử dụng các loại thiết bị khác nhau.
- Kết nối IoT và lưu trữ cloud
- Xử lý số liệu bằng thuật toán học máy
- Sử dụng được cho nhiều loại KIT so màu

25

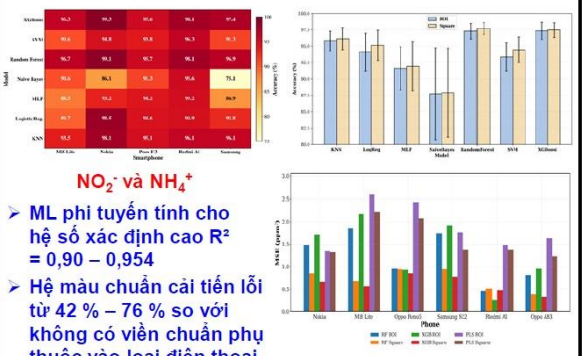
Hệ thống camera điện thoại thông minh



- Giảm sai số thông qua mẫu references

26

Xử lý hình ảnh bằng học máy



NO_2^- và NH_4^+

- ML phi tuyến tính cho hệ số xác định cao R^2 = 0,90 – 0,954
- Hệ màu chuẩn cải tiến lỗi từ 42 % – 76 % so với không có viền chuẩn phụ thuộc vào loại điện thoại

27

Hướng nghiên cứu trong tương lai



28

Kết luận

- Đã phát triển thành công hệ thống phân tích so màu di động kết hợp IoT và AI phục vụ giám sát môi trường nước.
- Hệ thống sử dụng bộ tách màu RGB và smartphone, cho phép phân tích nhanh, chi phí thấp và kết nối cloud trực tuyến.
- Kết quả phân tích NH_4^+ và NO_2^- cho độ chính xác cao, tương quan tốt với phương pháp UV–Vis truyền thống.
- Thuật toán học máy giúp nâng cao hiệu quả xử lý dữ liệu với hệ số xác định cao ($R^2 > 0,95$).
- Hệ thống có tiềm năng ứng dụng lớn trong nuôi trồng thủy sản, quan trắc môi trường và số hóa dữ liệu phân tích.

29

Lời cảm ơn

Đồng nghiệp

1. PGS.TS. Hoàng Thị Kim Dung
2. TS. Phan Minh Vương
3. TS. Phạm Minh Tiến
4. TS. Nguyễn Thanh Hoàng
5. ThS. Nguyễn Quốc Trung – FPT Univ

Học viên sau Đại học

1. NCS. Nguyễn Lê Kim Thúy
2. NCS. Lê Thị Cẩm Hướng
3. NCS. Phạm Thị Ngọc Hân
4. NCS. Trần Minh Trọng
5. HVCH. Diệu Nguyễn Trung Tiến

Sinh viên

Quỹ KHCN





30

NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP VẬT LIỆU NANOCOMPOSITE DỰA TRÊN NANO VÀNG, HẠT CẦU CARBON, GRAPHENE OXIDE ỨNG DỤNG ĐỂ ĐỊNH LƯỢNG ASCORBIC ACID VÀ ĐÁNH GIÁ HOẠT TÍNH KHÁNG KHUẨN

Phan Thanh Long, Nguyễn Hoàng Ngọc Hân,
Lê Thành Thọ, Trương Huỳnh Anh Vũ, Nguyễn Đức Tuấn.

Trung tâm Dịch vụ Phân tích Thí nghiệm và
Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng TPHCM.

Email: longhoaphantich@gmail.com

Tóm tắt

Nghiên cứu này báo cáo việc tổng hợp một vật liệu nanocomposite mới dựa trên các hạt nano vàng tích hợp lên hạt cầu carbon và graphene oxide (AuNPs@Cs-TA@GO) bằng phương pháp hỗ trợ vi sóng. Cấu trúc và đặc tính của vật liệu được xác nhận bằng nhiều kỹ thuật phân tích, bao gồm HR-TEM, XRD, FT-IR, TGA, FE-SEM, SAED, EDS, bản đồ phân bố nguyên tố và phép đo thế zeta.

Kết quả cho thấy các hạt nano vàng có kích thước 6 mm – 17 nm được phân bố trên bề mặt các quả cầu carbon nằm trên các tấm graphene oxide. Với giá trị thế zeta -64,7 mV, cho thấy vật liệu có độ ổn định keo tốt nhờ lực đẩy tĩnh điện và hiệu ứng bảo vệ của các quả cầu carbon và graphene oxide.

Vật liệu AuNPs@Cs-TA@GO thể hiện hoạt tính kháng khuẩn mạnh đối với Vibrio parahaemolyticus (ATCC 17802) và Staphylococcus aureus (ATCC 25923), với đường kính vòng ức chế lần lượt đạt (46,30 ± 0,19) mm và (48,70 ± 0,23) mm.

Ngoài ra, vật liệu còn cho thấy hoạt tính xúc tác peroxidase hiệu quả, cho phép ứng dụng trong định lượng acid ascorbic bằng phương pháp so màu dựa trên phản ứng oxy hóa 3,3,5,5-tetramethylbenzidine bởi hydrogen peroxide, đạt giới hạn phát hiện thấp (0,03 µM) và khoảng tuyến tính rộng (0,1-10) µM.

Quan trọng hơn, phương pháp đề xuất đã được áp dụng thành công để xác định hàm lượng acid ascorbic trong mẫu sữa bột với độ chính xác cao, cho kết quả tương đồng với phương pháp sắc ký lỏng hiệu năng cao. Những kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng của vật liệu nanocomposite AuNPs@Cs-TA@GO trong phân tích thực phẩm và kiểm soát vi sinh.

Keywords

Gold nanoparticles, Carbon spheres, Graphene oxide, Peroxidase-like activity, Ascorbic acid detection, Antibacterial activity.

1 MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, công nghệ nano đã phát triển nhanh chóng và được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như y sinh, môi trường và phân tích thực phẩm. Trong số các vật liệu nano kim loại, hạt nano vàng (AuNPs) thu hút nhiều sự quan tâm nhờ độ ổn định hóa học cao, khả năng xúc tác hiệu quả và hoạt tính kháng khuẩn đáng kể. Đặc biệt, AuNPs thể hiện hoạt tính tương tự enzyme peroxidase, cho phép ứng dụng trong các phương pháp phân tích so màu với độ nhạy cao. Tuy nhiên, AuNPs có xu hướng kết tụ trong quá trình tổng hợp và bảo quản, dẫn đến giảm diện tích bề mặt hoạt động và làm suy giảm hiệu quả xúc tác cũng như hoạt tính kháng khuẩn của vật liệu.

Để cải thiện độ ổn định và khả năng phân tán của các hạt nano kim loại, nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc cố định chúng trên các vật liệu nền có diện tích bề mặt lớn. Graphene oxide (GO) được xem là một nền vật liệu tiềm năng nhờ cấu trúc lớp đặc trưng cùng sự hiện diện của nhiều nhóm chức chứa oxy như hydroxyl, epoxy và carboxyl, giúp tăng cường sự liên kết và phân tán của các hạt nano kim loại. Bên cạnh đó, các vật liệu dựa trên hạt cầu carbon cũng được quan tâm nhờ diện tích bề mặt lớn, độ dẫn điện tốt và cấu trúc lỗ xốp có thể điều chỉnh [1]. Việc kết hợp cầu carbon, graphene oxide và các hạt nano kim loại được xem là một chiến lược hiệu quả để phát triển các vật liệu nanocomposite đa chức năng.

Ascorbic acid (AA), hay vitamin C, là một hợp chất thiết yếu đối với cơ thể con người và thường được bổ sung vào nhiều sản phẩm thực phẩm như sữa công thức và đồ uống chức năng [2]. Do vai trò quan trọng của AA đối với sức khỏe cũng như nguy cơ gây tác dụng phụ khi tiêu thụ quá mức, việc phát triển các phương pháp phân tích nhanh và chính xác để xác định hàm lượng hợp chất này trong thực phẩm là rất cần thiết. Trong những năm gần đây, các hệ xúc tác dựa trên AuNPs đã được sử dụng rộng rãi trong các phương pháp so màu dựa trên phản ứng oxy hóa 3,3,5,5-tetramethylbenzidine (TMB) bởi hydrogen peroxide, cho phép định lượng AA với độ nhạy cao [3].

Ngoài các ứng dụng phân tích, các vật liệu nano kim loại cũng cho thấy tiềm năng đáng kể trong lĩnh vực kháng khuẩn. *Vibrio parahaemolyticus* và *Staphylococcus aureus* là hai vi khuẩn gây bệnh phổ biến liên quan đến thực phẩm và nhiễm trùng ở người [4, 5]. Sự gia tăng của các chủng vi khuẩn kháng kháng sinh đã thúc đẩy việc phát triển các vật liệu kháng khuẩn mới dựa trên công nghệ nano.

Trong nghiên cứu này, nanocomposite AuNPs@Cs-TA@GO được tổng hợp bằng phương pháp hỗ trợ vi sóng, trong đó tannic acid đóng vai trò vừa là tiền chất carbon vừa là chất khử. Cấu trúc vật liệu với các hạt nano vàng phân bố trong ma trận các hạt cầu carbon và neo giữ trên nền graphene oxide giúp hạn chế sự kết tụ của hạt nano và tăng cường quá trình truyền electron. Nhờ đó, vật liệu thể hiện hoạt tính xúc tác peroxidase-like hiệu quả trong phản ứng so màu để xác định acid ascorbic, đồng thời cho thấy hoạt tính kháng khuẩn đáng kể đối với *Staphylococcus aureus* và *Vibrio parahaemolyticus*, tiềm năng ứng dụng trong phân tích thực phẩm và kiểm soát vi sinh.

2 THỰC NGHIỆM

2.1 Hóa chất và nguyên liệu

Tất cả các hóa chất sử dụng trong nghiên cứu này được cung cấp bởi Merck (Singapore) và Acros Organics (Bỉ). Các cầu carbon tích hợp hạt nano vàng được tổng hợp từ tetrachloroauric acid (III) trihydrate ($HAuCl_4 \cdot 3H_2O$, ≥ 99 %) và tannic acid ($C_{76}H_{52}O_{46}$, ≥ 95 %). Graphene oxide (GO) được tổng hợp từ bột graphite có kích thước hạt < 20 µm theo phương pháp Hummers cải tiến. Hydrogen peroxide (H_2O_2, 30 %) và 3,3,5,5-tetramethyl-benzidine (TMB, ≥ 98 %) được sử dụng trong hệ phản ứng so màu để phát hiện L-ascorbic acid ($C_6H_8O_6$, ≥ 99 %). Isopropyl alcohol (IPA, ≥ 99,5 %) và p-benzoquinone (p-BQ, ≥ 98 %) được sử dụng trong thí nghiệm bẫy chất dọn gốc (scavenger trapping experiment) nhằm xác định sự hiện diện của các tác nhân hoạt động.

Hai chủng vi khuẩn *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 và *Vibrio parahaemolyticus* ATCC 17802 được cung cấp bởi Microbiologics (Việt Nam) và được lưu giữ tại Phòng Hữu cơ Nông sản Thực phẩm – CASE-SMQ. Môi trường nuôi cấy nutrient broth và nutrient agar được mua từ Titan Biotech Ltd. (Ấn Độ). Mẫu sữa bột sử dụng cho thực nghiệm định lượng ascorbic acid được thu thập từ một cửa hàng phân phối sản phẩm sữa tại TP. Hồ Chí Minh.

2.2 Quy trình tổng hợp composite AuNPs@Cs-TA@GO

Quy trình tổng hợp vật liệu được thiết kế gồm các bước chính như sau. Trước hết, các hạt cầu carbon được tổng hợp từ tiền chất tannic acid (TA) bằng phương pháp vi sóng, sử dụng hệ thống MARS 6 (CEM, Hoa Kỳ). Hệ thống vi sóng MARS 6 có công suất tối đa 1800 W, tương ứng với mức công suất 100 %.

Tiếp theo, các hạt AuNPs được hình thành trực tiếp trên bề mặt Cs thông qua quá trình khử ion kim loại bởi lượng hợp chất hữu cơ dư và các nhóm chức trên Cs, cũng dưới tác động của vi sóng, tạo thành các hệ vật liệu AuNPs@Cs-TA. Các thông số ảnh hưởng đến quá trình tổng hợp, bao gồm công suất vi sóng, thời gian phản ứng, tỉ lệ khối lượng giữa ion kim loại và hợp chất hữu cơ đã được khảo sát nhằm xác định các điều kiện tổng hợp phù hợp. Cách tiếp cận này giúp hạn chế hiện tượng kết tụ của nano vàng và cải thiện độ ổn định, phân tán vật liệu.

Graphene oxide được tổng hợp từ graphite theo phương pháp Hummers cải tiến, sau đó được tích hợp vào hệ AuNPs@Cs-TA thông qua quá trình phối trộn với tỉ lệ được kiểm soát, hình thành hệ composite ba thành phần AuNPs@Cs-TA@GO. Trong cấu trúc composite thu được, GO đóng vai trò là nền mang hai chiều, góp phần phân tán đồng đều các hạt Cs mang AuNPs, đồng thời tăng cường hiệu ứng hiệp đồng trong các quá trình xúc tác và kháng khuẩn.

2.3 Phân tích đặc trưng vật liệu

Các vật liệu tổng hợp được đặc trưng về hình thái, cấu trúc và tính chất bề mặt bằng các kỹ thuật phân tích hiện đại như XRD, FT-IR, FE-TEM, HR-TEM, TGA, DLS, EDS. Các kết quả phân tích này cũng là cơ sở để làm rõ mối liên hệ giữa điều kiện tổng hợp và đặc trưng cấu trúc của các hệ nanocomposite.

2.4 Đánh giá hoạt tính xúc tác

Hoạt tính xúc tác của các vật liệu nanocomposite AuNPs@Cs-TA@GO được đánh giá thông qua khả năng xúc tác trong quá trình định lượng ascorbic acid. Phương pháp xác định được xây dựng dựa

trên hoạt tính xúc tác peroxidase-like của vật liệu, trong đó AuNPs xúc tác quá trình phân rã H_2O_2 tạo thành các gốc hydroxyl (•OH), tiếp tục oxy hóa cơ chất 3,3,5,5-tetramethylbenzidine (TMB) thành dạng oxy hóa (TMB_{ox}) có màu xanh đặc trưng, với cực đại hấp thụ tại bước sóng 658 nm.

Việc định lượng ascorbic acid, được phát triển dựa trên khả năng khử mạnh của hợp chất này thông qua hệ phản ứng TMB-H_2O_2-ascorbic acid với AuNPs@Cs-TA@GO làm chất xúc tác.

Theo đó, ascorbic acid khử TMB_{ox} trở lại dạng TMB không màu và bị oxy hóa thành dehydroascorbic acid, làm suy giảm cường độ hấp thụ tại 658 nm; mức độ suy giảm tín hiệu tỷ lệ thuận với nồng độ ascorbic acid, từ đó cho phép định lượng hợp chất này trong mẫu sữa bột.

Độ chính xác của phương pháp được kiểm chứng bằng phương pháp sắc ký lỏng hiệu năng cao.

2.5 Khảo sát hoạt tính kháng khuẩn

Hoạt tính kháng khuẩn của các vật liệu nanocomposite được đánh giá bằng phương pháp khuếch tán trên môi trường thạch đối với hai chủng vi khuẩn đại diện là *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) và *Vibrio parahaemolyticus* (ATCC 17802).

Vật liệu được khảo sát ở các nồng độ khác nhau và so sánh với các vật liệu thành phần cũng như mẫu đối chứng.

Hiệu quả kháng khuẩn được đánh giá thông qua đường kính vùng ức chế và khả năng duy trì hiệu lực theo thời gian, qua đó làm rõ vai trò hiệp đồng giữa AuNPs, Cs và GO trong hệ composite.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

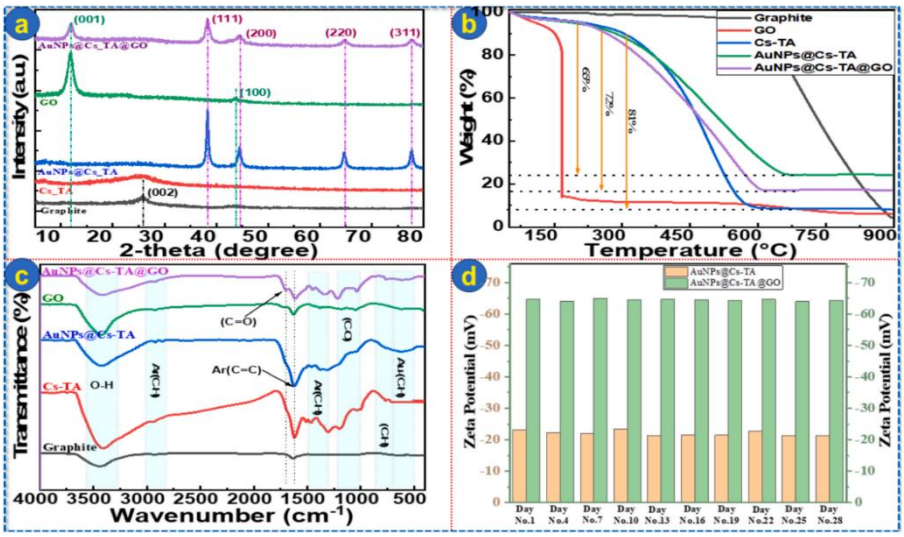
3.1 Đặc trưng hoá lý

Phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) xác nhận sự hiện diện của GO, AuNPs và các cầu carbon trong composite (hình 1a). Đỉnh tại 2θ = 10,64° tương ứng với mặt phẳng (002) của GO với khoảng cách lớp 8,33 Å do các nhóm chức chứa oxy. Các đỉnh nhiễu xạ tại 38,30°, 44,39°, 64,71° và 77,62° đặc trưng cho cấu trúc tinh thể của AuNPs theo dữ liệu JCPDS 87-0597. Giản đồ XRD của các cầu carbon không xuất hiện đỉnh tinh thể graphite, cho thấy cấu trúc vô định hình. Kích thước tinh thể AuNPs tính theo phương trình Scherrer nằm trong khoảng (6,6 - 9,9) nm.

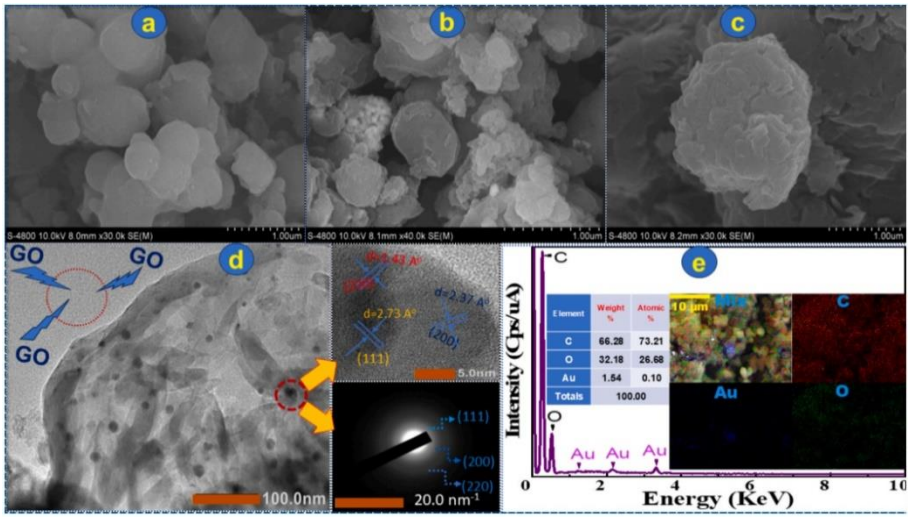
Phân tích TGA (hình 1b) cho thấy GO bắt đầu chuyển hóa thành carbon ở khoảng 150 °C, trong khi các cầu carbon chuyển hóa từ khoảng 300 °C và hoàn tất gần 600 °C. Hàm lượng AuNPs trong composite AuNPs@Cs-TA@GO ước tính khoảng 2 %, chứng tỏ GO đã được tích hợp thành công vào cấu trúc composite.

Phổ FT-IR (hình 1c) cho thấy các dải hấp thụ đặc trưng của nhóm O–H, C–H thơm, C=O, C=C và C–O, xác nhận sự hiện diện của tannic acid và GO trong composite. Ngoài ra, các dao động trong vùng (800 – 500) cm^{-1} cũng chỉ ra sự hiện diện của AuNPs.

Phân tích thế zeta (hình 1d) cho thấy nanocomposite có giá trị - 64,7 mV và hầu như không thay đổi sau 30 ngày, chứng tỏ độ ổn định keo cao. Độ ổn định này được duy trì nhờ các nhóm phenolic và carboxylic từ tannic acid và GO, cùng với cấu trúc hỗ trợ của các cầu carbon và mạng GO giúp hạn chế sự kết tụ của AuNPs.



Hình 1. Giản đồ XRD (A), phân tích TGA (B) và phổ FT-IR (C) của AuNPs@Cs-TA@GO và các vật liệu thành phần đã tổng hợp; thế zeta (D) của AuNPs@Cs-TA và AuNPs@Cs-TA@GO tại các thời điểm khác nhau.



Hình 2. Ảnh SEM của Cs-TA (a), AuNPs@Cs-TA (b) và AuNPs@Cs-TA@GO (c); ảnh TEM, HR-TEM và SAED (d), cùng phổ EDS (e) của AuNPs@Cs-TA@GO (bản đồ phân bố nguyên tố (hình chèn)).

Hình 2 thể hiện sự thay đổi hình thái của composite qua các giai đoạn tổng hợp. Ảnh SEM cho thấy các cầu carbon xốp từ tannic acid có đường kính trung bình khoảng 0,56 µm và vẫn duy trì cấu trúc cầu sau khi tải AuNPs và gắn lên các tấm GO. Bề mặt cầu carbon trở nên thô và xốp hơn sau khi tích hợp AuNPs và GO, tuy nhiên AuNPs khó quan sát bằng SEM do kích thước rất nhỏ.

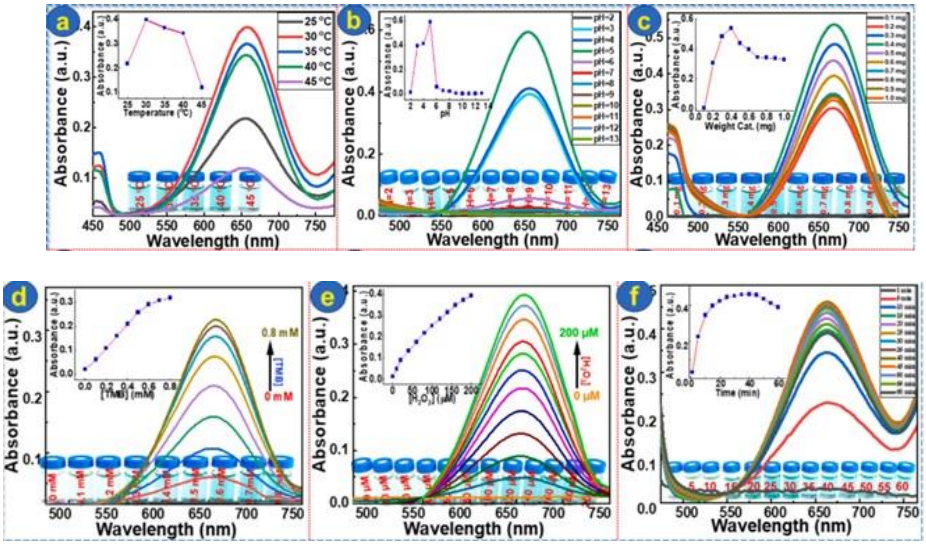
Ảnh HR-TEM cho thấy các AuNPs phân bố dày đặc trên bề mặt cầu carbon với kích thước khoảng (6 -17) nm. Các khoảng cách mạng tinh thể 0,27 nm; 0,23 nm và 0,14 nm tương ứng với các mặt tinh thể (111), (200) và (220) của AuNPs. Mẫu SAED xuất hiện các vòng nhiễu xạ rõ, xác nhận cấu trúc đa tinh thể, phù hợp với kết quả XRD.

Phân tích EDX cho thấy thành phần chính của composite gồm C (66,28 %), O

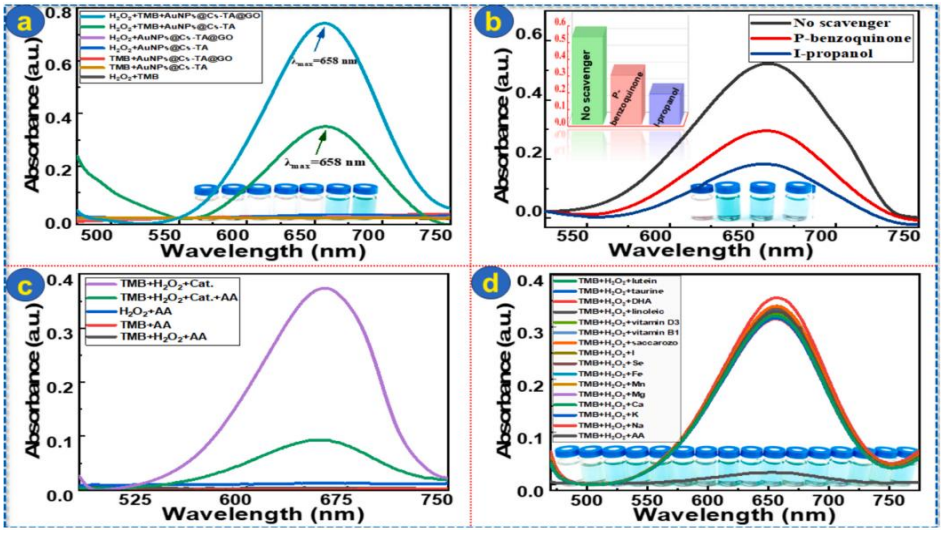
(32,18 %) và Au (1,54 %), không phát hiện tạp chất. Bản đồ nguyên tố cho thấy các nguyên tố phân bố đồng đều trên bề mặt vật liệu, chứng tỏ AuNPs được cố định hiệu quả trên các cầu carbon và nền GO.

3.2 Hoạt tính peroxidase-like của vật liệu AuNPs@Cs-TA@GO

Hoạt tính mô phỏng peroxidase của AuNPs@Cs-TA@GO được đánh giá bằng phương pháp so màu thông qua phản ứng oxy hóa TMB trong sự hiện diện của H_2O_2. Sự hình thành oxidized-TMB làm dung dịch chuyển từ không màu sang xanh lam, với đỉnh hấp thụ tại 658 nm. Hoạt tính xúc tác chịu ảnh hưởng bởi nhiệt độ, pH, lượng xúc tác, nồng độ TMB, H_2O_2 và thời gian phản ứng. Điều kiện tối ưu được xác định là 30 °C, pH 5, với 0,4 mg xúc tác, 0,6 mM TMB, 200 µM H_2O_2 và thời gian phản ứng 25 phút. Sau thời gian này, tín hiệu hấp thụ ổn định ít nhất 35 phút, cho thấy độ ổn định cao của hệ xúc tác (hình 3).

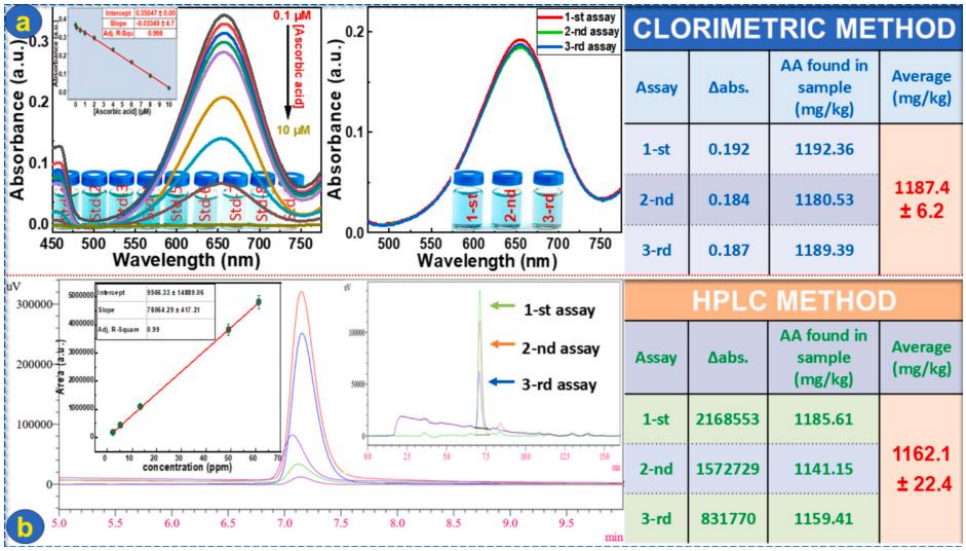


Hình 3. Phổ UV-Vis của phản ứng giữa TMB và H_2O_2 bị ảnh hưởng bởi các yếu tố khác nhau: ảnh hưởng của nhiệt độ (a), pH của dung dịch đệm (b), khối lượng chất xúc tác (c), nồng độ red-TMB (d), nồng độ H_2O_2 (e) và thời gian phản ứng (f).



Hình 4. Phổ UV-Vis của dung dịch TMB_{ox}: (a) với các thành phần phản ứng khác nhau; (b) với các chất bắt gốc tự do; (c) trong sự có mặt của ascorbic acid; (d) với các tác nhân gây nhiễu tiềm tàng khác nhau đối với hoạt peroxidase-like của AuNPs@Cs-TA@GO.

So sánh với AuNPs@Cs-TA, composite ba thành phần AuNPs@Cs-TA@GO cho cường độ hấp thụ tại 658 nm cao hơn, chứng tỏ hiệu suất xúc tác vượt trội. Vai trò của GO được cho là giúp cải thiện sự phân tán của các cầu carbon mang AuNPs và tăng cường hiệu ứng điện tử, từ đó nâng cao hoạt tính xúc tác. Thí nghiệm đối chứng (TMB + H_2O_2, không có xúc tác) không xuất hiện đỉnh hấp thụ, xác nhận phản ứng oxy hóa TMB chỉ xảy ra khi có chất xúc tác (Hình 4).



CLORIMETRIC METHOD

Assay	Δabs.	AA found in sample (mg/kg)	Average (mg/kg)
1-st	0.192	1192.36	1187.4 ± 6.2
2-nd	0.184	1180.53	
3-rd	0.187	1189.39	

HPLC METHOD

Assay	Δabs.	AA found in sample (mg/kg)	Average (mg/kg)
1-st	2168553	1185.61	1162.1 ± 22.4
2-nd	1572729	1141.15	
3-rd	831770	1159.41	

Hình 5. Kết quả phân tích xác định acid ascorbic (AA) trong sữa bột bằng phương pháp so màu sử dụng hệ AuNPs@Cs-TA@GO–TMB–H_2O_2 và bằng phương pháp HPLC.

Thí nghiệm bẫy gốc tự do cho phản ứng như •OH và $O_2^{\bullet-}$ được hình thành trong quá trình xúc tác. Trong đó, gốc hydroxyl (•OH) đóng vai trò chi phối, thể hiện qua việc hiệu suất tạo màu giảm khoảng 60 % khi có chất bắt gốc •OH, trong khi chất bắt gốc $O_2^{\bullet-}$ chỉ làm giảm khoảng 40 % (hình 4b).

3.3 Định lượng ascorbic acid trong mẫu sữa bột

Sự bổ sung ascorbic acid (AA) làm giảm màu xanh của dung dịch oxidized-TMB, dẫn đến sự suy giảm đáng kể cường độ hấp thụ tại 658 nm (Hình 4c). Để đánh giá tính chọn lọc, phép đo hấp thụ được thực hiện với sự có mặt của các chất gây nhiễu tiềm năng (hình 4d)..

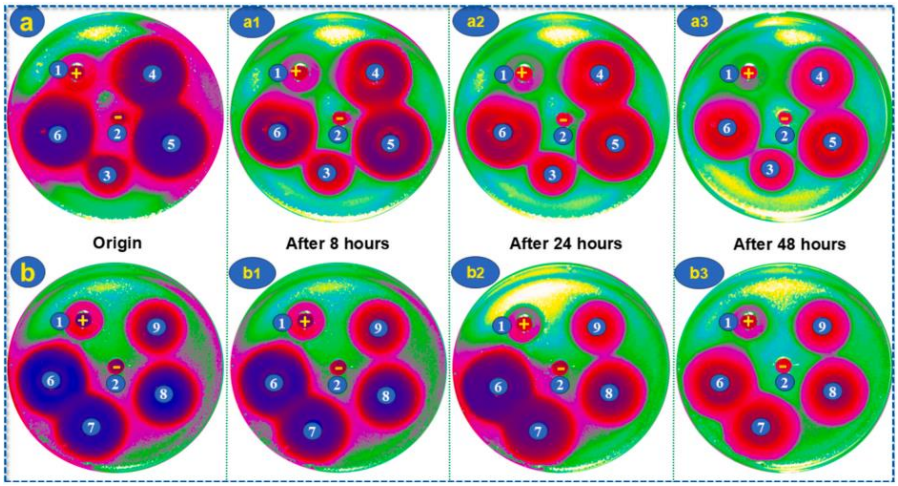
Đường chuẩn định lượng AA được thiết lập trong khoảng (0,1-10) μM dưới điều kiện phản ứng tối ưu (Hình 5), với phương trình hồi quy ΔAbs = - 0,03349 C_AA + 0,35047 (R^2 = 0,998). Giới hạn phát hiện (LOD) đạt 0,03 μM, cho thấy độ nhạy cao so với nhiều hệ xúc tác nano kim loại đã được báo cáo. Mặc dù một số cảm biến huỳnh quang có LOD thấp hơn, phương pháp này có ưu điểm về quy trình đơn giản và yêu cầu thiết bị tối thiểu.

Khả năng ứng dụng thực tế được xác nhận bằng cách phân tích AA trong mẫu sữa bột và so sánh với phương pháp HPLC. Kết quả so màu (1187,4 ± 6,2) mg/kg phù hợp tốt với kết quả HPLC (1162,1 ± 22,4) mg/kg, với RSD khoảng 1,52 %, chứng tỏ độ chính xác và tiềm năng ứng dụng của vật liệu AuNPs@Cs-TA@GO trong phân tích thực phẩm.

3.4 Đánh giá hoạt tính kháng khuẩn

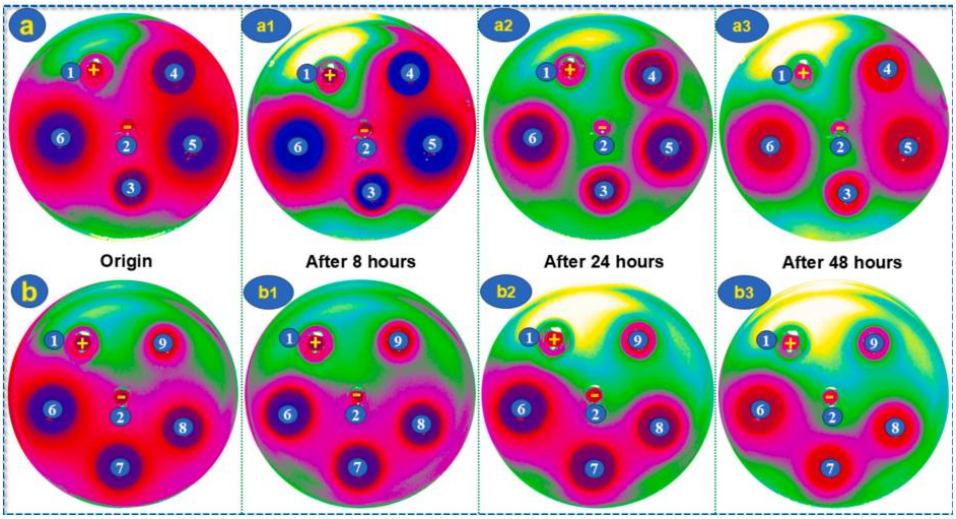
Hoạt tính kháng khuẩn của AuNPs@Cs-TA@GO và các thành phần của nó đối với *S. aureus* và *V. parahaemolyticus* được

đánh giá bằng phương pháp khuếch tán giếng thạch, với kết quả trình bày trong hình 6 và 7. Kết quả cho thấy tất cả các mẫu đều có khả năng ức chế sự phát triển của vi khuẩn, trong đó AuNPs@Cs-TA@GO (50 mg/kg) tạo vòng vô khuẩn lớn nhất, đạt (46,30 ± 0,19) mm đối với *V. para* và (48,70 ± 0,23) mm đối với *S. aureus*. Composite này vẫn thể hiện hoạt tính kháng khuẩn đáng kể ngay cả ở nồng độ thấp và có khả năng ức chế sự phát triển của vi khuẩn trong 48 giờ ở điều kiện môi trường.



Hình 6. Vùng ức chế đối với S. aureus: với mẫu đối chứng dương ClO_2 (1) và đối chứng âm (2), Cs-TA (3), Au^{3+} (4), AuNPs@Cs-TA 50 mg/kg (5), AuNPs@Cs-TA @GO 50 mg/kg ((6), 25 mg/kg ((7), 12,5 mg/kg ((8) và 6,25 mg/kg ((9).

So với nhiều vật liệu đã được báo cáo gần đây, AuNPs@Cs-TA@GO cho hiệu quả kháng khuẩn vượt trội. Cụ thể, đối với *S. aureus*, vật liệu này tạo vòng vô khuẩn lớn hơn so với các hệ như ScAu-NPs (17,87 mm) [6], AuNPs-CC (18 mm) [7], DioAuNPs (21 ± 0,6 mm) [8] và BC-AgNPs (9,50 ± 0,50 mm) [9].



Hình 7. Vùng ức chế đối với V. para: mẫu đối chứng dương ClO_2 (1) và đối chứng âm (2), Cs-TA (3), Au^{3+} (4), AuNPs@Cs-TA 50 ppm (5) và AuNPs@Cs-TA@GO 50 mg/kg ((6); 25 mg/kg ((7), 12,5 mg/kg ((8) và 6,25 mg/kg ((9).

Tương tự, đối với *V. para*, vòng vô khuẩn thu được cũng lớn hơn so với AuNPs thông thường (17,10 ± 0,17 mm) [10] và các AgNPs sinh học từ *Bacillus subtilis* (16,2 mm) [11] hoặc *Spirulina* (28 mm) [12]. Kết quả này cho thấy hiệu quả kháng khuẩn vượt trội của AuNPs@Cs-TA@GO, được cho là nhờ hiệu ứng hiệp đồng giữa AuNPs, các cầu carbon và graphene oxide.

4 KẾT LUẬN

Phương pháp hỗ trợ vi sóng đã được sử dụng để tổng hợp thành công vật liệu nano-composite gồm hạt nano vàng, các cầu carbon dựa trên hợp chất tannic acid và các tấm graphene oxide.

Vật liệu composite thể hiện hoạt tính mô phỏng peroxidase nổi bật, cho phép phát hiện acid ascorbic bằng phương pháp so màu với độ nhạy cao và giới hạn phát hiện thấp (0,03 µM).

Ngoài ra, composite còn thể hiện khả năng kháng khuẩn mạnh đối với *Staphylococcus aureus* và *Vibrio parahaemolyticus*, với vòng vô khuẩn lớn và hiệu quả kháng khuẩn kéo dài đến 48 giờ. Hiệu suất xúc tác và hoạt tính kháng khuẩn của vật liệu được tăng cường nhờ hiệu ứng hiệp đồng giữa hạt nano vàng, các cầu carbon và graphene oxide. Dựa trên những kết quả này, AuNPs@Cs-TA@GO được xem là vật liệu tiềm năng với nhiều ứng dụng trong các lĩnh vực như cảm biến sinh học, y sinh và công nghệ sinh học.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Y. Wang, Y. Zhou, Y. Chen, Z. Yin, J. Hao, H. Li, K. Liu, Simple and sensitive nitric oxide biosensor based on the electrocatalysis of horseradish peroxidase on AuNPs@ metal–organic framework composite-modified electrode, Microchim. Acta 189 (2022) 162, https://doi.org/10.1007/s00604-022-05268-8.

[2] T. Kostadinova, N. Politakos, A. Trajcheva, J. Blazevska-Gilev, R. Tomovska, Effect of graphene characteristics on morphology and performance of composite noble metal-reduced graphene oxide sers substrate, Molecules 26 (2021) 4775, https://doi.org/10.3390/molecules26164775.

[3] N. M´endez-Lozano, F. P´erez-Reynoso, C. Gonzalez-Guti ´ ´ errez, Eco-Friendly approach for graphene oxide synthesis by modified hummers method, Materials (Basel). 15 (2022) 7278, https://doi.org/10.3390/ma15207228.

[4] H. Wang, H. Wang, T. Li, J. Ma, K. Li, X. Zuo, Silver nanoparticles selectively deposited on graphene-colloidal carbon sphere composites and their application

for hydrogen peroxide sensing, Sens. Actuat., B Chem. 239 (2017) 1205–1212, https://doi.org/10.1016/j.snb. 2016.08.143.

[5] S.B. Sengel, H. Deveci, H. Bas, V. Butun, Carbon spheres as an efficient green catalysts for dehydrogenation of sodium borohydride in methanol, Catal. Commun. 177 (2023) 106650, https://doi.org/10.1016/j.catcom.2023.106650.

[6] D. Diksha, S.K. Gupta, P. Gupta, U.C. Banerjee, D. Kalita, Antibacterial potential of gold nanoparticles synthesized from leaf extract of *Syzygium cumini* against multidrug- resistant urinary tract pathogens, Cureus 15 (2023) e34830, https://doi.org/10.7759/cureus.34830.

[7] Y. Anwar, I. Ullah, M. Ul-Islam, K.M. Alghamdi, A. Khalil, T. Kamal, Adopting a green method for the synthesis of gold nanoparticles on cotton cloth for antimicrobial and environmental applications, Arab. J. Chem. 14 (2021) 103327, https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103327

[8] P.C. Huai, N.A. Harun, A.U.E. Pei, M.A.A. Masimen, W.I.W. Ismail, I. Idris, Biosynthesis of gold nanoparticles (AuNPs) by diopatra claparedii grube, (polychaeta: Onuphidae) and its antibacterial activity, Sains Malaysiana 50 (2021) (1878) 1309–1320, https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5005-11.

[9] S. Audtarat, P. Hongsachart, T. Dasri, S. Chio-Srichan, S. Soontaranon, W. Wongsinlatama, S. Sompech, Green synthesis of silver nanoparticles loaded into bacterial cellulose for antimicrobial application, Nanocomposites 8 (2022) 34–46, https://doi.org/10.1080/ 20550324.2022.2055375.

[10] M.S. Abu Hassan, N.A. Elias, M. Hassan, S. Rahmah, W.I. Wan Ismail, N.A. Harun, Polychaeta-mediated synthesis of gold nanoparticles: A potential antibacterial agent against Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND)–causing bacteria,
Vibrio parahaemolyticus, Heliyon 9 (2023) e21663, https://doi.org/10.1016/j. heliyon.2023.e21663.

[11] X. Yu, J. Li, D. Mu, H. Zhang, Q. Liu, G. Chen, Green synthesis and characterizations of silver nanoparticles with enhanced antibacterial properties by secondary metabolites of *Bacillus subtilis* (SDUM301120), Green Chem. Lett. Rev. 14 (2021) 189–202, https://doi.org/10.1080/17518253.2021.1894244.

[12] S. Palanisamy, R. Anjali, P. Rajasekar, E. Kannapiran, B. Vaseeharan, N.M. Prabhu, Synthesis and distribution of bioinspired silver nanoparticles using *Spirulina* extract for control of *Vibrio parahaemolyticus* infection in aquaculture, Asian J. Chem. 29 (2017) 857–863, https://doi.org/10.14233/ajchem.2017.20335.

PHÂN TÍCH KHOÁNG SẢN BẰNG QUANG PHỔ HUỲNH QUANG TIA X - XFR

Nguyễn Minh Châu,
Viện Thử nghiệm và Kiểm chuẩn Việt Nam

Email: nguyenminhchau@sisc.com.vn

Vinatac VIỆN THỬ NGHIỆM VÀ KIỂM CHUẨN VIỆT NAM
VIETNAM INSTITUTE FOR TESTING AND QUALITY CONTROL
ISO/IEC 17043:2010 VIPAS 006

PHÂN TÍCH KHOÁNG SẢN BẰNG QUANG PHỔ HUỲNH QUANG TIA X - XRF

Nguyễn Minh Châu, TS
Viện Thử nghiệm và Kiểm chuẩn Việt Nam

Hà Nội, tháng 4 năm 2026

1

Đặt vấn đề

Khoáng sản là nguồn tài nguyên quan trọng đối với phát triển kinh tế, đặc biệt trong các ngành:

- Khai thác và chế biến khoáng sản
- Luyện kim
- Vật liệu xây dựng
- Công nghiệp hóa chất



2

Đặt vấn đề

Việc **phân tích thành phần nguyên tố** của quặng và khoáng sản là bước quan trọng nhằm:

- xác định hàm lượng kim loại có giá trị
- đánh giá chất lượng quặng
- kiểm soát quá trình tuyển quặng và chế biến



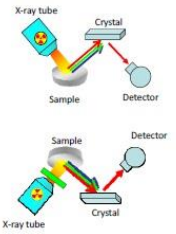
Trong các phương pháp phân tích thành phần nguyên tố trong quặng thì XRF là một phương pháp nổi trội.

3

Phổ huỳnh quang tia X - XRF

XRF (X-ray Fluorescence) là phương pháp phân tích nguyên tố dựa trên hiện tượng:

- chiếu tia X vào mẫu vật.
- nguyên tử của các nguyên tố có trong mẫu bị kích thích.
- nguyên tử phát ra bức xạ huỳnh quang đặc trưng cho từng nguyên tố.

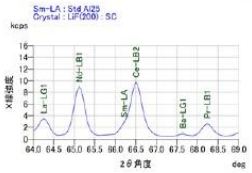


4

Phổ huỳnh quang tia X - XRF

Mỗi nguyên tố có bước sóng đặc trưng, từ đó xác định:

- sự có mặt của nguyên tố dựa vào vị trí peak
- hàm lượng của các nguyên tố dựa vào chiều cao/diện tích của peak.



5

Phổ huỳnh quang tia X - XRF

Ưu nhược điểm của phương pháp XRF

- thời gian phân tích nhanh (vài phút).
- độ chính xác và độ lặp lại cao.
- **phân tích đa nguyên tố đồng thời (từ Be đến U).**
- **chuẩn bị mẫu nhanh, đơn giản**
- **không phá hủy mẫu.**



6

Phổ huỳnh quang tia X - XRF

Các lưu ý khi phân tích bằng phương pháp XRF:

- Mẫu đồng nhất: quy trình lấy mẫu theo
  - **TCVN 10548-1:2014 ISO 4296-1:1984** Quặng mangan - Lấy mẫu. Phần 1: Lấy mẫu đơn;
  - **TCVN 8625:2010 ISO 3082:2009** Quặng sắt - Quy trình lấy mẫu và chuẩn bị mẫu.

7

Phổ huỳnh quang tia X - XRF

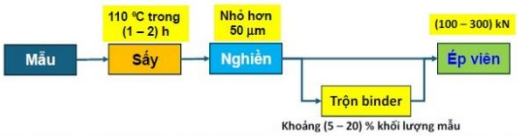
- Quy trình chuẩn bị mẫu nhất quán: sấy, nghiền, chuẩn bị mẫu (ép viên, nung chảy)
- Tránh nhiễm trong quá trình chuẩn bị mẫu với dụng cụ nghiền:

STT	Chất liệu dụng cụ nghiền	Các nguyên tố nhiễm
1	Tungsten carbide	W, Co, C
2	Special steel	Fe, Cr

8

Phổ huỳnh quang tia X - XRF

PHƯƠNG PHÁP ÉP VIÊN



Khoảng (5 – 20) % khối lượng mẫu

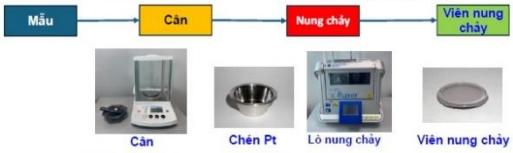
- Mẫu bột có thể rơi vào hệ quang, đặc biệt với máy có ống tia X nằm dưới mẫu.
- Khuyến cáo nghiền hỗn hợp mẫu cùng binder.
- Ép mẫu không sử dụng binder hoặc tỷ lệ thấp (2,5 %) khi cần phân tích các nguyên tố lượng vết.
- Sử dụng màng film để bọc mẫu.

9

Phổ huỳnh quang tia X - XRF

PHƯƠNG PHÁP NUNG CHẢY

- Tỷ lệ mẫu/flux = 1:1–1:20
- Flux: $Li_2B_4O_7$…
- Nhiệt độ: (1000-1250) °C
- Thời gian nung chảy: (3–10) min



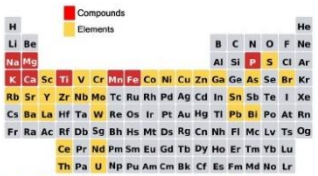
- Chuẩn bị mẫu theo phương pháp Fusion bead:
  Mẫu bị pha loãng → khó khăn cho phân tích lượng vết
- Tối ưu hóa tỷ lệ mẫu : flux = 1 : 2

10

Phổ huỳnh quang tia X - XRF

Mẫu chuẩn cho XRF: theo từng nền mẫu.





Bộ mẫu chuẩn cho mẫu khoáng và địa chất theo phương pháp ép viên.
Nền mẫu: Sand, limestone, clay, slags, cement, firebricks, magnesite, feldspar, dolomite, gypsum, various rocks

11

Phổ huỳnh quang tia X - XRF

GEO TRACE PAK khoảng nồng độ cho phân tích bằng XRF

Major components (reference)	
Com-ponent	Concen-tration range (mass%)
CaO	0,095 - 55,1
TiO_2	0,07 - 7,7
Fe_2O_3	0,02 - 55,6
Mn	0,007 - 1,75
K_2O	0,003 - 15,4
S	0,0003 - 7
P_2O_5	0,002 – 2,6
MgO	0,004 – 49,4
Na_2O	0,002 -10.7

Element	Concentration range (ppm)
Sc	3 - 78
V	3 - 768
Cr	3 - 24000
Co	3 - 324
Ni	2 - 3780
Cu	2 - 37300
Zn	2 - 27500
Ga	1 - 37
As	4 - 1540
Br	1 - 217
Rb	1 - 800
Sr	1 - 12000
Y	1 - 718

Element	Concentration range (ppm)
Zr	1 - 11000
Nb	1 - 3900
Mo	1 - 15100
Sn	1 - 1723
Ba	7 - 2400
La	5 - 1340
Ce	4 - 2230
Nd	4 - 670
W	3 - 3600
Pb	2 - 41700
Bi	2 - 680
Th	2 - 1103
U	2 - 650

12

Phân tích quặng sắt

Phân tích hàm lượng sắt trong quặng và thành phẩm bằng phương pháp ép viên.

- Mẫu được sấy khô ở 105 °C trong 2 h và nghiền, trộn với binder (2,5 %) sử dụng cối nghiền tungsten carbide.
- Mẫu được ép ở 250 kN.
- Khuyến khích không sử dụng binder.
- Tuy nhiên với hệ thống XRF có ống phóng bên dưới thì cần sử dụng binder.

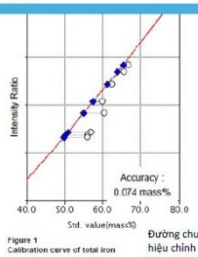


Figure 1
Calibration curve of total iron
open circle: uncorrected point
filled diamond: point with correction

Đường chuẩn chưa hiệu chỉnh (hình tròn) và đã hiệu chỉnh (hình trám)

13

Phân tích quặng sắt

Độ chính xác của đường chuẩn sau10 lần đo mẫu

Table 1 Accuracy of the calibrations

unit : mass%

Component / Element	Concentration range	Accuracy
Total Fe	56.06 – 66.63	0.074
SiO2	1.70 – 14.47	0.31
CaO	0.031 – 9.91	0.073
Mn	0.025 – 0.503	0.0033
Al2O3	0.38 – 3.69	0.14
TiO2	0.060 – 7.77	0.016
MgO	0.038 – 3.28	0.12
P	0.014 – 0.168	0.0062
S	0.002 – 0.845	0.0033
K2O	0.007 – 0.178	0.0016
V	0.003 – 0.48	0.0035

14

Phân tích quặng sắt

Table 2 10 time repeat measurement (iron sand)

unit : mass%,

Component / Element	Certified Value	XRF		
		Average	Std.dev.	RSD%
Total Fe	57.60	57.12	0.055	0.097
SiO2	3.73	4.01	0.017	0.43
CaO	1.33	1.32	0.005	0.37
Mn	0.583	0.587	0.003	0.57
Al2O3	3.69	3.63	0.009	0.24
TiO2	7.77	7.79	0.014	0.18
MgO	3.28	3.31	0.026	0.79
P	0.168	0.176	0.002	0.95
S	0.006	0.006	0.000	6.8
K2O	0.078	0.080	0.002	3.0
V	0.3	0.29	0.002	0.68

Giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, hệ số biến thiên sau 10 lần đo mẫu chuẩn có chứng nhận

15

Phân tích đá silicat

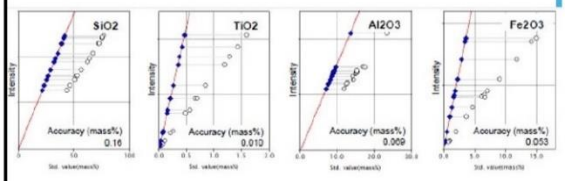
Phân tích đá silicat bằng phương pháp nung chảy.

Mẫu được sấy khô ở 105 °C trong 2 h và nung chảy với hỗn hợp flux ($4LiBO_2/1LiB_4O_7$) với tỷ lệ mẫu/flux là 1/2.

- Với tỷ lệ pha loãng thấp như vậy thì hoàn toàn có thể phân tích các nguyên tố đa lượng cũng như lượng vết với độ chính xác cao.
- Đường hiệu chuẩn khi chưa hiệu chỉnh (hình tròn) và sau khi đã hiệu chỉnh (hình trám) của một số chất và độ chính xác như sau:

16

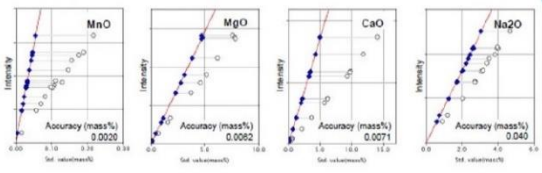
Phân tích đá silicat



Đường chuẩn
- Chưa hiệu chỉnh (hình tròn)
- Đã hiệu chỉnh (hình trám)

17

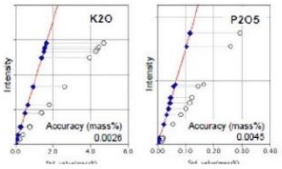
Phân tích đá silicat



Đường chuẩn
- Chưa hiệu chỉnh (hình tròn)
- Đã hiệu chỉnh (hình trám)

18

Phân tích đá silicat



Đường chuẩn
- Chưa hiệu chỉnh (hình tròn)
- Đã hiệu chỉnh (hình trám)

19

Phân tích đá silicat

ppm

Nguyên tố	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Nl
LLD	4,5	1,9	0,2	0,5	0,2	0,2	1,9	0,5	4,2	0,2
Chính xác	12,9	2,5	1,3	2,5	5,9	0,6	2,4	1,1	2,5	3,3

Pb	Rb	Sc	Sm	Sr	Th	V	Y	Yb	Zn	Zr
0,1	0,1	0,5	2,5	0,1	0,2	0,8	0,1	1,3	0,1	0,1
0,5	3,5	3,7	1,3	4,6	1,3	3,9	0,6	0,7	1,7	6,0

Giới hạn phát hiện và độ chính xác của đường chuẩn cho các nguyên tố vết.
Kết quả và độ lệch chuẩn của 20 lần đo mẫu.

20

Phân tích đá silicat

Table 2 Result of precision test

unit : ppm

Component / Element	Certified value	Average of 20 measurement	Std. dev.	RSD%
SiO2 (mass%)	67.29	67.05	0.037	0.054
TiO2 (mass%)	0.46	0.46	0.002	0.34
Al2O3 (mass%)	15.48	15.50	0.012	0.074
T.Fe2O3 (mass%)	3.69	3.71	0.004	0.096
MnO (mass%)	0.071	0.071	0.0004	0.62
MgO (mass%)	1.79	1.80	0.007	0.40
CaO (mass%)	3.69	3.67	0.004	0.10
Na2O (mass%)	3.96	4.02	0.018	0.44
K2O (mass%)	2.64	2.61	0.002	0.066
P2O5 (mass%)	0.122	0.128	0.0008	0.63

Kết quả kiểm tra độ chụm, sau 20 lần với mẫu chuẩn được chứng nhận, cho trung bình, độ lệch chuẩn và hệ số biến thiên

21

Phân tích đá silicat

ppm

Component / Element	Certified value	Average of 20 measurement	Std. dev.	RSD%
Ba	469	469	6.2	1.3
Ce	40.3	38	1.7	4.5
Co	11.7	11	0.38	3.4
Cr	22.4	23	0.80	3.5
Cu	6.81	6	0.34	6.1
Ga	17.1	16	0.37	2.3
La	20.6	21	1.5	7.2
Nb	5.66	6	0.23	2.9
Nd	17.2	16	0.82	5.3
Ni	14.3	15	0.32	2.1
Pb	11.7	11	0.45	4.0
Rb	67.3	71	0.28	0.40
Sc	8.76	9	0.89	10
Sm	3.39	3	0.56	19
Sr	379	367	0.45	0.12
Th	8.28	9	0.30	3.5
V	70.1	68	1.4	2.8
Y	17.3	18	0.20	1.1
Yb	1.77	2	0.28	16
Zn	46.5	46	0.34	0.74
Zr	144	152	0.29	0.19

Kết quả kiểm tra độ chụm, sau 20 lần với mẫu chuẩn được chứng nhận, cho trung bình, độ lệch chuẩn và hệ số biến thiên

22

Phân tích đất hiếm

Ứng dụng phân tích mẫu đất hiếm

- Mẫu chuẩn đất hiếm OREAS460-465 REE được sử dụng để lập đường chuẩn
- Các nguyên tố chính SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3 và lượng nhỏ nguyên tố đất hiếm Ce, La, Nd, Pr, Sm, Tb, Dy, Eu, Gd đều thu được độ chính xác cao sử dụng phương pháp định lượng.



Lanthanum Praseodymium

23

Phân tích đất hiếm

- 30 nguyên tố được đo theo ứng dụng này



24

Phân tích đất hiếm

- 30 chất được đo theo ứng dụng này

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Al_2O_3	CaO	K_2O	Fe_2O_3	MgO	Na	P_2O_5	SiO_2	TiO_2	MnO
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CeO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	BaO	Cr_2O_3	Dy_2O_3	Er_2O_3	Eu_2O_3	Gd_2O_3	Nb_2O_5
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
PbO	Pr_6O_{11}	S	Sm_2O_3	SrO	Tb_4O_7	ThO_2	V_2O_5	Y_2O_3	ZrO_2

25

Phân tích đất hiếm

No.	Component	Unit	Type	ElLine
1	Al2O3	mass%	Empirical	Al-KA
2	CaO	mass%	Empirical	Ca-KA
3	K2O	mass%	Empirical	K -KA
4	Fe2O3	mass%	Empirical	Fe-KA
5	MgO	mass%	Empirical	Mg-KA
6	Na	mass%	Empirical	Na-KA
7	P2O5	mass%	Empirical	P -KA
8	SiO2	mass%	Empirical	Si-KA
9	TiO2	mass%	Empirical	Ti-KA
10	MnO	mass%	Empirical	Mn-KA
11	CeO2	mass%	Empirical	Ce-LA
12	La2O3	mass%	Empirical	La-LA
13	Nd2O3	mass%	Empirical	Nd-LA
14	BaO	mass%	Empirical	Ba-LA
15	Cr2O3	mass%	Empirical	Cr-KA
16	Dy2O3	mass%	Empirical	Dy-LB1
17	Er2O3	mass%	Empirical	Er-LB1
18	Eu2O3	mass%	Empirical	Eu-LA

- Đa số các chất sử dụng tín hiệu Ka lines hoặc La.
- Một vài chất sử dụng Lb line thu được kết quả tốt hơn

26

Phân tích đất hiếm

Số liệu thống kê kết quả phân tích 10 lần

Độ lặp lại tốt khi sử dụng phương pháp đường chuẩn.

Unit : mass% Mẫu : OREAS464

	Al_2O_3	CaO	K_2O	Fe_2O_3	MgO	Na	P_2O_5	SiO_2	TiO_2	MnO
STD	8.75	1.25	0.104	53.24	1.40	0.149	3.23	20.36	3.26	0.365
AVE	8.86	1.26	0.109	53.70	1.42	0.154	2.93	20.70	3.21	0.367
STD DEV	0.01	0.002	0.0005	0.1	0.01	0.002	0.003	0.02	0.01	0.001
RSD%	0.12	0.18	0.43	0.14	0.37	1.04	0.10	0.10	0.43	0.18

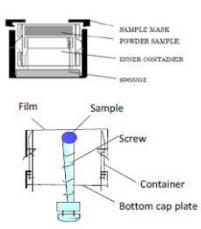
	CeO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	BaO	Cr_2O_3	Dy_2O_3	Er_2O_3	Eu_2O_3	Gd_2O_3	Nb_2O_5
STD	1.38	1.37	1.16	0.185	0.0577	0.0204	0.0044	0.0375	0.0779	0.272
AVE	1.77	1.31	1.16	0.183	0.0576	0.0201	0.0046	0.0366	0.0751	0.267
STD DEV	0.01	0.005	0.004	0.002	0.0003	0.0012	0.0002	0.0010	0.0019	0.0003
RSD%	0.46	0.37	0.31	1.24	0.59	6.02	5.00	2.60	2.56	0.11

	PbO	Pr_6O_{11}	S	Sm_2O_3	SrO	Tb_4O_7	ThO_2	V_2O_5	Y_2O_3	ZrO_2
STD	0.0187	0.314	0.0983	0.174	0.2437	0.0063	0.0600	0.0412	0.0570	0.0624
AVE	0.0181	0.312	0.0962	0.180	0.2440	0.0041	0.0594	0.0410	0.0567	0.0621
STD DEV	0.0002	0.002	0.0006	0.002	0.0005	0.0001	0.0002	0.0005	0.0002	0.0002
RSD%	0.94	0.67	0.64	1.33	0.18	3.17	0.35	1.12	0.34	0.34

27

Các kỹ thuật chuẩn bị mẫu khác

Chuẩn bị mẫu bột với lượng mẫu ít





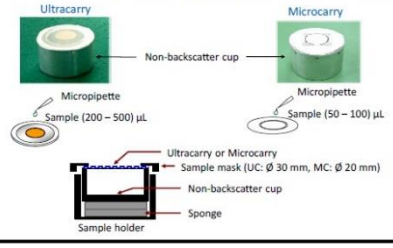




28

Các kỹ thuật chuẩn bị mẫu khác

Đo mẫu lỏng hoặc chuẩn bị mẫu chuẩn từ dung dịch chuẩn các nguyên tố bằng cách sấy khô trong chân không để bay hơi rồi đưa vào máy XRF



29



30

NHỰA PHÂN HỦY SINH HỌC: CHÍNH SÁCH NHÃN SINH THÁI VIỆT NAM VÀ NĂNG LỰC THỬ NGHIỆM TẠI TRUNG TÂM KỸ THUẬT 3

Tiêu Trọng Minh Luân,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
luan.ttm@quatest3.com.vn

Tóm tắt

Sự gia tăng nhanh chóng của rác thải nhựa tại Việt Nam đã đạt 3,8 triệu tấn vào năm 2023, đang đặt ra áp lực lớn đối với hệ thống quản lý chất thải, đòi hỏi những định hướng chính sách và giải pháp quản lí thay thế hiệu quả, thân thiện môi trường và phù hợp định hướng phát triển bền vững của đất nước. Bài viết này sử dụng phương pháp tổng quan nhằm hệ thống hóa các tiêu chuẩn, quy định và chính sách về nhựa phân hủy sinh học trong bối cảnh quốc tế và Việt Nam, với trọng tâm là tiêu chí liên quan đến "Nhãn sinh thái Việt Nam" theo Quyết định 3257/QĐ-BTNMT. Bên cạnh đó, bài viết làm rõ quy trình thử nghiệm phân hủy sinh học theo bộ tiêu chuẩn TCVN 9493 (ISO 14855) tại phòng thử nghiệm Quatest 3.

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Năm 2023, Việt Nam phát sinh khoảng 3,8 triệu tấn rác thải nhựa (tương đương 38,7 kg/người/năm); trong đó lượng rác thải nhựa bị quản lý không hiệu quả ước tính hơn 2,0 triệu tấn/năm. Cùng với sự gia tăng của tiêu dùng nội địa, sản lượng ngành nhựa cũng tăng mạnh, khoảng 10,3 triệu tấn nhựa năm 2023 và dự báo mức tăng hàng năm dao động khoảng 15 % -18 %. [1]

Để kiểm soát rác thải nhựa, Việt Nam đã ban hành một khung chính sách tương đối toàn diện, kết hợp nhiều nhóm công cụ. Trụ cột định hướng quan trọng là "Kế hoạch hành động quốc gia quản lý rác thải nhựa đại dương đến năm 2030" (phê duyệt 04/12/2019), đặt mục tiêu giảm rác thải nhựa biển 50 % vào năm 2025 và 75 % vào năm 2030, đồng thời hướng tới loại bỏ nhựa dùng một lần và túi nhựa khó phân hủy tại các khu du lịch ven biển từ 2025. [1]

Quyết định 3257/QĐ-BTNMT của Bộ Tài nguyên Môi trường (nay là Bộ Nông nghiệp và Tài nguyên) ban hành bộ tiêu chí "Nhãn sinh thái Việt Nam NSTVN 01:2023", là cột mốc quan trọng vì lần đầu có quy định tiêu chí cụ thể cho "bao bì nhựa thân thiện với môi trường" gồm:

(i) bao bì nhựa phân hủy sinh học; và

(ii) bao bì nhựa tái chế (PE/PP) dạng túi hoặc màng.

Nhãn sinh thái Việt Nam NSTVN 01:2023 bao gồm các yếu tố kỹ thuật và quản lý nhằm hiện thực triết lý tuân thủ pháp luật, giảm tác động môi trường, thúc đẩy vật liệu tuần hoàn,

nâng cao năng lực cạnh tranh sản phẩm, trên cơ sở phù hợp với điều kiện thực tiễn của Việt Nam.

2 PHƯƠNG PHÁP VÀ PHẠM VI

Bài viết tham khảo vào các nội dung của văn bản chính sách Việt Nam (Luật Bảo vệ môi trường 2020; NĐ 08/2022; QĐ 3257/QĐ BTNMT) và các nghiên cứu thực nghiệm về composting[1] và phân hủy hiếu khí cho các polymer như PLA, PBAT, PHA/PHB và các phối trộn liên quan.

Đồng thời trình bày quy trình và kết quả khảo sát phép thử phân huỷ sinh học tại Quatest 3 để đáp ứng tiêu chí Nhãn sinh thái NSTVN 01:2023.

3 TIÊU CHUẨN VÀ CHÍNH SÁCH CỦA THẾ GIỚI VÀ VIỆT NAM

3.1 Tiêu chuẩn quốc tế

Hiện nay các phương pháp thử đánh giá khả năng phân hủy sinh học của vật liệu nhựa rất đa dạng**.** Các tiêu chuẩn thử nghiệm dựa trên đặc điểm của phân loại rác, công nghệ xử lý rác và vị trí địa lý môi trường tiếp nhận rác, nên có sự đa dạng của tiêu chuẩn và môi trường thử nghiệm.

Môi trường	Yêu cầu kỹ thuật	Nhãn chứng nhận phổ biến	Phương pháp thử	Thông số thử chính
Compost công nghiệp (bao bì)	EN 13432	Seedling (EU) OK compost INDUSTRIAL (TÜV Austria).	Phân hủy sinh học: EN 14046/ ISO 14855 (đo CO_2); Phân rã: EN 14045 và/hoặc ISO 16929/ ISO 20200; Độc tố sinh học: thử trên các loại thực vật (ví dụ OECD 208)	Khả năng phân hủy sinh học ≥ 90 % trong ≤ 6 tháng; Phân rã sau 12 tuần phần còn lại > 2 mm phải ≤ 10 % khối lượng khô; Thử độc tố sinh học (tỉ lệ nảy mầm) ≥ 90 % so với compost trắng.
Compost công nghiệp (nhựa/sản phẩm nhựa)	ISO 17088	Seedling	Thử phân hủy sinh học ISO 14855/ EN 14046; Thử phân rã ISO 16929/ ISO 20200; Độc tính sinh thái (thử trên thực vật).	Chứng minh khoáng hóa (CO_2), phân rã vật lý trong compost, và an toàn compost (thành phần/kim loại + độc tính sinh thái)

[1] Composting: Quá trình hiếu khí tạo thành compost.
Compost: Đất hữu cơ thu được bởi quá trình phân hủy sinh học một hỗn hợp gồm chủ yếu rác thực vật, đôi khi có vật liệu hữu cơ khác và hàm lượng khoáng giới hạn [TCVN 9493-2:2012 / ISO 4855-2:2005].

Môi trường	Yêu cầu kỹ thuật	Nhãn chứng nhận phổ biến	Phương pháp thử	Thông số thử chính
Compost công nghiệp /đô thị (labeling – Bắc Mỹ)	ASTM D6400	BPI Certified Compostable. Seedling	Thử phân hủy sinh học hiếu khí nhiệt cao: ASTM D5338 và/hoặc ISO 14855 (CO_2). Phân rã và độc tính sinh thái theo bộ thử trong quy trình riêng.	Khả năng phân hủy sinh học ≥ 90 % hoặc ≥ 90 % so với chất tham chiếu trong ≤ 6 tháng; Thử phân rã ≤ 10 % còn lại có kích thước >2 mm sau 12 tuần; Thử độc tính sinh học ≥ 90 % so với compost trắng, và các ràng buộc bổ sung.

Bảng 1. Các thông số cơ bản về tiêu chuẩn, thử nghiệm, nhãn và yêu cầu kỹ thuật.

3.2 Chính sách Việt Nam về nhựa

Chính sách của Việt Nam về quản lý và giảm thiểu rác thải nhựa được quy định rất chi tiết và nghiêm ngặt thông qua Luật Bảo vệ môi trường và các Nghị định hướng dẫn (Nghị định 08/2022/NĐ-CP và Nghị định 05/2025/NĐ-CP). Tổng thể chính sách này tập trung vào 5 trụ cột chính: lộ trình cấm/hạn chế, trách nhiệm tái chế (EPR), đóng góp tài chính để xử lý rác thải, quản lý rác thải đại dương và kiểm soát phế liệu nhập khẩu.[3] [4] [5] [6]

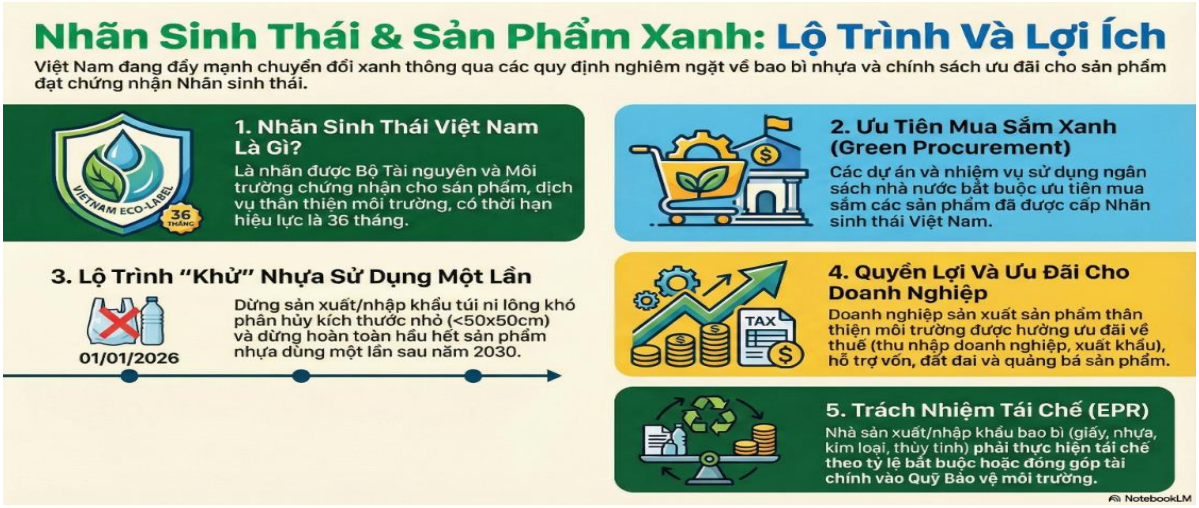
3.2.1 Quy định



Hình 1. Minh hoạ chính sách về môi trường tại Việt Nam

3.2.2 Nhãn sinh thái Việt Nam

Chính sách về "Nhãn sinh thái" và các loại "bao bì, sản phẩm thân thiện với môi trường" được quy định rõ trong Luật Bảo vệ môi trường và Nghị định 08/2022/NĐ-CP.



Hình 2. Minh hoạt về chính sách nhãn sinh thái tại Việt Nam

3.3 Quyết định 3257/QĐ BTNMT (07/11/2023)

Ban hành tiêu chí Nhãn sinh thái Việt Nam đối với Bao bì nhựa thân thiện với môi trường**.**

3.3.1 Nhãn sinh thái Việt Nam (NSTVN-01:2023) cho bao bì nhựa:

Hình 3. Nhãn sinh thái của Việt Nam [7]

3.3.2 Phạm vi sản phẩm

Bao bì nhựa thân thiện môi trường bao gồm hai loại chính là bao bì nhựa phân hủy sinh học và bao bì nhựa tái chế.

Bao bì nhựa phân hủy sinh học có khả năng phân hủy sinh học hiếu khí hoặc yếm khí (trong môi trường tự nhiên, compost hoặc bãi chôn lấp) thành khí CO_2, nước, các hợp chất vô cơ và sinh khối. Bao bì nhựa tái chế được sản xuất từ nhựa tổng hợp tái chế với một tỷ lệ nhất định và có khả năng thu hồi, tái chế.

3.3.3 Yêu cầu về tiêu chuẩn chất lượng

(a) ***Bao bì phân hủy sinh học***: Tỷ lệ phân hủy sinh học tối thiểu đạt 90 % trong thời gian 2 năm trong môi trường tự nhiên, compost[2] hoặc bãi chôn lấp.

(b) ***Bao bì tái chế***: Phải có tối thiểu 20 % nguyên liệu từ nhựa tái chế; độ dày từ 50 µm trở lên; kích thước mỗi chiều tối thiểu từ 50 cm trở lên.

(c) ***Giới hạn hàm lượng chất ô nhiễm tối đa***

Chất ô nhiễm	Giới hạn tối đa, mg/kg	Chất ô nhiễm	Giới hạn tối đa, mg/kg	Chất ô nhiễm	Giới hạn tối đa, mg/kg
Asen (As)	5	Cadimi (Cd)	0,5	Chì (Pb)	50
Đồng (Cu)	50	Kẽm (Zn)	150	Thủy ngân (Hg)	0,5
Niken (Ni)	25	Crom (Cr)	50	Molyden (Mo)	1
Selen (Se)	0,75	-	-	Chất khác Flo (F)	100

Bảng 2. Yêu cầu kỹ thuật về hàm lượng chất ô nhiễm theo nhãn sinh thái.

(d) ***Yêu cầu về thử nghiệm:*** Yêu cầu thử theo tiêu chuẩn Việt Nam hay tiêu chuẩn nước ngoài như TCVN 11318, TCVN 11319, TCVN 9493; ISO 14851, ISO 14852, ISO 14855, ISO 17088, ASTM 6400, EN 13432, AS 4736.

PTN phải được công nhận theo chuẩn mực TCVN ISO/IEC 17025.

3.3.4 Tiêu chí về hệ thống cuối vòng đời

Kế hoạch cụ thể về thu hồi và tái chế bao bì đã qua sử dụng phải được thông tin minh bạch về địa chỉ cơ sở tái chế; mô tả rõ quy trình thu hồi – tái chế – thải bỏ và công nghệ tái chế được áp dụng; và các giải pháp bảo vệ môi trường trong quá trình thu hồi, xử lý tuân thủ pháp luật.



Hình 4. Minh hoạt về tiêu chí nhãn sinh thái của Việt Nam.

[2] Compost là đất hữu cơ thu được bởi quá trình phân hủy sinh học một hỗn hợp gồm chủ yếu rác thực vật, đôi khi có vật liệu hữu cơ khác và hàm lượng khoáng giới hạn. Đối với tiêu chí Nhãn sinh thái, do đặc thù của Việt Nam nên phần thử nghiệm an toàn của compost, độc tính sinh thái sau phân huỷ chưa được qui định.

4 CÁC LOẠI NHỰA PHÂN HỦY SINH HỌC PHỔ BIẾN VÀ ĐẶC TRƯNG

Các loại nhựa phân hủy sinh học phổ biến được chia thành hai nhóm chính [8]:

(a) ***Nhựa vừa có nguồn gốc sinh học vừa có khả năng phân hủy sinh học***: Phổ biến bao gồm PLA, PHA, PBS, cũng như các vật liệu có nguồn gốc từ cellulose hoặc tinh bột. Những vật liệu mới này mang lại các giải pháp với các chức năng hoàn toàn mới, chẳng hạn như khả năng ủ phân thành phân bón;

(b) ***Nhựa có nguồn gốc từ hóa thạch nhưng có khả năng phân hủy sinh học***: Đại diện tiêu biểu cho nhóm này là PBAT.

5 CƠ CHẾ PHÂN HỦY SINH HỌC CỦA NHỰA PHÂN HỦY SINH HỌC

5.1 Cơ chế phân hủy sinh học vật liệu

Quá trình phân hủy sinh học của polymer diễn ra qua chuỗi 4 bước: Phân cắt mạch (fragmentation/depolymerization) → Tạo oligomer/monomer → Vi sinh vật đồng hóa → Khoáng hóa (CO_2, H_2O, sinh khối). Tuy nhiên, mỗi loại nhựa lại có bước "khống chế tốc độ" khác nhau. [9]

5.2 So sánh khả năng phân hủy theo môi trường

Bảng dưới đây thống kê khả năng phân hủy (định tính và thời gian ước tính) của các loại nhựa trong các môi trường phổ biến: [10] [11]

Polymer/ Blend	Compost công nghiệp (> 58 °C)	Home Compost (< 30 °C)	Môi trường đất (soil)	Nước ngọt/ biển
PLA	Rất cao (1 – 6) tháng	Thấp (Rất chậm) > 2 năm	Trung bình – Thấp	Rất thấp (Do nhiệt độ thấp)
PBAT	Rất cao (2 – 4) tháng	Trung bình (6 – 12) tháng	Trung bình – Cao	Thấp - Trung bình
Tinh bột TPS	Cực nhanh	Rất cao	Rất cao	Trung bình - Cao
PLA/PBAT	Cao	Trung bình	Trung bình	Thấp

Bảng 3. So sánh khả năng phân hủy các loại nhựa.

5.3 Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng phân hủy sinh học

Tốc độ phân hủy không cố định mà phụ thuộc vào cấu trúc hóa lý của vật liệu và điều kiện ngoại cảnh [10] [11]:

Bảng 4. Tốc độ phân hủy

Nhóm yếu tố	Yếu tố cụ thể	Tác động đến khả năng phân hủy
Cấu trúc hóa học	Tỷ lệ Aliphatic/Aromatic	Trong PBAT, hàm lượng vòng thơm (Aromatic) càng cao, nhựa càng bền và khó phân hủy hơn.
	Tỷ lệ D-isomer (trong PLA)	Tỷ lệ D-lactide cao làm nhựa vô định hình hơn, giúp nước thấm nhanh → tăng tốc phân hủy.
Hình thái cấu trúc	Độ kết tinh	Vùng tinh thể sắp xếp chặt chẽ cản trở nước và enzyme. Nhựa vô định hình phân hủy nhanh hơn nhựa kết tinh.
	Độ dày sản phẩm	Sản phẩm càng dày (dạng đúc), tốc độ khoáng hóa càng chậm do hạn chế khuếch tán.

Nhóm yếu tố	Yếu tố cụ thể	Tác động đến khả năng phân hủy
	Diện tích bề mặt	Màng mỏng hoặc bề mặt nhám/xốp làm tăng diện tích tiếp xúc cho vi sinh vật → phân hủy nhanh.
Đặc tính vật lý	Khối lượng phân tử (M_w)	M_w càng cao, thời gian cần thiết cho bước "phân cắt mạch" ban đầu càng dài.
	Tính ưa nước/kỵ nước	Nhựa càng ưa nước (như TPS) càng dễ bị thủy phân và vi sinh vật tấn công.
Môi trường	Nhiệt độ & Độ ẩm	Đây là hai điều kiện tiên quyết. PLA gần như không phân hủy nếu nhiệt độ dưới Tg (58 ^oC).
	Quần thể vi sinh vật	Sự hiện diện của các chủng nấm và vi khuẩn đặc hiệu (như cutinase - producing microbes) quyết định tốc độ tiêu thụ PBAT.

6 THỬ NGHIỆM PHÂN HUỶ SINH HỌC CỦA MÀNG/ TÚI NHỰA TẠI QUATEST 3

6.1 Thử nghiệm tại Quatest 3 đáp ứng tiêu chí nhãn sinh thái Việt Nam

6.1.1 Thử nghiệm cơ lý, định tính

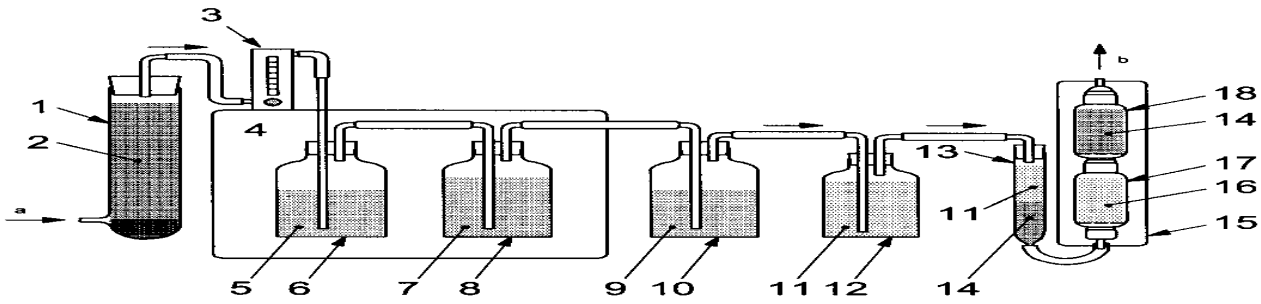
Đáp ứng hoàn toàn năng lực thử nghiệm, ngưỡng cho phép cho các yêu cầu về kim loại nặng, phi kim và các chỉ tiêu cơ lí tính.

6.1.2 Thử nghiệm khả năng phân hủy sinh học

(a) Phương pháp thử áp dụng

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9493-2 (ISO 14855-2): xác định tốc độ phân hủy sinh học tối ưu của vật liệu chất dẻo trong compost đã ngấu bằng cách kiểm soát độ ẩm, tỉ lệ thoáng khí và nhiệt độ trong bình compost. Tốc độ phân hủy được đo định kỳ bằng cách cân khối lượng của carbon dioxide sinh ra. Mức độ phân hủy sinh học được biểu thị bằng phần trăm, được tính bằng cách so sánh với lượng carbon dioxide sinh ra và giá trị theo lý thuyết ($ThCO_2$). Phép thử kết thúc khi đạt được pha ổn định của quá trình phân hủy sinh học (thường là 45 ngày, tuy nhiên có thể tiếp tục đến tối đa 6 tháng).

Lưu ý: Phương pháp này xác định mức độ và tốc độ phân hủy sinh học hiếu khí của liệu chất dẻo trong môi trường ủ có kiểm soát.



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý thiết bị thử nghiệm phân hủy sinh học.

1 bẫy carbon dioxide
2 sodium carbonat
11 silica gel
12 bình khử ẩm 1

3 lưu lượng kế có kiểm soát
4 bình ủ có thiết bị điều nhiệt
5 nước
6 thiết bị tạo ẩm
7 hỗn hợp compost, vật liệu thử và cát biển
8 bình compost
9 H_2SO_4 1M có chứa chất chỉ thị metyl da cam
10 bẫy ammonium
13 bình khử ẩm 2
14 calcium cloride khan
15 bẫy carbon dioxide sinh ra
16 hỗn hợp sodium carbonat và bột talc có chứa sodium carbonat
17 cột hấp thụ carbon dioxide
18 cột hấp thụ nước
[a] khí nén đi vào
[b] đầu ra

7 XÁC NHẬN GIÁ TRỊ SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP THỬ

7.1 Bố trí thử nghiệm

Xác định giá trị sử dụng của phép thử được thực hiện trên các mẫu giả lặp microcrystalline cellulose theo yêu cầu của bộ tiêu chuẩn TCVN 9493 (ISO 14855).

Tổ chức thử nghiệm trên các thiết bị chuyên dụng MODA. Trong quá trình thực hiện thử nghiệm, các mẫu đảm bảo chất lượng được sử dụng để kiểm soát chất lượng (QC), thống kê và cập nhật định kì các giá trị QC trong thời gian 03 năm để làm giàu hơn số liệu của hồ sơ xác định giá trị sử dụng của phép thử.

Một thử nghiệm trên 01 thiết bị được bố trí 02 cột phản ứng (thử nghiệm song song), tổng cộng toàn bộ khảo sát bố trí 06 thử nghiệm được bố trí cho 06 thời điểm và được chia đều trên 02 thiết bị thử nghiệm.

Tổng cộng toàn bộ khảo sát được 06 bộ số liệu, mỗi bộ số liệu có 02 kết quả lặp lại được thể hiện ở Bảng 7.

7.2 Thông số cần đánh giá

Độ chụm của phương pháp thử dựa trên thay đổi thời điểm, thiết bị thử nghiệm. Độ đúng tính từ tỉ lệ phân hủy sinh học của mẫu giả lặp khảo sát và giá trị lý thuyết (danh định là 100 %). Độ không đảm bảo được tính dựa trên độ chụm và độ đúng tại thời điểm 180 ngày.

TT	Thông số đánh giá	Ngưỡng chấp nhận	Kết quả đánh giá
1	Lượng CO_2 sinh ra của mẫu blank sau 10 ngày thí nghiệm	(50-150) mg/g hàm lượng chất rắn bay hơi	Giá trị trung bình Độ lặp lại trong mỗi thí nghiệm Độ tái lập trong các thí nghiệm
2	Mức độ phân hủy của mẫu đối chứng tại ngày thứ 45 của thí nghiệm	Lớn hơn 70 %	Giá trị trung bình Độ lặp lại trong mỗi thí nghiệm Độ tái lập của các thí nghiệm
3	Mức độ phân hủy của mẫu đối chứng tại cuối thí nghiệm	Sai lệch nhỏ hơn 20 %	Giá trị trung bình Sai lệch trong mỗi thí nghiệm Độ lặp lại trong mỗi thí nghiệm Độ tái lập của các thí nghiệm Độ không đảm bảo đo

Bảng 5. Bố trí thí nghiệm để xác định giá trị sử dụng phương pháp thử.

7.3 Kết quả khảo sát đạt được

	Chỉ tiêu bố trí thử nghiệm và kết quả khảo sát											
Yếu tố 1 -Thiết bị	TB1		TB2		TB1		TB2		TB1		TB2	
Yếu tố 2 –Thời điểm	lần 1		lần 2		lần 3		lần 4		lần 5		lần 6	
Bố trí số mẫu lặp lại	1	1’	2	2’	3	3’	4	4’	5	5’	6	6’
Lượng CO_2, mg/g	**124**	**128**	**118**	**112**	**130**	**139**	**132**	**129**	**87**	**81**	**101**	**98**
Phân hủy ngày thứ 45, %	85	84	80	77	98	99	84	82	91	91	86	82
Phân hủy ngày thứ 180, %	**98**	**93**	**102**	**97**	**97**	**100**	**97**	**99**	**99**	**97**	**99**	**97**

Bảng 6. Kết quả thử nghiệm trong khảo sát (khoảng 3 năm).

7.4 Tính toán thống kê

Nguyên tắc thống kê được sử dụng: 06 bộ số liệu mỗi bộ có 02 số liệu được xử lý bằng ANOVA (*single factor*) với độ tin cậy 95 % được thể hiện qua các bảng dữ liệu xử lý bên dưới đối với 03 thông số là lượng CO_2 sinh ra, mức độ phân hủy tại 45 ngày và 180 ngày.

Số liệu khảo sát và thống kê của thông số mức độ phân hủy tại 180 ngày được sử dụng để tính độ không đảm bảo đo của phép thử.

(a) Bảng tóm tắt các thông số xác định giá trị sử dụng của phép thử (Bảng 7)

Thông số cơ bản	**Kết quả**
Độ đúng, %	**1,90**
Độ chụm (độ lặp lại), *CV* %	**0,85**
Độ chụm (độ tái lập), *CV* %	**2,75**
Độ không đảm bảo đo mở rộng, *U* % (tính từ độ đúng và độ chụm, hệ số phủ k = 2).	**6,7**

(b) Lượng CO_2 sinh ra của mẫu trắng (blank) sau 10 ngày thí nghiệm (Bảng 8):

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
Column 1	2	252.8	126.4	7.22
Column 2	2	230	115	19.22
Column 3	2	268.6	134.3	36.98
Column 4	2	261	130.5	6.48
Column 5	2	167.7	83.85	19.845
Column 6	2	199	99.5	2.88

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	3906.478	5	781.2955	50.610235	7.942E-05	4.3873742
Within Groups	92.625	6	15.4375			
Total	3999.103	11				

Độ lặp lại (S_r) mg/g		
$S_r = \sqrt{MS_{within}}$		
S_r	**3.93**	**3%**
Chênh lệch mg/g		
$= \sqrt{\lvert MS_{within} - MS_{between} \rvert / n}$		
bias	**12.38**	
Độ tái lập nội bộ (S_R) mg/g		
$S_R = \sqrt{{S_r}^2 + bias^2}$		
S_R	**12.98**	**11%**

(c) Mức độ phân hủy của mẫu đối chứng tại ngày thứ 45 của thí nghiệm (Bảng 9)

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
Column 1	2	169.52	84.76	0.5618
Column 2	2	156.94	78.47	7.22
Column 3	2	197.8	98.9	0.2312
Column 4	2	166.05	83.025	0.85805
Column 5	2	182.18	91.09	0.0162
Column 6	2	167.46	83.73	7.8408

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	523.8534	5	104.77068	37.579039	0.0001877	4.3873742
Within Groups	16.72805	6	2.7880083			
Total	540.5814	11				

Độ lặp lại (S_r)		mg/g
$S_r = \sqrt{MS_{within}}$		
S_r	**1.67**	**2%**
Chênh lệch		mg/g
$= \sqrt{\lvert MS_{within} - MS_{between} \rvert / n}$		
bias	**4.52**	**5%**
Độ tái lặp nội bộ (S_R)		mg/g
$S_R = \sqrt{{S_r}^2 + bias^2}$		
S_R	**4.82**	**6%**

(d) Mức độ phân hủy của mẫu đối chứng tại cuối thí nghiệm 180 ngày (Bảng 10)

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
Column 1	2	191.6	95.8	14.9058
Column 2	2	199.08	99.54	11.4242
Column 3	2	197.28	98.64	7.3728
Column 4	2	195.55	97.775	1.82405
Column 5	2	196.14	98.07	2.0808
Column 6	2	197.18	98.59	2.0402

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	15.99224	5	3.1984483	0.4840285	0.7784217	4.3873742
Within Groups	39.64785	6	6.607975			
Total	55.64009	11				

Độ lặp lại (S_r)		mg/g
$S_r = \sqrt{MS_{within}}$		
S_r	**2.57**	**3%**
Chênh lệch		mg/g
$= \sqrt{\lvert MS_{within} - MS_{between} \rvert / n}$		
bias	**0.83**	**1%**
Độ tái lặp nội bộ (S_R)		mg/g
$S_R = \sqrt{{S_r}^2 + bias^2}$		
S_R	**2.70**	**3%**

(e) Bảng thống kê và đánh giá (Bảng 11)

TT	Thông số	Ngưỡng chấp nhận	Thông số thống kê	Kết quả	Đánh giá kết quả
1	Lượng CO_2 sinh ra của mẫu blank sau 10 ngày TN	(50-150) mg/g hàm lượng chất rắn bay hơi	Giá trị trung bình	**115 mg/g**	Đạt yêu cầu
			Độ lặp lại	**3 %**	-
			Độ tái lập của các TN	**11 %**	-
2	Mức độ phân hủy của mẫu đối chứng tại ngày 45 của TN	Lớn hơn 70 %	Giá trị trung bình	**86,7 %**	Đạt yêu cầu
			Độ lặp lại	**2 %**	-
			Độ tái lập của các TN	**6 %**	-
3		Sai lệch nhỏ hơn 20 %	Giá trị trung bình	**98,1 %**	Đạt yêu cầu
			Sai lệch trong mỗi TN	**1 %**	Đạt yêu cầu

TT	Thông số	Ngưỡng chấp nhận	Thông số thống kê	Kết quả	Đánh giá kết quả
	Mức độ phân hủy của mẫu đối chứng tại cuối TN		Độ lặp lại	**3 %**	-
			Độ tái lập của các TN	**3 %**	-

(f) Đánh giá kết quả

Từ các số liệu thu được có thể nhận định phương pháp được thực hiện tại PTN Quatest 3 phù hợp với các yêu cầu, tiêu chí đảm bảo chất lượng theo yêu cầu của tiêu chuẩn.

Tuy nhiên, cần có số liệu so sánh liên phòng hoặc theo dõi xu hướng của kết quả mẫu đảm bảo chất lượng theo thời gian sẽ củng cố thêm năng lực thử nghiệm.

7.5 Các thiết bị thử nghiệm tiêu biểu



Hình 6. Thiết bị thử kim loại nặng



Hình 7. Thiết bị nghiền mẫu và máy FTIR định tính vật liệu nhựa



Hình 8. Thiết bị thử bao bì tự hủy

8 KINH NGHIỆM & NHẬN ĐỊNH VỀ THỬ NGHIỆM PHÂN HỦY SINH HỌC

Các mẫu có nền là nhựa thông thường (như PP, PE, PET...) thường không đạt tiêu chí phân huỷ sinh học sau 6 tháng thử nghiệm.

Thông thường tỷ lệ phân huỷ sinh học sẽ đạt cao nhất sau 60 ngày - 120 ngày thử nghiệm, các loại nhựa có tỷ lệ phân huỷ sinh học cao (> 90 %) như PLA, PBAT. Một số trường hợp có tỉ lệ phân huỷ xấp xỉ hoặc thấp hơn ngưỡng 90 % thường có thông tin sử dụng masterbatch có nhựa nền là các loại nhựa chưa có tính phân huỷ sinh học (nền PP, PE...).

Các nhựa PLA, PBAT thường được bổ sung thành phần canxi carbonate nên thử nghiệm bổ sung các chỉ tiêu an toàn của bao bì tiếp xúc thực phẩm QCVN 12-1 thường không đạt chỉ tiêu hàm lượng chất thôi nhiễm trong môi trường có tính acid.

Nhà sản xuất ưu tiên thử nghiệm các chỉ tiêu về kim loại và phi kim trước, nếu kết quả đạt thì mới thực hiện thử nghiệm phân hủy sinh học ở bước tiếp theo.

Khách hàng có nhu cầu kéo dài thời gian thử nghiệm hơn 6 tháng (dựa trên nội dung phân huỷ trong 2 năm) tuy nhiên đây là hai khái niệm khác nhau cần hiểu rõ. Nhu cầu thử nghiệm phân huỷ sinh học cho các sản phẩm tiêu dùng gia tăng (chén dĩa nhựa, vải…) nên cần có các tiêu chuẩn quốc gia tương ứng để xác lập chỉ tiêu chất lượng, an toàn của các sản phẩm này.

Hiện chưa có phương pháp thử kỹ thuật hiệu quả để xác nhận tỉ lệ phối trộn nhựa và tỉ lệ nhựa tái chế trong sản phẩm cuối. Năng lực tại các PTN về các phép thử phân huỷ sinh học còn hạn chế, chưa thử nghiệm phân huỷ sinh học trong các môi trường đặc thù, hệ tiêu chuẩn khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] https://www.switch-asia.eu/site/assets/files/4399/plastic_policies_vn_final.pdf

[2] https://en.tuv.at/ok-biodegradable-en/

[3] Luật Bảo vệ môi trường, số 72/2020/QH14, ngày 17/11/2020.

[4] Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Bảo vệ môi trường, số 146/2025/QH15, 2025.

[5] Nghị định 08/2022/NĐ-CP, ngày 10/01/2022. Quy định chi tiết một số điều của Luật Bảo vệ môi trường.

[6] Nghị định sửa đổi, bổ sung một số điều của Nghị định số 08/2022/NĐ-CP ngày 10/01/2022 của Chính phủ quy định chi tiết một số điều của Luật Bảo vệ môi trường, số 05/2025/NĐ-CP, ngày 06/01/2025.

[7] Quyết định số 3257/QĐ-BTNMT, ngày 07/11/2023. Bộ Tài nguyên và Môi trường, "Ban hành tiêu chí Nhãn sinh thái Việt Nam đối với bao bì nhựa thân thiện với môi trường,"

[8] https://www.european-bioplastics.org/

[9] N. Lucas *et al.*, "Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques – A review," *Chemosphere*, vol. 73, no. 4, pp. 429-442, Sep. 2008.

[10] S. M. Emadian, T. T. Onay, and B. Demirel, "Biodegradation of bioplastics in natural environments," Waste Manage., vol. 59, pp. 526-536, 2017.

[11] Y. Tokiwa, B. P. Calabia, C. U. Ugwu, and S. Aiba, "Biodegradability of Plastics," Int. J. Mol. Sci., vol. 10, no. 9, pp. 3722-3742, 2009.

[12] EN 13432: 2000 Packaging - Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation - Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging.

[13] ISO 17088:2021 Plastics-Organic recycling - Specifications for compostable plastics.

[14] TCVN 9493:2012 Nhựa - Quy định kỹ thuật đối với nhựa có khả năng phân hủy thành compost.

[15] ISO 14855-2:2018 Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions - Method by analysis of evolved carbon dioxide - Part 2: Gravimetric measurement of carbon dioxide evolved in a laboratory-scale test.

[16] Google Labs, “NotebookLM,” v. April 2026 update, 2024–2026.

THỬ NGHIỆM ĐƯỜNG TỔNG TRONG THỰC PHẨM ĐÁP ỨNG YÊU CẦU CỦA THÔNG TƯ 29/2023/TT-BYT

Nguyễn Hữu Tín, Nguyễn Thành Công, Ngô Quốc Việt
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: tin.nh@quatest3.com.vn

Tóm lược

Thông tư 29/2023/TT-BYT do Bộ Y tế ban hành ngày 30/12/2023 hướng dẫn chi tiết về nội dung và cách ghi thành phần dinh dưỡng trên nhãn thực phẩm bao gói sẵn, lưu thông tại Việt Nam với lộ trình bắt buộc thực hiện từ ngày 01/01/2026. Thông tư này đặt ra những yêu cầu cấp thiết cho cả nhà sản xuất và các đơn vị cung cấp dịch vụ về việc thử nghiệm, xác định các thành phần dinh dưỡng và thể hiện trên bao bì sản phẩm.

Với vai trò là đơn vị cung cấp dịch vụ đo lường, chất lượng trong nhiều lĩnh vực, Quatest 3 luôn đồng hành cùng doanh nghiệp, các cơ quan quản lý Nhà nước thông qua cung cấp các dịch vụ thử nghiệm chuyên nghiệp theo phương châm "chính xác – khách quan – kịp thời – tin cậy". Quatest 3 không chỉ hỗ trợ doanh nghiệp đáp ứng trọn vẹn các quy định của cơ quan quản lý nhà nước mà còn góp phần xây dựng niềm tin vững chắc, giúp doanh nghiệp tự tin chinh phục những chuẩn mực mới trong hành trình phát triển bền vững.

Từ khóa

Đường tổng; nhãn trên bao gói thực phẩm- Nutri Facts; Codex Alimentarius; Thông tư 29/2023/TT-BYT; HPLC-ELSD.

1 GHI NHÃN DINH DƯỠNG VÀ VAI TRÒ TRONG QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG THỰC PHẨM

Ghi nhãn dinh dưỡng[1] là một công cụ quan trọng nhằm cung cấp thông tin định lượng về giá trị dinh dưỡng của thực phẩm cho người tiêu dùng. Thông qua bảng thông tin dinh dưỡng, người tiêu dùng có thể nhận biết thành phần năng lượng, chất dinh dưỡng chính và các yếu tố liên quan đến chế độ ăn uống, từ đó đưa ra lựa chọn phù hợp với nhu cầu sức khỏe cá nhân.

Ngoài ý nghĩa đối với người tiêu dùng, ghi nhãn dinh dưỡng còn đóng vai trò quan trọng trong quản lý nhà nước và kiểm soát chất lượng thực phẩm. Việc công bố thành phần dinh dưỡng buộc doanh nghiệp phải minh bạch hóa thông tin về sản phẩm, đồng thời tạo cơ sở để các cơ quan quản lý thực hiện hoạt động kiểm tra, giám sát và đánh giá sự phù hợp của sản phẩm với các quy định pháp luật.

[1] Nutrition Facts

Trong bối cảnh toàn cầu hóa thương mại, hệ thống ghi nhãn dinh dưỡng còn góp phần hài hòa chuẩn mực giữa các quốc gia, tạo điều kiện thuận lợi cho lưu thông hàng hóa và bảo vệ sức khỏe cộng đồng.

2 CÁC THÔNG TIN THƯỜNG THỂ HIỆN TRÊN BẢNG GHI NHÃN DINH DƯỠNG

Quy định về ghi nhãn dinh dưỡng hiện nay đã được triển khai rộng rãi tại nhiều quốc gia và khu vực trên thế giới. Các hệ thống quy định này nhìn chung dựa trên các hướng dẫn của Ủy ban Tiêu chuẩn Thực phẩm Quốc tế CODEX[2].

Bảng ghi nhãn dinh dưỡng thường bao gồm các nhóm thông tin cơ bản sau:

- giá trị năng lượng (*Energy/Calories*);
- hàm lượng chất béo tổng và chất béo bão hòa, chất béo chuyển hóa (*Total fat, saturated fat, trans fat*);
- hàm lượng carbohydrate;
- hàm lượng đường (*Total sugars hoặc Sugars*);
- hàm lượng protein;
- hàm lượng muối hoặc sodium;
- một số vitamin và khoáng chất thiết yếu.

Các quy định cụ thể về ghi nhãn dinh dưỡng sẽ có sự khác biệt nhất định tuỳ thuộc vào chính sách về dinh dưỡng và quản lý thực phẩm của từng quốc gia, khu vực. Ví dụ ở một số nước như sau:

Hoa Kỳ (15) **(21 CFR §101.9)**	**Liên minh Châu Âu (7)** **(EU 1169/2011)**	**Thái Lan (9)** **(MOPH No. 445)**
Năng lượng (Calories) Chất béo tổng số (Total Fat) Chất béo bão hòa (Saturated Fat) Chất béo chuyển hóa (Trans Fat) Cholesterol Sodium Carbohydrate tổng số (Total Carbohydrate) Chất xơ (Dietary Fiber) Đường tổng số (Total Sugars) Đường bổ sung (Added Sugars) Protein Vitamin D (Ghi hàm lượng chính xác)	Năng lượng (Energy) Chất béo (Fat) Acid béo bão hòa (Saturates) Carbohydrate Đường (Sugars) Protein Muối (Salt)	Năng lượng tổng số (Total Energy) Chất béo tổng số (Total Fat) Chất béo bão hòa (Saturated Fat) Cholesterol (Bắt buộc nếu > 2 mg/serving) Protein Carbohydrate tổng số (Total Carbohydrate) Đường (Total Sugar) Sodium Potassium

[2] Codex Alimentarius

Hoa Kỳ (15) (21 CFR §101.9)	Liên minh Châu Âu (7) (EU 1169/2011)	Thái Lan (9) (MOPH No. 445)
Calcium Sắt (Iron) Potassium		

Bảng 1. Số chỉ tiêu bắt buộc

3 CỘT MỐC MỚI TRONG GHI NHÃN DINH DƯỠNG

Tại Việt Nam, trước khi thông tư của Bộ Y tế 29/2023/TT-BYT có hiệu lực, việc ghi nhãn dinh dưỡng chủ yếu mang tính khuyến khích. Điều này dẫn đến sự không thống nhất giữa các doanh nghiệp trong việc công bố thông tin dinh dưỡng và gây khó khăn cho hoạt động kiểm tra, giám sát.

Nhằm khắc phục các hạn chế trên và từng bước hài hòa với thông lệ quốc tế, Bộ Y tế đã ban hành Thông tư 29/2023/TT-BYT với các điểm nhấn quan trọng:

- quy định bắt buộc ghi nhãn dinh dưỡng đối với thực phẩm bao gói sẵn;
- chuẩn hóa cách trình bày bảng thông tin dinh dưỡng theo cấu trúc thống nhất;
- đưa ra định nghĩa rõ ràng về các chỉ tiêu dinh dưỡng.

Kể từ ngày 01/01/2026 các thực phẩm bao gói sẵn lưu thông tại Việt Nam phải ghi nhãn thành phần dinh dưỡng bao gồm các nội dung sau:

- năng lượng;
- chất đạm;
- carbohydrat;
- chất béo;
- natri;
- đường tổng số: Đối với nước giải khát, sữa chế biến cho thêm đường và thực phẩm cho thêm đường khác;
- chất béo bão hoà: Đối với thực phẩm chế biến chiên, rán.

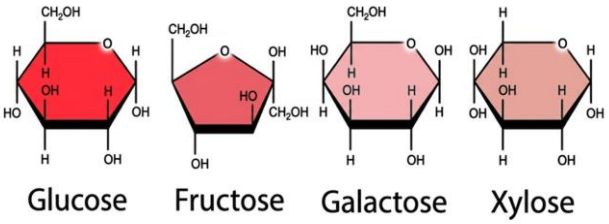
4 NĂNG LỰC THỬ NGHIỆM ĐƯỜNG TỔNG TẠI QUATEST 3

Quatest 3 luôn nỗ lực để giữ vững là tổ chức hàng đầu tại Việt Nam cung cấp dịch vụ kỹ thuật liên quan tiêu chuẩn, đo lường, chất lượng phục vụ yêu cầu quản lý Nhà nước cũng như đáp ứng các nhu cầu phát triển của tổ chức, doanh nghiệp. Trước yêu cầu cấp thiết từ Thông tư 29/2023/TT-BYT, trong đó hàm lượng đường là một trong những chỉ tiêu quan trọng cần được công bố trên nhãn của nhiều sản phẩm thực phẩm bao gói sẵn, việc xây dựng phương pháp phân tích với độ chính xác và độ tin cậy cao trở nên đặc biệt cần thiết.

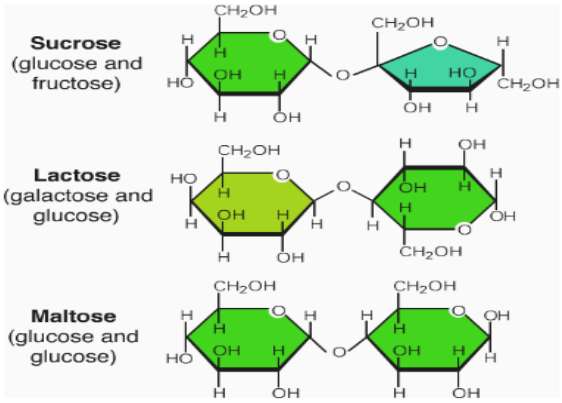
Dựa trên đội ngũ nhân sự và trang thiết bị hiện có, các đơn vị trong trung tâm tiến hành nghiên cứu, xây dựng phương pháp nội bộ xác định hàm lượng đường tổng số, ký hiệu Quatest 3 1222:2024. Phương pháp này xác định hàm lượng đường tổng số thông qua định

lượng riêng lẻ các loại đường thành phần bằng kỹ thuật sắc ký lỏng hiệu năng cao kết hợp đầu dò tán xạ bay hơi (HPLC – ELSD).

Phạm vi áp dụng của phương pháp này bao gồm các loại đường sau:



Các đường đơn



Các đường đôi

Phương pháp thử này đã được xử lý tối ưu hóa, thẩm định đạt tất cả các thông số kỹ thuật yêu cầu về phê duyệt phép thử theo chuẩn mực công nhận ISO/IEC 17025:2017 và các qui định của Quatest 3; được cơ quan chức năng cấp giấy chứng nhận đăng ký hoạt động thử nghiệm và được Văn phòng Công nhận chất lượng quốc gia công nhận phù hợp tiêu chuẩn ISO/IEC 17025:2017.

4.1 Điều kiện thiết bị

- máy sắc ký lỏng hiệu năng cao, đầu dò tán xạ bay hơi ELSD;
- cột phân tích VG-50 4E, (250 x 4,6) mm, 5,0 µm;
- thể tích tiêm mẫu: 10,0 µL;
- nhiệt độ buồng cột: 60 ^{O}C.

Thời gian, min	Tốc độ dòng, mL/min	Pha động H_2O, %	Pha động MEOH, %	Pha động ACN, %
0,0	1,0	10	5	85
25,0	1,0	10	5	85

Bảng 1. Chương trình pha động.



Hình 1. Thiết bị HPLC- ELSD

4.2 Xử lý mẫu

- mẫu đã đồng nhất được cân vào bình định mức;
- thêm dung dung dịch chiết Ethanol:H_2O (1:1, v/v), lắc đều và cho vào bếp cách thủy ở (80 – 85) ^oC trong 25 min;
- chờ dung dịch mẫu về nhiệt độ phòng, loại các tác nhân gây cản trở bằng dung dịch Carrez và thêm dung dịch chiết đến vạch mức;
- ly tâm dịch mẫu, pha loãng mẫu để các đường cần phân tích trong khoảng dường chuẩn làm việc, lọc mẫu qua màng lọc 0,45 µm và tiến hành phân tích với thiết bị HPLC–ELSD.

4.3 Kết quả thực hiện

Áp dụng qui trình đã được tối ưu để tiến hành khảo sát và phân tích trên các nền mẫu khác nhau (bao gồm thêm chuẩn), thu được các kết quả như sau:

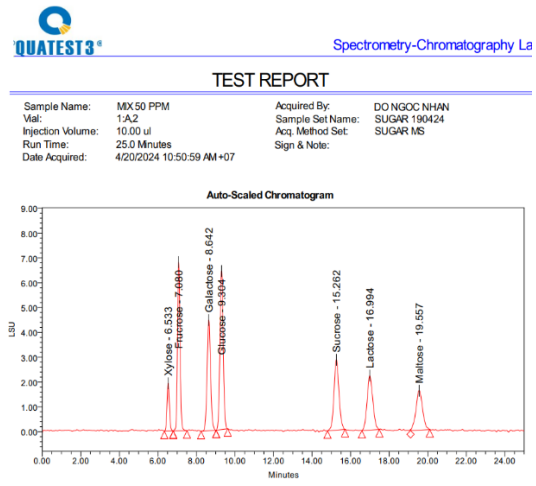
Chất phân tích	Nền mẫu	Lặp lại	HL mẫu, g/100 mL	Th chuẩn, g/100 mL	Độ thu hồi, %	RSD_r %	RSD_R, %	MU k=2,%	Khoảng TT, mg/L
Xylose	Trái cây sấy	12	KPH	12,4	99,7	1,3	1,3	3,1	20 - 1000
		12	KPH	49,5	99,6	1,1	1,2	3,0	
	Sữa bột	12	KPH	1,7	99,9	1,1	1,2	3,0	
		12	KPH	17,4	100,5	0,8	0,9	2,4	
	Bánh snack	12	KPH	1,2	99,5	1,6	1,7	3,9	
		12	KPH	7,5	100,3	1,1	1,1	2,8	
	Bột nêm	12	KPH	1,1	100,1	1,4	1,5	3,6	
		12	KPH	16,1	99,7	1,0	1,3	2,9	
	Nước g khát	12	KPH	1,1	100,1	1,3	1,3	2,9	
		12	KPH	17,5	101,2	0,5	0,5	2,7	
Fructose	Trái cây sấy	12	10,7	12,4	99,5	1,3	1,3	3,4	20 - 1000
		12	10,7	49,5	100,6	0,8	0,9	2,3	
	Sữa bột	12	KPH	5,0	100,5	1,0	1,0	2,7	
		12	KPH	34,9	101,0	0,8	0,9	2,9	
	Bánh snack	12	2,4	7,5	99,9	1,5	1,5	3,9	

Chất phân tích	Nền mẫu	Lặp lại	HL mẫu, g/100 mL	Th chuẩn, g/100 mL	Độ thu hồi, %	RSD_r %	RSD_R, %	MU k=2,%	Khoảng TT, mg/L
	Bột nêm	12	KPH	1,1	100,2	1,2	1,3	3,2	
		12	KPH	16,1	99,7	1,1	1,1	2,8	
	Nước GK	12	9,8	17,5	100,1	0,8	1,0	2,1	
Galactose	Trái cây sấy	12	KPH	12,4	100,0	1,0	1,0	2,6	20 - 1000
		12	KPH	49,5	100,5	0,7	1,2	2,7	
	Sữa bột	12	KPH	5,0	100,5	1,1	1,1	2,7	
		12	KPH	34,9	100,5	1,1	1,1	2,9	
	Bánh snack	12	KPH	1,2	100,8	1,3	1,4	3,3	
		12	KPH	7,5	100,1	1,1	1,1	2,5	
	Bột nêm	12	KPH	1,1	100,1	1,2	1,3	3,1	
		12	KPH	16,1	99,9	0,9	0,9	2,0	
	Nước GK	12	KPH	1,1	99,5	1,1	1,1	3,1	
		12	KPH	17,5	101,1	0,7	0,7	2,8	
Glucose	Trái cây sấy	12	11,8	12,4	99,4	0,8	1,1	2,8	20 - 1000
		12	11,8	49,5	100,5	0,7	1,0	2,4	
	Sữa bột	12	KPH	5,0	100,3	1,1	1,2	2,7	
		12	KPH	34,9	100,6	0,9	1,0	2,5	
	Bánh snack	12	2,3	7,5	99,9	1,0	1,1	2,7	
	Bột nêm	12	8,5	16,1	99,7	1,1	1,2	2,8	
	Nước GK	12	9,7	17,5	100,2	0,9	0,9	2,3	
Sucrose	Trái cây sấy	12	22,6	12,4	99,3	0,9	0,9	2,9	20 - 1000
		12	22,6	49,5	100,0	1,2	1,3	2,8	
	Sữa bột	12	18,5	34,9	100,2	1,0	1,0	2,2	
	Bánh snack	12	21,4	7,5	99,3	1,1	1,1	3,0	
	Bột nêm	12	KPH	16,1	99,5	1,0	1,1	2,6	
	Nước GK	12	0,5	1,3	100,6	0,7	1,0	2,6	
		12	0,5	17,5	99,7	1,1	1,3	2,8	
Lactose	Trái cây sấy	12	KPH	12,4	100,0	1,1	1,1	2,6	20 - 1000
		12	KPH	49,5	99,9	0,7	1,2	2,9	
	Sữa bột	12	27,0	34,9	100,8	0,5	0,6	2,1	
	Bánh snack	12	4,6	7,5	100,3	1,1	1,1	2,9	
	Bột nêm	12	KPH	1,1	99,9	1,2	1,3	3,3	
		12	KPH	16,1	99,0	0,9	0,9	3,0	
		12	KPH	1,3	99,5	1,1	1,1	2,8	

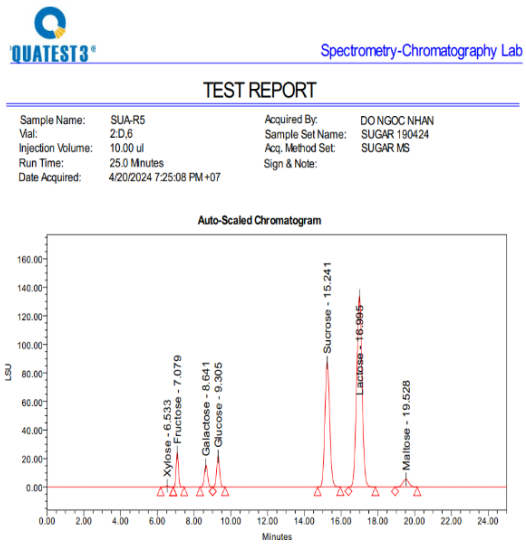
Chất phân tích	Nền mẫu	Lặp lại	HL mẫu, g/100 mL	Th chuẩn, g/100 mL	Độ thu hồi, %	RSD_r %	RSD_R, %	MU k=2,%	Khoảng TT, mg/L
	Nước GK	12	KPH	17,5	101,1	0,4	0,4	2,5	
Maltose	Trái cây sấy	12	KPH	12,4	99,9	1,1	1,1	2,9	20 - 1000
		12	KPH	49,5	100,0	0,9	1,0	2,2	
	Sữa bột	12	KPH	5,0	99,0	0,6	0,7	2,5	
		12	KPH	34,9	100,6	1,0	1,0	2,5	
	Bánh snack	12	KPH	1,2	100,1	1,7	1,8	3,9	
		12	KPH	7,5	100,4	1,3	1,3	3,3	
	Bột nêm	12	KPH	1,13	99,8	1,1	1,2	3,0	
		12	KPH	16,1	99,1	0,9	1,0	3,0	
	Nước GK	12	KPH	1,3	99,7	1,2	1,3	3,2	
		12	KPH	17,5	98,8	0,4	0,6	2,7	

Ghi chú: KPH, không phát hiện; RSD_r lặp lại nội bộ; RSD_R tái lập nội bộ; MU:không đảm bảo đo

Bảng 2. Kết quả khảo sát trên nền các loại mẫu thực phẩm.



Hình 2. Sắc ký đồ dung dịch chuẩn 50 mg/L.



Hình 3. Sắc ký đồ mẫu sữa thêm chuẩn.

Kết quả khảo sát cho thấy các thông số cơ bản của phương pháp thử đều đạt yêu cầu theo qui định và phù hợp với yêu cầu của AOAC về phân tích đường tổng (Bảng 3).

Bảng 3. Yêu cầu của AOAC cho phương pháp phân tích đường tổng.

Analytes		Fructose, Glucose, Sucrose, Maltose, Lactose and Galactose	
Analytical range, %*	0.1 - 5	> 5 - 50	> 50 - 100
Recovery, %	90%–110%	95% – 105%	97% - 103%
% RSD_r	≤ 7%	≤ 5%	≤ 3%
% RSD_R	≤ 10%	≤ 8%	≤ 4%

* Reported as the individual sugars (fructose, glucose, sucrose, maltose, lactose and galactose)

Kết quả tham gia các chương trình thử nghiệm thành thạo và kết quả đều đạt yêu cầu (Bảng 4) chứng tỏ phương pháp có đủ độ tin cậy, hiệu quả.

Bảng 4. Kết quả tham gia các chương trình thử nghiệm thành thạo

Chương trình	**Nền mẫu**	**Chỉ tiêu**	**Phương pháp**	**Kết quả,** Z-score
AoV.5.24.06	Bánh kẹo	Đường tổng	Quatest 3 1222:2024	-1,1 và -1,25: Đạt
EDC.VPT.2.25.27	Ngô			-0,48: Đạt
NIFC H25.92	Thực phẩm			-0,60: Đạt

5 KẾT LUẬN

Với trang bị thiết bị tiên tiến, hiện đại và năng lực của đội ngũ nhân sự kinh nghiệm xây dựng thành công phương pháp Quatest 3 1222:2024 tạo nền tảng vững chắc để đáp ứng tất cả các yêu cầu về kỹ thuật, pháp lý để thử nghiệm đường tổng số theo yêu cầu của Thông tư 29/2023/TT-BYT.

Kết quả phân tích này không chỉ giúp doanh nghiệp hoàn thiện nhãn dinh dưỡng theo yêu cầu mà còn là công cụ đắc lực trong kiểm soát chất lượng sản phẩm, hướng tới việc bảo vệ quyền lợi và sức khỏe người tiêu dùng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Thông tư 29/2023/TT-BYT: Hướng dẫn nội dung, cách ghi thành phần dinh dưỡng, giá trị dinh dưỡng trên nhãn thực phẩm.

[2] TCVN 7088:2025 – Huóng dẫn ghi nhãn dinh dưỡng.

[3] Quatest 3 1222:2024 - Xác định hàm lượng đường tổng số trong thực phẩm, thực phẩm chức năng bằng phương pháp sắc ký lỏng đầu dò tán xạ bay hơi (HPLC-ELSD).

[4] Báo cáo kiểm tra và xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp – Quatest 3 1222:2024 - Xác định hàm lượng đường tổng số trong thực phẩm, thực phẩm chức năng bằng phương pháp sắc ký lỏng đầu dò tán xạ bay hơi (HPLC-ELSD).

[5] Báo cáo kết thúc chương trình thử nghiệm thành thạo AoV.5.24.06, EDC.VPT.2.25.27, NIFC H25.92.

[6] AOAC SMPR 2018.001**,** Standard Method Performance Requirements (SMPRs®) for Sugars in Animal Feed, Pet Food, and Human Food.

[7] 21 CFR §101.9. Food Labeling: Nutrition Labeling of Food, U.S. Food and Drug Administration.

[8] Regulation (EU) No 1169/2011. Regulation on the provision of food information to consumers, European Parliament and Council.

[9] Notification of the Ministry of Public Health (No. 445) B.E. 2566 (2023): Nutrition Labelling. Bangkok, Thailand, 2023.

XÁC ĐỊNH CEREULIDE TRONG SỮA VÀ BỘT ĂN DẶM BẰNG KỸ THUẬT SẮC KÝ LỎNG GHÉP PHỔ KHỐI HAI LẦN

Vương Cẩm Tùng,
Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3
Email: tung.vc@quatest3.com.vn

Tóm tắt

Trong bối cảnh an toàn thực phẩm toàn cầu ngày càng được siết chặt, các sự cố thu hồi sản phẩm sữa - đặc biệt là sữa công thức và thực phẩm dành cho trẻ nhỏ - liên tục được ghi nhận tại nhiều quốc gia do nguy cơ nhiễm vi sinh và độc tố. Một trong những mối quan tâm mới nổi là cereulide, độc tố bền nhiệt do Bacillus cereus sinh ra, có khả năng tồn tại sau quá trình chế biến và gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe, nhất là trẻ sơ sinh và trẻ nhỏ. Thực tế các đợt thu hồi sản phẩm liên quan đến nhiễm cereulide cho thấy khoảng trống về năng lực kiểm soát và phương pháp phân tích độc tố này trong nền thực phẩm phức tạp như sữa bột.

Trước yêu cầu đó, việc xây dựng và tối ưu hóa phương pháp xác định cereulide trong sữa và bột ăn dặm trên cơ sở tiêu chuẩn ISO 18465:2017 là cần thiết. Quy trình xử lý mẫu được hiệu chỉnh phù hợp với đặc tính của nền sữa bột, trong đó tập trung cải tiến bước hydrat hóa trước chiết nhằm nâng cao hiệu quả thu hồi. Kết quả nghiên cứu đã đề xuất điều kiện tối ưu với việc bổ sung 5,0 mL nước kết hợp lắc trong 30 phút và siêu âm 30 phút, góp phần hoàn thiện quy trình chiết mẫu và nâng cao độ tin cậy của phương pháp phân tích.

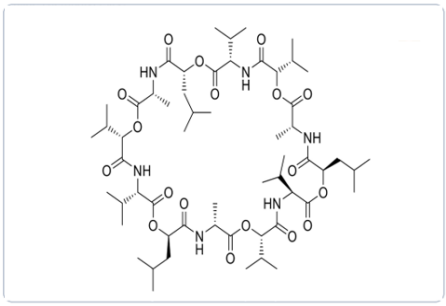
Kết quả xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp thử cho thấy tại mức giới hạn định lượng (LOQ), hiệu suất thu hồi đạt 74,4 % - 112,3 % đối với sữa bột, 81,6 % - 104,1 % đối với sữa lỏng và 75,7 % - 113,3 % đối với bột ăn dặm. Độ lệch chuẩn tương đối (RSDr) tương ứng là 12,1 %; 8,2 % và 14,1 %.

Từ khóa

Cereulide; Bacillus cereus; sắc ký lỏng; phổ khối; LC-MS/MS.

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Độc tố gây nôn (cereulide) là độc tố dạng vòng, bền nhiệt do một số chủng *Bacillus cereus* sinh tổng hợp. Trong những năm gần đây, độc tố này được quan tâm nhiều hơn do liên quan đến một số vụ việc trên nhóm sản phẩm sữa công thức và thực phẩm dành cho trẻ nhỏ, đặt ra yêu cầu cần có phương pháp định lượng tin cậy trên các nền mẫu sữa, đặc biệt là nền bột sau hoàn nguyên.



Hình 1. Cấu trúc hóa học của cereulide.

Kỹ thuật sắc ký lỏng ghép đầu dò phổ khối hai lần (LC-MS/MS) là kỹ thuật có độ nhạy và tính chọn lọc cao và phù hợp để định lượng cereulide trong các nền mẫu phức tạp. Tiêu chuẩn ISO 18465:2017 - Vi sinh vật học chuỗi thực phẩm – Định lượng cereulide bằng LC-MS/MS đã được chuẩn hóa với nguyên tắc xác định cereulide sau chiết bằng acetonitrile và sử dụng nội chuẩn đánh dấu đồng vị. Cơ quan An toàn Thực phẩm Châu Âu (EFSA) đồng thời cũng ban hành các khuyến cáo kỹ thuật khi thực hiện thử nghiệm định lượng cereulide đối với nhóm sản phẩm bột dành cho trẻ nhỏ.

Từ thực tế đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm hoàn thiện quy trình xử lý mẫu, đánh giá các bước của quy trình chiết (bổ sung nước và siêu âm) nhằm lựa chọn điều kiện xử lý mẫu tối ưu và tiến hành xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp LC-MS/MS trên ba nền mẫu chính là sữa bột, sữa lỏng và bột ăn dặm.

2 NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1 Nội dung nghiên cứu

Gồm ba nội dung chính:

(a) Khảo sát ảnh hưởng của lượng nước bổ sung trước khi chiết trên nền bột để lựa chọn điều kiện hoàn nguyên phù hợp;

(b) Khảo sát ảnh hưởng của bước xử lý bằng siêu âm 30 phút đến hiệu suất chiết sau khi đã bổ sung nước; và

(c) Xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp trên ba nền mẫu chính và khảo sát khả năng áp dụng trên một số nền mẫu mở rộng.

2.2 Nguyên lý của phương pháp, thiết bị và điều kiện phân tích

Phương pháp dựa trên nguyên tắc chiết cereulide khỏi nền mẫu bằng acetonitrile, kết hợp bổ sung nội chuẩn trước khi chiết và định lượng bằng LC-MS/MS ở chế độ ion dương (ES+).

Đối với nền mẫu dạng bột, mẫu được làm ẩm trước bằng nước nhằm hỗ trợ giải phóng cereulide khỏi nền; đối với nền mẫu dạng lỏng, mẫu được chiết trực tiếp bằng acetonitrile.

Quy trình xử lý mẫu được tóm tắt tại Bảng 1; các điều kiện sắc ký lỏng và phổ khối được trình bày tại Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 1. Quy trình xử lý mẫu.

Dạng mẫu	Khối lượng/ thể tích mẫu	Bước xử lý mẫu chính
Mẫu dạng bột	2,0 g	Thêm 5,0 mL nước, trộn đều để làm ẩm nền mẫu; bổ sung nội chuẩn; thêm 25,0 mL acetonitrile; lắc 30 phút; siêu âm 30 phút ở nhiệt độ phòng; ly tâm; lọc qua màng lọc 0,45 µm; phân tích bằng LC-MS/MS

Dạng mẫu	Khối lượng/ thể tích mẫu	Bước xử lý mẫu chính
Mẫu dạng lỏng	2,0 mL	Bổ sung nội chuẩn; thêm 28,0 mL acetonitrile; lắc 30 phút; siêu âm 30 phút ở nhiệt độ phòng; ly tâm; lọc qua màng lọc 0,45 µm; phân tích bằng LC-MS/MS

Bảng 2. Điều kiện sắc ký lỏng và chương trình pha động.

Nhóm thông số	Điều kiện
Thiết bị UPLC-MS/MS	Xevo TQ-S micro (Waters)
Cột sắc ký	C18, 50 mm × 2,1 mm; 1,8 µm hoặc tương đương
Thể tích tiêm	5,0 µL
Nhiệt độ buồng cột	40 °C
Pha động A	Ammonium formate 5 mM chứa 0,1 % formic acid
Pha động B	Acetonitrile
Tốc độ dòng	0,40 mL/min
Chương trình pha động	(0,0 - 0,5) min: 20 % A / 80 % B (0,6 - 2,5) min: 5 % A / 95 % B (2,6 - 4,0) min: 20 % A / 80 % B

Bảng 3. Thông số phổ khối và các mảnh ion theo dõi.

Cấu tử/ thông số	Giá trị
Chế độ ion hóa	ES^+
Capillary	3,5 kV
Desolvation temperature	500 °C
Source gas flow	1 000 L/h
Cereulide-1	1170,7 → 172,2; dwell 0,057 s; cone 65 V; collision 90 V
Cereulide-2	1170,7 → 314,4; dwell 0,057 s; cone 65 V; collision 74 V
Nội chuẩn cereulide	1176,7 → 172,2; dwell 0,057 s; cone 65 V; collision 90 V

2.3 Thiết kế nghiên cứu

Thiết kế được xây dựng gồm hai nội dung chính. Trước hết, khảo sát tối ưu quy trình xử lý mẫu được thực hiện trên một mẫu sữa bột công thức thương mại, được lựa chọn làm mẫu đại diện cho nhóm sản phẩm dạng bột dành cho trẻ nhỏ. Nội dung khảo sát tập trung vào ảnh hưởng của lượng nước bổ sung trước chiết và vai trò của bước siêu âm trong quá trình xử lý mẫu, nhằm lựa chọn điều kiện phù hợp cho phân tích cereulide trên nền sữa bột.

Tiếp theo, phương pháp được xác nhận giá trị sử dụng trên ba nền mẫu chính gồm sữa bột, sữa lỏng và bột ăn dặm. Bên cạnh đó, quy trình đã lựa chọn được khảo sát sơ bộ khả năng áp dụng trên một số nền mẫu mở rộng có thành phần phức tạp hơn.

Do hạn chế mẫu chuẩn được chứng nhận, phòng thử nghiệm thực hiện thêm chuẩn dạng lỏng vào nền mẫu, để yên ít nhất 48 h trước khi thực hiện các bước thử nghiệm tiếp theo.

Trường hợp hàm lượng trong mẫu nằm ngoài đường chuẩn thì thực hiện các bước pha loãng hoặc lấy lượng cân ít hơn.

Bảng 4. Tóm tắt thiết kế nghiên cứu của phương pháp xác định cereulide.

Nội dung nghiên cứu	Nền mẫu	Nội dung khảo sát	Mức khảo sát	Mục đích
Khảo sát 1	Mẫu sữa bột công thức	Ảnh hưởng của lượng nước bổ sung trước chiết	0; 2,0 mL; 5,0 mL; 10,0 mL	Lựa chọn điều kiện hoàn nguyên phù hợp cho nền bột
Khảo sát 2	Mẫu sữa bột công thức	Ảnh hưởng của bước siêu âm	Lắc 30 min; lắc 30 min + siêu âm 30 min	Đánh giá khả năng cải thiện hiệu suất chiết
Xác nhận giá trị sử dụng	Sữa bột; sữa lỏng; bột ăn dặm	LOD, LOQ, hiệu suất thu hồi, RSDr	LOQ 100,0 ng/kg hoặc 100,0 ng/L; Mức bổ sung: 750 ng/kg (sữa bột); 300,0 ng/L (sữa lỏng); 1200 ng/kg (bột ăn dặm).	Đánh giá hiệu năng trên ba nền mẫu chính
Khảo sát áp dụng	Sữa socola; sữa dâu; bột ăn dặm mặn	Áp dụng quy trình đã lựa chọn	Theo mẫu khảo sát thực tế	Đánh giá sơ bộ khả năng áp dụng trên các nền mẫu mở rộng

Ghi chú:

Các mức khảo sát được lựa chọn trên cơ sở LOQ của phương pháp và đường chuẩn làm việc (5,0; 10,0; 20,0; 50,0; 100,0) ng/L. Các mức bổ sung được bố trí để đại diện cho các vùng đáp ứng thấp, trung bình và cao của khoảng làm việc, tương ứng khoảng 30 %, 75 % và 120 % trong bố trí thực nghiệm.

2.4 Xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp

Phương pháp được xác nhận giá trị sử dụng trong điều kiện của phòng thử nghiệm. Các thông số được đánh giá gồm giới hạn phát hiện (LOD), giới hạn định lượng (LOQ), hiệu suất thu hồi; độ chụm nội bộ phòng thử nghiệm (RSDr) và độ không đảm bảo đo. Tiêu chí chấp nhận tham khảo theo AOAC Appendix F [5].

Trên ba nền mẫu chính, LOD được kiểm tra ở mức 50,0 ng/kg hoặc 50,0 ng/L; LOQ được kiểm tra ở mức 100,0 ng/kg hoặc 100,0 ng/L. Ngoài mức LOQ, mỗi nền mẫu được khảo sát thêm một mức bổ sung nhằm mở rộng đánh giá trong khoảng làm việc thực tế của phương pháp, bao gồm 750,0 ng/kg đối với sữa bột, 300,0 ng/L đối với sữa lỏng và 1 200 ng/kg đối với bột ăn dặm.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Đáp ứng sắc ký và độ chọn lọc

Sắc ký đồ của dung dịch chuẩn và mẫu thêm chuẩn cho thấy tín hiệu cereulide được ghi nhận ổn định tại thời gian lưu tương ứng, không xuất hiện nhiễu đồng lưu đáng kể tại vị trí phân tích trên các nền mẫu khảo sát. Kết quả này cho thấy hệ LC-MS/MS đáp ứng yêu cầu về tính chọn lọc cho mục đích định lượng. Sắc ký đồ minh họa của dung dịch chuẩn và mẫu thêm chuẩn được trình bày trong phần phụ lục.

3.2 Kết quả kiểm tra giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng của phương pháp thử.

Ở mức kiểm tra giới hạn phát hiện tại hàm lượng 50,0 ng/kg hoặc 50,0 ng/L, cả ba nền mẫu chính đều cho tỷ lệ phát hiện 100 % trên các lần thử nghiệm lặp lại (n = 6).

Ở mức kiểm tra giới hạn định lượng tại hàm lượng 100,0 ng/kg hoặc 100,0 ng/L, cả ba nền mẫu chính đều cho tỷ lệ phát hiện 100 % trên các lần thử nghiệm lặp lại (n = 6), hiệu suất thu hồi từ 70 % đến 120 % và độ chụm đạt < 20 %.

Trên cơ sở đó, mức LOQ được lựa chọn cho quy trình hiện tại là 100,0 ng/kg hoặc 100,0 ng/L tùy nền mẫu.

Bảng 5. Kết quả kiểm tra LOD và LOQ trên ba nền mẫu chính.

Nền mẫu	Mức kiểm tra LOD	Số lần phát hiện	LOQ công bố	Đánh giá
Sữa bột	50,0 ng/kg	6/6	100,0 ng/kg	Phát hiện đầy đủ tại mức LOD. Tại mức 100,0 ng/kg cho tín hiệu định lượng ổn định, hiệu suất thu hồi từ 70 % đến 120 % và độ chụm < 20 %.
Sữa lỏng	50,0 ng/L	6/6	100,0 ng/L	Phát hiện đầy đủ tại mức LOD. Tại mức 100,0 ng/L cho tín hiệu định lượng ổn định, hiệu suất thu hồi từ 70 % đến 120 % và độ chụm < 20 %.

Nền mẫu	Mức kiểm tra LOD	Số lần phát hiện	LOQ công bố	Đánh giá
Bột ăn dặm	50,0 ng/kg	6/6	100,0 ng/kg	Phát hiện đầy đủ tại mức LOD. Tại mức 100,0 ng/kg cho tín hiệu định lượng ổn định, hiệu suất thu hồi từ 70 % đến 120 % và độ chụm < 20 %.

3.3 Hiệu suất thu hồi và độ chụm trên các nền mẫu chính

Kết quả xác nhận giá trị sử dụng cho thấy phương pháp có hiệu suất thu hồi phù hợp và độ chụm lặp lại trong phòng tốt trên cả ba nền mẫu chính. Nhìn chung, tại mức LOQ, độ thu hồi trên các nền sữa bột, sữa lỏng và bột ăn dặm đều nằm trong khoảng chấp nhận, tuy nhiên độ biến thiên còn tương đối rõ ở các nền bột. Khi tăng mức bổ sung, hiệu suất thu hồi ổn định hơn và giá trị RSDr giảm rõ rệt, cho thấy độ chụm của phương pháp được cải thiện ở vùng hàm lượng cao hơn mức LOQ. Kết quả chi tiết được trình bày tại Bảng 6.

Kết quả ước lượng độ không đảm bảo đo được tính từ hai yếu tố quan trọng của phép thử là hiệu suất thu hồi và độ chụm của phép thử, cho thấy độ không đảm bảo đo mở rộng U (95 %), k = 2 tại mức LOQ lần lượt là 35 % đối với sữa bột, 22 % đối với sữa lỏng và 33 % đối với bột ăn dặm. Ở các mức bổ sung cao hơn, độ không đảm bảo đo mở rộng giảm xuống còn 17 % đối với sữa bột và sữa lỏng, và 18 % đối với bột ăn dặm. Kết quả cho thấy giá trị độ không đảm bảo đo có xu hướng cao hơn ở vùng hàm lượng thấp gần LOQ và giảm rõ khi tăng mức khảo sát, phù hợp với xu hướng cải thiện độ chụm của phương pháp ở vùng nồng độ cao hơn.

Bảng 6. Hiệu suất thu hồi và độ chụm lặp lại trong phòng trên các nền mẫu chính.

Nền mẫu	Mức khảo sát	*Hiệu suất thu hồi* (%)	RSDr (%)	U (%) (95 %, k = 2)
Sữa bột	100,0 ng/kg (LOQ)	74,4 - 112,3	12,1	35
	750,0 ng/kg	94,1 - 112,0	4,0	17
Sữa lỏng	100,0 ng/L (LOQ)	81,6 - 104,1	8,2	22
	300,0 ng/L	90,2 - 112,0	7,1	17
Bột ăn dặm	100,0 ng/kg (LOQ)	75,7 - 113,3	14,1	33
	1200,0 ng/kg	93,1 - 119,0	6,4	18

Ghi chú: Tiêu chí đánh giá hiệu suất thu hồi và RSDr được tham khảo theo AOAC Appendix F [5]; các kết quả khảo sát đều đạt yêu cầu.

3.4 Khảo sát bước hoàn nguyên mẫu bột và ảnh hưởng của siêu âm

Do đặc tính của nền mẫu và hoạt chất cereulide, sữa bột công thức có nền mẫu phức tạp, giàu protein, lipid và carbohydrate, trong đó cereulide có tính kỵ nước cao, có xu hướng liên kết hoặc bị giữ lại trong các vi cấu trúc lipid–protein. Khi không bổ sung nước, cấu trúc nền mẫu ở trạng thái khô và đặc, hạn chế sự thâm nhập của dung môi chiết và cản trở quá trình giải phóng chất phân tích.

Việc bổ sung nước trước khi chiết đóng vai trò như một bước "hydrat hóa" nền mẫu, giúp tái cấu trúc hệ phân tán ban đầu của sữa bột. Nước làm trương nở protein và carbohydrate, đồng thời phá vỡ các tương tác yếu (liên kết hydro, tương tác kỵ nước) giữa cereulide và các thành phần nền. Nhờ đó, cereulide trở nên dễ tiếp cận hơn với dung môi hữu cơ trong giai đoạn chiết.

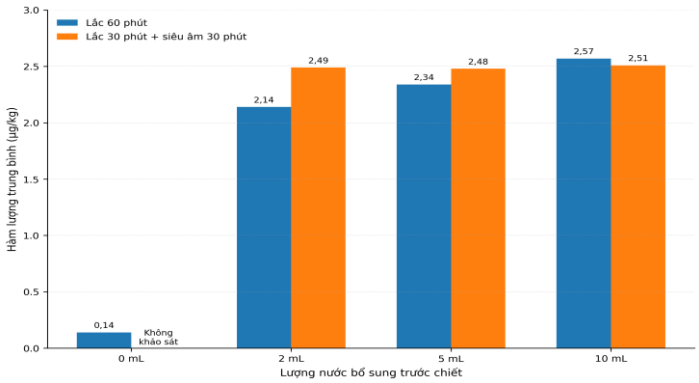
Khảo sát định lượng hàm lượng cereulide trên nền mẫu sữa bột công thức thương mại cho thấy bước bổ sung nước trước khi chiết có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất chiết. Khi không bổ sung nước, hiệu suất chiết thấp, với hàm lượng cereulide trung bình chỉ đạt khoảng 0,14 µg/kg.

Khi bổ sung nước trước khi chiết và thực hiện lắc trong 60 phút, hàm lượng cereulide thu được tăng rõ rệt. Cụ thể, với các mức bổ sung 2,0 mL; 5,0 mL và 10,0 mL nước, giá trị trung bình (n = 6) lần lượt đạt 2,14 µg/kg; 2,34 µg/kg và 2,57 µg/kg. Kết quả này cho thấy việc hydrat hóa mẫu trước chiết góp phần cải thiện khả năng giải phóng cereulide khỏi nền mẫu, từ đó nâng cao hiệu suất chiết.

Khi bổ sung thêm bước xử lý siêu âm trong 30 phút sau giai đoạn lắc 30 phút, hiệu suất chiết có xu hướng được cải thiện, đồng thời sự khác biệt giữa các mức thể tích nước bổ sung giảm đáng kể. Ở điều kiện này, các mức 2,0 mL; 5,0 mL và 10,0 mL nước cho giá trị trung bình (n = 6) tương ứng là 2,49 µg/kg; 2,48 µg/kg và 2,51 µg/kg, kết quả chụm.

Đáng chú ý, thể tích 5,0 mL nước cho hiệu suất chiết tương đương với 10,0 mL, đồng thời bảo đảm khả năng làm ướt nền mẫu đồng đều hơn so với 2,0 mL và thuận tiện hơn trong thao tác thường quy so với 10,0 mL.

Trên cơ sở cân nhắc giữa hiệu suất chiết và tính khả thi trong thực hành, điều kiện bổ sung 5,0 mL nước kết hợp lắc 30 phút và siêu âm 30 phút được lựa chọn làm điều kiện tối ưu cho quy trình xử lý mẫu.



Hình 2. Ảnh hưởng của lượng nước bổ sung trước chiết và bước siêu âm đến hàm lượng cereulide thu được trên mẫu sữa bột công thức.

3.5 Thảo luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy quy trình xác định cereulide trong các loại sữa và bột ăn dặm bằng kỹ thuật LC-MS/MS, được xây dựng trên cơ sở tiêu chuẩn ISO 18465:2017, có khả năng áp dụng tốt cho các nền sữa và bột ăn dặm khi bước xử lý mẫu được điều chỉnh phù hợp với trạng thái của nền mẫu.

Đối với nền lỏng, việc chiết trực tiếp bằng acetonitrile cho kết quả ổn định. Trong khi đó, đối với nền bột, bước bổ sung nước trước khi chiết có ý nghĩa quyết định đến hiệu suất chiết cereulide. Nhận định này cũng phù hợp với khuyến nghị của Cơ quan An toàn Thực phẩm châu Âu về vai trò của quá trình hydrat hóa trước khi chiết đối với các sản phẩm bột dành cho trẻ nhỏ.

Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn còn một số hạn chế và cần tiếp tục được mở rộng trong thời gian tới. Thứ nhất, bộ dữ liệu hiện tại mới chỉ được xây dựng trong điều kiện của một phòng thử nghiệm. Vì vậy, cần triển khai so sánh liên phòng và thử nghiệm thành thạo để hài hòa năng lực, đồng thời cập nhật thêm số liệu thực tế, khách quan hơn.

Thứ hai, khảo sát tối ưu hóa bước hoàn nguyên và siêu âm mới chỉ được thực hiện chuyên sâu trên một mẫu nền bột đại diện. Do đó, cần tiếp tục mở rộng đánh giá trên nhiều loại nền bột khác nhau để tăng tính khái quát của quy trình.

Thứ ba, các nền mẫu mở rộng như sữa socola, sữa đậu và bột ăn dặm mặn hiện mới chỉ dừng ở mức đánh giá khả năng áp dụng. Các nền mẫu này chưa được xác nhận giá trị sử dụng đầy đủ như đối với các nền mẫu chính.

Trong thời gian tới, cần triển khai các nghiên cứu so sánh liên phòng nhằm đánh giá độ tái lập và tăng cường tính hài hòa của phương pháp giữa các đơn vị phân tích. Đồng thời, cần mở rộng khảo sát tối ưu hóa xử lý mẫu trên nhiều loại nền bột khác nhau để nâng cao tính đại diện và độ tin cậy của quy trình.

Bên cạnh đó, các nền mẫu mở rộng cần được thẩm định đầy đủ theo các tiêu chí xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp, bao gồm độ đúng, độ lặp lại, giới hạn phát hiện và định lượng. Việc hoàn thiện các nội dung này sẽ góp phần nâng cao khả năng ứng dụng thực tiễn của phương pháp trong giám sát an toàn thực phẩm.

4 KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã bước đầu xây dựng được phương pháp LC-MS/MS xác định cereulide trên ba nền mẫu chính gồm sữa bột, sữa lỏng và bột ăn dặm. Phương pháp cho LOD công bố 50,0 ng/kg hoặc 50,0 ng/L và LOQ công bố 100,0 ng/kg hoặc 100,0 ng/L theo từng nền mẫu, đồng thời đạt hiệu suất thu hồi và RSDr phù hợp trên cả ba nền mẫu chính.

Đối với nền bột, khảo sát tối ưu hóa cho thấy bước hoàn nguyên bằng nước là cần thiết để nâng cao hiệu suất chiết. Điều kiện được lựa chọn cho quy trình phân tích là bổ sung 5,0 mL nước, lắc 30 phút và siêu âm 30 phút trước khi ly tâm và lọc.

Các kết quả thu được là cơ sở để hoàn thiện hướng dẫn công việc, triển khai phép thử trong phòng thử nghiệm và tiếp tục tối ưu hóa phương pháp, mở rộng năng lực thử nghiệm đối với các cấu tử độc tố và các nền mẫu thực phẩm dành cho trẻ nhỏ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] ISO 18465:2017. Microbiology of the food chain — Quantitative determination of emetic toxin (cereulide) using LC-MS/MS.

[2] EFSA (European Food Safety Authority) (2026). Rapid risk assessment on acute reference dose (ARfD) of cereulide in infants and information on acute consumption of infant formulae. EFSA Journal, 24(1), e9941.

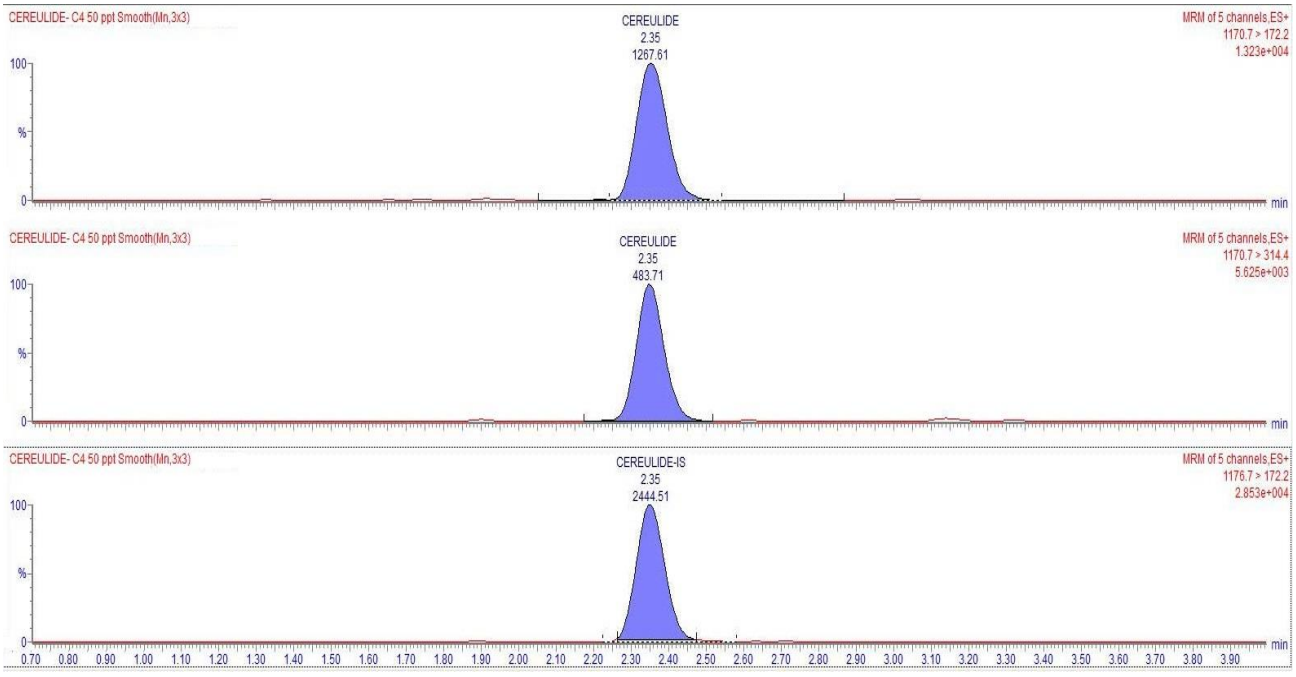
[3] In't Veld, P.H., van der Laak, L.F.J., van Zon, M., & Biesta-Peters, E.G. (2019). Elaboration and validation of the method for quantification of the emetic toxin of Bacillus cereus as described in EN-ISO 18465. International Journal of Food Microbiology, 288, 91 - 96.

[4] Yang, S., Wang, Y., Liu, Y., Jia, K., Zhang, Z., & Dong, Q. (2023). Cereulide and emetic Bacillus cereus: Characterizations, impacts and public precautions. Foods, 12(4), 833.

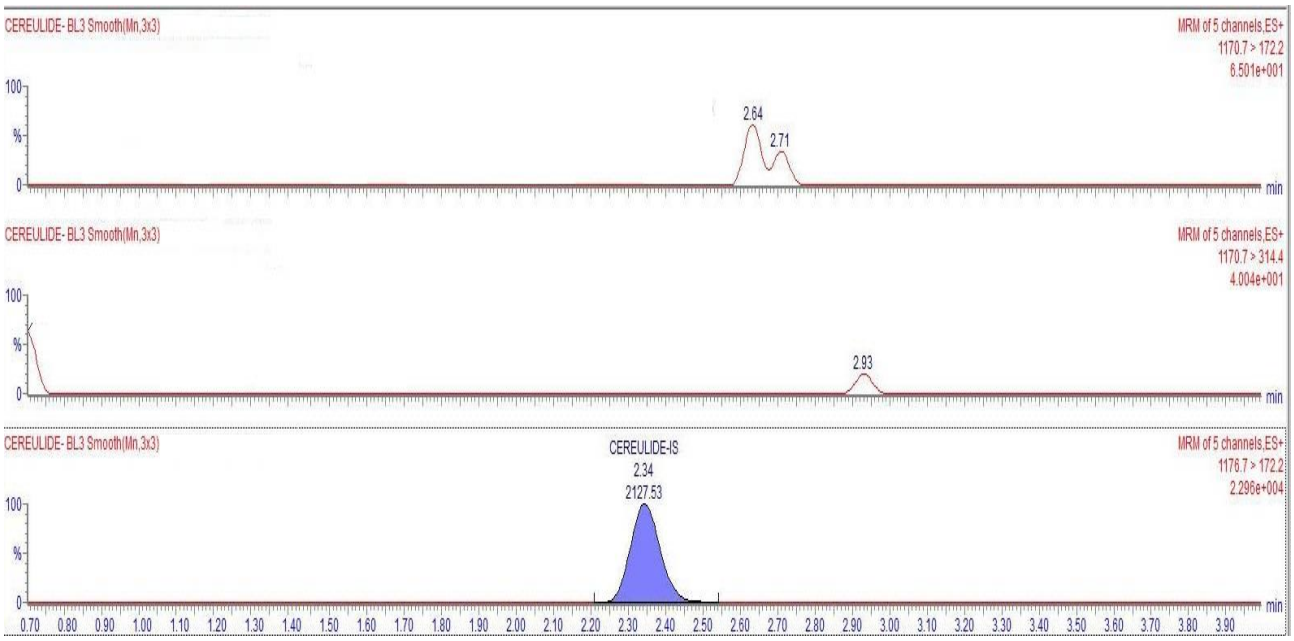
[5] AOAC International (2016). Appendix F: Guidelines for Standard Method Performance Requirements. In Official Methods of Analysis of AOAC International.

PHỤ LỤC

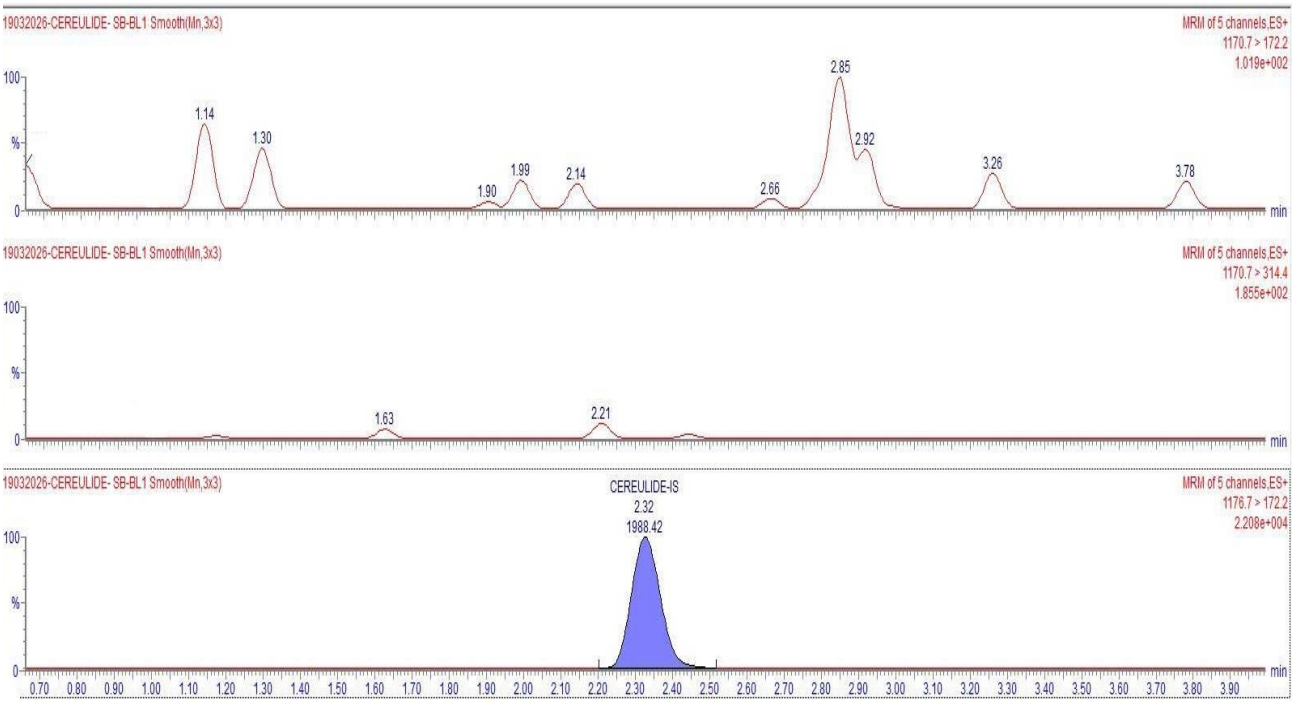
Sắc ký đồ minh họa của dung dịch chuẩn và các mẫu thêm chuẩn



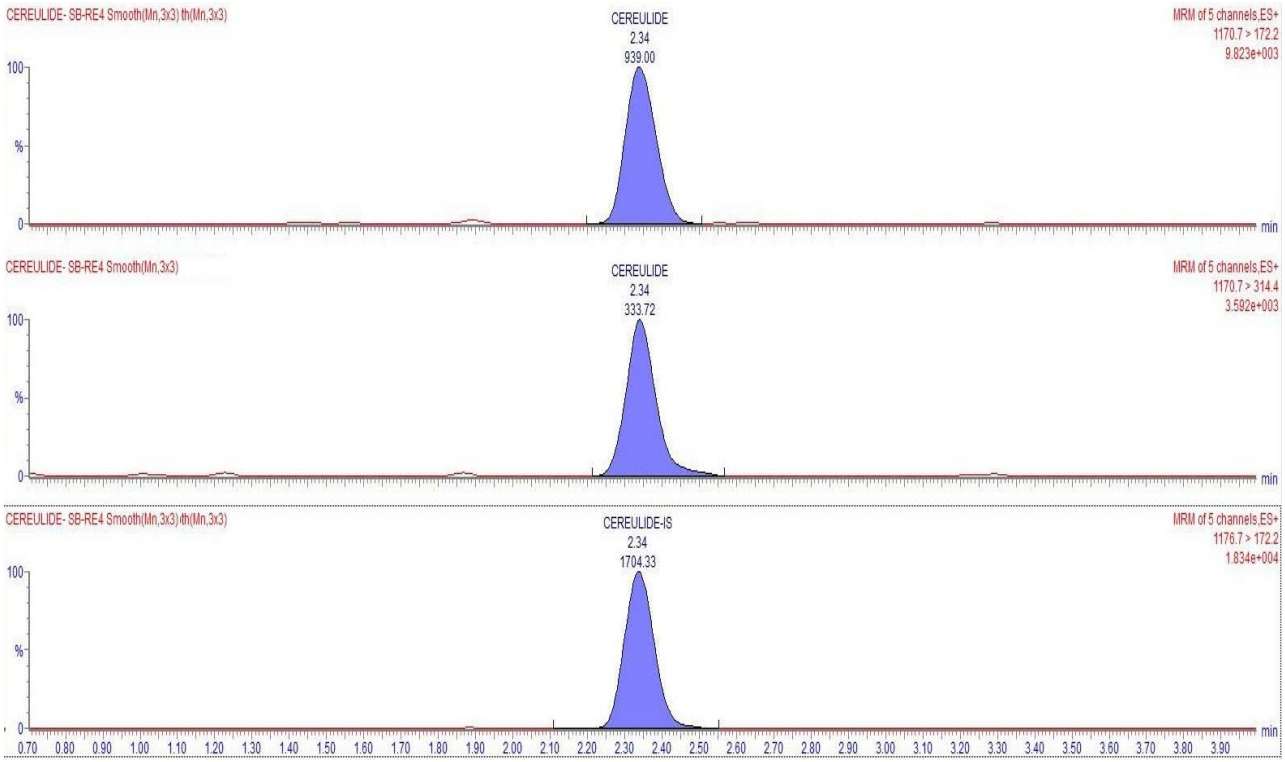
Sắc ký đồ dung dịch chuẩn 50 ng/L



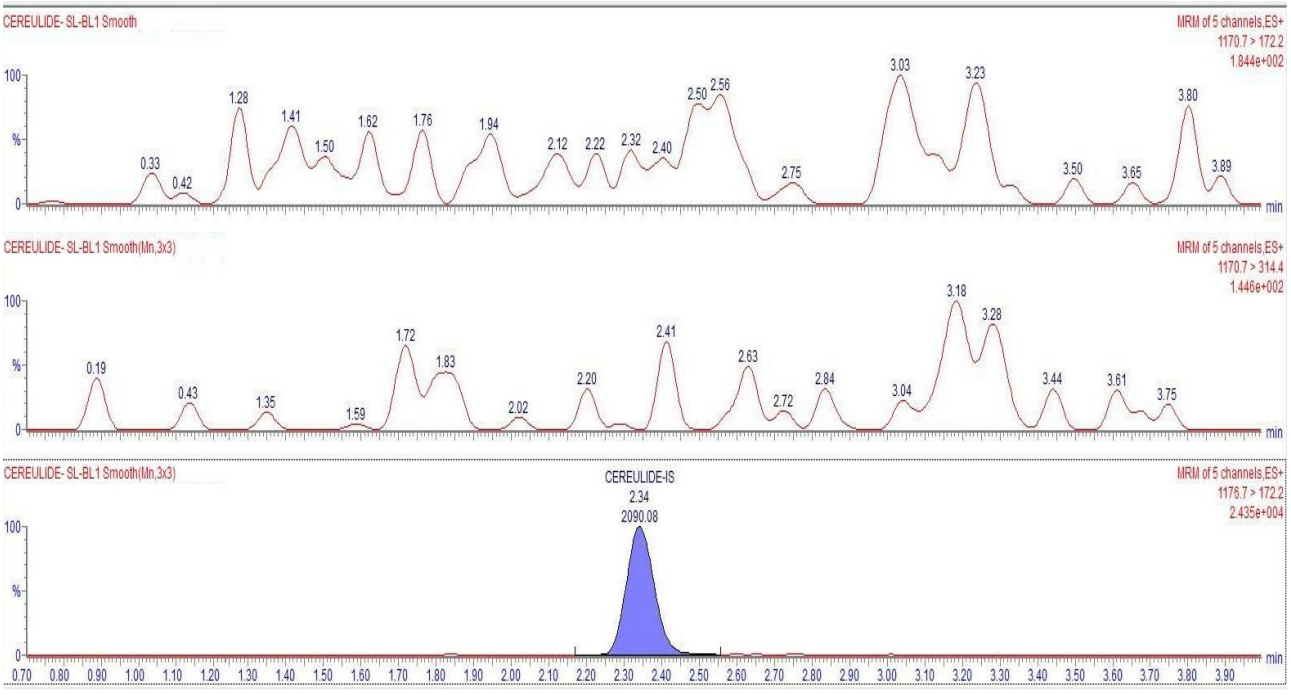
Sắc ký đồ blank dung môi



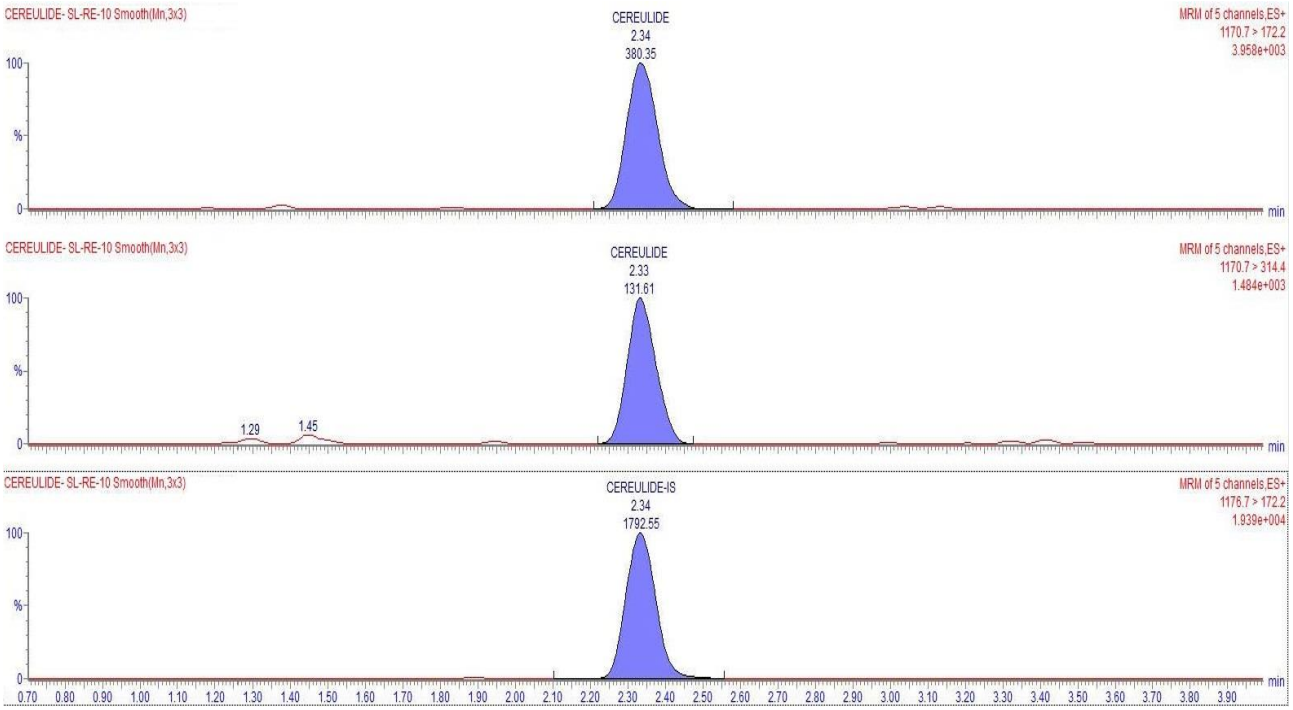
Sắc ký đồ blank nền sữa bột



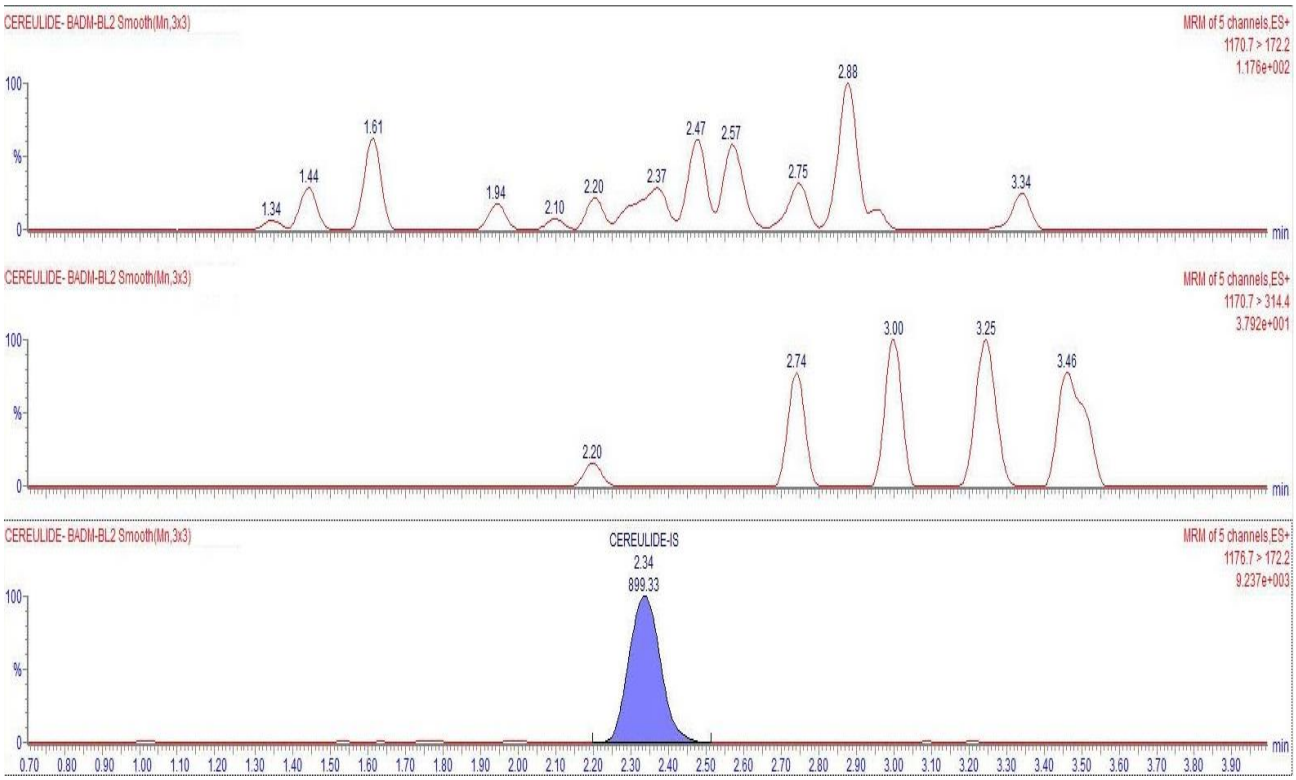
Sắc ký đồ thêm chuẩn trên nền sữa bột ở mức 750 ng/kg



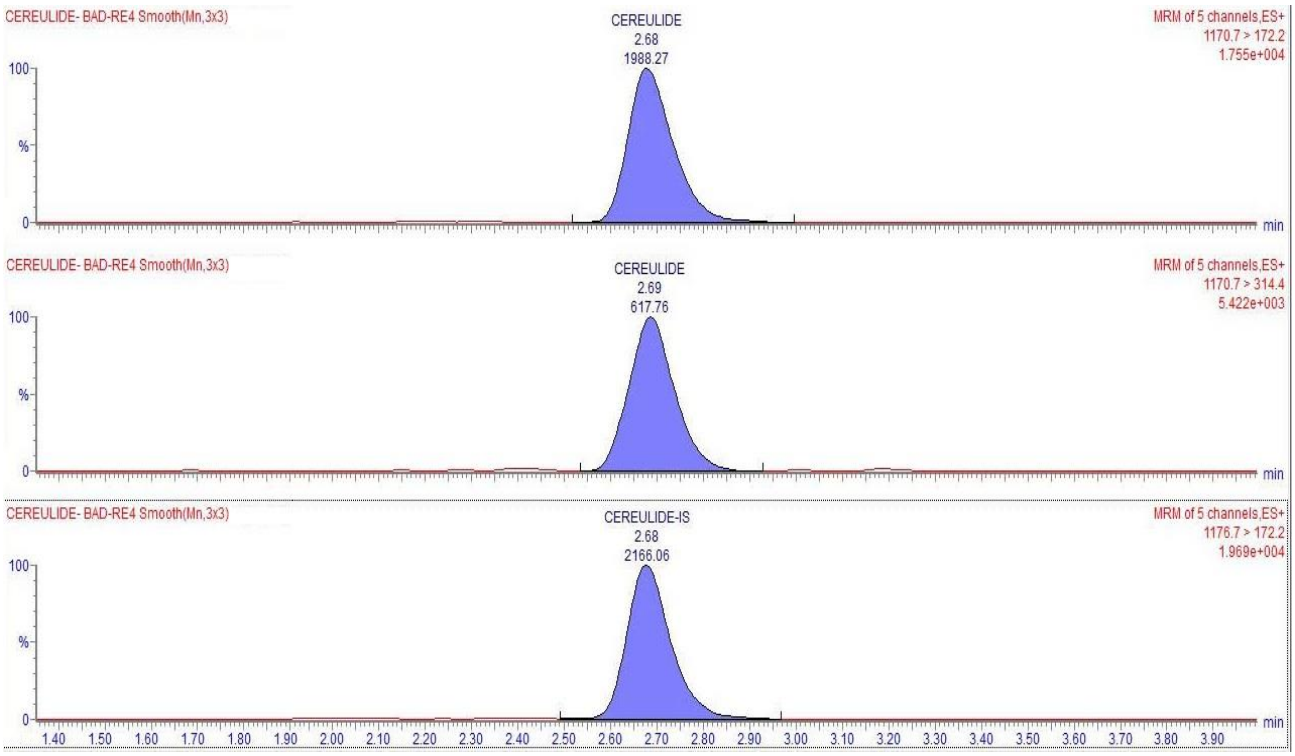
Sắc ký đồ blank nền sữa lỏng



Sắc ký đồ thêm chuẩn trên nền sữa lỏng ở mức 300 ng/L

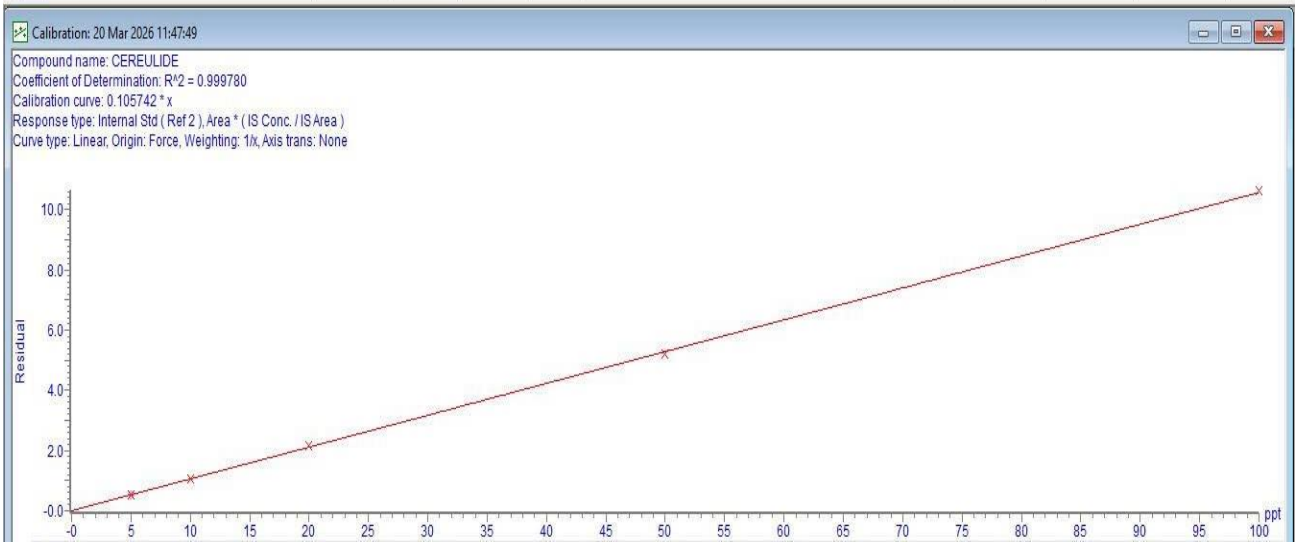


Sắc ký đồ blank nền bột ăn dặm



Sắc ký đồ thêm chuẩn trên nền bột ăn dặm ở mức 1200 ng/kg

	Name	Sample Text	RT	Area	IS Area	ppt	1ª Ratio (Actual)	%Rec	Vial	S/N
1	19032026-CEREULIDE- C1 5 ppt		2.35	108	2019	5.043		100.9	1:2	20
2	19032026-CEREULIDE- C2 10 ppt		2.35	251	2345	10.106		101.1	1:3	43
3	19032026-CEREULIDE- C3 20 ppt		2.35	408	1905	20.242	2.806	101.2	1:4	61
4	19032026-CEREULIDE- C4 50 ppt		2.35	1268	2445	49.039	2.621	98.1	1:5	214
5	19032026-CEREULIDE- C5 100 ppt		2.35	2834	2665	100.570	3.025	100.6	1:6	599



Đường chuẩn với hàm lượng cereulide (5; 10; 20; 50; 100) ng/L

Hội thảo Khoa học Đo lường – Thử nghiệm 2026
QUATEST 3 – VINATEST

Nội dung:

- Trần Quốc Dũng, Giám đốc Trung tâm Kỹ thuật 3;
- Nguyễn Anh Triết, Phó Giám đốc Trung tâm Kỹ thuật 3; Chủ tịch Hội Vinatest;
- Đinh Văn Trữ, Phó Chủ tịch Hội Vinatest;
- Phan Thành Trung, Phó Giám đốc Trung tâm Kỹ thuật 3.

Biên tập:

- Đinh Văn Trữ, Phó Chủ tịch Hội Vinatest.

TP. Hồ Chí Minh, tháng 07/2026