

Xây dựng mô hình dự báo nguy cơ nhiễm vi sinh vật trong thực phẩm đường phố dựa trên các yếu tố môi trường tại thành phố Hải Phòng

Nguyễn Văn Quyên⁽¹⁾

⁽¹⁾ Trường Đại học Hải Dương, Thành phố Hải Phòng, Việt Nam

* Tác giả liên hệ: Nguyễn Văn Quyên

Địa chỉ: Trường Đại học Hải Dương, Thành phố Hải Phòng, Việt Nam

Email: vanquyengvhd@gmail.com

Điểm nổi bật

- ✓ Xây dựng mô hình dự báo nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật trong thực phẩm đường phố dựa trên các chỉ dấu môi trường và thực hành vệ sinh để quan sát, phù hợp triển khai giám sát nhanh tại đô thị.
- ✓ Xác định các yếu tố dự báo quan trọng gồm nhiệt độ, độ ẩm, bụi/tiếp xúc giao thông, mật độ quầy hàng và thực hành vệ sinh (rửa tay, vệ sinh dụng cụ, bảo quản sau chế biến).
- ✓ Mô hình cây quyết định cho độ chính xác phân loại cao và cung cấp các quy tắc ra quyết định hỗ trợ ưu tiên thanh tra, can thiệp và truyền thông nguy cơ.

Tóm tắt: Thực phẩm đường phố là lựa chọn tiện lợi nhưng tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật do điều kiện chế biến ngoài trời và vệ sinh chưa đảm bảo. Tại Hải Phòng, sự gia tăng điểm bán cùng tác động của nhiệt độ, độ ẩm và bụi giao thông làm tăng nguy cơ nhiễm các tác nhân gây bệnh như *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* và Coliforms. Nghiên cứu nhằm mô tả phân bố nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật của một số nhóm thực phẩm đường phố tại Hải Phòng, đồng thời định lượng tác động của các yếu tố môi trường và thực hành vệ sinh để xây dựng mô hình dự báo phục vụ quản lý rủi ro. Nghiên cứu được tiến hành từ 01–08/2025 tại 250 điểm bán, thu thập dữ liệu về nhiệt độ, độ ẩm, bụi, mật độ giao thông, đặc điểm điểm bán và vệ sinh bằng bảng kiểm chuẩn hóa. Nguy cơ vi sinh được đánh giá theo phương pháp Qualitative Microbial Risk Assessment (QMRA) rút gọn kết hợp các chỉ dấu ô nhiễm (Coliforms, *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp.). Phân tích hồi quy logistic đa biến xác định các biến môi trường có ý nghĩa ($p < 0,05$), trong khi mô hình cây quyết định với 12 biến đầu vào đạt độ chính xác kiểm tra chéo 83,6%. Kết quả cho thấy giám sát dựa trên yếu tố môi trường và thực hành vệ sinh là giải pháp chi phí thấp, khả thi trong quản lý rủi ro an toàn thực phẩm đường phố. Mô hình dự báo có độ chính xác cao, có thể ứng dụng hiệu quả tại Hải Phòng và các đô thị tương tự.

Từ khóa: Cây quyết định; hồi quy logistic; mô hình dự báo; quản lý rủi ro; thực phẩm đường phố; vi sinh vật; yếu tố môi trường.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thực phẩm đường phố giữ vai trò quan trọng trong văn hóa ẩm thực Việt Nam, đáp ứng nhu cầu ăn uống nhanh, tiện lợi và chi phí phù hợp cho cộng đồng đô thị. Tuy nhiên, chuỗi thao tác chế biến - bảo quản - phục vụ thường diễn ra trong môi trường mở, dễ chịu tác động của nhiệt độ, độ ẩm, bụi và nhiễm chéo từ tay người bán, dụng cụ, nước sử dụng. Những điều kiện này làm tăng khả năng xuất hiện hoặc tái nhiễm các tác nhân như *Escherichia coli*, Coliforms, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp. và một số vi khuẩn gây bệnh đường ruột khác, góp phần vào gánh nặng bệnh truyền qua thực phẩm. Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), nhiễm vi sinh vật là nguyên nhân phổ biến gây bệnh tiêu chảy và nhiều bệnh truyền qua thực phẩm.

Tại Việt Nam, các khảo sát về ô nhiễm vi sinh trong thức ăn đường phố chủ yếu tập trung mô tả tỷ lệ phát hiện và mức độ vượt ngưỡng, trong khi cách tiếp cận dự báo nguy cơ dựa trên yếu tố môi trường/điều kiện kinh doanh còn hạn chế. Trong bối cảnh nguồn lực xét nghiệm không thể bao phủ thường quy toàn bộ điểm bán, mô hình dự báo dựa trên chỉ dấu dễ quan sát

có thể giúp cơ quan quản lý nhận diện nhanh khu vực, thời điểm và nhóm thực phẩm có nguy cơ cao để ưu tiên kiểm tra, can thiệp và truyền thông. Trong khi đó, các mô hình dự báo nguy cơ dựa trên yếu tố môi trường - phương pháp có chi phí thấp, không phụ thuộc hoàn toàn vào xét nghiệm và phù hợp cho quản lý rủi ro - vẫn chưa được khai thác đầy đủ [1-3].

Vì vậy, nghiên cứu này hướng đến phân loại nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật của một số nhóm thực phẩm đường phố tại Hải Phòng, xác định các yếu tố môi trường và thực hành vệ sinh liên quan nguy cơ và xây dựng, đánh giá mô hình dự báo nguy cơ có khả năng ứng dụng thực tiễn trong quản lý an toàn thực phẩm đô thị. Kết quả dự kiến giúp cơ quan quản lý nhận diện khu vực, thời điểm và nhóm thực phẩm có nguy cơ cao, từ đó đề xuất giải pháp kiểm soát và phòng ngừa hiệu quả hơn.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Đối tượng nghiên cứu bao gồm:

* Các loại thực phẩm đường phố phổ biến tại Hải Phòng: Tập trung vào các loại thực phẩm được tiêu thụ phổ biến, có nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật cao và được bày bán tại nhiều khu vực đô thị. Các nhóm thực phẩm được khảo sát gồm:

- Nhóm thực phẩm chín: bánh mì, bánh cuốn, bún - phở, xôi, cháo, nem chua rán, xúc xích rán.
- Nhóm thực phẩm chế biến sẵn nhưng bảo quản ở nhiệt độ phòng: đồ khô, bánh bao, bánh ngọt, đồ ăn vặt.
- Nhóm đồ uống pha chế tại chỗ: trà chanh, trà sữa, nước mía, chè, nước giải khát tự chế.
- Nhóm thực phẩm tươi sống phục vụ chế biến nhanh: thịt xiên nướng, hải sản nướng, đồ chiên rán.

* Môi trường kinh doanh thực phẩm đường phố: Bao gồm các yếu tố có khả năng tác động đến nguy cơ nhiễm vi sinh vật:

- Vị trí bán hàng (gần chợ, khu công nghiệp, trường học, bệnh viện, khu phố trung tâm...).
- Điều kiện vệ sinh khu vực chế biến và bày bán.
- Thời điểm kinh doanh (giờ cao điểm, buổi sáng - trưa - tối).
- Các yếu tố khí hậu môi trường trong ngày (nhiệt độ, độ ẩm, bụi bẩn, khoảng cách đến nguồn ô nhiễm).

*Người kinh doanh thực phẩm đường phố: Bao gồm thông tin về kinh nghiệm, thói quen vệ sinh cá nhân, quy trình chế biến, thực hành an toàn thực phẩm và kiến thức về vi sinh vật thực phẩm.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng cách tiếp cận tích hợp giữa khảo sát thực địa, thu thập số liệu môi trường, đánh giá nguy cơ, và xây dựng mô hình dự báo, bao gồm:

2.2.1. Phương pháp thu thập mẫu và khảo sát thực địa

- Lựa chọn 05 phường đại diện tại Hải Phòng (Phường Lê Thanh Nghị, Hải Dương, Thành Đông, Tân Hưng, Thạch Khôi).

- Tiến hành khảo sát 250 điểm bán hàng; tại mỗi khu vực, lựa chọn 10–15 điểm thuộc từng nhóm thực phẩm khác nhau để thu thập dữ liệu.

- Thời gian: từ tháng 1 đến tháng 8 năm 2025.

- Dữ liệu môi trường gồm nhiệt độ không khí (°C), độ ẩm tương đối (%), mật độ bụi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) hoặc chỉ dấu thay thế (mật độ giao thông), khoảng cách từ điểm bán đến trục giao thông chính (m), mức che chắn (mái che cố định/di động/không che), mật độ quây hàng lân cận (quây/100 m). Các thông số được đo bằng thiết bị cầm tay đã hiệu chuẩn; khoảng cách ước lượng bằng thước đo hoặc GPS.

- Thực hành vệ sinh được ghi nhận theo bảng kiểm gồm: rửa tay khi chuyển đổi thao tác (có/không), nguồn nước sử dụng (đạt/không đạt theo khai báo và quan sát), vệ sinh dụng cụ (nước rửa: nước lã/chất tẩy rửa; có quy trình vệ sinh định kỳ hay không), sử dụng găng tay, bảo quản thực phẩm (hộp có nắp; nhiệt độ giữ nóng/ giữ lạnh nếu có), thời gian lưu trữ sau chế biến (phút/giờ), tái sử dụng dầu chiên (số lần).

Các điều tra viên được tập huấn và chuẩn hóa trước khảo sát chính thức thông qua khảo sát thử và thảo luận thống nhất tiêu chí ghi nhận. Mức độ phù hợp giữa các điều tra viên được đánh giá bằng hệ số Kappa đối với các biến quan sát chính; kết quả cho thấy hệ số Kappa đạt từ 0,72–0,84, phản ánh mức độ nhất quán tốt giữa các điều tra viên.

2.2.2. Phương pháp đánh giá nhanh nguy cơ vi sinh vật

a) Phương pháp QMRA rút gọn

Áp dụng phương pháp Qualitative Microbial Risk Assessment (QMRA) rút gọn:

- Xác định các tác nhân nguy cơ (Coliforms, *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp...) [4-12].

- Đánh giá mức độ phơi nhiễm dựa trên tần suất tiếp xúc và điều kiện môi trường.

- Tổng hợp thông tin về chỉ dấu vi sinh vật, yếu tố môi trường và thực hành vệ sinh của người bán để phân nhóm mức nguy cơ ô nhiễm theo thang ba mức: *thấp - trung bình - cao*.

b) Định nghĩa biến kết cục và quy tắc phân loại nguy cơ

Nghiên cứu xác định biến kết cục là mức nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật của thực phẩm đường phố, được phân loại thành ba mức: thấp, trung bình và cao, nhằm phục vụ phân tích thống kê và mô hình hóa nguy cơ. Việc phân loại được xây dựng theo cách tiếp cận QMRA rút gọn, phù hợp với điều kiện giám sát thực địa.

Mức nguy cơ được xác định dựa trên ba nhóm thành phần chính với trọng số bằng nhau. Việc sử dụng trọng số bằng nhau nhằm tránh thiên lệch chủ quan và phù hợp với mục tiêu giám sát nhanh trong điều kiện thiếu dữ liệu định lượng chi tiết. Nhóm thứ nhất là chỉ dấu vi sinh vật, bao gồm sự hiện diện và/hoặc vượt ngưỡng tham chiếu của Coliforms, *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp. theo các hướng dẫn và tiêu chuẩn hiện hành. Nhóm thứ hai là yếu tố môi trường, gồm nhiệt độ, độ ẩm tương đối, mật độ bụi và khoảng cách đến trục giao thông chính. Nhóm thứ ba là thực hành vệ sinh, phản ánh các hành vi nguy cơ như không rửa tay trước chế biến, sử dụng nguồn nước không đảm bảo, tái sử dụng dầu mỡ và vệ sinh dụng cụ không thường xuyên.

Mỗi yếu tố được quy đổi thành điểm nguy cơ trên thang 0–1, trong đó giá trị cao hơn biểu thị điều kiện bất lợi. Tổng điểm nguy cơ được chuẩn hóa và phân loại thành ba mức dựa trên các ngưỡng T_1 và T_2 , xác định theo phân bố dữ liệu thực tế của mẫu nghiên cứu và tham khảo các nghiên cứu QMRA rút gọn tương tự. Phân tích nhạy cảm với biến thiên ngưỡng $\pm 10\%$ cho thấy kết quả phân loại ổn định.

Cách tiếp cận QMRA rút gọn này cho phép đơn giản hóa quy trình đánh giá, phù hợp với điều kiện giám sát thực địa, đồng thời vẫn đảm bảo phản ánh được mối liên hệ giữa yếu tố môi trường, thực hành vệ sinh và nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật trong thực phẩm đường phố.

2.2.3. Quy trình lấy mẫu và xét nghiệm vi sinh vật

Nghiên cứu được thiết kế theo phương pháp cắt ngang, trong đó mỗi điểm bán hàng rong được xem là một đơn vị khảo sát. Tại mỗi điểm bán, thu thập một mẫu thực phẩm đại diện cho sản phẩm đang kinh doanh; trường hợp có sử dụng nước trực tiếp cho chế biến hoặc pha chế, lấy bổ sung một mẫu nước; đồng thời thu thập một mẫu bề mặt tiếp xúc trực tiếp với thực phẩm (dao, thớt hoặc bề mặt chế biến chính) bằng tăm bông vô trùng. Do đó, mỗi điểm bán tương ứng với 1–3 mẫu, được phân thành ba nhóm nền mẫu: thực phẩm, nước và bề mặt tiếp xúc thực phẩm.

Phân tích vi sinh được thực hiện tại phòng thí nghiệm đạt yêu cầu an toàn sinh học, tuân thủ các tiêu chuẩn TCVN/ISO hiện hành. Quy trình chuẩn bị mẫu, pha loãng và xét nghiệm được thực hiện theo các tiêu chuẩn tương ứng cho từng nền mẫu và chỉ tiêu. Các vi sinh vật chỉ dấu gồm Coliforms, *E. coli*, *Staphylococcus aureus* và *Salmonella* spp. Mẫu được xác định dương tính khi vượt ngưỡng tham chiếu hoặc phát hiện sự hiện diện của vi khuẩn theo quy định. Kiểm soát chất lượng phòng thí nghiệm được thực hiện xuyên suốt, và kết quả được tổng hợp phục vụ đánh giá nguy cơ vi sinh theo QMRA rút gọn.

2.2.4. Phương pháp xây dựng mô hình và phân tích thống kê

Dữ liệu được mã hóa và xử lý bằng Excel và SPSS. Biến kết cục là mức nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật có thứ bậc (thấp - trung bình - cao); do đó, hồi quy logistic thứ bậc (ordinal logistic regression) được sử dụng để phân tích mối liên quan giữa các yếu tố môi trường, thực hành vệ sinh và nguy cơ ô nhiễm. Giả định proportional odds của mô hình hồi quy logistic thứ bậc được kiểm tra và không ghi nhận vi phạm đáng kể. Các biến độc lập được lựa chọn dựa trên cơ sở lý thuyết, nghiên cứu trước và phân tích đơn biến với ngưỡng $p < 0,20$. Các biến môi trường liên tục được giữ nguyên dạng liên tục nhằm khai thác tối đa thông tin và đảm bảo tính ổn định của mô hình. Kết quả được trình bày dưới dạng odds ratio hiệu chỉnh (aOR), khoảng tin cậy 95% và giá trị p , theo khuyến nghị STROBE; mức ý nghĩa thống kê xác định tại $p < 0,05$.

Bên cạnh đó, mô hình cây quyết định đa lớp được xây dựng với 12 biến đầu vào để dự báo mức nguy cơ ô nhiễm, sử dụng tiêu chí phân tách Gini index. Dữ liệu được chia thành tập huấn luyện và kiểm tra theo tỷ lệ 70:30, kết hợp kiểm tra chéo. Hiệu năng mô hình được đánh giá bằng accuracy, balanced accuracy, ma trận nhầm lẫn, precision, recall và F1-score nhằm hạn chế sai lệch do mất cân bằng dữ liệu.

2.2.5. Phương pháp đảm bảo độ tin cậy

Sử dụng tiêu chuẩn kiểm định độ phù hợp mô hình (Chi-square, AIC).

Đánh giá độ lặp của kết quả bằng phương pháp kiểm tra chéo (cross-validation).

Tham khảo chuyên gia an toàn thực phẩm để hiệu chỉnh mô hình.

2.2.6. Đạo đức nghiên cứu và quản lý chất lượng

Thông tin người bán được thu thập trên cơ sở tự nguyện và bảo mật, chỉ sử dụng cho mục đích nghiên cứu. Thiết bị đo được hiệu chuẩn định kỳ; bảng kiểm được tập huấn và thử nghiệm trước khảo sát chính thức. Độ phù hợp mô hình được kiểm tra bằng các chỉ số như AIC/Chi-square (đối với hồi quy) và kiểm tra chéo (đối với mô hình dự báo).

3. KẾT QUẢ

3.1. Đặc điểm chung của mẫu khảo sát và điều kiện kinh doanh thực phẩm đường phố

Khảo sát 250 điểm bán hàng tại 05 phường nghiên cứu cho thấy thực phẩm đường phố tại Hải Phòng có tính đa dạng cao với 27 loại thực phẩm thuộc 4 nhóm chính. Trong số đó, nhóm thực phẩm chín và nhóm đồ uống pha chế chiếm tỷ lệ lớn nhất (lần lượt 38,4% và 29,2%).

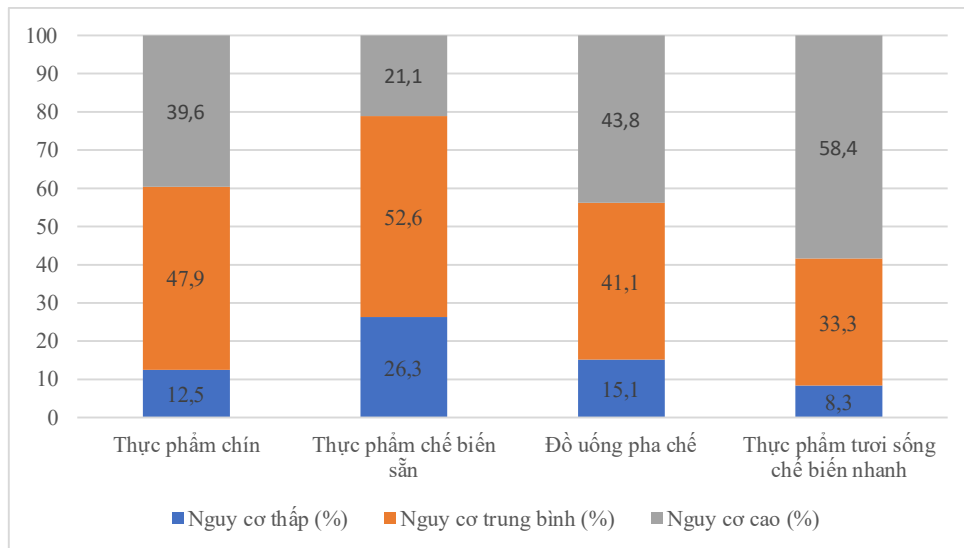
Về điều kiện kinh doanh, chỉ 41,6% điểm bán hàng có mái che cố định; 52,8% bố trí bàn chế biến gần mặt đường nơi mật độ giao thông cao; 67,2% điểm bán không có bồn rửa tay hoặc nguồn nước sạch tại chỗ; 48,4% sử dụng dụng cụ chế biến đã cũ hoặc tái sử dụng nhiều lần mà không có quy trình vệ sinh định kỳ.

Nhiệt độ môi trường trong các thời điểm khảo sát dao động 28,5–36,8°C; độ ẩm 65–85%. Mật độ bụi ghi nhận dao động 82–110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cao hơn các giá trị khuyến nghị về chất lượng không khí xung quanh theo hướng dẫn của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO). Đây là các yếu tố quan trọng góp phần làm tăng nguy cơ nhiễm vi sinh vật.

3.2. Kết quả đánh giá nhanh nguy cơ vi sinh vật của các nhóm thực phẩm

3.2.1. Phân bố nguy cơ theo nhóm thực phẩm

Đánh giá nguy cơ vi sinh vật của 250 mẫu thực phẩm đường phố cho thấy sự khác biệt đáng kể giữa bốn nhóm thực phẩm (Hình 1). Nhóm thực phẩm chín có tỷ lệ nguy cơ trung bình và cao lần lượt 47,9% và 39,6%, cho thấy dù đã qua xử lý nhiệt, quá trình bảo quản và bày bán ngoài trời vẫn dẫn đến tái nhiễm. Nhóm thực phẩm chế biến sẵn thể hiện mức nguy cơ thấp cao hơn (26,3%) do ít tiếp xúc trực tiếp với môi trường và thường được bao gói trước khi bán. Ngược lại, đồ uống pha chế có nguy cơ cao 43,8% vì phụ thuộc nhiều vào chất lượng nước và dụng cụ pha chế. Nguy cơ cao nhất ghi nhận ở nhóm thực phẩm tươi sống chế biến nhanh (58,4%), chủ yếu do chế biến tại chỗ trong điều kiện nhiệt độ cao và kiểm soát nhiệt không ổn định.



Hình 1: Mức nguy cơ vi sinh vật của 4 nhóm thực phẩm

3.2.2. Các tác nhân vi sinh vật nguy cơ cao

Đánh giá nguy cơ theo phương pháp QMRA rút gọn, nghiên cứu đã xác định bốn tác nhân vi sinh vật xuất hiện phổ biến nhất tại các điểm kinh doanh thực phẩm đường phố (Bảng 1).

Bảng 1. Tỷ lệ xuất hiện các tác nhân vi sinh vật nguy cơ cao tại 250 điểm bán thực phẩm đường phố

Tác nhân vi sinh vật	Số điểm phát hiện (n)	Tỷ lệ (%)
Coliforms	178	71,20
<i>E. coli</i>	107	42,80
<i>Staphylococcus aureus</i>	96	38,40
<i>Salmonella</i> spp.	29	11,60

Coliforms được ghi nhận với tỷ lệ cao nhất, xuất hiện tại 71,2% điểm bán, phản ánh tình trạng ô nhiễm môi trường và vệ sinh dụng cụ chưa đảm bảo.

E. coli với tỷ lệ 42,8%, cho thấy nguy cơ nhiễm khuẩn phân do thực hành vệ sinh tay và nguồn nước không đạt chuẩn.

Staphylococcus aureus xuất hiện tại 38,4% điểm khảo sát, chủ yếu liên quan đến việc xử lý thực phẩm bằng tay và tái sử dụng dầu mỡ.

Salmonella spp. tuy có tỷ lệ thấp hơn (11,6%) nhưng vẫn là tác nhân nguy hiểm, đặc biệt trong các sản phẩm từ thịt và hải sản nướng.

Kết quả khảo sát cho thấy bốn tác nhân vi sinh vật nguy cơ cao xuất hiện với tỷ lệ đáng kể tại các điểm bán thực phẩm đường phố, phản ánh hạn chế trong vệ sinh môi trường, dụng cụ và thực hành chế biến. Coliforms và *E. coli* chiếm tỷ lệ cao, trong khi *S. aureus* và *Salmonella* spp. vẫn tiềm ẩn rủi ro đáng kể. Do đó, cần tăng cường kiểm soát vệ sinh và giám sát an toàn thực phẩm nhằm bảo vệ sức khỏe cộng đồng.

3.3. Ảnh hưởng của yếu tố môi trường đến nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật

3.3.1. Hồi quy đa biến

Kết quả phân tích hồi quy logistic thứ bậc cho thấy các yếu tố môi trường có mối liên quan có ý nghĩa thống kê với nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật tại các điểm bán thực phẩm đường phố (Bảng 2). Mô hình được xây dựng với biến kết cục là mức nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật được phân loại theo ba mức có thứ bậc (thấp - trung bình - cao).

Bảng 2: Kết quả mô hình hồi quy logistic thứ bậc đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố môi trường đến nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật

Yếu tố	β	aOR ($\exp\beta$)	p-value
Nhiệt độ môi trường	0,421	1,52	< 0,01
Độ ẩm	0,318	1,37	< 0,05
Mật độ bụi	0,276	1,32	< 0,01
Khoảng cách đến trục giao thông	-0,302	0,74	< 0,01

Kết quả cho thấy nhiệt độ môi trường có mối liên quan thuận chiều với nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật; khi nhiệt độ tăng, khả năng thực phẩm được phân loại vào nhóm nguy cơ cao hơn tăng lên 1,52 lần (aOR = 1,52; p < 0,01). Tương tự, độ ẩm và mật độ bụi cũng liên quan đến sự gia tăng nguy cơ ô nhiễm, với odds ratio hiệu chỉnh lần lượt là 1,37 (p < 0,05) và 1,32 (p < 0,01).

Ngược lại, khoảng cách xa hơn đến trục giao thông chính có mối liên quan nghịch chiều với nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật. Cụ thể, khi khoảng cách đến nguồn giao thông tăng, nguy cơ ô nhiễm giảm (aOR = 0,74; p < 0,01), cho thấy tác động tiềm tàng của bụi và khí thải giao thông đến điều kiện vệ sinh tại điểm bán.

Nhìn chung, các kết quả hồi quy đa biến khẳng định vai trò quan trọng của điều kiện môi trường xung quanh điểm bán trong việc định hình mức nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật của thực phẩm đường phố, đồng thời cung cấp cơ sở định lượng cho các phân tích dự báo và đề xuất giải pháp kiểm soát nguy cơ. Khoảng tin cậy 95% của các ước lượng aOR được kiểm tra và cho thấy sự ổn định của mô hình.

3.3.2. Thực hành vệ sinh của người bán và nguy cơ vi sinh vật

Thực hành vệ sinh của người bán là một trong những yếu tố tác động trực tiếp đến mức độ ô nhiễm vi sinh vật tại các điểm kinh doanh thực phẩm đường phố (Bảng 3).

Tỷ lệ hành vi không rửa tay khi chuyển đổi thao tác lên tới 58,40%, và đây là yếu tố liên quan mạnh nhất đến sự xuất hiện của *E. coli* và Coliforms - những tác nhân có nguồn gốc phân và thường xuất hiện khi vệ sinh cá nhân không đảm bảo. Bên cạnh đó, 63,20% điểm bán rửa dụng cụ bằng nước lã chưa xử lý, làm gia tăng đáng kể nguy cơ nhiễm khuẩn từ môi trường. Đáng lo ngại nhất là 72,80% cơ sở tái sử dụng dầu chiên trên ba lần, góp phần làm tăng tỷ lệ nhiễm *Staphylococcus aureus*. Ngược lại, các thực hành tốt như vệ sinh dụng cụ định kỳ (29,60%), sử dụng găng tay (27,20%) và bảo quản thực phẩm trong hộp có nắp (40,80%) cho thấy tác dụng rõ rệt trong việc giảm nguy cơ tái nhiễm và lây nhiễm chéo vi sinh vật.

Bảng 3. Thực trạng thực hành vệ sinh của người bán và mối liên quan đến nguy cơ vi sinh vật

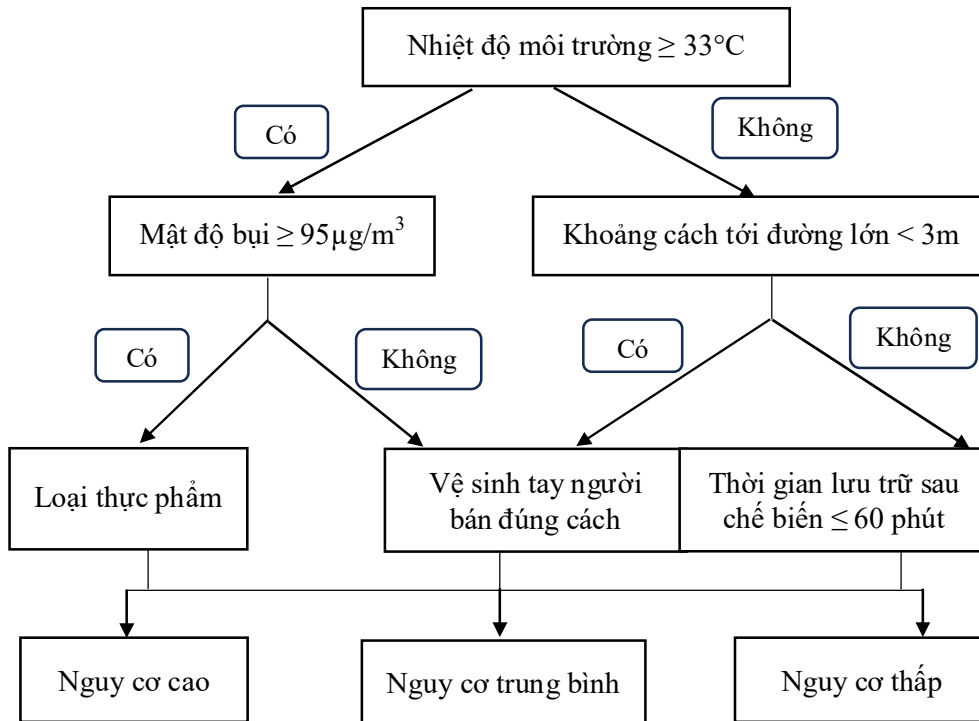
Yếu tố thực hành vệ sinh của người bán	Số điểm ghi nhận	Tỷ lệ (%)	Liên quan nguy cơ vi sinh vật
Không rửa tay khi chuyển đổi thao tác	146	58,40	Liên quan mạnh đến nhiễm <i>E. coli</i> , Coliforms
Rửa dụng cụ bằng nước lã chưa xử lý	158	63,20	Liên quan đến nhiễm <i>E. coli</i> , Coliforms
Tái sử dụng dầu chiên > 3 lần	182	72,80	Tăng nguy cơ nhiễm <i>Staphylococcus aureus</i>
Có quy trình vệ sinh dụng cụ định kỳ	74	29,60	Giảm nguy cơ chung (mức thấp - trung bình)
Sử dụng găng tay khi chế biến	68	27,20	Giảm nguy cơ nhiễm chéo vi sinh vật
Bảo quản thực phẩm trong hộp có nắp	102	40,80	Giảm nguy cơ tái nhiễm Coliforms

Thực hành vệ sinh của người bán vẫn là yếu tố quyết định mức độ an toàn của thực phẩm đường phố. Ngoài ra, việc tăng cường giáo dục vệ sinh cá nhân và cải thiện điều kiện dụng cụ có thể giúp giảm rõ rệt nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật.

3.4. Mô hình dự báo nguy cơ bằng cây quyết định

3.4.1. Cấu trúc mô hình

Mô hình dự báo nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật được xây dựng bằng kỹ thuật cây quyết định (Decision Tree), cho phép phân loại mức độ nguy cơ dựa trên việc phân chia dữ liệu theo các biến đầu vào quan trọng. Tổng cộng có 12 biến dự báo được đưa vào mô hình, đại diện cho đặc điểm môi trường, điều kiện kinh doanh và thực hành vệ sinh của người bán (Hình 2). Trong số đó, sáu biến cho thấy mức độ đóng góp nổi bật nhất trong quá trình phân tách dữ liệu gồm: nhiệt độ môi trường, mật độ bụi, khoảng cách đến đường lớn, loại thực phẩm, vệ sinh tay người bán và thời gian lưu trữ thực phẩm sau chế biến.



Hình 2: Mô hình minh họa cấu trúc cây quyết định

Các biến môi trường (nhiệt độ, độ ẩm, bụi) đóng vai trò quyết định trong những nhánh đầu tiên của mô hình, phản ánh tác động mạnh mẽ của điều kiện khu vực bán hàng lên khả năng nhiễm vi sinh vật. Bên cạnh đó, các biến đặc thù của điểm bán – như nhóm thực phẩm và thực hành vệ sinh – tiếp tục được sử dụng để tinh chỉnh dự báo ở những nhánh sâu hơn. Cách phân tầng này giúp mô hình vừa linh hoạt theo từng điều kiện kinh doanh, vừa duy trì khả năng dự báo ổn định đối với nhiều loại thực phẩm khác nhau.

3.4.2. Kết quả dự báo

Mô hình cây quyết định hoàn chỉnh đạt độ chính xác 83,6% theo phương pháp kiểm tra chéo (cross-validation), cho thấy khả năng phân loại tương đối tốt đối với ba mức nguy cơ vi sinh vật. Từ mô hình, một số quy tắc dự báo có giá trị ứng dụng cao được trích xuất như sau:

- Nếu nhiệt độ $\geq 33^\circ\text{C}$ và mật độ bụi $\geq 95 \mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow$ nguy cơ cao (82%), phản ánh tác động cộng hưởng của điều kiện môi trường bất lợi đối với thực phẩm bán ngoài trời.

- Đồ uống pha chế sử dụng nguồn nước không đạt chuẩn → nguy cơ cao (74%), do phụ thuộc trực tiếp vào chất lượng nước và dụng cụ pha.

- Thịt nướng đặt gần đường lớn (< 3 m) → nguy cơ cao (88%), chủ yếu do tiếp xúc với khí thải và bụi giao thông.

- Thực phẩm chế biến sẵn + có mái che cố định → nguy cơ thấp (71%), nhờ ít thao tác trực tiếp và được bảo quản tốt hơn.

Những quy tắc này cho phép cơ quan quản lý xác định nhóm điểm bán cần ưu tiên kiểm tra hoặc can thiệp.

3.4.3 Đánh giá hiệu năng mô hình

Kết quả đánh giá hiệu năng mô hình cây quyết định được trình bày trong Bảng 4. Bên cạnh độ chính xác tổng thể đạt 83,6%, mô hình cho thấy hiệu năng phân loại ổn định giữa ba mức nguy cơ. Giá trị precision, recall và F1-score của từng nhóm đều đạt trên 0,80, cho thấy khả năng phân biệt tương đối tốt giữa các mức nguy cơ thấp, trung bình và cao. Balanced accuracy đạt 0,83, phản ánh hiệu năng cân bằng của mô hình trong bối cảnh phân bố số mẫu giữa các nhóm không đồng đều. Các kết quả này khẳng định mô hình không chỉ đạt độ chính xác chung cao mà còn đảm bảo khả năng dự báo nhất quán cho từng mức nguy cơ, phù hợp với mục tiêu ứng dụng trong giám sát và quản lý rủi ro an toàn thực phẩm đường phố.

Bảng 4. Chỉ số đánh giá hiệu năng mô hình cây quyết định phân loại nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật

Mức nguy cơ	Precision	Recall	F1-score	Số mẫu (n)
Thấp	0,79	0,83	0,81	40
Trung bình	0,85	0,83	0,84	114
Cao	0,84	0,84	0,84	96
Toàn bộ mô hình	–	Balanced accuracy = 0,83	Accuracy = 0,836	250

3.4.4. Bản đồ nguy cơ theo khu vực

Khi áp dụng mô hình cho từng phường nghiên cứu, mức độ nguy cơ hiển thị sự khác biệt đáng kể:

- Nguy cơ cao nhất: Tân Hưng và Thạch Khôi, với 87% điểm bán thuộc mức trung bình – cao, chủ yếu do mật độ giao thông lớn và khu vực buôn bán tập trung ngoài trời.

- Nguy cơ trung bình: Thành Đông (64%), xuất phát từ sự pha trộn giữa khu vực giao thông lớn và các ngõ nhỏ có điều kiện tốt hơn.

- Nguy cơ thấp hơn: Lê Thanh Nghị và Hải Dương (dưới 50%), do có nhiều điểm bán cố định, có mái che và ít chịu ảnh hưởng từ bụi.

3.5. Nhận diện nhóm thực phẩm và thời điểm có nguy cơ cao

Phân tích theo thời gian ghi nhận hai khung giờ có nguy cơ cao hơn: 11:00–14:00 và 17:00–20:00, tương ứng nhiệt độ cao, lưu lượng giao thông lớn và cường độ phục vụ tăng khiến thao tác vệ sinh dễ bị bỏ qua.

Xét theo loại thực phẩm, thịt xiên, hải sản nướng và các món chiên nằm trong nhóm có nguy cơ cao nhất xuyên suốt các điều kiện, do chế biến ở nhiệt độ cao nhưng lại dễ tái nhiễm từ bụi và dụng cụ. Đối với đồ uống pha chế, nguy cơ nhiễm Coliforms tăng mạnh vào khoảng 14h–17h - thời điểm nắng nóng kéo dài, nước và dụng cụ dễ ô nhiễm nhưng ít được thay mới.

4. THẢO LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật trong thực phẩm đường phố tại Hải Phòng vẫn ở mức cao, đặc biệt đối với nhóm thực phẩm tươi sống chế biến nhanh và đồ uống pha chế. Tỷ lệ nguy cơ cao ở các nhóm này phản ánh rõ hạn chế trong kiểm soát nhiệt độ, nguồn nước và vệ sinh dụng cụ - những yếu tố vốn được xác định là tác nhân làm gia tăng nhanh sự phát triển của vi sinh vật. Theo Lương Đức Phẩm (2002) và Trịnh Khánh Sơn, Nguyễn Thùy Linh (2025), mật độ vi sinh vật càng cao phản ánh mức độ nhiễm bẩn của sản phẩm càng lớn, làm gia tăng nguy cơ hư hỏng và tiềm ẩn rủi ro đối với sức khỏe người tiêu dùng [13,14]. Điều này nhấn mạnh sự cần thiết của các biện pháp kiểm soát vệ sinh và an toàn thực phẩm chặt chẽ hơn.

Phân tích hồi quy đa biến chỉ ra rằng nhiệt độ, độ ẩm và bụi đều có quan hệ tuyến tính đáng kể với nguy cơ nhiễm khuẩn, phù hợp với nhận định của WHO rằng thực phẩm ngoài trời dễ bị tác động bởi điều kiện khí hậu. Kết quả này cũng tương đồng với nghiên cứu của Steven Taulo và cộng sự (2008), trong đó chỉ ra rằng thực phẩm đường phố thường không được che chắn đầy đủ khỏi các nguồn ô nhiễm môi trường và không được bảo quản ở điều kiện nhiệt độ thích hợp, tạo điều kiện thuận lợi cho vi sinh vật xâm nhập và phát triển [15]. Ngoài ra, khoảng cách đến đường lớn có hệ số β âm cho thấy các điểm bán gần giao thông có nguy cơ cao hơn, do bụi và khí thải dễ tiếp xúc trực tiếp với bề mặt thực phẩm.

Bên cạnh yếu tố môi trường, thực hành vệ sinh của người bán đóng vai trò quyết định. Tỷ lệ cao người bán không rửa tay hoặc tái sử dụng dầu mỡ cho thấy cần tăng cường truyền thông và hướng dẫn kỹ thuật cho nhóm đối tượng này. Các nghiên cứu của Trần Minh Hoàng và Nguyễn Thanh Trúc (2016), cũng như của Nguyễn Lâm Tuấn và Nguyễn Duy Phong (2024), đều cho thấy rằng kiến thức còn hạn chế và thực hành an toàn thực phẩm chưa đúng của người kinh doanh thức ăn đường phố là những yếu tố quan trọng làm gia tăng nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật [16,17]. Sự tương đồng giữa các kết quả nghiên cứu cho thấy việc triển khai các chương trình tập huấn, truyền thông và giám sát định kỳ là cần thiết nhằm nâng cao nhận thức, cải thiện hành vi vệ sinh của người kinh doanh, qua đó góp phần giảm thiểu rủi ro mất an toàn thực phẩm đường phố.

Mô hình cây quyết định đạt độ chính xác 83,6% chứng tỏ khả năng ứng dụng thực tiễn trong quản lý rủi ro. Các quy tắc dự báo giúp xác định nhanh điểm bán có nguy cơ cao mà không cần xét nghiệm, hỗ trợ cơ quan quản lý phân bổ nguồn lực hiệu quả hơn.

Hạn chế của nghiên cứu gồm: thiết kế cắt ngang khó suy luận quan hệ nhân quả; một số biến có thể phụ thuộc khai báo (nguồn nước, thói quen vệ sinh) dẫn đến sai lệch thông tin và chưa lượng hóa đầy đủ tải vi sinh cho tất cả mẫu để tích hợp vào mô hình định lượng. Các nghiên cứu tiếp theo nên kết hợp định lượng tải vi sinh và mô hình hóa theo thời gian để nâng cao khả năng dự báo.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã mô tả phân bố nguy cơ ô nhiễm vi sinh vật trong thực phẩm đường phố tại Hải Phòng và xác định các yếu tố dự báo quan trọng gồm nhiệt độ, độ ẩm, bụi/tiếp xúc giao thông và thực hành vệ sinh. Nhóm thực phẩm tươi sống/chế biến nhanh và đồ uống pha chế có nguy cơ cao nhất. Mô hình cây quyết định đạt độ chính xác kiểm tra chéo 83,6% và tạo ra các quy tắc dự báo có thể áp dụng trong giám sát nhanh để ưu tiên kiểm tra và can thiệp.

Nghiên cứu nhấn mạnh rằng việc giám sát nguy cơ dựa trên yếu tố môi trường là hướng tiếp cận hiệu quả, chi phí thấp và phù hợp với thực tiễn quản lý an toàn thực phẩm đường phố. Các kết quả thu được là cơ sở quan trọng giúp cơ quan chức năng xây dựng chiến lược kiểm soát rủi ro, ưu tiên khu vực có nguy cơ cao, đồng thời đề xuất biện pháp can thiệp tập trung vào cải thiện thực hành vệ sinh của người bán và điều kiện kinh doanh.

Lời cảm ơn: Tác giả xin bày tỏ lời cảm ơn chân thành tới Ban Lãnh đạo và các đồng nghiệp Trường Đại học Hải Dương đã quan tâm, tạo điều kiện và hỗ trợ trong suốt quá trình thực hiện nghiên cứu.

Tuyên bố về sử dụng Gen AI: Các công cụ AI chỉ được sử dụng cho việc chỉnh sửa ngôn ngữ, diễn đạt/định dạng mà không được dùng để tạo nội dung khoa học. Toàn bộ dữ liệu, phân tích và diễn giải đều do tác giả thực hiện và kiểm chứng, và tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm đối với bản thảo.

Tuyên bố về đóng góp của tác giả: Tác giả chịu trách nhiệm chính trong việc hình thành ý tưởng nghiên cứu, xây dựng khung lý thuyết và thiết kế phương pháp nghiên cứu. Quá trình thu thập, xử lý và phân tích số liệu được tác giả trực tiếp thực hiện. Tác giả cũng là người viết bản thảo bài báo, rà soát và chỉnh sửa bản thảo.

Tuyên bố về xung đột lợi ích: Tác giả tuyên bố không có bất kỳ xung đột lợi ích nào liên quan đến nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trịnh Xuân Nhất, *Khảo sát thực trạng ô nhiễm thức ăn đường phố và một số yếu tố liên quan tại thành phố Thanh Hóa năm 2007*, Luận văn thạc sỹ Y học. Đại học Thái Nguyên, Thái Nguyên, 2008.
2. Nguyễn Thị Đoan Trinh, *Nghiên cứu tình hình nhiễm một số vi khuẩn chỉ điểm ô nhiễm thực phẩm trong thức ăn đường phố và ở người phục vụ của các quán ăn đường phố ở thành phố Huế*, Luận văn thạc sỹ Y học. Trường Đại học Y Dược Huế, Huế, 2009.
3. Lèo Tiến Công, *Thực trạng an toàn vệ sinh thực phẩm thức ăn đường phố tại một số huyện của tỉnh Hà Giang*, Luận văn thạc sỹ Y học. Trường Đại học Y Dược, Đại học Thái Nguyên, Thái Nguyên, 2019.
4. Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 6848:2007 - Vi sinh vật trong thực phẩm và thức ăn chăn nuôi. Phương pháp định lượng coliform- kỹ thuật đếm khuẩn lạc*, 2007.
5. Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 6404:2016 - Vi sinh vật trong thực phẩm và thức ăn chăn nuôi - Yêu cầu chung và hướng dẫn kiểm tra vi sinh vật*, 2016.
6. Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 4884-1:2015 (ISO 4833-1:2013) - Vi sinh vật trong chuỗi thực phẩm - Phương pháp định lượng vi sinh vật - Phần 1: Đếm khuẩn lạc ở 30°C bằng kỹ thuật đổ đĩa*, 2015.
7. Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 4884-2:2015 (ISO 4833-2:2013 đính chính kỹ thuật 1:2014) - Vi sinh vật trong chuỗi thực phẩm - Phương pháp định lượng vi sinh vật - Phần 2: Đếm khuẩn lạc ở 30°C bằng kỹ thuật cấy bề mặt*, 2015.
8. Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 6507-1:2019 (ISO 6887-1:2017) - Vi sinh vật trong chuỗi thực phẩm - Chuẩn bị mẫu thử, huyền phù ban đầu và các dung dịch pha loãng thập phân để kiểm tra vi sinh vật - Phần 1: Các nguyên tắc chung để chuẩn bị huyền phù ban đầu và các dung dịch pha loãng thập phân*, 2019.
9. Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 6507-4:2019 (ISO 6887-4:2017) - Vi sinh vật trong chuỗi thực phẩm - Chuẩn bị mẫu thử, huyền phù ban đầu và các dung dịch pha loãng thập phân để kiểm tra vi sinh vật - Phần 4: Các nguyên tắc cụ thể để chuẩn bị các mẫu sản phẩm hỗn hợp*, 2019.
10. International Organization for Standardization, *ISO 21527-1:2008 - Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds - Part 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0,95*, 2008.

11. International Organization for Standardization, *ISO 21527-2:2008 - Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds - Part 2: Colony count technique in products with water activity less than or equal to 0,95*, 2008.
12. NMKL No125 5th ed., *Thermotolerant coliform bacteria and Escherichia coli. Enumeration in food and feed*, 2024.
13. Lương Đức Phẩm, *Vi sinh vật học và an toàn vệ sinh thực phẩm*. Hà Nội, NXB Nông nghiệp, 2002, 423 tr.
14. Trịnh Khánh Sơn, Nguyễn Thùy Linh, *Giáo trình vi sinh thực phẩm*. TP. Hồ Chí Minh, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2025, 410 tr.
15. Steven Taulo, Anne Wetlesen, Roger Abrahamsen, Grant Kululanga, Rajab Mkakosya, and Anthony Grimason, *Microbiological hazard identification and exposure assessment of food prepared and served in rural households of Lungwena, Malawi*, *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 125, pp. 111-116, 2008.
16. Trần Minh Hoàng, Nguyễn Thanh Trúc, *Kiến thức, thực hành an toàn thực phẩm của người kinh doanh thức ăn đường phố tại thị xã Bến Cát tỉnh Bình Dương năm 2014*, *Tạp chí Y học Thành phố Hồ Chí Minh*, Tập 20, Số 5, tr. 253-260, 2016.
17. Nguyễn Lâm Tuấn, Nguyễn Duy Phong, *Kiến thức, thực hành về an toàn thực phẩm của người chế biến tại các cơ sở kinh doanh dịch vụ ăn uống trên địa bàn Thành phố Thủ Dầu Một, tỉnh Bình Dương và một số yếu tố ảnh hưởng*, *Tạp chí Y học Việt Nam*, Tập 536, Số 1, tr. 191-195, 2024.

ABSTRACT

Building a model to predict the risk of microbiological contamination in street foods based on environmental factors in Hai Phong City

Street food is a convenient option but poses a risk of microbial contamination due to outdoor processing conditions and inadequate hygiene. In Hai Phong, the increase in the number of vendors, along with the impact of temperature, humidity, and traffic dust, increases the risk of contamination by pathogens such as *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and Coliforms. This study aims to describe the distribution of microbial contamination risk for several groups of street foods in Hai Phong, while quantifying the impact of environmental factors and hygiene practices to build a predictive model for risk management. The study was conducted from January to August 2025 at 250 vendors, collecting data on temperature, humidity, dust, traffic density, vendor characteristics, and hygiene using a standardized checklist. Microbiological risk was assessed using a simplified Qualitative Microbial Risk Assessment (QMRA) method combining contamination markers (Coliforms, *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp.). Multivariate logistic regression analysis identified significant environmental variables ($p < 0.05$), while the 12-input decision tree model achieved a cross-validated accuracy of 83.6%. The results show that monitoring based on environmental factors and hygiene practices is a low-cost, feasible solution for managing street food safety risks. The predictive model has high accuracy and can be effectively applied in Hai Phong and similar cities.

Keywords: *Decision trees; environmental factors; logistic regression; microorganisms; predictive models; risk management; street food.*

Nhận bài ngày 30 tháng 12 năm 2025

Phản biện xong ngày 19 tháng 01 năm 2026

Hoàn thiện ngày 24 tháng 02 năm 2026