



Original Article

Presence of Perfluoroalkyl Carboxylic Acids and Sulfonates in Vietnamese Food Contact Materials

Pham Dang Minh¹, Hoang Quoc Anh¹, Tran Thi Lieu^{1,2},
Phan Dinh Quang², Nguyen Trong Nghia³, Nguyen Thi Chuc³,
Nguyen Thi Anh Huong¹, Le Huu Tuyen¹, Nguyen Thi Quynh Hoa^{3,*}

¹VNU University of Science, 19 Le Thanh Tong, Hanoi, Vietnam

²Vietnam National Institute of Occupational Safety and Health, 99 Tran Quoc Toan, Hanoi, Vietnam

³Hung Yen University of Technology and Education, Hung Yen, Vietnam

Received 18 July 2023

Revised 15 August 2023; Accepted 30 August 2023

Abstract: Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) are considered as persistent organic pollutants (POPs), which should be restricted or eliminated. In this study, concentrations of four perfluoroalkyl carboxylic acids (perfluorobutanoic acid PFBA, perfluorohexanoic acid PFHxA, perfluorooctanoic acid PFOA, perfluorodecanoic acid PFDA) and four perfluoroalkyl sulfonates (perfluorobutane sulfonate PFBS, perfluorohexane sulfonate PFHxS, perfluorooctane sulfonate PFOS, perfluorodecane sulfonate PFDS) were analyzed in food contact materials (FCM) collected from Hanoi, Vietnam. A total of 15 FCM samples was obtained including several categories such as instant drink/food boxes, bags, cups, wrappers, and tray. The FCM samples were ultrasonic extracted with methanol, concentrated, and filtered before analysis by a liquid chromatography–tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) system. Recoveries of native and surrogate standards ranged from 70% to 130% with RSD < 20% in replicated analysis. Method detection limits of PFASs ranged from 0.04 to 0.08 ng/g. Concentrations of Σ 8PFASs ranged from not detected (ND) to 1.46 (average \pm SD: 0.417 ± 0.479) ng/g. Detection frequencies of PFASs decreased in the order: PFDA (33%) > PFBA, PFOA, PFHxS, PFOS (27%) > PFDS (13%) > PFHxA (7%) > PFBS (0%). Average concentrations of individual compounds decreased in the order: PFOS > PFDA > PFHxS > PFOA > PFBA > PFHxA > PFDS > PFBS. Relatively low PFAS concentrations found in the FCM samples of this study indicated that these substances were mainly derived from unintentional sources rather than intentionally added to the materials.

Keywords: PFASs, PFCAs, PFSs, food contact materials, LC-MS/MS.

* Corresponding author.

E-mail address: hoanguyen@utehy.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuées.4966>

Nghiên cứu phân tích hàm lượng perfluoroalkyl carboxylic acids và sulfonates trong vật liệu tiếp xúc với thực phẩm tại Việt Nam

Phạm Đăng Minh¹, Hoàng Quốc Anh¹, Trần Thị Liễu^{1,2},
Phan Đình Quang², Nguyễn Trọng Nghĩa³, Nguyễn Thị Chúc³,
Nguyễn Thị Ánh Hoàng¹, Lê Hữu Tuyền¹, Nguyễn Thị Quỳnh Hoa^{3,*}

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 19 Lê Thánh Tông, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Khoa học An toàn và Vệ sinh Lao động, 99 Trần Quốc Toản, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên, Hưng Yên, Việt Nam

Nhận ngày 18 tháng 7 năm 2023

Chỉnh sửa ngày 15 tháng 8 năm 2023; Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 8 năm 2023

Tóm tắt: Các chất per- và polyfluoroalkyl (PFASs) là các chất ô nhiễm hữu cơ khó phân hủy cần được hạn chế hoặc loại bỏ. Trong nghiên cứu này, hàm lượng của 4 perfluoroalkyl carboxylic acid (perfluorobutanoic acid PFBA, perfluorohexanoic acid PFHxA, perfluorooctanoic acid PFOA, perfluorodecanoic acid PFDA) và 4 perfluoroalkyl sulfonate (perfluorobutane sulfonate PFBS, perfluorohexane sulfonate PFHxS, perfluorooctane sulfonate PFOS, perfluorodecane sulfonate PFDS) được xác định trong một số vật liệu tiếp xúc thực phẩm (FCM) thu thập tại Hà Nội, Việt Nam. Tổng cộng 15 mẫu FCM như vỏ túi sữa, hộp thức ăn, túi giấy, cốc giấy, giấy gói bánh,... đã được phân tích. Các mẫu được chiết siêu âm với methanol, cô đặc và lọc trước khi phân tích trên hệ thống sắc ký lỏng khối phổ kép (LC-MS/MS). Độ thu hồi của các chất thêm chuẩn nằm trong khoảng 70% đến 130% với RSD < 20%. Giới hạn phát hiện của phương pháp (MDL) đối với các PFASs nằm trong khoảng 0,04 đến 0,08 ng/g. Nồng độ của 8 PFASs dao động từ dưới MDL đến 1,46 (trung bình \pm SD: 0,417 \pm 0,479) ng/g. Tần suất phát hiện của PFASs giảm theo thứ tự sau: PFDA (33%) > PFBA, PFOA, PFHxS, PFOS (27%) > PFDS (13%) > PFHxA (7%) > PFBS (0%). Nồng độ trung bình của các hợp chất giảm theo thứ tự sau: PFOS > PFDA > PFHxS > PFOA > PFBA > PFHxA > PFDS > PFBS. Nồng độ PFAS được tìm thấy trong các mẫu FCM tương đối thấp cho thấy nguồn phát thải các chất này chủ yếu liên quan đến các nguồn không chủ định thay vì được thêm vào các vật liệu trong quá trình sản xuất.

Từ khóa: PFASs, PFCAs, PFSS, vật liệu tiếp xúc với thực phẩm, LC-MS/MS.

1. Mở đầu

Per- và polyfluoroalkyl (PFASs) là nhóm các hợp chất flo hữu cơ trong phân tử thường có mạch carbon liên kết với các nguyên tử flo (không phân cực) và một nhóm chức hữu cơ phân cực [1]. Với cấu trúc đặc biệt này, các phân

tử PFASs có độ bền cao về mặt hóa học (do liên kết C-F rất bền vững) và tính chất bề mặt đặc trưng (có khả năng chống bám dính nước và dầu mỡ) [2]. Hai nhóm PFASs điển hình được sản xuất và áp dụng rộng rãi trong công nghiệp là perfluoroalkyl carboxylic acid (PFCAs) và perfluoroalkyl sulfonic acid hay sulfonate

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: hoanguyen@utehy.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4966>

(PFSs) [3]. Perfluorooctanoic acid (PFOA), perfluorohexane sulfonate (PFHxS) và các hợp chất liên quan đã được liệt kê trong Phụ lục A (các chất cần phải loại bỏ) theo Công ước Stockholm về các chất ô nhiễm hữu cơ khó phân hủy (persistent organic pollutants, POPs) [4]. Perfluorooctane sulfonate (PFOS) và các hợp chất liên quan được liệt kê trong Phụ lục B (các chất cần phải hạn chế) của Công ước này [4].

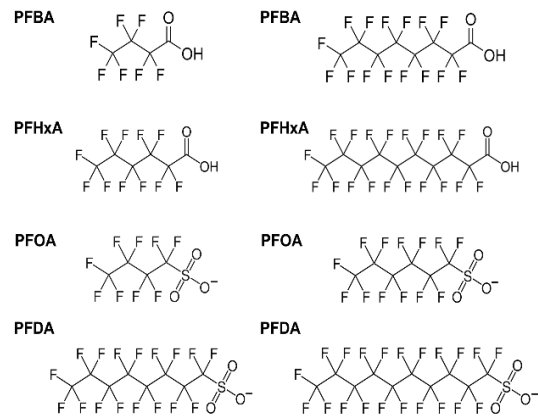
Vật liệu tiếp xúc với thực phẩm (food contact material, FCM) đóng vai trò quan trọng trong ngành công nghiệp thực phẩm và trong cuộc sống hằng ngày [5]. Các nguyên liệu phổ biến được sử dụng sản xuất FCM bao gồm nhựa, sợi dệt, giấy, bìa, ... [5]. Tuy nhiên, các vật liệu này cũng có thể chứa một lượng nhất định các chất độc hại như bisphenol A, chất dẻo hóa phthalates, PFASs, cùng với nhiều chất ổn định và các chất phụ gia khác [6]. PFASs đã được phát hiện trong các mẫu FCM thu thập tại nhiều quốc gia khác nhau trên thế giới [7]. Hàm lượng tương đối của các PFCAs đã được báo cáo cho một số mẫu FCM tại Tây Ban Nha, Đài Loan và Hoa Kỳ với mức cao nhất phát hiện được lên đến 2356, 2111, 1934 và 1283 ng/g cho các chất PFOA, PFDA, PFBA và PFHxA [7]. Trong khi đó, các PFSs ít được tìm thấy trong mẫu FCM với mức hàm lượng thấp (dưới giới hạn phát hiện đến 37 ng/g) [7]. Sự có mặt của PFASs trong bao bì thực phẩm được cho là một nguồn phơi nhiễm của các hợp chất này ở con người [8]. Một nghiên cứu tại Hoa Kỳ đã chỉ ra rằng nhóm đối tượng tiêu thụ bỏng ngô tự chế biến bằng lò vi sóng (trong các bao bì có chứa PFASs) có mức hàm lượng các chất PFOA, PFNA, PFDA, PFHxS và PFOS trong huyết thanh cao hơn từ 39% đến 63% so với nhóm đối tượng không có thói quen này [9].

Các nghiên cứu về PFASs trước đây chủ yếu tập trung vào một số ít các sản phẩm (ví dụ như túi đựng bỏng ngô dùng trong lò vi sóng) tại các nước phát triển ở Châu Âu và Châu Mỹ [7]. Trong khi đó, thông tin về sự có mặt của các chất PFASs trong FCM tại các nước đang phát triển, trong đó có Việt Nam, nhìn chung còn hạn chế. Trong nghiên cứu này, hàm lượng của 4 chất PFCAs và 4 chất PFSs được phân tích trong các

mẫu vật liệu tiếp xúc với thực phẩm được thu thập tại Hà Nội bằng phương pháp sắc ký lỏng khối phổ kép (liquid chromatography-tandem mass spectrometry LC-MS/MS). Nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục đích cung cấp những thông tin khảo sát bước đầu và cập nhật về sự có mặt, mức hàm lượng và đặc trưng tích lũy của PFASs trong một số loại mẫu FCM tại Việt Nam. Các kết quả phân tích về hàm lượng PFASs trong FCM tại Việt Nam sẽ được so sánh với các nghiên cứu trước đây được thực hiện tại một số quốc gia trên thế giới.

2. Thực nghiệm

2.1. Chất chuẩn và hóa chất



Hình 1. Công thức cấu tạo của một số PFASs.

Dung dịch chuẩn PFASs được cung cấp bởi Wellington Laboratories bao gồm: hỗn hợp chất chuẩn không đánh dấu đồng vị (PFAC-MXB) và hỗn hợp chất nội chuẩn (MPFAC-MXA). Các chất phân tích trong nghiên cứu này bao gồm: perfluorobutanoic acid (PFBA), perfluorohexanoic acid (PFHxA), perfluorooctanoic acid (PFOA), perfluorodecanoic acid (PFDA), perfluorobutane sulfonate (PFBS), perfluorohexane sulfonate (PFHxS), perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorodecane sulfonate (PFDS). Công thức cấu tạo của các chất phân tích được thể hiện trong Hình 1. Các dung dịch hiệu chuẩn bao gồm 8 chất chuẩn không đánh dấu đồng vị và 6 chất

nội chuẩn ($^{13}\text{C}_4\text{-PFBA}$, $^{13}\text{C}_2\text{-PFHxA}$, $^{13}\text{C}_4\text{-PFOA}$, $^{13}\text{C}_2\text{-PFDA}$, $^{18}\text{O}_2\text{-PFHxS}$, $^{13}\text{C}_4\text{-PFOS}$) được chuẩn bị trong dung môi methanol với nồng độ của các chất phân tích là 0,1; 0,5; 1; 2; 5; 10 và 20 ng/mL; và nồng độ của các chất nội chuẩn là 5 ng/mL. Các hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm: methanol, nước, ammonium acetate với độ tinh khiết cho sắc ký lỏng khối phổ được cung cấp bởi Merck (Đức).

2.2. Thu thập mẫu vật liệu

Các mẫu FCMs được thu mua từ các siêu thị và nhà hàng trên địa bàn quận Thanh Xuân, Hà Nội với số lượng là 15 mẫu. Các loại mẫu và số lượng thu thập được (n) bao gồm: hộp nước dừa ($n = 1$), túi sữa đậu nành ($n = 1$), hộp đậu phộng ($n = 1$), vỏ snack ($n = 1$), túi bột cà phê ($n = 1$), mì ly ăn liền ($n = 3$), giấy gói bánh ($n = 3$), giấy gói hamburger ($n = 1$), giấy gói đồ ăn nhanh ($n = 1$), cốc giấy ($n = 1$), giấy gói bánh mochi ($n = 1$). Trong khảo sát này, chúng tôi hướng đến việc thu thập nhiều loại mẫu bao bì có lớp chống bám dính và tiếp xúc với các loại thực phẩm được tiêu thụ rộng rãi trên thị trường ở Việt Nam.

2.3. Quy trình xử lý mẫu

Quy trình xử lý mẫu được tham khảo từ phương pháp tiêu chuẩn CEN/TS 15968:2010 (E) của Ủy ban Tiêu chuẩn hóa Châu Âu [10]. Các mẫu FCMs được loại bỏ lớp giấy in màu trên bề mặt vật liệu và chỉ tách lấy lớp bên trong cùng tiếp xúc trực tiếp với thực phẩm bằng phương pháp thủ công (dùng kẹp kim loại để bóc tách). Lí do chính phải thực hiện công đoạn này là lớp in màu thường là các lớp vỏ bên ngoài với mục đích cung cấp thông tin và nhãn hiệu sản phẩm, các lớp này không tiếp xúc trực tiếp với thực phẩm. Thêm vào đó, việc loại bỏ các lớp này có thể hạn chế được một số tạp chất gây ảnh hưởng đến thiết bị phân tích LC-MS/MS cũng như sự nhiễm bẩn từ môi trường bên ngoài.

Sau đó, mẫu bao bì được cắt thành các mảnh có diện tích 1 cm^2 bằng kéo. Khoảng 1 g mẫu được chuyển vào ống ly tâm dung tích 50 mL cùng với chất nội chuẩn và 15 mL methanol. Ống chứa chất phân tích được chiết siêu âm ở nhiệt

độ 60 °C trong 2 giờ, sau đó được ly tâm ở tốc độ 1500 vòng/phút trong 10 phút. Sau khi ly tâm, dịch chiết được chuyển sang bình cầu dung tích 100 mL. Bước chiết mẫu được thực hiện thêm 2 lần nữa. Các phần dịch chiết được gộp lại và cô đặc đến 1 mL. Dịch chiết cô đặc được lọc qua màng lọc nylon 0,22 μm trước khi được phân tích trên hệ thống LC-MS/MS.

2.4. Phân tích định lượng trên LC-MS/MS

Bảng 1. Điều kiện MS phân tích PFASs

Chất	Ion mẹ	Ion con	Năng lượng va chạm (eV)
PFBA	212,8	169,0	10
PFHxA	313,0	268,9	10
PFOA	412,8	368,8	11
PFDA	512,8	468,8	12
PFBS	299,0	98,9	31
PFHxS	398,8	98,9	37
PFOS	498,8	98,9	44
PFDS	598,8	98,9	55
$^{13}\text{C}_4\text{-PFBA}$	217,0	172,0	8
$^{13}\text{C}_2\text{-PFHxA}$	314,9	270,1	8
$^{13}\text{C}_4\text{-PFOA}$	416,9	372,0	10
$^{13}\text{C}_2\text{-PFDA}$	514,9	469,9	11
$^{18}\text{O}_2\text{-PFHxS}$	403,0	73,9	49
$^{13}\text{C}_4\text{-PFOS}$	502,8	79,9	55

Các chất PFASs được phân tích trên thiết bị sắc ký lỏng khối phổ LCMS-8040 (Shimadzu Corporation, Nhật Bản). Cột tách Poroshell 120 EC-C18 (2,1 mm \times 150 mm, 2,7 μm) cùng với cột bảo vệ Poroshell 120 EC-C18 (2,1 mm \times 5 mm, 2,7 μm) được cung cấp bởi Agilent Technologies. Pha động gồm 2 kênh bao gồm: kênh A (hỗn hợp methanol và dung dịch ammonium acetate 2 mmol/L trong nước với tỉ lệ 1:9) và kênh B (methanol). Chương trình gradient của pha động (tính theo tỉ lệ thể tích của kênh B) như sau: ban đầu 50% (0-2,01 phút), tăng dần đến 95% (2,01-18 phút) và giữ trong 4 phút (18-22,01 phút), giảm về 50% (22,01-25 phút). Tốc độ dòng pha động 0,25 mL/phút. Thể tích bơm mẫu là 2 μL . Detector MS được vận hành ở chế độ ion hóa phun điện tích âm (electrospray ionization, ESI) và quan sát đa

phản ứng (multiple reaction monitoring, MRM). Các điều kiện cụ thể của detector cho các chất phân tích và chất chuẩn đánh dấu đồng vị được thể hiện chi tiết trong Bảng 1.

2.5. Đảm bảo và kiểm soát chất lượng (QA/QC)

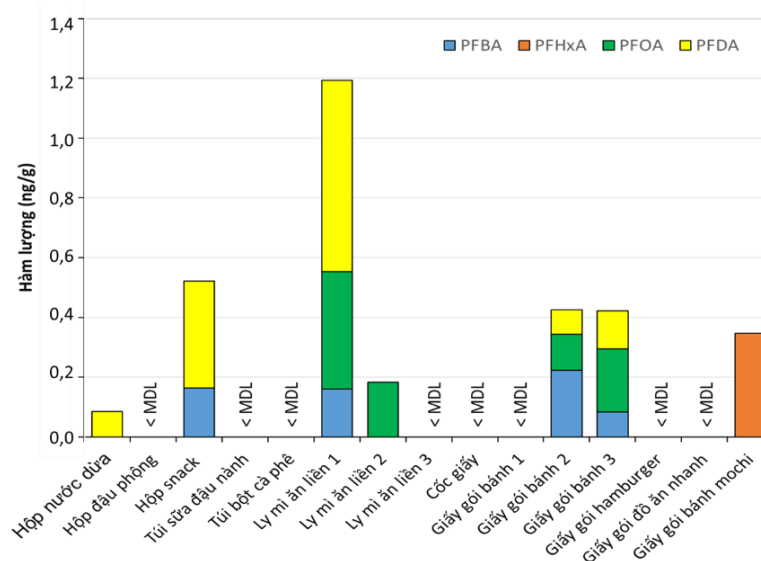
Quy trình và kết quả phân tích được đảm bảo chất lượng với các thông số bao gồm: độ tuyến tính, giới hạn phát hiện, mức hàm lượng nền trong mẫu trắng, độ thu hồi và độ lặp lại. Đường chuẩn của PFASs trên khoảng nồng độ từ 0,1 đến 20 ng/mL (với chất nội chuẩn nồng độ 5 ng/mL) có $R^2 > 0,99$. Giới hạn phát hiện của phương pháp (method detection limit, MDLs) được xác định bởi 3 lần độ lệch chuẩn của kết quả phân tích lặp lại ($n = 9$) với các mẫu thêm chuẩn tại hàm lượng 0,5 ng/g, có giá trị trong khoảng từ 0,040 đến 0,10 ng/g. Mỗi lô mẫu bao gồm 5 mẫu thực, 1 mẫu trắng và 1 mẫu thêm chuẩn. Độ thu hồi của các chất chuẩn trong mẫu thêm chuẩn dao động trong khoảng từ 70% đến 120%. Độ thu hồi của các chất đồng hành trong mẫu thực

dao động từ 80% đến 130%. Độ lệch chuẩn tương đối của các chất khi phân tích lặp lại mẫu thêm chuẩn thấp hơn 20%. Nồng độ của các PFASs trong mẫu thực được hiệu chỉnh với mẫu trắng.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hàm lượng PFCAs trong mẫu vật liệu

PFCAs được phát hiện trong 7/15 mẫu khảo sát, bao gồm: hộp nước dừa, hộp snack, ly mì ăn liền 1, ly mì ăn liền 2, giấy gói bánh 2, giấy gói bánh 3 và giấy gói bánh mochi. Các mẫu hộp đậu phộng, túi sữa đậu nành, túi bột cà phê, ly mì ăn liền 3, cốc giấy, giấy gói bánh 1, giấy gói hamburger và giấy gói đồ ăn nhanh đều có hàm lượng PFCAs dưới giới hạn phát hiện. Tần suất xuất hiện của các chất giảm theo thứ tự: PFDA (5/15) > PFOA (4/15) = PFBA (4/15) > PFHxA (1/15).



Hình 2. Hàm lượng PFCAs trong mẫu bao bì thực phẩm tại Việt Nam.

Hàm lượng tổng của 4 PFCAs ($\Sigma 4\text{PFCAs}$) trong các mẫu phát hiện được dao động từ 0,085 đến 1,194 (trung bình 0,454) ng/g. Hàm lượng $\Sigma 4\text{PFCAs}$ cao nhất được phát hiện trong 1 mẫu ly mì ăn liền (1,194 ng/g). Mẫu hộp nước dừa có

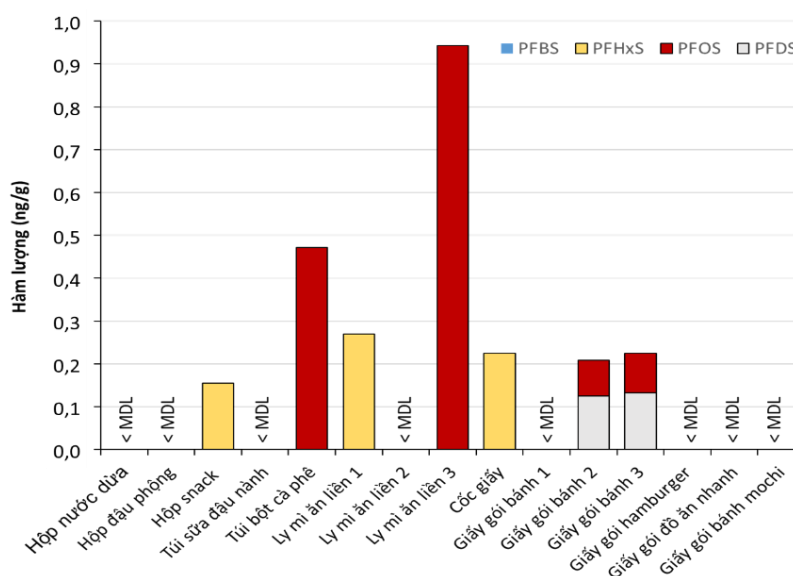
hàm lượng $\Sigma 4\text{PFCAs}$ thấp nhất (0,085 ng/g). Hàm lượng phát hiện được của mỗi chất dao động từ 0,082 đến 0,641 ng/g. Với số lượng mẫu hạn chế của nghiên cứu này, chúng tôi chưa tìm ra quy luật chung về mức hàm lượng cũng như

đặc trưng tích lũy của PFCAs trong mẫu bao bì thực phẩm. Các kết quả khảo sát bước đầu cho thấy PFCAs tồn tại trong bao bì thực phẩm ở nước ta có mức hàm lượng tương đối thấp và chủ yếu xuất phát từ các nguồn không chủ định.

3.2. Hàm lượng PFSs trong mẫu vật liệu

PFSs được phát hiện trong 7/15 mẫu khảo sát, bao gồm: hộp snack, túi bột cà phê, ly mì ăn liền 1, ly mì ăn liền 3, cốc giấy, giấy gói bánh 2 và giấy gói bánh 3. Tần suất xuất hiện của các chất giảm theo thứ tự: PFHxS (4/15) = PFOS (4/15) > PFDS (2/15) > PFBS (0/15). PFSs không phát hiện được trong các mẫu: hộp nước dứa, hộp đậu phộng, túi sữa đậu nành, ly mì ăn liền 2, giấy gói bánh 1, giấy gói hamburger, giấy gói đồ ăn nhanh và giấy gói bánh mochi.

Hàm lượng tổng của 4 PFSs (Σ 4PFSs) trong các mẫu phát hiện được dao động từ 0,154 đến 1,270 (trung bình 0,440) ng/g. Hàm lượng Σ 4PFSs cao nhất được phát hiện trong 1 mẫu ly mì ăn liền (1,270 ng/g). Mẫu hộp snack có hàm lượng Σ 4PFCAs thấp nhất (0,154 ng/g). Hàm lượng phát hiện được của mỗi chất dao động từ 0,125 đến 0,943 ng/g. Tương tự như các PFCAs, quy luật về mức hàm lượng và đặc trưng tích lũy của PFSs trong mẫu bao bì thực phẩm chưa được thể hiện một cách rõ ràng qua kết quả phân tích của nghiên cứu này. Sự có mặt của lượng vết một số PFSs trong bao bì thực phẩm ở nước ta cũng chủ yếu liên quan đến nguồn gốc không chủ định trong quá trình sản xuất, vận chuyển và bảo quản vật liệu.



Hình 3. Hàm lượng PFSs trong mẫu bao bì thực phẩm tại Việt Nam.

3.3. So sánh hàm lượng PFCAs và PFSs trong mẫu vật liệu tiếp xúc với thực phẩm của các nước trên thế giới

Hàm lượng PFASs trong mẫu bao bì và vật liệu tiếp xúc với thực phẩm đã được công bố trong một số nghiên cứu trước đây [11-14]. Trong số các mẫu FCM được khảo sát, túi bấp rang bơ tự chế biến bằng lò vi sóng là đối tượng

mẫu được quan tâm nhiều nhất do khả năng thôi nhiễm PFASs từ bao bì sang thực phẩm trong điều kiện nhiệt độ cao [11, 13, 14]. Hàm lượng cao nhất của PFBA, PFHxA, PFOA và PFDA được tìm thấy trong các mẫu túi bóng ngô tại Đài Loan lần lượt là 1934, 1283, 233 và 216 ng/g [14]. PFBA và PFHxA cũng được tìm thấy trong một mẫu với mức hàm lượng tương đối cao trong mẫu tương tự tại Tây Ban Nha (820 ± 124 và 811

± 232 ng/g) [13]. Tuy nhiên, tần suất có mặt của PFASs trong mẫu FCM, đặc biệt là các mẫu có hàm lượng cao (> 100 ng/g) nhìn chung tương đối thấp. Hàm lượng của các PFCAs trong mẫu FCM tại Việt Nam đều nhỏ hơn 1 ng/g và thuộc khoảng giá trị thấp so với các quốc gia khác trên thế giới.

PFSS so với PFCAs, thông tin về sự có mặt của PFSSs trong FCM nhìn chung còn khá hạn chế. PFBS được phát hiện trong 1 mẫu túi giấy đựng khoai tây chiên (2,2 ng/g) và 1 mẫu giấy chống thấm dầu (6,1 ng/g) tại Đài Loan [14]. PFOS được tìm thấy với tần suất tương đối cao trong các mẫu túi bóng ngô và cốc giấy tại Tây Ban Nha, tuy nhiên hàm lượng đo được không vượt quá 10 ng/g [11]. Hàm lượng PFOS trong 1 mẫu hộp gà chiên và 1 mẫu giấy gói gà chiên tại Thái Lan lần lượt là 37 và 22 ng/g, được cho là những mức hàm lượng tương đối cao của hợp chất này trong FCM [15]. Hàm lượng PFSSs trong các mẫu FCM của nghiên cứu hiện tại đều thấp hơn 1 ng/g, phản ánh sự có mặt của các hợp chất này chủ yếu liên quan đến nguồn gốc không chủ định.

Các chất phân tích (PFCAs và PFSSs) trong nghiên cứu này thuộc nhóm chất fluoroalkyl phân tử khối thấp (non-polymeric PFASs). Tùy theo mức hàm lượng của PFASs trong vật liệu, sự có mặt của nhóm chất này được chia thành hai nguồn gốc: i) Chủ định, PFASs được thêm vào vật liệu để đạt được một số tính chất bề mặt mong muốn (hạn chế sự bám dính của thực phẩm lên bề mặt bao bì và chống thấm nước từ thực phẩm ra ngoài bao bì trong quá trình lưu trữ, vận chuyển và sử dụng); và ii) Không chủ định, sự có mặt của PFASs trong vật liệu do nhiễm bẩn từ môi trường, thiết bị sản xuất vật liệu, nguồn nguyên liệu tái chế [16]. Đối với nhóm PFASs chủ định, các mức hàm lượng thấp, trung bình và cao lần lượt 370, 2820 và 25200 ng/g; trong khi các mức hàm lượng thấp, trung bình và cao đối với nhóm PFASs không chủ định lần lượt là 0, 200 và 370 ng/g [16]. Các giá trị hàm lượng PFASs đo được trong nghiên cứu này đều thấp hơn rất nhiều so với ngưỡng 200 ng/g (mức trung bình của nhóm không chủ định) và tiệm cận với mức thấp (0 ng/g).

4. Kết luận

Sự có mặt của các chất ô nhiễm hữu cơ trong bao bì và vật liệu tiếp xúc với thực phẩm tiềm ẩn những nguy cơ thôi nhiễm vào thực phẩm và phơi nhiễm trên cơ thể người. Các hợp chất fluoroalkyl với tính chất bề mặt ưu việt (chống thấm dầu và chống thấm nước) nên được sử dụng rộng rãi trong nhiều loại vật liệu khác nhau và có mặt trong đa dạng các sản phẩm tiêu dùng. Trong nghiên cứu này, hàm lượng của 4 PFCAs và 4 PFSSs được phân tích trong 15 mẫu FCM thu thập trên thị trường tại Hà Nội, Việt Nam. Đây là nghiên cứu đầu tiên báo cáo hàm lượng của các PFASs này trong bao bì thực phẩm ở Việt Nam. Kết quả phân tích đã bổ sung những thông tin cập nhật vào cơ sở dữ liệu còn rất hạn chế về các hợp chất này trong bao bì thực phẩm ở nước ta. Các chất PFASs được tìm thấy ở mức hàm lượng thấp (dưới giới hạn phát hiện đến < 1 ng/g cho mỗi chất) và phản ánh các nguồn gốc không chủ định. Các nghiên cứu tiếp theo về PFASs và các hợp chất liên quan với số lượng mẫu và phạm vi nghiên cứu rộng hơn cần tiếp tục được thực hiện trong thời gian tới. Các nghiên cứu mới đây đã chỉ ra sự có mặt với mức hàm lượng cao của các tiền chất của PFCAs và PFSSs trong FCM, điển hình là fluorotelomer alcohol, fluorotelomer carboxylic acid và fluoroalkyl phosphoric acid ester. Bên cạnh đó, các nghiên cứu chuyên sâu về sự thôi nhiễm PFASs từ bao bì vào thực phẩm và các tác động trực tiếp lên cơ thể con người tại Việt Nam là rất cần thiết.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 105.08-2019.313.

Tài liệu tham khảo

- [1] R. C. Buck, J. Franklin, U. Berger, J. M. Conder, I. T. Cousins, P. D. Voogt, A. A. Jensen, K. Kannan, S. A. Mabury, S. P. V. Leeuwen,

- Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins, Integrated Environmental Assessment and Management, Vol. 7, 2011, pp. 513-541, <https://doi.org/10.1002/ieam.258>.
- [2] J. Glüge, M. Scheringer, I. T. Cousins, J. C. D. Witt, G. Goldenman, D. Herzke, R. Lohman, C. A. Ng, X. Trier, Z. Wang, An Overview of the Uses of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS), *Environmental Science: Processes & Impacts*, Vol. 22, 2020, pp. 2345-2373, <https://doi.org/10.1039/d0em00291g>.
- [3] A. B. Lindstrom, M. J. Strynar, E. L. Libelo, Polyfluorinated Compounds: Past, Present, and Future, *Environmental Science & Technology*, Vol. 45, pp. 7954-7961, <https://doi.org/10.1021/es2011622>.
- [4] Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) Text and Annexes Revised in 2019, Secretariat of the Stockholm Convention (SSC), September 2020, <https://chm.pops.int/theconvention/overview/textoftheconvention/tabid/2232/default.aspx> (accessed on: May 10th, 2023).
- [5] K. Marsh, B. Bugusu, Food Packaging-Roles, Materials, and Environmental Issues, *Journal of Food Science*, Vol. 72, 2007, pp. 39-45, <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x>.
- [6] O. Lau, S. Wong, Contamination in Food from Packaging Material, *Journal of Chromatography A*, Vol. 882, 2000, pp. 255-270, [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00356-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00356-3).
- [7] A. R. Carnero, A. L. Cardama, P. V. Loureiro, L. B. Pereira, A. R. B. D. Quirós, R. Sendón, Presence of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Food Contact Materials (FCM) and Its Migration to Food, *Foods*, Vol. 10, 2021, pp. 1443, <https://doi.org/10.3390/foods10071443>.
- [8] Y. Xu, G. O. Noonan, T. H. Begley, Migration of Perfluoroalkyl Acids from Food Packaging to Food Simulants, *Food Additives & Contaminants Part A*, Vol. 30, 2013, pp. 899-908, <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.789556>.
- [9] H. P. Susmann, L. A. Schaidler, K. M. Rodgers, R. A. Rudel, Dietary Habits Related to Food Packaging and Population Exposure to PFASs, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 127, 2019, pp. 107003, <https://doi.org/10.1289/ehp4092>.
- [10] CEN/TS 15968:2010 (E), Determination of Extractable Perfluorooctanesulphonate (PFOS) in Coated and Impregnated Solid Articles, Liquids and Fire Fighting Foams – Method for Sampling, Extraction and Analysis by LC-qMS or LC-tandem/MS, European Committee for Standardization, August 2010, <https://www.en-standard.eu> (accessed on: January 13th, 2023).
- [11] C. Moreta, M. T. Tena, Fast Determination of Perfluorocompounds in Packaging by Focused Ultrasound Solid-liquid Extraction and Liquid Chromatography Coupled to Quadrupole-time of Flight Mass Spectrometry, *Journal of Chromatography A*, Vol. 1302, 2013, pp. 888-894, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.06.024>.
- [12] I. Zabaleta, E. Bizkarguenaga, D. Bilbao, N. Etxebarria, A. Prieto, O. Zuloaga, Fast and Simple Determination of Perfluorinated Compounds and Their Potential Precursors in Different Packaging Materials, *Talanta*, Vol. 152, 2016, pp. 353-363, <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.02.022>.
- [13] I. Zabaleta, N. Negreira, E. Bizkarguenaga, A. Prieto, A. Covaci, O. Zuloaga, Screening and Identification of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Microwave Popcorn Bags, *Food Chemistry*, Vol. 321, 2017, pp. 126746, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.074>.
- [14] P. Siao, S. Tseng, C. Chen, Determination of Perfluoroalkyl Substances in Food Packaging in Taiwan using Ultrasonic Extraction and Ultra-performance Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry, *Journal of Food and Drug Analysis*, Vol. 30, 2022, pp. 11-25, <https://doi.org/10.38212/2224-6614.3397>.
- [15] S. Poothong, S. K. Boontanon, N. Boontanon, Determination of Perfluorooctane Sulfonate and Perfluorooctanoic Acid in Food Packaging using Liquid Chromatography Coupled with Tandem Mass Spectrometry, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 205-206, 2012, pp. 139-143, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.12.050>.
- [16] L. Minet, Z. Wang, A. Shalin, T. A. Bruton, A. Blum, G. F. Peaslee, H. S. Narbonne, M. Venier, H. Whitehead, Y. Wu, M. L. Diamond, Use and Release of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in Consumer Food Packaging in U. S. and Canada, *Environmental Science: Processes & Impacts*, Vol. 24, 2022, pp. 2032-2042, <https://doi.org/10.1039/d2em00166g>.
- [17] D. Herzke, E. Olsson, S. Posner, Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in Consumer Products in Norway – A Pilot Study, *Chemosphere*, Vol. 88, 2012, pp. 980-987, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.03.035>.

- [18] T. Shoeib, Y. Hassan, C. Rauert, T. Harner, Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) in Indoor Dust and Food Packaging Materials in Egypt: Trends in Developed and Developing Countries, *Chemosphere*, Vol. 144, 2016, pp. 1573-1581, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.08.066>.
- [19] S. Chinthakindi, H. Zhu, K. Kannan, An Exploratory Analysis of Poly- and Perfluoroalkyl Substances in Pet Food Packaging from the United States, *Environmental Technology & Innovation*, Vol. 21, 2021, pp. 101247, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101247>.
- [20] H. S. Narbonne, C. Xia, A. Shalin, H. D. Whitehead, D. Yang, G. F. Peaslee, Z. Wang, Y. Wu, H. Peng, A. Blum, M. Venier, M. L. Diamond, Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Canadian Fast Food Packaging, *Environmental Science & Technology Letters*, Vol. 10, 2023, pp. 343-349, <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00926>.