

PHÂN TÍCH CHẤT CHỐNG CHÁY CƠ PHOSPHATE TRONG VẢI BỌC NỘI THẤT VÀ ĐÁNH GIÁ RỦI RO TỚI SỨC KHỎE CON NGƯỜI

ANALYSIS OF THE ORGANOPHOSPHATE FLAME RETARDANTS IN UPHOLSTERY FABRICS AND ASSESSMENT OF RISKS TO HUMAN HEALTH

Nguyễn Thị Thu Phương¹, Đoàn Thị Bích Hòa², Ngô Thị Lan¹,
Nguyễn Hà Thanh², Đỗ Thái Anh², Lê Nhật Thùy Giang²,
Nguyễn Văn Tuyến², Trịnh Thu Hà^{2,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.264>

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đã phân tích sáu chất chống cháy cơ phosphate (OPFRs) trong mẫu vải nội thất bằng phương pháp sắc ký khí khối phổ (GC - MS). Kết quả phân tích 31 mẫu vải nội thất cho thấy tris(1-chloro-2-propyl) phosphate (TCIPP) được phát hiện trong một số mẫu với tần suất phát hiện cao nhất (khoảng 65%) với hàm lượng từ khoảng 0,5 - 2,32mg/g, trung bình 1,0556mg/g. Mức phơi nhiễm qua da do tiếp xúc với TCIPP trong vải bọc nội thất ở trẻ em cao gấp 2,5 lần so với nam giới trưởng thành, gấp 2,9 lần so với nữ giới trưởng thành, cao gấp 2,7 lần so với thanh niên, cao gấp 1,4 lần so với thiếu niên.

Từ khóa: Chất chống cháy cơ photpho; tris(1-chloro-2-propyl)phosphate (TCIPP); vải bọc nội thất; rủi ro sức khỏe con người.

ABSTRACT

This study investigated the analysis of the organophosphorus flame retardants (OPFRs) in mattress fabric samples using the Gas Chromatography - Mass Spectroscopy method (GC - MS). Analyzing results of 31 upholstery fabric samples showed that tris(1-chloro-2-propyl) phosphate (TCIPP) was detected with the highest detection frequency in flame retardants, about 65% with concentrations ranging from about 0.5 - 2.32mg/g, average 1.0556mg/g. Skin exposure due to contact with TCIPP in upholstery fabric in children is 2.5 times higher than that of adult men, 2.9 times higher than that of adult women, 2.7 times higher than young people, 1.4 times higher than teenagers.

Keywords: Organophosphate flame retardant; tris(1-chloro-2-propyl)phosphate (TCIPP); upholstery fabrics; human risk.

¹Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email: trinhthuha80@gmail.com

Ngày nhận bài: 10/10/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/12/2023

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2023

1. TỔNG QUAN

Chất chống cháy cơ photpho (Organophosphate flame retardants: OPFRs) được sử dụng làm chất chống cháy và

chất dẻo trong các sản phẩm điện tử, dệt may và xây dựng [1], sản xuất OPFRs tăng mạnh từ $6,8 \times 10^5$ tấn vào năm 2015 lên $1,0 \times 10^6$ tấn vào năm 2018. Một số các OPFRs thông dụng như tributyl phosphate (TBP), tris(2-chloroethyl) phosphate (TCEP), tris(1-chloro-2-propyl) phosphate (TCIPP), tris(1,3-dichloro-2-propyl) phosphate (TDCPP), triphenyl phosphate (TPhP) và tris(2-butoxyethyl) phosphat (TBEP). Tris(1-chloro-2-propyl)phosphate (TCIPP) là chất chống cháy cơ photpho thường được sử dụng rất rộng rãi làm phụ gia chống cháy trong bột xốp polyurethane (PU), các sản phẩm may mặc, vật liệu dệt may, thiết bị điện tử... [1, 2, 13]. Theo báo cáo với Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (EPA) vào năm 2016, vật liệu xốp cách nhiệt có nồng độ TCIPP tối đa là 1 - 30%; Các sản phẩm gỗ làm vật liệu xây dựng có hàm lượng TCIPP dưới 1%; trong các sản phẩm vải, dệt và da có nồng độ TCIPP tối đa 30 - 60% tính theo trọng lượng [3]. Ở Châu Âu, TCIPP là hóa chất có khối lượng sản xuất cao với khối lượng khoảng 100.000 tấn mỗi năm [2].

Chất chống cháy cơ photpho chủ yếu là được sử dụng làm chất chống cháy phụ gia và do đó có thể thoát ra từ sản phẩm vào môi trường xung quanh [3]. Các nghiên cứu đã chỉ ra sự xuất hiện phổ biến của OPFRs trong môi trường phi sinh học (như đất, bụi, bùn, nước và không khí) và sinh vật (như chim, cá và các loài động vật có vú) cũng như ở mẫu sinh phẩm của người (như: nước tiểu, máu và sữa) [4-7]. TCIPP là chất phụ gia không liên kết hóa học với sản phẩm dẫn đến chúng có thể dễ dàng thoát ra khỏi sản phẩm và xâm nhập, phát tán ra môi trường xung quanh. Chất chống cháy này cũng đã được tìm thấy trong nước uống, nước ngầm và nước mặt cũng như trong đất, trầm tích, bụi trong nhà, không khí trong nhà và không khí xung quanh [8].

Các nghiên cứu cũng đã chỉ ra OPFRs có liên quan đến rối loạn điều hòa hormone tuyến giáp, ảnh hưởng bất lợi đến sinh sản và ảnh hưởng bất lợi đến sự phát triển thần kinh [1, 9, 10]. Con người khi tiếp xúc với TCIPP trong thời gian dài có thể bị kích ứng da, ảnh hưởng xấu đến khả năng sinh sản,

có thể gây độc gen, chậm phát triển, các bệnh tuyến giáp, ung thư...[11]. Nồng độ của OPFRs và các chất chuyển hóa của chúng trong nước tiểu đã tăng lên trong dân số ở các nước như Mỹ, Trung Quốc trong những năm gần đây, điều này cho thấy mức độ phơi nhiễm OPFRs ngày càng tăng [12, 13]. Sự phơi nhiễm của con người với OPFRs là một mối lo ngại, mặc dù một số ít các nghiên cứu đã kiểm tra sự phơi nhiễm thông qua chế độ ăn uống, hít phải và nuốt phải bụi.

Sản xuất vải từ sợi thô đến vải thành phẩm, đòi hỏi một loạt các biện pháp xử lý hóa học để nâng cao hiệu quả sử dụng của thành phẩm [14]. Để tạo ra các loại vải có chống cháy (hạn chế sự bắt lửa), các nhà sản xuất vải thêm chất chống cháy vào để tạo ra loại vải chống cháy được sử dụng trong một loạt các ứng dụng như quần áo cho bảo vệ con người tại nơi làm việc và các ứng dụng quân sự, cũng như làm quần áo cho lính cứu hỏa, vải bọc cho đồ nội thất... Sự hiện diện của OPFRs trong các loại vải này có thể là nguồn phơi nhiễm của con người thông qua tiếp xúc da [15, 16].

Tác giả Kemmler và cộng sự đã nghiên cứu lượng phát thải của các chất chống cháy trong các mẫu vật liệu cách nhiệt, xốp, vải bọc nệm và thiết bị điện tử, trong các chất chống cháy được nghiên cứu thì TCIPP là chất chống cháy được thải ra phổ biến nhất với tốc độ phát thải trong khoảng từ 20ng/m²/giờ đến 140ng/m²/giờ [17]. Nghiên cứu của tác giả Ionas và các cộng sự đã cho thấy nồng độ TCIPP trong không khí trong nhà có đồ nội thất bọc vải chống cháy đạt mức cao từ 400 đến 880ng/m³ và nồng độ TCIPP trong khí đo được trên bề mặt vật liệu đệm dao động từ 5,5 đến 17,7μg/m³. Mức phơi nhiễm do hít phải TCIPP của những người ở trong phòng được đánh giá là 2933ng/ngày (với mức trung bình) và 4692ng/ngày (với mức tối đa) [18].

Tuy nhiên, những nghiên cứu về sự xuất hiện và phơi nhiễm qua da của con người với OPFRs có trong hàng dệt may vẫn còn hạn chế. Một nghiên cứu trước đó chỉ ra rằng trẻ em có mức độ tiếp xúc với OPFRs cao hơn so với người lớn, và sự hấp thụ qua da là một con đường quan trọng trong sự tiếp xúc của trẻ em với OPFRs [19]. Ở Việt Nam chưa có nghiên cứu nào về phân tích chất chống cháy TCIPP trong mẫu vải bọc nội thất cũng chưa có quy định, tiêu chuẩn nào về giới hạn của TCIPP trong vật liệu vải dệt. Các nghiên cứu về chất chống cháy cơ photpho trong các loại vật liệu vẫn còn rất hạn chế. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này xác định nồng độ của OPFRs trong vải bọc nội thất và ước tính liều tiếp xúc qua da với OPFRs của người lớn và trẻ em qua vải bọc nội thất.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hóa chất và mẫu phân tích

Chuẩn phân tích tributyl phosphate (TBP), tris(2-chloroethyl) phosphate (TCEP), tris(1-chloro-2-propyl)phosphate (TCIPP), tris(1,3-dichloro-2-propyl) phosphate (TDCPP), triphenyl phosphate (TPHP) và tris(2-butoxyethyl) phosphat (TBEP) được mua từ Tokyo Chemical Industries Ltd. (Tokyo, Nhật Bản). Chất đồng vị triphenyl phosphate - d15 (TPHP-d15) được mua từ Sigma - Aldrich (Đức), và tributyl phosphate - d27 (TBP-d27) được mua từ

Phòng thí nghiệm đồng vị Cambridge (Andover, Hoa Kỳ) đã được sử dụng làm chất nội chuẩn.

Nước cất Milli-Q đã được sử dụng trong quá trình thí nghiệm. Dung môi methanol, acetone, và dichloromethane đều thuộc loại HPLC được mua từ Merk (Đức).

Ba mươi mốt mẫu vải bọc nội thất dùng để bọc ghế sofa, bọc nệm... được thu mua tại Hà Nội, năm 2023. Mẫu vải bọc nội thất sau khi thu thập về được cắt nhỏ khoảng 5 - 10mm², bọc trong giấy nhôm và đựng trong túi zip. Bảo quản trong tủ lạnh ở nhiệt độ 4°C đến khi phân tích.

2.2. Phương pháp xử lý mẫu

Quy trình chiết tách sáu OPFRs (bao gồm TBP, TCEP, TCIPP, TDCPP, TPHP và TBEP) trong mẫu vải bọc nội thất được thực hiện theo phương pháp chiết pha rắn: Cân 0,1g mẫu vải bọc nội thất đã được cắt thành các miếng nhỏ kích thước 0,5 - 1mm, thêm 5mL dichloromethane (DCM) vào ống đựng mẫu, thêm vào 100μL chất chuẩn đồng hành (TPHP - d15, TBP - d27), lắc vortex trong 1 phút, chiết siêu âm 10 phút ở nhiệt độ phòng, sau đó ly tâm với tốc độ 3000 vòng/phút trong 10 phút. Gạn phần dịch chiết vào ống mẫu mới. Lặp lại quá trình chiết 2 lần với lượng dung môi cho mỗi lần chiết là 5mL. Dung dịch rửa giải được gộp lại và cô đặc đến gần 1mL bởi thổi nhẹ khí N₂, thêm 5mL hexan và tiếp tục thổi khí đến 1mL. Sau đó mẫu dịch chiết được tải lên cột chiết pha rắn HLB (6mL, 200mg) đã được hoạt hóa bằng 5mL DCM. Làm khô cột bởi hút chân không trong 40 phút, rửa giải cột chiết bằng 3 ml hexan. Sau đó dung dịch rửa giải được thổi khô khí N₂ đến gần 1mL. Chuyển mẫu đã thổi khô vào vial sau đó định mức bằng hexan đến 1mL, bảo quản ở -20°C đến khi phân tích trên thiết bị GC - MS.

2.3. Phương pháp phân tích mẫu

Để định lượng được hỗn hợp 6 OPFRs (TBP, TCEP, TCIPP, TDCPP, TPHP và TBEP) trong mẫu vải bằng hệ thống sắc ký khí kết nối khối phổ GC - MS Thermo TSQ 9000 (Triple Quadrupole Mass Spectrometer) (Thermo Scientific, Mỹ) bao gồm: bộ phận bơm dung môi, bộ loại khí, bộ phận điều nhiệt và detector MS. Khí mang Heli với độ tinh khiết 99,999%.

Mẫu được bơm với thể tích 1μL ở chế độ không chia dòng (splitless) với hệ lấy mẫu tự động và bộ bơm mẫu tự động Triplus RSH (Thermo). Chất phân tích được tách trên cột sắc ký DB - 5 MS UI (dài 30m, đường kính trong 0,25mm và bề dày lớp pha tĩnh 0,25μm, Agilent Technologies). Khí Heli được sử dụng làm khí mang với tốc độ 1 ml/phút ở chế độ tuyến tính.

Chương trình nhiệt độ cột được cài đặt ở 80°C giữ 2 phút, tăng đến 230°C (với tốc độ 10°C/phút) và giữ ở nhiệt độ này trong 5 phút, tăng tiếp đến 270°C (với tốc độ 5°C/phút) và giữ nhiệt độ này trong 1 phút, cuối cùng tăng lên 300°C (với tốc độ 30°C/phút) và giữ ở nhiệt độ này trong 5 phút. Chương trình nhiệt độ MS với nhiệt độ bơm mẫu, nhiệt độ nguồn ion và nhiệt độ detector là 290°C; 290°C và 230°C. Tổng thời gian chạy là 25 phút.

2.4. Kiểm soát chất lượng

Tiến hành xây dựng đường chuẩn, đánh giá giới hạn phát hiện (LOD), giới hạn định lượng (LOQ), độ lặp, độ tái lặp của

mẫu phân tích. Sử dụng mẫu trắng, mẫu lặp để kiểm soát quá trình phân tích mẫu. Kết quả thực tế sẽ được tính bằng kết quả phân tích mẫu thực trừ đi mẫu trắng.

2.5. Phương pháp đánh giá phơi nhiễm TCIPP qua tiếp xúc da

Việc đánh giá phơi nhiễm của con người qua tiếp xúc da với TCIPP có trong vải bọc nội thất được ước tính bằng cách sử dụng công thức sau [20]:

$$EXP_{\text{tiếp xúc da}} = (C \times D \times SA \times F_{\text{mig}} \times F_{\text{tiếp xúc}} \times F_{\text{pen}} \times T \times N) / BW / 1000 \tag{1}$$

Trong đó: EXP_{tiếp xúc da}: liều hấp thụ qua da (ng/kg thể trọng/ngày); C: nồng độ (ng/g) của hóa chất tìm thấy trong vật liệu (vải rèm polyester); D: mật độ của vật liệu dệt (mg/cm²) được tính trung bình là 22,4mg/cm²; SA: tổng diện tích bề mặt cơ thể (cm²) dự kiến là 1900cm² cho nam giới, 1600cm² cho nữ giới, 1330cm² cho thiếu niên (12 - 13 tuổi), 1140cm² cho trẻ em dưới 10 tuổi [20]; F_{mig}: tỷ lệ di chuyển hàng ngày của các chất từ vải sang da (1/d), được tính là 0,001 [21]; F_{tiếp xúc}: phần diện tích tiếp xúc với da (không có đơn vị), được tính là 1 [21]; F_{pen}: tốc độ thâm nhập của hóa chất vào cơ thể (không có đơn vị), được tính là 0,5 [18]; T: thời lượng tiếp xúc (ngày), được đặt là 1 ngày [22]; N: số sự kiện tiếp xúc trung bình hàng ngày, được đặt là 1 sự kiện/ngày [22]; BW: trọng lượng cơ thể trung bình của người lớn và trẻ em Việt Nam, được tính ở mức 63kg cho người lớn, 48kg cho thanh niên, 25kg cho thiếu niên và 15kg cho trẻ mẫu giáo (2 - 5 tuổi) [23].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kiểm soát chất lượng

Các đường chuẩn xây dựng trong khoảng từ 1 - 50ng/mL, có hệ số tương quan $0,99 \leq R^2 < 1$. Giới hạn phát hiện (LOD) của 6 OPFRs (TBP, TCEP, TCIPP, TDCPP, TPHP và TBEP) đều là 0,2ng/mL; giới hạn định lượng (LOQ) là 0,6ng/mL; Độ lặp lại của các chất nằm trong khoảng 1,438 - 6,48%, độ tái lập nằm trong khoảng (1,247 - 8,572%) (hình 1).

TBP: $y = 0,000005x + 10000000$; $R^2 = 0,9931$

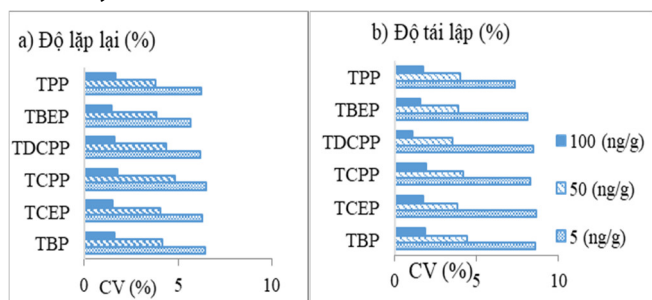
TCEP: $y = 183590x + 191785$; $R^2 = 0,995$

TCIPP: $y = 318794x + 233245$; $R^2 = 0,9964$

TDCPP: $y = 116633x + 120978$; $R^2 = 0,9955$

TBEP: $y = 120179x + 94829$; $R^2 = 0,9958$

TPP: $y = 344093x + 456871$; $R^2 = 0,9938$

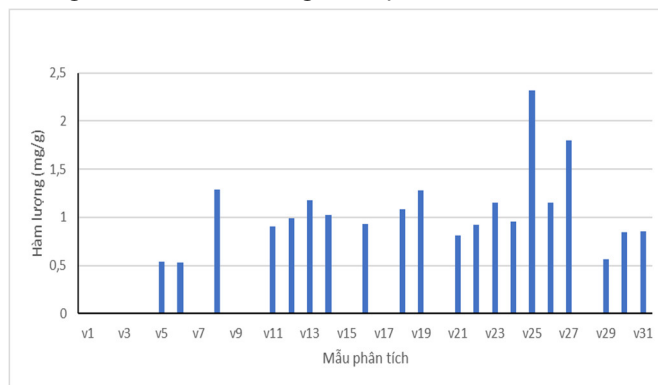


Hình 1. Độ lặp lại và độ tái lập của 6 OPFRs (TBP, TCEP, TCIPP, TDCPP, TPHP và TBEP) ở các mức nồng độ 5; 50; 100ng/g

3.2. Nồng độ OPFRs trong mẫu vải bọc nội thất

Sau khi phân tích 31 mẫu vải bọc nội thất kết quả cho thấy TBHP, TCEP, TDCPP, TBEP không được phát hiện. Như vậy 4 chất này không thường được sử dụng làm chất chống cháy trong các mẫu vải bọc nội thất thu thập được.

TCIPP được phát hiện trong một số mẫu bọc nội thất với tần suất phát hiện là khoảng 65% với hàm lượng từ khoảng 0,5 - 2,32mg/g (trung bình 1,0556mg/g; trung vị 0,969mg/g). Hàm lượng TCIPP là rất nhỏ so với khối lượng mẫu (cao nhất 0,001%) (hình 2). Như vậy có thể thấy dự đoán TCIPP chỉ được ngấm tẩm ở bề mặt vải chứ không phải được sử dụng như nguyên liệu tạo nên vải. Vì vậy qua thời gian, TCIPP rất có thể không còn trên bề mặt vải mà sẽ phát tán ra môi trường xung quanh. Đối với TPHP, tần suất phát hiện chỉ khoảng 10% với hàm lượng trong khoảng 0,813 - 1,1mg/g trung bình 0,910mg/g. Như vậy có thể thấy trong 6 chất chống cháy OPFRs phân tích, thì chỉ có TCIPP được tìm thấy trong vải bọc nội thất thu thập được. Điều đó có thể có ảnh hưởng đến sức khỏe của người tiếp xúc.



Hình 2. Hàm lượng TCIPP của mẫu vải bọc nội thất

3.3. Đánh giá phơi nhiễm của con người qua tiếp xúc da với TCIPP

Từ các số liệu phân tích thu được, tiến hành tính toán liều phơi nhiễm TCIPP do tiếp xúc da của người lớn và trẻ em với các mẫu vải bọc nội thất. Tính toán với hai trường hợp phơi nhiễm cao và phơi nhiễm trung bình. Phơi nhiễm cao ở mức nồng độ 95%, phơi nhiễm trung bình ở mức nồng độ 50% (bảng 1).

Bảng 1. Liều phơi nhiễm ước tính qua tiếp xúc da với TCIPP trong mẫu vải bọc nội thất

Độ tuổi	Nam giới	Nữ giới	Thanh niên	Thiếu niên (12 - 13 tuổi)	Trẻ mẫu giáo (2 - 5 tuổi)
EXP _{tiếp xúc da} Phơi nhiễm trung bình (ng/kg/ngày)	617	519	567	1088	1554
EXP _{tiếp xúc da} Phơi nhiễm cao (ng/kg/ngày)	327	276	301	577	825

Kết quả cho thấy ở tình huống phơi nhiễm trung bình liều phơi nhiễm tiếp xúc da của TCIPP có trong vải bọc nội

thất đối với người lớn nam giới: 327ng/kg thể trọng/ngày; nữ giới: 276ng/kg thể trọng /ngày; thanh niên: 301ng/kg thể trọng/ngày; thiếu niên: 577ng/kg thể trọng/ngày và trẻ mẫu giáo: 825ng/kg thể trọng/ngày. Ở tình huống phơi nhiễm cao, liều phơi nhiễm tiếp xúc da của TCEP có trong vải bọc nội thất đối với người lớn nam giới: 617ng/kg thể trọng/ngày; nữ giới: 519ng/kg thể trọng /ngày; thanh niên: 567ng/kg thể trọng/ngày; thiếu niên: 1088ng/kg thể trọng/ngày và trẻ em: 1554ng/kg thể trọng/ngày. Từ kết quả trên có thể thấy độ tuổi càng nhỏ, liều phơi nhiễm càng cao, trong đó liều phơi nhiễm của trẻ em là cao nhất. Ở cả hai tình huống phơi nhiễm trung bình phơi nhiễm cao, ở trẻ em cao gấp khoảng 2,5 lần so với nam giới trưởng thành, cao gấp khoảng 2,9 lần so với nữ giới trưởng thành, cao gấp khoảng 2,7 lần so với thanh niên, cao gấp khoảng 1,4 lần so với thiếu niên. Điều này có thể là do trọng lượng của cơ thể trẻ em thấp, trong khi giá trị phơi nhiễm được biểu thị trên mỗi kg trọng lượng cơ thể.

So sánh với một kết quả từ mô hình tính toán phơi nhiễm TCIPP do tiếp xúc da với ghế sofa, kết quả cho thấy ở tình huống phơi nhiễm cao, liều phơi nhiễm ước tính tiếp xúc da của TCIPP có trong vải bọc nội thất đối với người lớn nam giới cao hơn khoảng 16 - 20 lần, nữ giới cao hơn khoảng 16 - 21 lần, và trẻ mẫu giáo cao hơn khoảng 58 - 72 lần so với kết quả tính toán từ mô hình phơi nhiễm TCIPP do tiếp xúc da với ghế sofa cho nam giới, nữ giới và trẻ em do tiếp xúc da khô và da ướt vào mùa hè [24].

Để đánh giá tầm quan trọng của sự hấp thu TCIPP thông qua tiếp xúc da với các loại vải bọc nội thất thu thập được ở Hà Nội, lần đầu tiên được ước tính ở đây. Chúng tôi so sánh kết quả nghiên cứu này với các nghiên cứu trước đây đánh giá mức độ tiếp xúc của con người với hợp chất này thông qua các con đường tiếp xúc khác ở như ăn phải bụi, hít thở, tiếp xúc bụi qua da. Theo nghiên cứu đã được Minh và các cộng sự đã báo cáo mức độ phơi nhiễm cao với TCIPP từ bụi trong nhà qua cả ba con đường phơi nhiễm (ăn phải bụi, hít thở, tiếp xúc bụi qua da) ở người trưởng thành và trẻ em lần lượt là 137 và 647ng/kg thể trọng/ngày [24]. Điều này cho thấy tiếp xúc da với vải bọc nội thất được ước tính cao hơn so với các con đường phơi nhiễm khác. Hiện chưa có số liệu thông kê về giới hạn phơi nhiễm của TCIPP trong vật liệu do tiếp xúc da, nhưng đồ nội thất đặc biệt là ghế sofa là đồ vật thiết yếu, được sử dụng rộng rãi trong mỗi gia đình, nơi làm việc nên cần đặc biệt lưu ý. Do đó cần phải có những nghiên cứu mở rộng và đánh giá cụ thể hơn.

4. KẾT LUẬN

Phân tích 31 mẫu vải bọc nội thất cho thấy TCIPP được phát hiện trong các mẫu thu thập được với tần suất phát hiện là khoảng 65% với hàm lượng trong khoảng 0,5 - 2,32mg/g, trung bình 1,0556mg/g. Liều phơi nhiễm của con người qua tiếp xúc da với TCIPP trong vải bọc nội thất cho thấy TCIPP trong vải bọc nội thất có nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe con người, độ tuổi càng nhỏ, liều phơi nhiễm càng cao, trong đó liều phơi nhiễm của trẻ em là cao nhất 1554ng/kg thể trọng/ngày. Trẻ em là đối tượng dễ bị ảnh

hưởng về sức khỏe nhất khi tiếp xúc với chất chống cháy TCIPP. Hiện nay Việt Nam cũng chưa có qui định hay tiêu chuẩn nào quy định về giới hạn hàm lượng chất chống cháy nói chung và chất TCIPP nói riêng trong sản phẩm nội thất hay trong môi trường. Vì vậy, kết quả nghiên cứu bước đầu xác định TCIPP trong vải bọc nội thất giúp đưa ra định hướng để xây dựng các tiêu chuẩn về phân tích hàm lượng TCIPP trong các vật liệu dệt để góp phần bảo vệ sức khỏe người tiêu dùng.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam theo đề tài mã số "TĐPCCC.03/21-23".

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. I. van der veen, J. Boer, 2012. *Phosphorus flame retardants: Properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis*. Chemosphere, vol. 88, pp. 1119-53.
- [2]. ECHA, 2023. *Regulatory strategy for flame retardants*, European Chemicals Agency.
- [3]. A. K. Greaves, R. J. Letcher, 2017. *A Review of Organophosphate Esters in the Environment from Biological Effects to Distribution and Fate*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, vol. 98, no. 1, pp. 2-7.
- [4]. P. Kurt-Karakus, H. Alegria, A. Birgul, E. Gungormus, L. Jantunen, 2018. *Organophosphate ester (OPes) flame retardants and plasticizers in air and soil from a highly industrialized city in Turkey*. Science of The Total Environment, vol. 625, pp. 555-565.
- [5]. W. Li, Y. Wang, K. Kannan, 2019. *Occurrence, distribution and human exposure to 20 organophosphate esters in air, soil, pine needles, river water, and dust samples collected around an airport in New York state, United States*. (in eng), Environ Int, vol. 131, p. 105054.
- [6]. M. Giulivo, et al., 2017. *Occurrence of halogenated and organophosphate flame retardants in sediment and fish samples from three European river basins*. (in eng), Sci Total Environ, vol. 586, pp. 782-791.
- [7]. J. Ma, H. Zhu, K. Kannan, 2019. *Organophosphorus Flame Retardants and Plasticizers in Breast Milk from the United States*. Environmental Science & Technology Letters, vol. 6, no. 9, pp. 525-531.
- [8]. A. Marklund, B. Andersson, P. Haglund, 2005. *Organophosphorus flame retardants and plasticizers in Swedish sewage treatment plants*. (in eng), Environ Sci Technol, vol. 39, no. 19, pp. 7423-9.
- [9]. S. y. Lu, et al., 2017. *Effect of E-waste Recycling on Urinary Metabolites of Organophosphate Flame Retardants and Plasticizers and Their Association with Oxidative Stress*. Environmental Science & Technology, vol. 51, no. 4, pp. 2427-2437.
- [10]. B. V. Krivoshev, G. T. S. Beemster, K. Sprangers, R. Blust, S. J. Husson, 2018. *A toxicogenomics approach to screen chlorinated flame retardants tris(2-chloroethyl) phosphate and tris(2-chloroisopropyl) phosphate for potential health effects*. J Appl Toxicol. vol. 38, no. 4, pp. 459-470, 2018.
- [11]. M. Antonopoulou, D. Vlastos, M. Dormousoglou, S. Bouras, M. Varela-Athanasatou, I.E. Bekakou, 2022. *Genotoxic and Toxic Effects of The Flame Retardant Tris(Chloropropyl) Phosphate (TCPP) in Human Lymphocytes, Microalgae and Bacteria*. Toxics vol. 10, no. 12, p. 736.

- [12]. K. Hoffman, L. Gearhart, M. Lorber, T. Webster, H. Stapleton, 2017. *Estimated Tris(1,3-dichloro-2-propyl) Phosphate Exposure Levels for U.S. Infants Suggest Potential Health Risks*. Environmental Science & Technology Letters, vol. 4.
- [13]. K. Hoffman, J. L. Daniels, H. M. Stapleton, 2014. *Urinary metabolites of organophosphate flame retardants and their variability in pregnant women*. Environment International, vol. 63, pp. 169-172.
- [14]. J. Rovira, J. L. Domingo, 2019. *Human health risks due to exposure to inorganic and organic chemicals from textiles: A review*. Environmental Research, vol. 168, pp. 62-69.
- [15]. A. J. Li, K. Kannan, 2018. *Elevated Concentrations of Bisphenols, Benzophenones, and Antimicrobials in Pantyhose Collected from Six Countries*. Environmental Science & Technology, vol. 52, no. 18, pp. 10812-10819.
- [16]. H.L. Li, et al., 2019. *Phthalates in infant cotton clothing: Occurrence and implications for human exposure*. Science of The Total Environment, vol. 683, pp. 109-115.
- [17]. S. Kemmlin, O. Hahn, O. Jann, 2003. *Emissions of organophosphate and brominated flame retardants from selected consumer products and building materials*. Atmospheric Environment, vol. 37, pp. 5485-5493.
- [18]. A. C. Ionas, et al., 2015. *Comprehensive characterisation of flame retardants in textile furnishings by ambient high resolution mass spectrometry, gas chromatography-mass spectrometry and environmental forensic microscopy*. Environmental Research, vol. 142, pp. 712-719.
- [19]. H. L. Li, et al., 2019. *Semi-volatile organic compounds in infant homes: Levels, influence factors, partitioning, and implications for human exposure*. Environmental Pollution, vol. 251, pp. 609-618.
- [20]. USEPA, 2011. *Exposure Factors Handbook*. Edition (Final Report).
- [21]. BfR, 2012. *Introduction to the Problems Surrounding Garment Textiles*. Updated BfR Opinion No. 041/2012; <http://www.bfr.bund.de/cm/349/introduction-to-the-problemssurroundinggarment-textiles.pdf> (accessed March 16, 2020).
- [22]. J. Rovira, M. Nadal, M. Schuhmacher, J. L. Domingo, 2015. *Human exposure to trace elements through the skin by direct contact with clothing: Risk assessment*. Environmental Research, vol. 140, pp. 308-316.
- [23]. L. M. Do, T. K. Tran, B. Eriksson, M. Petzold, H. Ascher, 2017. *Prevalence and incidence of overweight and obesity among Vietnamese preschool children: a longitudinal cohort study*. BMC Pediatrics, vol. 17, no. 1, p. 150.
- [24]. M. T. T. Hoang, et al., 2023. *Occurrence and risk of human exposure to organophosphate flame retardants in indoor air and dust in Hanoi, Vietnam*. Chemosphere, vol. 328, p. 138597.

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Thi Thu Phuong¹, Doan Thi Bich Hoa², Ngo Thi Lan¹,
Nguyen Ha Thanh², Do Thai Anh², Le Nhat Thuy Giang²,
Nguyen Van Tuyen², Trinh Thu Ha²**

¹Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry, Vietnam

²Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam