

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH SILOXANES MẠCH HỖ TỪ BỤI TRONG NHÀ TẠI MỘT SỐ TỈNH THÀNH PHÍA BẮC, VIỆT NAM

Ngày đến Tòa soạn 16 – 6 - 2015

**Trần Mạnh Trí, Hoàng Quốc Anh, Lê Thị Minh Nguyệt,
Nguyễn Thị Trang, Từ Bình Minh,**
*Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN,
19 Lê Thánh Tông, Hoàn Kiếm, Hà Nội*

Kurunthachalam Kannan

*Wadsworth Center, New York State Department of Health, and Department of Environmental
Health Sciences, School of Public Health, State University of New York at Albany, Empire
State Plaza, P.O. Box 509, Albany, New York 12201-0509, United States*

SUMMARY

STUDY ON DETERMINATION OF LINEAR SILOXANES IN INDOOR DUST FROM SEVERAL NORTHEARN CITIES, VIETNAM

In this study, seven linear siloxanes were found in indoor dust collected from four northern cities of Vietnam during March-May, 2014. The total concentration of linear siloxanes in 46 indoor dust samples ranged from not detected to 1830 ng/g (mean: 262 ng/g). The concentration of linear siloxanes in dust samples collected from homes is higher than other microenvironments such as laboratories, offices, and public places. Comparison between four surveyed cities, the dust samples collected from HaNoi contained the highest siloxane concentrations. Among 7 linear siloxanes, L8 was measured at the highest levels and more frequency (mean: 117 ng/g and frequency: 78,3%). Based on the measured concentrations, the human exposure to linear siloxanes through dust ingestion were estimated for various age groups. The exposure doses to linear siloxanes for infants, toddlers, children, teenagers, and adults were 0.983; 0.873; 0.409; 0.230, and 0.187 ng/kg/day, respectively.

Key words: *Linear siloxanes, indoor dust, polysiloxanes, human exposure*

1. MỞ ĐẦU

Silic hữu cơ là hợp chất chứa liên kết cacbon-silic. Trong số các hợp phần của silic hữu cơ dùng trong thương mại,

methylosiloxanes được sử dụng nhiều trong công nghiệp và các sản phẩm chăm sóc cá nhân hơn cả.

Dựa vào cấu trúc, methylsiloxanes được chia thành siloxanes mạch vòng và mạch hở. Ngoài ra, methylsiloxanes còn được phân chia theo phân tử khối thành polydimethyl siloxane (PDMS) và siloxanes bay hơi (volatile methyl siloxanes VMSs).

Siloxanes được sử dụng rộng rãi dựa vào những tính chất hóa lý đặc biệt của nó như: sức căng bề mặt thấp, độ ổn định nhiệt cao và có tính mềm dẻo tốt. Tổng nồng độ siloxanes lên tới vài phần trăm về khối lượng (cao tới 7.3% siloxanes mạch hở và 8.2% đối với siloxanes mạch vòng) đã được tìm thấy trong sản phẩm chăm sóc cá nhân và vật dụng gia đình (Horii và Kannan, 2008; Wang và c.s., 2009). Một báo cáo khác đã ghi nhận tổng nồng độ của 8 siloxanes mạch hở (L4-L14) trong dầu gội đầu và dưỡng tóc tại Trung Quốc lên tới 1,02 mg/g (Lu và c.s., 2011). Ngoài ra, siloxanes cũng được tìm thấy trong thiết bị điện, sản phẩm chăm sóc sức khỏe, mỹ phẩm và đồ gia dụng (Environment Canada, 2011).

Độc tính và tác hại của các siloxanes đối với động vật trong phòng thí nghiệm đã được công bố trong nhiều báo cáo trước (Burns-Naas và c.s., 2002; McKim và c.s., 2001; Meeks và c.s., 2007; Quinn và c.s., 2007a, b). Tuy nhiên, cho đến nay vẫn chưa có bằng chứng cụ thể nào về sự ảnh hưởng trực tiếp của các siloxanes đối với sức khỏe con người.

Sự xuất hiện của các siloxanes đã được tìm thấy trong nhiều môi trường khác nhau. Trong báo cáo trước của chúng tôi, lần đầu tiên siloxanes mạch vòng được xác định trong bụi tại Việt Nam, tổng nồng độ của 5

siloxanes mạch vòng (D3, D4, D5, D6 và D7) lên tới 1060 ng/g (Trí và c.s., 2015). Tổng nồng độ của siloxanes (5 chất mạch vòng và 15 chất mạch hở) trong mẫu bùn từ cặn xử lý nước thải tại Hàn Quốc lên tới 45.7 µg/g (Lee và c.s., 2014). Nước thải và bùn sa lắng thu được từ Hy Lạp có chứa 17 siloxanes với nồng độ trung bình tương ứng 20 µg/L and 75 mg/kg (Bletsou và c.s., 2013). Tổng nồng độ các siloxanes mạch vòng và mạch hở tìm thấy trong không khí trong nhà từ Italy và Vương Quốc Anh tương ứng 18-240 ng/m³ và 78-350 ng/m³ (Pieri và c.s., 2013). Do đó, việc phân tích, quan trắc và đánh giá mức độ phơi nhiễm của con người đối với các hợp chất này thực sự cần thiết và có ý nghĩa khoa học.

Tiếp theo báo cáo về các siloxanes mạch vòng, trong nghiên cứu này 7 siloxanes mạch hở đã được xác định trong 46 mẫu bụi trong nhà thu thập từ các tỉnh thành phía Bắc Việt Nam bao gồm Hà Nội, Hà Tĩnh, Hưng Yên và Thái Bình. Sự phơi nhiễm của các hóa chất này thông qua con đường tiêu hóa bụi đã được ước lượng đối với trẻ sơ sinh, trẻ mẫu giáo, nhi đồng, thiếu niên và người trưởng thành dựa trên tổng nồng độ trung bình của các siloxanes mạch hở đo được từ bụi.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Hóa chất và thiết bị

Chất chuẩn Decamethyltetrasiloxane (L4) và dodecamethylpentasiloxane (L5), độ tinh khiết >97% được mua từ Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). Polydimethyl siloxane 200 fluid có chứa tetradecamethylhexasiloxane (L6) và các polydimethylsiloxane mạch thẳng L7, L8, L9, L10 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO,

USA). Thành phần của các siloxanes mạch hở trong PDMS mẫu được xác định bằng thiết bị sắc kí khí với detector ion hóa ngọn lửa (GC/FID). Chất chuẩn nội tetrakis-(trimethylsiloxane)-silane (M4Q) tinh khiết >97% (Sigma-Aldrich và Bristlecone Biosciences, Brea, CA, USA).

Phân tích sắc kí được thực hiện trên hệ thống sắc kí khí GC6890 kết nối khối phổ MS5973 của hãng Agilent Technologies. Cột tách sắc kí HP-5MS, 30 m X 0.25 mm i.d. X 0.25 μ m. Khí mang Heli tinh khiết 99.99%. Nhiệt độ injector: 250°C. Chương trình nhiệt độ buồng cột: từ 40°C (giữ 2 phút) tăng lên 220°C với tốc độ 20°C/phút, tăng tiếp lên 280°C với tốc độ 5°C/phút (giữ 10 phút). Cuối cùng tăng lên 300°C với tốc độ cao nhất của lò cột và giữ trong 5 phút.

Detector MS được đo ở chế độ SIM; ion m/z 281 dùng để định lượng L5 và m/z 147 dùng để định lượng các siloxanes mạch hở còn lại.

2.2. Thu mẫu

Mẫu bụi được thu tại 4 tỉnh thành bao gồm Hà Nội, Hà Tĩnh, Hưng Yên và Thái Bình trong khoảng tháng ba đến tháng năm, 2014. 46 mẫu được chia thành các nhóm: hộ gia đình (HGD, n=16), văn phòng (VP, n=6), phòng thí nghiệm (PTN, n=7) và địa điểm công cộng (bao gồm cửa hàng điện tử, thuốc tân dược và siêu thị) (ĐĐCC, n=17). Mẫu được thu bằng cách quét trực tiếp nền nhà hoặc bằng máy hút bụi và được bảo quản ở 4°C đến khi phân tích.

2.3. Chuẩn bị mẫu

Trước khi chiết tách, mẫu bụi được sàng với kích thước lỗ 150 μ m. 100 ng chất chuẩn nội M4Q được thêm vào 100-200 mg mẫu bụi, sau đó để ổn định ở nhiệt độ phòng trong 30 phút. Tiến hành chiết bằng

cách lắc mẫu với 5 mL hỗn hợp dichloromethane (DMC) và hexane (3:1, v:v) trong 5 phút. Sau đó quay li tâm với tốc độ 2000 vòng/phút trong 5 phút, phần dung dịch được chuyển sang một ống nghiệm nhỏ 12 mL. Thực hiện việc chiết lặp lại thêm lần thứ hai với 3 mL hỗn hợp DCM:hexane (3:1) và lần ba với 3 mL hexane. Toàn bộ dịch chiết được cô đuổi dung môi bằng dòng N_2 đến 1 mL và lọc dung dịch qua màng lọc kích thước lỗ 0,2 μ m, rồi tiến hành phân tích sắc kí.

2.4. Kiểm chứng và đánh giá phương pháp

Sự nhiễm bẩn siloxanes có thể xuất hiện từ chính các dụng cụ thí nghiệm (Horii và Kannan, 2008; Wang và c.s., 2009, Trí và c.s., 2015). Chính vì vậy, nỗ lực của chúng tôi là hạn chế đến mức thấp nhất sự có mặt của siloxanes trong quy trình phân tích bằng cách: tất cả các dụng cụ thủy tinh được nung ở 450°C trong 20 giờ, sau đó giữ ở 100°C cho đến khi sử dụng; dung môi được dùng trực tiếp từ chai; các ống nghiệm được đậy nắp bằng giấy nhôm.

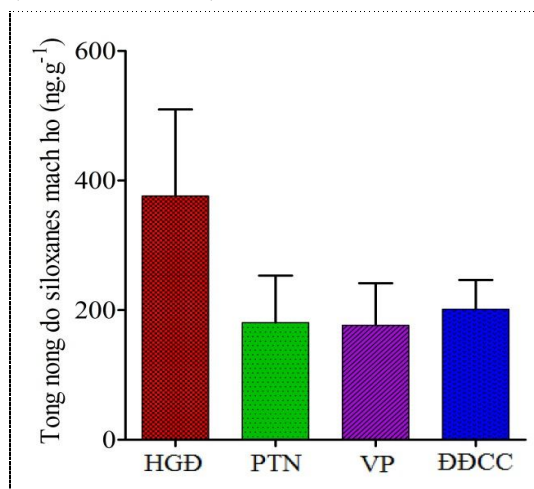
Đường chuẩn được lập với khoảng nồng độ 0,5 ng/mL đến 500 ng/mL cho mỗi siloxane ($R^2 > 0.996$). Giới hạn định lượng của phương pháp là 1,5 ng/g đối với L4-L9; 4,0 ng/g đối với L10.

100 ng các chất chuẩn nội M4Q được thêm vào mẫu trắng và tiến hành phân tích theo quy trình. Kết quả xác định độ thu hồi trung bình của M4Q trong khoảng 77,5 đến 111% (RSD: 12,6%). Độ thu hồi của các chất siloxanes trong phương pháp thêm chuẩn là 67,2 đến 117% (RSD: 9,7%).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tổng nồng độ siloxanes mạch hở trong bụi trong nhà

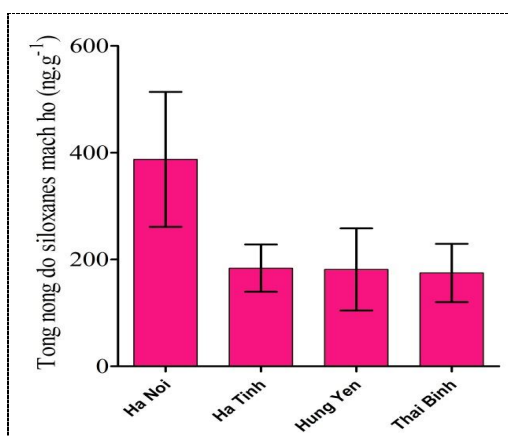
Trong nghiên cứu này, 7 siloxanes mạch hở (L4-L10) đã được tìm thấy trong mẫu bụi thu từ bốn tỉnh thành của Việt Nam. Tổng nồng độ của 7 siloxanes mạch hở trong 46 mẫu bụi từ dưới giới hạn phát hiện đến 1830 ng/g, trung bình 262 ng/g. Kết quả này cao hơn so với tổng nồng độ 5 siloxanes mạch vòng (153 ng/g) phân tích được cũng trong mẫu bụi này đã được công bố trong báo cáo trước (Trí và c.s., 2015). Nồng độ tổng siloxanes mạch hở trong mẫu bụi thu được ở Việt Nam thấp hơn so với mẫu bụi thu được tại Trung Quốc trong một báo cáo trước, tổng nồng độ của 11 siloxanes mạch hở (L4-L14) khoảng 242 đến 1440 ng/g (Lu và c.s., 2010). Nhìn chung nồng độ tổng siloxanes trong mẫu bụi trong nhà thu được ở Việt Nam thấp hơn so với các nước khác trên thế giới như Hy Lạp, Hoa Kỳ, Nhật Bản và Hàn Quốc (Trí và c.s., 2015).



Hình 1: Tổng nồng độ siloxanes trong mẫu bụi (ng/g) thu được theo các vi môi trường khác nhau: HGD (n=16), PTN (n=7), VP (n=6) và ĐĐCC (n=17)

Phân chia mẫu theo vi môi trường (microenvironment), tổng nồng độ siloxanes mạch hở tìm thấy trong mẫu bụi thu được từ hộ gia đình có giá trị cao nhất, khoảng 10,5 đến 1830 ng/g (trung bình: 399 ng/g) (hình 1). Tiếp theo là mẫu bụi thu từ các địa điểm công cộng (chợ, cửa hàng thuốc, cửa hàng điện tử) (trung bình: 202 ng/g), phòng thí nghiệm (181 ng/g) và văn phòng (159 ng/g). Điều này có thể giải thích do nồng độ cao của siloxanes trong các sản phẩm chăm sóc cá nhân, lên tới vài phần trăm về khối lượng (Horri và Kannan, 2008; Wang và c.s., 2009). Các sản phẩm chăm sóc cá nhân và vật dụng gia đình được biết đến như nguồn phát thải chính các hợp chất siloxanes ra môi trường trong nhà.

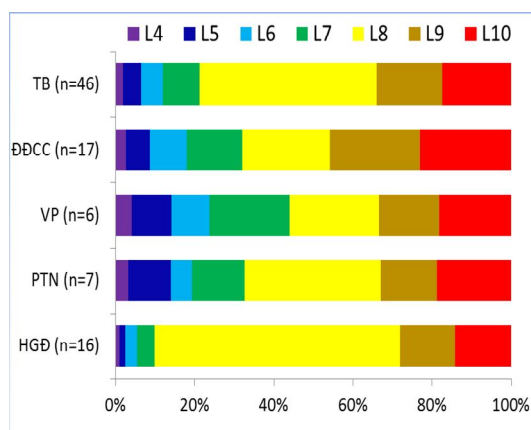
Trong số bốn tỉnh thành nghiên cứu, mẫu bụi thu được ở Hà Nội có tổng nồng độ siloxanes mạch hở cao nhất, trung bình 388 ng/g (khoảng 10,5 đến 1830 ng/g). 3 tỉnh thành còn lại, tổng nồng độ siloxanes mạch hở trong mẫu bụi chênh lệch nhau không nhiều, giá trị trung bình lần lượt 184, 182 và 175 ng/g đối với Hà Tĩnh, Hưng Yên và Thái Bình (hình 2). Kết quả này có một sự liên hệ tương đối với số dân sống tại các thành phố khác nhau, Hà Nội (2,6 triệu), Thái Bình (1,8 triệu), Hà Tĩnh (1,3 triệu) và Hưng Yên (1,1 triệu) (Vietnam Government, General Statistics Office, 2013), tương ứng với mức độ tiêu thụ các sản phẩm chăm sóc cá nhân và các vật dụng gia đình (được coi như nguồn phát thải chính siloxanes ra môi trường) lớn hơn. Sự phát thải siloxanes vào bụi trong nhà liên quan trực tiếp đến thành phần siloxanes có trong các sản phẩm chăm sóc cá nhân và vật dụng gia đình, cũng như thói quen tiêu thụ sản phẩm này là khác nhau giữa người dân sinh sống ở các thành phố.



Hình 2: Tổng nồng độ siloxanes trong mẫu bụi (ng/g) thu được từ các tỉnh thành khác nhau: Hà Nội (n=18), Hà Tĩnh (n=12), Hưng Yên (n=8) và Thái Bình (n=8)

3.2. Thành phần siloxane trong bụi.

Đối với siloxanes mạch hở, L8 được tìm thấy trong mẫu bụi với nồng độ lên tới 1610 ng/g (trung bình: 117 ng/g), với tần suất tìm thấy cao nhất (36 trên 46 mẫu, chiếm 78,3%). Tiếp theo L10, L9, L7 và L6 có nồng độ trung bình giảm dần tương ứng 45,8; 43,3; 24,5 và 14,3 ng/g. L4 và L5 được tìm thấy với tần suất và nồng độ thấp hơn. Kết quả chi tiết được chỉ ra như ở hình 3. Sự khác biệt này có thể giải thích bởi các polysiloxanes mạch hở với độ dài mạch trung bình như L8, L9, L10 được sử dụng nhiều hơn trong các sản phẩm chăm sóc cá nhân và đồ dùng gia đình (Horri và Kannan, 2008). Các siloxanes mạch ngắn như L4 và L5 có nhiệt độ sôi thấp nên dễ bay hơi hơn và chúng tồn tại ở pha khí nhiều hơn. Thực tế, một số nghiên cứu trước đã tìm thấy các siloxanes mạch dài hơn như L11, L12, L13 và L14 trong mẫu bụi (Lu và c.s., 2010, Trí và c.s., 2015).



Hình 3: Thành phần của các siloxanes mạch hở tìm thấy trong mẫu bụi thu được ở các vi môi trường khác nhau

3.3 Ước lượng mức độ phơi nhiễm siloxanes qua đường tiêu hóa bụi trong nhà

Đã có một số nghiên cứu về mức độ phơi nhiễm của siloxanes qua con đường hấp thụ qua da từ các sản phẩm chăm sóc cá nhân (Horii và Kannan, 2008; Jovanovic và c.s., 2008; Lu và c.s., 2011) và qua đường hít thở không khí (Piere và c.s., 2013).

Công thức ước lượng mức độ phơi nhiễm của các hợp chất nguy hại từ bụi trong nhà qua con đường tiêu hóa đã được công bố trong những nghiên cứu trước (Lu và c.s., 2010; Guo và Kannan, 2011, Trí và c.s., 2015). Mức độ phơi nhiễm siloxanes được ước lượng dựa theo công thức (*).

$$DI = \frac{C \times f}{M} (*)$$

Trong đó, DI (daily intakes): mức độ hấp thụ trung bình (ng/kg/ngày); C: nồng độ chất tìm thấy trong mẫu bụi (ng.g⁻¹); f: tốc độ hấp thụ bụi trong nhà qua con đường tiêu hóa trung bình (g/ngày); M: khối lượng cơ thể (kg). Theo tổ chức bảo vệ môi trường của Hoa Kỳ (U.S.EPA, 2008) công bố, tốc độ hấp thụ bụi trung bình của trẻ nhỏ hơn 1 tuổi (trẻ sơ sinh) được ước lượng

là 0,03 g/ngày và 0,05 g/ngày đối với các lứa tuổi khác. Theo Việt Nam bách khoa tri thức (2014), khối lượng cơ thể trung bình của người trên toàn thế giới phụ thuộc theo lứa tuổi như sau: trẻ sơ sinh (6-12 tháng tuổi): 8 kg; trẻ tuổi mẫu giáo (1-6 tuổi): 15 kg; nhi đồng (6-11 tuổi): 32 kg; thiếu niên (11-16 tuổi): 57 kg và người trưởng thành: 70 kg (Bách khoa tri thức).

Dựa theo công thức (*), mức độ phơi nhiễm tổng 7 siloxanes mạch hở qua con đường tiêu hóa bụi đối với trẻ sơ sinh, trẻ mẫu giáo, nhi đồng, thiếu niên và người trưởng thành tại Việt Nam được ước lượng tương ứng là 0,983; 0,873; 0,409; 0,230 và 0,187 ng/kg/ngày. Kết quả cho thấy mức độ phơi nhiễm siloxanes theo đường tiêu hóa bụi tại Việt Nam nhìn chung là thấp và giảm dần theo chiều tăng của độ tuổi. Theo đó, trẻ sơ sinh và trẻ tuổi mẫu giáo có mức độ phơi nhiễm cao hơn so với các lứa tuổi khác. Điều này có thể giải thích bởi ở lứa tuổi này trẻ thường xuyên tiếp xúc với sàn nhà và thảm, do đó nguy cơ phơi nhiễm các hóa chất nói chung và siloxanes nói riêng từ bụi nhà cao hơn.

Đây là báo cáo đầu tiên về mức độ phơi nhiễm của người Việt Nam đối với siloxanes mạch hở trong mẫu bụi nói riêng và mẫu môi trường nói chung. Liều lượng phơi nhiễm siloxanes qua con đường hấp thụ bụi nhìn chung thấp hơn so với các nhóm chất khác như phthalate esters, bisphenol A (Trí và c.s., 2015). Hiện nay các nhà khoa học trên thế giới đã xếp siloxanes nói chung (đặc biệt siloxanes mạch vòng D4, D5 và D6) vào nhóm chất có khả năng gây rối loạn rối loạn nội tiết. đối với động vật phòng thí nghiệm và tích

lũy sinh học (He và c.s., 2003; Meeks và c.s., 2007; Quinn và c.s., 2007a, b; U.S.EPA, 2008). Tuy nhiên, hiểu biết về các siloxanes còn rất hạn chế nên cần thực hiện những nghiên cứu tiếp theo nhằm đánh giá tổng quát sự phân bố trong môi trường và những ảnh hưởng trực tiếp đối với sức khỏe con người của lớp hợp chất này.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, nồng độ của 7 siloxanes mạch hở đã được tìm thấy trong mẫu bụi thu được tại 4 tỉnh thành phía Bắc Việt Nam. Tổng nồng độ các siloxanes trong mẫu bụi có giá trị trong khoảng từ dưới giới hạn phát hiện đến 1830 ng/g. Mẫu bụi thu được từ Hà Nội có chứa siloxanes với nồng độ cao nhất. L8 đo được với tần suất và nồng độ cao nhất trong số các siloxanes mạch hở từ mẫu bụi. Liều lượng phơi nhiễm siloxanes đối với trẻ sơ sinh, trẻ mẫu giáo, nhi đồng, thiếu niên và người trưởng thành tại Việt Nam tương ứng là 0,983; 0,873; 0,409; 0,230 và 0,187 ng/kg/ngày.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Horii, Y.; Kannan, K. (2008) Survey of organosiloxane compounds, including cyclic and linear siloxanes, in personal-care and household products. *Arch. Environ. contam. Toxicol.* 55, 701-710.
2. Wang, R.; Moody, R. P.; Koniecki, D.; Zhu, J. (2009) Low molecular weight cyclic volatile methylsiloxanes in cosmetic products sold on Canada: Implication for dermal exposure. *Environment International* 35, 900-904.
3. Lu, Y., Yuan, T., Wang, W., Kannan, K. (2011) Concentration and assessment of

exposure to siloxanes and synthetic musks in personal care products from China. *Environ. Pollut.* 159, 3522-3528.

4. Environment Canada, Health Canada, (2011). Screening Assessment for the Challenge:

Siloxanes and Silicones, di-Me, Hydrogen-terminated: Chemical Abstracts Service Registry Number 70900-21-9. Government of Canada (Available: <http://www.ec.gc.ca/ese-ees/default.asp?lang=En&n=4996570F-1#top>).

5. Burns-Naas, L. A.; Mast, R. W.; Klykken, P. C.; McCay, J. A.; White, K. L.; Mann, P. C.; Naas, D. J. (1998) Toxicology and humoral immunity assessment of decamethylcyclopentasiloxane (D5) following a 1-month whole body inhalation exposure in Fischer 344 rats. *Toxicol. Sci.* 43, 28-38.

6. McKim, J. M.; Wilga, P. C.; Breslin, W. J.; Plotzke, K. P.; Gallavan, R. H.; Meeks, R. G. (2001) Potential Estrogenic and antiestrogenic activity of the cyclic siloxane octamethylcyclotetrasiloxane (D4) and the linear siloxane hexamethylsiloxane (HMDS) in immature rats using the uterotrophic assay. *Toxicology sciences* 63, 37-46.

7. Meeks, R. G.; Stump, D. G.; Siddiqui, W. H.; Holson, J. F.; Plotzke, K. P.; Reynolds, V. L. (2007) An inhalation reproductive toxicity study of octamethylcyclotetrasiloxane (D₄) in female rats using multiple and single day exposure regimens. *Reprod. Toxicol.* 23 192-201.

8. Quinn, A. L.; Dalu, A.; Meeker, L. S.; Jean, P. A.; Meeks, R. G.; Crissman, J. W.; Gallavan, R. H.; Plotzke, K. P. (2007a) Effects of octamethylcyclotetrasiloxane (D₄) on the luteinizing hormone (LH) surge and levels of various reproductive hormones on female Sprague-Dawley rats. *Reprod. Toxicol.* 23, 532-540.

9. Quinn, A. L.; Regan, J. M.; Tobin, J. M.; Marinik, B. J.; McMahon, J. M.; McNett, D. A.; Sushynski, C. M.; Crofoot, S. D.; Jean, P. A.; Plotzke, K. P. (2007b) In vitro and in vivo evaluation of the estrogenic, androgenic, and progestagenic potential of two cyclic siloxanes. *Toxicol. Sci.* 96(1), 145-153.

10. Tri M.T.; Abualnaja, K.O.; Asimakopoulos, A.G.; Covaci, A.; Gevao, B.; Restrepo, B.J.; Kumosani, T.A.; Malarvannan, G.; Minh, T.B.; Moon, H.B.; Nakata, H.; Sinha, R.K.; Kannan, K. A survey of cyclic and linear siloxanes in indoor dust and their implications for human exposures in twelve countries. *Env. Int.*, 78, 39-44.

11. Lee, S., Moon, H.-B., Song, G.-J., Ra, K., Lee, W.-C., Kannan, K., (2014). A nationwide survey and emission estimates of cyclic and linear siloxanes through sludge from wastewater treatment plants in Korea. *Sci. Total Environ.* 497-497, 106-112.

12. Bletsou, A. A.; Asimakopoulos A. G.; Stasinakis A. S.; Thomaidis N. S.; Kannan, K. (2013) Mass loading and fate of linear and cyclic siloxanes in a wastewater treatment plant in Greece. *Environ. Sci. Technol.* 47, 1824-1832.

13. Pieri, F.; Katsoyiannis, A.; Martellini, T.; Hughes, D.; Jones, K. C.; Cincinelli, A.

- (2013) Occurrence of linear and cyclic volatile methyl siloxanes in indoor air samples (UK and Italy) and their isotopic characterization. *Environment International*, 59, 363-371.
14. Lu, Y.; Yuan, T.; Yun, S. H.; Wang, W.; Wu, Q.; Kannan, K. (2010) Occurrence of cyclic and linear siloxanes in indoor dust from China, and implications for human exposures. *Environ. Sci. Technol.* 44, 6081-6087.
15. Vietnam Government, General Statistics Office (GSO) (2013). Area, population, and population density in 2013 by province [in Vietnamese]. Available: <http://www.gso.gov.vn/default.aspx?tabid=387&idmid=3&ItemID=15571>
16. Jovanovic, M. L.; McMahon, J. M.; McNett, D. A.; Tobin, J. M.; Plotzke, K. P. (2008) In vitro and in vivo percutaneous absorption of ^{14}C -octamethylcyclotetrasiloxane (^{14}C -D4) and ^{14}C -decamethylcyclopentasiloxane (^{14}C -D5). *Regul. Toxicol. Pharma.* 50, 239-248.
17. Guo. Y.; Kannan, K. (2011) Comparative assessment of human exposure to phthalate esters from house dust in China and the United States. *Environ. Sci. Technol.* 45, 3788-3794.
18. U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency) Child-Specific Exposure Factors Handbook (final report). (2008). Available: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=199243>.
19. Vietnam encyclopedic knowledge. The average of body weight and height (Vietnamese), (2014). Available: <http://www.bachkhoatrithuc.vn/>.
20. He, B., Rhodors-Brower, S., Miller, M.R., Munson, A.E., Germolec, D.R., Walker, V.R., Korach, K.S., Meade, B.J., (2003). Octamethylcyclotetrasiloxane exhibits estrogenic activity in mice via ER α . *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 192,254–26.