

## BƯỚC ĐẦU XÂY DỰNG QUY TRÌNH XÁC ĐỊNH HÀM LƯỢNG 7 HỢP CHẤT KHÁNG OXY HOÁ TRONG NHỰA BẰNG PHƯƠNG PHÁP SẮC KÝ LỎNG HIỆU NĂNG CAO

Đến tòa soạn 18-05-2022

Lê Thị Hoa, Nguyễn Huy Du

Phòng Thí nghiệm Phân tích Trung tâm, trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

Nguyễn Khánh Hưng, Nguyễn Huy Du

Khoa Hoá học, Trường ĐH Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

Email: lethoa@hcmus.edu.vn

### SUMMARY

#### DEVELOPMENT OF AN ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINATION OF 7 ANTIOXIDANT COMPOUNDS IN PLASTIC BY HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY

Nowadays, polymers are widely used in various fields such as food, medicine, household appliances, packaging, etc. Most of the polymer materials are easily degraded due to the combination of free radical reactions. Therefore, additives such as antioxidant compounds, color pigments, plasticizers, etc., have been added during the production process. An analytical method for the determination of 7 antioxidant compounds (irganox 1010, irganox 3114, ionox 330, irganox 1024, irganox 1035, irgafos 38, irgafos 168) in resins by ultrasonic extraction in dichloromethane solvent coupled with high-performance liquid chromatography with diode array detector (HPLC-DAD) has been developed. The analytical method had a wide linearity range, 0.5 -100.0  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , good linearity with a correlation coefficient ( $R^2$ )>0.995. The limit of detection and limit of quantification were between 0.014 and 0.27  $\mu\text{g mL}^{-1}$  and 0.087 and 0.88  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , respectively. The recovery yields at three concentrations of 0.50, 5.0 and 15.0  $\mu\text{g mL}^{-1}$  ranged from 85.6 to 109.7  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . Besides, the repeatability of the method was also checked with %RSD from 2.1 to 8.0. This method was applied to analyze 7 plastic samples on the market. Irganox 1010 and irgafos 168 were detected in all analyzed samples with migrating concentrations ranging in this analytical condition from 37.3 to 393  $\mu\text{g g}^{-1}$  and from 55.8 to 894  $\mu\text{g g}^{-1}$ , respectively.

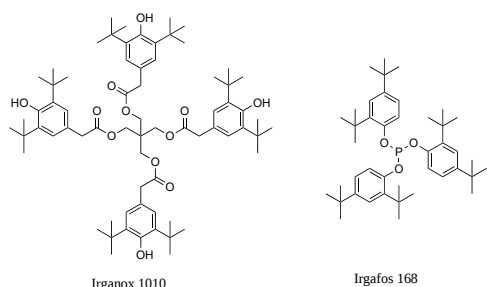
**Key words:** antioxidant compounds, plastics, HPLC-DAD

### 1. MỞ ĐẦU

Nhựa và các sản phẩm liên quan đến nhựa đã và đang được sử dụng rộng rãi trong mọi lĩnh vực như bao gói thực phẩm, y tế, đồ da dụng,... Hơn 8.3 tỷ tấn nhựa đã được sản xuất trên thế giới từ năm 1950 [1]. Sau đó, sản lượng nhựa toàn cầu tăng mạnh từ 0.35 triệu tấn vào năm 1950 lên đến 348.0 triệu tấn vào năm 2017 [1]. Tuy nhiên, hầu hết các vật liệu nhựa đều dễ bị phân hủy do sự kết hợp của các phản ứng tạo gốc tự do trong các điều kiện như nhiệt độ, bức xạ tia cực tím hoặc do tác động cơ học [2-3]. Do đó, để bảo vệ và kéo dài thời gian sử dụng của vật liệu, chất phụ gia đã được thêm vào trong quá trình sản

xuất, thông thường là các hợp chất kháng oxy hoá, chất tạo màu, chất hoá dẻo,... [2]

Hợp chất kháng oxy hoá trong nhựa được chia làm hai nhóm chất chính là chất kháng oxy hoá sơ cấp và kháng oxy hoá thứ cấp [4]. Những hợp chất kháng oxy hoá sơ cấp được biết đến bởi cơ chế loại gốc tự do bằng cách cho proton [4]. Các hợp chất chính của nhóm này thường là các phenolic bị cản trở không gian bởi các nhóm *tert*-butyl được gắn trên vòng phenol và các aryl amine thứ cấp (Hình 1). Trong khi đó, chất kháng oxy hoá thứ cấp được biết đến là chất phân hủy peroxide, chúng thường bao gồm các organophosphite và thioester [4] (Hình 1).



Hình 1. Công thức cấu tạo của irganox 1010 và irgafos 168

Bên cạnh những lợi ích mà các chất phụ gia này mang lại thì việc sử dụng những hợp chất này không kiểm soát cũng là vấn đề đáng lo ngại đến sức khoẻ con người [5]. Do đó, ngày nay nhu cầu về phân tích các thành phần của các phụ gia trong nhựa đang ngày càng được quan tâm. Bo Li và cộng sự đã phát triển phương pháp xác định hàm lượng 4 hợp chất kháng oxy hoá, 9 hợp chất ổn định tia cực tím, 12 chất làm chất dẻo phthalate, và 2 hợp chất tạo photoinique trong bao bì thực phẩm bằng phương pháp chiết dung môi (ASE) với acetonitrile ở 100°C phân tích trên hệ thống HPLC-DAD [6]. Bên cạnh đó, Hang Wang và cộng sự đã chỉ ra được rằng chiết siêu âm nhựa với dung môi dichloromethane ở 25°C là tối ưu đối với hợp chất phụ gia như irganox 1010, irganox 1076, irgafos 168,... [7] Ở một nghiên cứu khác, Bo Li đã chỉ ra được điều kiện để li trích các hợp chất kháng oxy hoá ra

khỏi nền mẫu nhựa bằng phương pháp hoà tan bao bì với dung môi toluene và kết tủa lại bằng methanol là tối ưu hơn so với phương pháp chiết siêu âm với acetonitrile hay dichloromethane [8]. Tuy nhiên, ở Việt Nam việc phân tích đồng thời các hợp chất kháng oxy hoá trong nhựa còn hạn chế, nên có ít cơ sở để cho thấy được hiệu quả của các chất kháng oxy hoá trong quá trình tạo polymer cũng như kiểm tra hàm lượng của sản phẩm cuối cùng để đảm bảo sức khoẻ cho người sử dụng. Trước thực trạng đó, trong nghiên cứu này chúng tôi tiến hành tối ưu hoá điều kiện phân tích hàm lượng 7 hợp chất kháng oxy hoá trong nhựa (**Bảng 1**) đơn giản và có thể áp dụng để phân tích nhanh với độ lặp và độ chính xác cao. Các điều kiện được tối ưu như điều kiện li trích chất kháng oxy hoá ra khỏi nền mẫu nhựa và điều kiện vận hành máy HPLC-DAD đơn giản và có thể áp dụng được ở nhiều phòng thí nghiệm khác nhau.

## 2. THỰC NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP

### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Mẫu nhựa sử dụng để tối ưu điều kiện chiết và thẩm định phương pháp được cung cấp bởi Công ty Hyosung, chi nhánh Vũng Tàu. 7 mẫu nhựa phân tích trên thị trường được mua tại các siêu thị. Mẫu được cắt nhỏ khoảng 0.3 mm, đựng trong túi ziplock và để ở nhiệt độ phòng đến khi phân tích.

Bảng 1. Thông tin về 7 hợp chất kháng oxy hoá trong nghiên cứu này

| Loại chất kháng oxy hoá    | Ký hiệu      | Tên hoá học                                                                                                         | CAS no      |
|----------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Chất kháng oxy hoá sơ cấp  | Irganox 1010 | Pentaerythrityl-tetrakis(3,5-di- <i>tert</i> -butyl-4-hydroxyphenyl) propionate                                     | 6683-19-8   |
|                            | Irganox 3114 | 1,3,5-Tris(3,5-di- <i>tert</i> -butyl-4-hydroxybenzyl)s-triazine 2,4,6-(1 <i>H</i> , 3 <i>H</i> ,5 <i>H</i> )trione | 27676-62-6  |
|                            | Ionox 330    | 1,3,5-Trimethyl-2,4,6-tris(3,5-di- <i>tert</i> -butyl-4-hydroxybenzyl)benzene                                       | 1709-70-2   |
|                            | Irganox 1024 | 1,2-Bis(3,5-di- <i>tert</i> -butyl-4-hydroxyhydrocinnamoyl)hydrazine                                                | 32687-78-8  |
|                            | Irganox 1035 | 3,5-Bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxybenzenepropanoic acid thiodi-2,1-ethanediyl ester                               | 41484-35-9  |
| Chất kháng oxy hoá thứ cấp | Irgafos 38   | Bis(2,4-di- <i>tert</i> -butyl-6-methyl phenyl) ethyl phosphite                                                     | 145650-60-8 |
|                            | Irgafos 168  | Tris(2,4-di- <i>tert</i> -butylphenyl) phosphite                                                                    | 31570-04-4  |

## 2.2. Hoá chất và thiết bị

Thiết bị HPLC-UV đầu dò DAD 1200 series của Agilent; cột phân tích Intertsil ODS (C18; 5  $\mu$ m; 4 x 250 mm); cân phân tích 5 số lẻ (Sartorius, Đức); bể siêu âm.

Acetonitrile HPLC (Scharlau, Tây Ban Nha), isopropanol HPLC (Scharlau, Tây Ban Nha), toluene (Scharlau, Tây Ban Nha), dichloromethane (Labscan, Thái Lan), nước cất hai lần.

## 2.3. Phương pháp xử lý mẫu

Để khảo sát và đánh giá điều kiện ly trích chất phân tích ra khỏi nền mẫu nhựa, chúng tôi thực hiện phương pháp chiết hoàn lưu và chiết siêu âm với các quy trình như sau:

**Quy trình 1:** mẫu được cân 1 ( $\pm$  0.0) vào bình cầu 50 mL, sau đó thêm 30.0 mL dung dịch dichloromethane, và chiết hoàn lưu ở 60 °C trong 24 giờ. Sau khi chiết, dung dịch được tráng rửa bằng dichloromethane sau đó làm khô bằng hệ thống cô quay chân không và định mức lên 25 mL.

**Quy trình 2:** mẫu được cân 1 ( $\pm$  0.0) g vào bình chiết hoàn lưu, sau đó thêm 10.0 mL dung dịch toluene, và chiết hoàn lưu ở nhiệt độ phòng trong 24 giờ. Sau khi chiết, bình chứa mẫu được tráng rửa bằng toluene và định mức lên 25 mL.

**Quy trình 3:** mẫu được cân 0.2 ( $\pm$  0.00) g vào ống COD, sau đó thêm 5.0 mL dung dịch dichloromethane và ngâm trong vòng 48 giờ. Sau khi ngâm, mẫu được chiết siêu âm trong vòng 1 giờ ở nhiệt độ phòng. Sau đó, ống chứa mẫu được tráng rửa bằng dichloromethane và định mức lên 10 mL.

Sau khi định mức, dung dịch mẫu được thổi khô, pha loãng với acetonitrile và lọc qua màng lọc 0.45  $\mu$ m trước khi phân tích trên hệ thống HPLC - DAD.

## 2.4. Điều kiện phân tích

Quá trình phân tích được thực hiện bằng phương pháp HPLC-DAD tại bước sóng 225 nm, nhiệt độ lò cột là 60 °C, pha động được sử dụng là hỗn hợp acetonitrile-nước (9:1, v/v) (kênh A) và isopropanol (kênh B) với chương trình phân tích được trình bày trong **Bảng 2**.

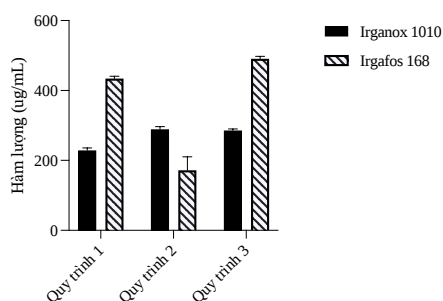
Bảng 2. Chương trình pha động cho sắc ký

| Thời gian (phút) | % B | Tốc độ dòng (mL/phút) |
|------------------|-----|-----------------------|
| 11               | 0   | 0.5                   |
| 12               | 25  | 1.0                   |
| 24               | 25  | 1.0                   |
| 25               | 50  | 1.0                   |
| 31               | 50  | 1.0                   |
| 35               | 0   | 1.0                   |

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Tối ưu điều kiện trích ly

Mẫu nhựa có hàm lượng irganox 1010 và irgafos 168 được cung cấp bởi công ty Hyosung được sử dụng để khảo sát các điều kiện trích ly các hợp chất kháng oxy hoá ra khỏi nền mẫu nhựa. Kết quả hàm lượng của irganox 1010 và irgafos 168 trong 3 quy trình xử lý mẫu được thể hiện trong **Hình 2**. Quy trình 1 cho thấy hàm lượng của irganox 1010 và irgafos 168 lần lượt là 228.98 và 434.03  $\mu$ g g<sup>-1</sup>, giá trị này thấp hơn so với quy trình 3. Đối với quy trình 2, trong nghiên cứu này chúng tôi nhận thấy có sự phân huỷ irgafos 168 nên hàm lượng irgafos 168 thu được với % RSD cao (n = 3), 22 %. Để kiểm tra irgafos 168 có thực sự phân huỷ trong điều kiện của quy trình 2, chúng tôi tiến hành thực hiện thêm chuẩn vào dung môi toluene và xử lý trong điều kiện tương tự. Kết quả cho thấy irgafos 168 bị phân huỷ trong điều kiện này. Đây có thể là 1 trong 2 sản phẩm phân huỷ của irgafos 168 mà Yan Yan và cộng sự đã báo cáo vào năm 2018 [3]. Kết quả cho thấy, quy trình 3 được xem là tối ưu nhất để trích ly các hợp chất kháng oxy hoá trong nhựa với hàm lượng của irganox 1010 và irgafos 168 lần lượt là 285.51 và 490.67  $\mu$ g g<sup>-1</sup> và % RSD (n = 3) tương ứng là 1.7 và 1.4. Kết quả phân tích đối với quy trình 3 cho độ ổn định tốt với % RSD (n = 3) nằm trong khoảng cho phép theo **Phụ lục F của AOAC** [9]. Kết quả của nghiên cứu này giống với kết quả của Hang Wang và cộng sự khi chọn chiết siêu âm vật liệu nhựa với dicloromethane ở 25°C được áp dụng là tối ưu [4].



Hình 2. Hàm lượng của irganox 1010 và irgafos 168 từ 3 quy trình khảo sát

Bên cạnh đó, dung dịch chuẩn hỗn hợp  $5 \mu\text{g mL}^{-1}$  được thêm vào để đánh giá độ ổn định của các hợp chất phân tích trong điều kiện xử lý mẫu. Kết quả cho thấy rằng, quy trình 3 cho thấy dưới nhiệt độ phòng và điều kiện sóng siêu âm thì 7 hợp chất phân tích có độ ổn định tốt với giá trị

độ lệch chuẩn tương đối % RSD từ 0.48 đến 2.5 %, giá trị này nằm trong khoảng cho phép của **Phụ lục F của AOAC** về độ ổn định [9]. Do đó, nghiên cứu này chúng tôi chọn quy trình 3 để đánh giá khả năng di chuyển của hàm lượng 7 hợp chất kháng oxy hoá trên thị trường ra khỏi nền mẫu nhựa.

### 3.2. Thẩm định phương pháp

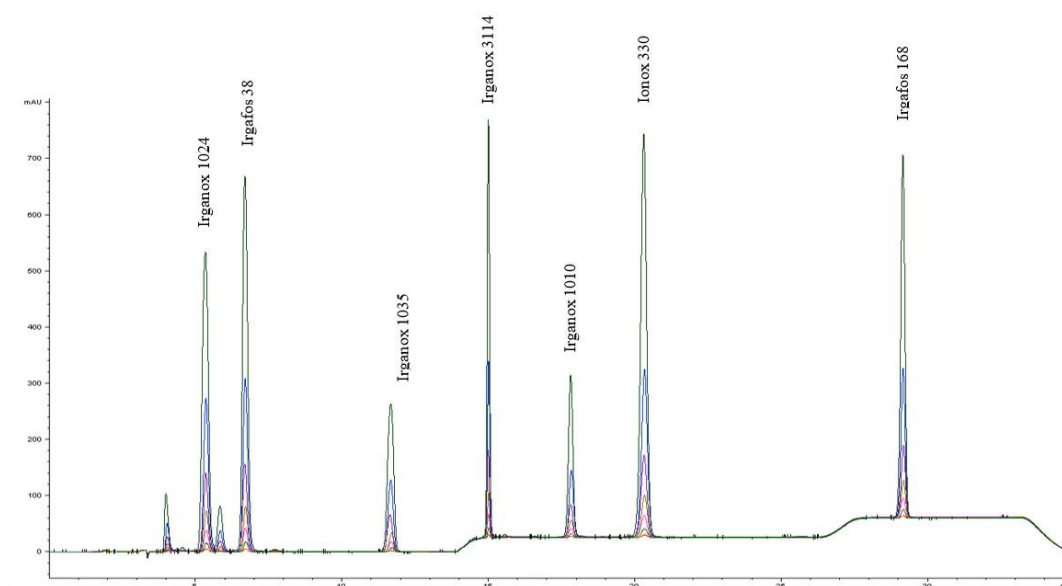
#### 3.2.1. Khoảng tuyến tính

Tiêm 7 dung dịch chuẩn hỗn hợp gồm 7 hợp chất kháng oxy hoá trong nhựa từ nồng độ  $0.5 - 100.0 \mu\text{g mL}^{-1}$ . Kết quả đường chuẩn được trình bày trong **Bảng 3** và **Hình 3**.

Trong đó, y là diện tích tín hiệu và x là nồng độ của chất phân tích ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ). Kết quả cho thấy hệ số tương quan ( $R^2$ ) đều lớn hơn 0.995, nên đường chuẩn có độ tuyến tính đạt yêu cầu trong phân tích.

Bảng 3. Kết quả xây dựng đường chuẩn của 7 hợp chất phân

| Chỉ tiêu            | Phương trình đường chuẩn              | Hệ số tương quan ( $R^2$ ) | Thời gian lưu (phút) |
|---------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>Irganox 1024</b> | $y = (77.43 \pm 0.87)x + (2 \pm 36)$  | 0.9999                     | 5.3                  |
| <b>Irgafos 38</b>   | $y = (69.84 \pm 0.85)x + (30 \pm 45)$ | 0.9999                     | 6.6                  |
| <b>Irganox 1035</b> | $y = (35.05 \pm 0.40)x + (11 \pm 18)$ | 0.9999                     | 11.7                 |
| <b>Irganox 3114</b> | $y = (38.12 \pm 0.55)x + (9 \pm 25)$  | 0.9998                     | 15.0                 |
| <b>Irganox 1010</b> | $y = (29.84 \pm 0.55)x - (8 \pm 14)$  | 0.9999                     | 17.8                 |
| <b>Ionox 330</b>    | $y = (81.86 \pm 1.0)x - (32 \pm 54)$  | 0.9999                     | 20.3                 |
| <b>Irgafos 168</b>  | $y = (63.12 \pm 0.79)x - (24 \pm 34)$ | 0.9999                     | 29.1                 |



Hình 3. Sắc ký đồ đường chuẩn của 7 hợp chất kháng oxy hoá trong nhựa

### 3.2.2. Độ đúng

Độ đúng của phương pháp được đánh giá bằng cách thêm chuẩn mẫu ở ba nồng độ 0.5, 5.0 và 15.0  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , mỗi nồng độ được thực hiện 3 lần, sau đó tiến hành xử lý mẫu như quy trình đã tối ưu. Kết quả thu được trong **Bảng 4** cho thấy hiệu suất thu hồi (%) tại ba mức thêm chuẩn khác nhau đều phù hợp với quy định theo **Phụ lục F của AOAC** [9].

*Bảng 4. Hiệu suất thu hồi tại ba mức nồng độ 0.50; 5.00 và 15.00  $\mu\text{g mL}^{-1}$*

| Mức thêm chuẩn ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) | 0.50           | 5.00            | 15.00          |
|------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Irganox 1024</b>                      | 85.6 $\pm$ 2.6 | 109.7 $\pm$ 3.9 | 99.0 $\pm$ 2.9 |
| <b>Irgafos 38</b>                        | 94.3 $\pm$ 1.2 | 104.6 $\pm$ 4.7 | 94.8 $\pm$ 2.4 |
| <b>Irganox 1035</b>                      | 94.1 $\pm$ 2.0 | 102.4 $\pm$ 4.5 | 99.4 $\pm$ 2.2 |
| <b>Irganox 3114</b>                      | 96.2 $\pm$ 3.1 | 105.2 $\pm$ 2.5 | 97.4 $\pm$ 4.4 |
| <b>Irganox 1010</b>                      | 87.0 $\pm$ 4.4 | 95.6 $\pm$ 3.0  | 97.0 $\pm$ 1.6 |
| <b>Ionox 1330</b>                        | 99.6 $\pm$ 7.5 | 96.7 $\pm$ 3.4  | 96.6 $\pm$ 1.9 |
| <b>Irgafos 168</b>                       | 96.3 $\pm$ 5.6 | 97.7 $\pm$ 1.9  | 98.8 $\pm$ 2.4 |

### 3.2.3. Giới hạn phát hiện (LOD) và giới hạn định lượng (LOQ)

Tiến hành tiêm lặp 6 lần điểm chuẩn có nồng độ khoảng 0.10  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , các giá trị LOD và LOQ được tính theo công thức  $\text{LOD} = 3 \cdot \text{SD}$  và  $\text{LOQ} = 10 \cdot \text{SD}$ . Trong đó, SD là độ lệch chuẩn của chất phân tích. Các giá trị được thể hiện trên **Bảng 5**.

*Bảng 5. Giới hạn phát hiện (LOD) và giới hạn định lượng của thiết bị (LOQ)*

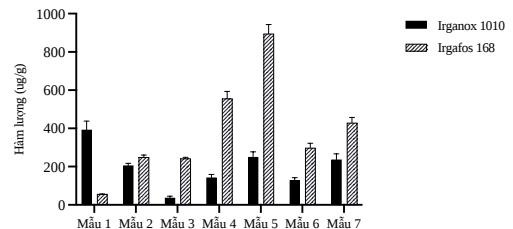
| Chỉ tiêu            | LOD ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) | LOQ ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Irganox 1024</b> | 0.099                         | 0.33                          |
| <b>Irgafos 38</b>   | 0.026                         | 0.087                         |
| <b>Irganox 1035</b> | 0.014                         | 0.045                         |
| <b>Irganox 3114</b> | 0.17                          | 0.57                          |
| <b>Irganox 1010</b> | 0.27                          | 0.88                          |
| <b>Ionox 1330</b>   | 0.12                          | 0.41                          |
| <b>Irgafos 168</b>  | 0.10                          | 0.34                          |

### 3.2.4. Độ lặp và tái lập

Giá trị % RSD ( $n = 6$ ) của mẫu được thêm chuẩn với nồng độ 5  $\mu\text{g mL}^{-1}$  để kiểm tra độ lặp trong một ngày. Độ tái lập được kiểm tra trong điều kiện hai ngày khác nhau với điều kiện phân tích khác nhau. Sau đó phép phân tích phương sai một chiều (ANOVA-one way) được sử dụng để kiểm tra sự đồng nhất. Kết quả cho thấy rằng các trị % RSD từ 2.1 đến 8.0 % đều nằm trong khoảng cho phép theo **Phụ lục F của AOAC** [9]. Bên cạnh đó, giá trị p tính được từ phép phân tích phương sai một chiều đều lớn hơn 0.05, cho thấy không có sự khác biệt đáng kể trong hai ngày. Do đó, độ tái lập của phương pháp được chấp nhận.

### 3.3. Phân tích hàm lượng chất kháng oxy hoá của mẫu trên thị trường

Quy trình sau khi thẩm định được áp dụng để xác định hàm lượng của 7 hợp chất kháng oxy hoá trong nhựa trong 7 mẫu nhựa được mua trên thị trường. **Hình 4** thể hiện hàm lượng của các hợp chất kháng oxy hoá của mẫu nhựa trên thị trường.



*Hình 4. Hàm lượng irganox 1010 và irgafos 168 trong mẫu*

Qua kết quả phân tích cho thấy, hầu hết các mẫu nhựa trên thị trường chứa hai hợp chất kháng oxy hoá chủ yếu là irganox 1010 và irgafos 168. Các giá trị di chuyển ra khỏi nền mẫu nhựa trong điều kiện phân tích dao động từ 37.3 đến 393  $\mu\text{g g}^{-1}$  đối với irganox 1010 và từ 55.9 đến 894  $\mu\text{g g}^{-1}$  đối với irgafos 168. Tuy nhiên, hàm lượng của hai hợp chất này vẫn nằm trong phạm vi cho phép theo quy định của Cục quản lý Thực phẩm và Dược phẩm Hoa Kỳ [10].

### 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phương pháp thích hợp để trích li chất phân tích, định lượng 7 hợp chất kháng oxy hoá trong nhựa đã được xây dựng. Phương pháp này bao gồm sử dụng sóng siêu

âm trong quá trình trích ly 7 hợp chất kháng oxy hoá ra khỏi nền mẫu nhựa cho kết quả ổn định. Kết quả thẩm định phương pháp với khoảng tuyến tính rộng từ 0.5 – 100.0  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , độ tuyến tính tốt ( $R^2 > 0.995$ ). Giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng của phương pháp đối với 7 hợp chất phân tích lần lượt là từ 0.014 đến 0.27  $\mu\text{g mL}^{-1}$  và từ 0.087 đến 0.88  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . Hiệu suất thu hồi ở ba mức đồng độ 0.50, 5.0 và 15.0  $\mu\text{g mL}^{-1}$  đều nằm trong khoảng cho phép **Phụ lục F của AOAC**, đều đạt trên 80%.

#### LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành gửi lời cảm ơn đến Phòng thí nghiệm Phân tích Trung tâm và Công ty Hyosung chi nhánh Vũng Tàu đã tài trợ thiết bị và hoá chất nghiên cứu.

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ **Đề tài mã số T2021-36**.

Liên hệ: CN. Lê Thị Hoa

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM  
27 Nguyễn Văn Cừ, phường 04, quận 05,  
TP.HCM, Việt Nam

Email: lethoa@hcmus.edu.vn

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. O. Horodytska; A. Cabanes; A. Fullana, Plastic waste management: current status and weaknesses. **2019**,
2. M. Galotto; A. Torres; A. Guarda; N. Moraga; J. Romero, Experimental and theoretical study of LDPE versus different concentrations of Irganox 1076 and different thickness. *Food Research International* **2011**, 44 (2),
3. Y. Yan; C.Y. Hu; Z.W. Wang; Z.W. Jiang, Degradation of Irgafos 168 and migration of its degradation products from PP-R

composite films. *Packaging Technology and Science* **2018**, 31 (10),

4. V. Ambroggi; C. Carfagna; P. Cerruti; V. Marturano, Additives in polymers. In *Modification of polymer properties*, Elsevier: 2017; p. 87-108.
5. G. Grosclaude, *L'eau: Tome 1. Milieu naturel et maîtrise*. Quae: 1999.
6. B. Li; Z. Wang; Q. Lin; C. Hu, Simultaneous determination of antioxidants and ultraviolet stabilizers in polypropylene food packaging and food simulants by high-performance liquid chromatography. *Acta Chromatographica* **2017**, 29 (2),
7. H. Wang; J. Yuan, Identification and quantification of unknown antioxidants in plastic materials by ultrasonic extraction and ultra-performance liquid chromatography coupled with quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *European journal of mass spectrometry* **2016**, 22 (1),
8. B. Li; Z.-W. Wang; Q.-B. Lin; C.-Y. Hu; Q.-Z. Su; Y.-M. Wu, Determination of polymer additives-antioxidants, ultraviolet stabilizers, plasticizers and photoinitiators in plastic food package by accelerated solvent extraction coupled with high-performance liquid chromatography. *Journal of chromatographic science* **2015**, 53 (6),
9. AOAC, Appendix F: Guidelines for Standard Method Performance Requirements, Official Methods of Analysis of AOAC. AOAC International: 2016; p.
10. FDA, Title 21. In *Food and drugs. Code of Federal Regulations (CFR)*, U.S. Government Printing Office (GPO): Washington, DC, 2010; p.