ĐÁNH GIÁ CÁC PHƯƠNG PHÁP TẠO MẪU CÓ NGUỒN GỐC THỰC VẬT TRONG PHÂN TÍCH TỔNG HOẠT ĐỘ PHÓNG XẠ ALPHA VÀ BETA

LÊ CÔNG HẢO[*], NGUYỄN VĂN THẮNG[**],
HUỲNH NGUYỄN PHONG THU[**], HUỲNH TRÚC PHƯƠNG[*]

TÓM TẮT

Trong công trình này, phương pháp tro hóa và axit hóa được nghiên cứu để tạo các mẫu đo tổng hoạt độ alpha/beta đối với các mẫu có nguồn gốc thực vật (mẫu rau muống). Thực nghiệm trên các mẫu rau muống cho thấy có sự chênh lệch hoạt độ phóng xạ tương đối lớn giữa hai phương pháp. Phương pháp axit hóa có thể hạn chế được sự bay hơi một số đồng vị do nhiệt trong quá trình chuẩn bị mẫu đo.

Từ khóa: LB4200, tổng hoạt độ alpha/beta, hệ số hiệu chỉnh tự hấp thụ alpha/beta.

ABSTARCT

Evaluation of sample preparation methods for gross alpha and beta activity analysis of plant samples

In this study, two sample preparation methods for gross alpha and beta activity analysis of plant samples (ipomoea aquatica) are presented. The results showed that there was a significant difference between ashing and chemical (acid) sample preparation methods. Acid digestion method was proposed to avoid the volatile radionuclide due to heating during sample preparation.

Keywords: LB4200, gross alpha/beta, self-absorption correction.

1. Giới thiệu

Trái Đất và bầu khí quyển luôn tồn tại một lượng nhất định các đồng vị phóng xạ tự nhiên từ các chuỗi phân rã phóng xạ nguyên thủy như ^{232}Th, ^{238}U, ^{235}U và đồng vị phóng xạ phổ biến là ^{40}K [2]. Một số đồng vị phóng xạ tương tự khác như ^{3}H, ^{7}Be, ^{14}C, ^{22}Na, ^{32}P, ^{35}S và ^{39}Cl cũng được liên tục sinh ra trong không khí do tương tác của bức xạ vũ trụ với các hạt nhân bền [1]. Tại một số nơi trên thế giới, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{90}Sr và ^{131}I là những đồng vị phóng xạ nhân tạo được tìm thấy nhiều trong đất và các sản phẩm nông nghiệp [3], [4]. Do vậy, các đồng vị phóng xạ từ môi trường đi vào cây trồng chủ yếu thông qua các quá trình hô hấp, quang hợp và hấp thu dưỡng chất từ rễ của cây.

Rau muống là một trong những loại rau phổ biến nhất ở Việt Nam và một số nước Nam Á. Rau muống là loại cây mọng nước sinh trưởng chủ yếu ở vùng đầm lầy và đất ngập nước; được trồng ở các vùng đất chuyên canh rau với thời gian mỗi vụ là

[*] TS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TPHCM; *Email:* lchao@hcmus.edu.vn
[**] ThS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TPHCM

15 đến 20 ngày. Khoảng 80 đến 100 lít nước tưới được cung cấp cho $1m^2$ rau; nước chủ yếu là nước ngầm, sông, suối hay nước mưa. Hàm lượng phóng xạ tự nhiên (chủ yếu là ^{226}Ra) trong nước ngầm cao cũng là nguyên nhân làm gia tăng hàm lượng các chất phóng xạ trong rau muống [7]. Và với nhiều loại phân bón hóa học được sử dụng trong suốt quá trình canh tác với các thành phần chủ yếu là nitơ, phốt pho, kali [5] cũng đóng góp một lượng nhất định các đồng vị phóng xạ như ^{32}P, ^{35}S, ^{226}Ra, ^{210}Po ($^{210}Po = {}^{210}Pb$), ^{40}K hay ^{238}U vào rau[6].

Để phân tích tổng hoạt độ alpha/beta các mẫu đo phải được phân hủy hoàn toàn để đưa về hình học đo phù hợp. Đây là khó khăn rất lớn và đòi hỏi phương pháp tạo mẫu đo phù hợp. Theo đó, các mẫu thực vật sau khi được phân hủy hoàn toàn sẽ được chuyển thành dạng rắn (tạo mẫu đo phù hợp) trên khay đếm mẫu. Theo tiêu chuẩn của Cơ quan bảo vệ môi trường Hoa Kì EPA [8], mật độ các mẫu rắn phải nhỏ hơn $5mg/cm^2$ để bảo đảm hiệu ứng tự hấp thụ ít ảnh hưởng đến kết quả đo. Ví dụ đối với khay đếm mẫu đường kính 2 inch của hệ LB4200 thì mẫu đo bị giới hạn ở khối lượng 100mg. Đối với các mẫu thực vật thì hoạt độ phóng xạ là khá thấp nên khâu chuẩn bị mẫu khá khó khăn, một mặt phải đảm bảo khối lượng mẫu trên khay đếm mẫu đúng tiêu chuẩn, mặt khác phải đảm bảo đủ số đếm thống kê trên mẫu.

Thông thường, việc tro hóa để phân hủy mẫu là phương pháp thông dụng nhất và dễ nhất để tạo các mẫu đo có nguồn gốc thực vật [8]. Tuy nhiên, nhiệt độ hóa tro mẫu khá lớn sẽ làm bốc hơi một số đồng vị phóng xạ của những nguyên tố dễ bay hơi. Do đó, kết quả đo tổng hoạt độ alpha/beta sẽ thấp hơn giá trị thực của mẫu cần khảo sát.

Trong khi đó phương pháp xử lí mẫu bằng axit đòi hỏi thao tác hủy mẫu đo bằng các dung dịch axit mạnh khác nhau hoặc kết hợp với hóa chất hỗ trợ khác như H_2O_2 [4] và trải qua nhiều công đoạn của việc đun nóng, bốc hơi, cô cạn và làm lạnh nhiệt độ phòng… Tuy khó hơn và đòi hỏi sử dụng khá nhiều axit mạnh như HCl, HNO_3, HF… nhưng phương pháp xử lí mẫu bằng axit cải thiện được nhược điểm của phương pháp tro hóa nói trên.

Trong công trình này, chúng tôi thực hiện đánh giá hai phương pháp tạo mẫu đo nói trên và đề xuất áp dụng phương pháp tạo mẫu hiệu quả và phù hợp cho các phòng thí nghiệm phân tích hạt nhân nhỏ và vừa. Phương pháp phân hủy mẫu này liên quan đến việc sử dụng hỗn hợp dung dịch axit HNO_3 và H_2O_2 để phá mẫu ở nhiệt độ thấp và cải thiện được nhược điểm của phương pháp tro hóa.

2. Thực nghiệm và phương pháp

2.1. Dụng cụ, thiết bị và hóa chất

- Lò nung 1000^0C;
- Tủ sấy 300^0C;
- Rây mẫu;
- Cân phân tích độ chính xác 0,1mg;

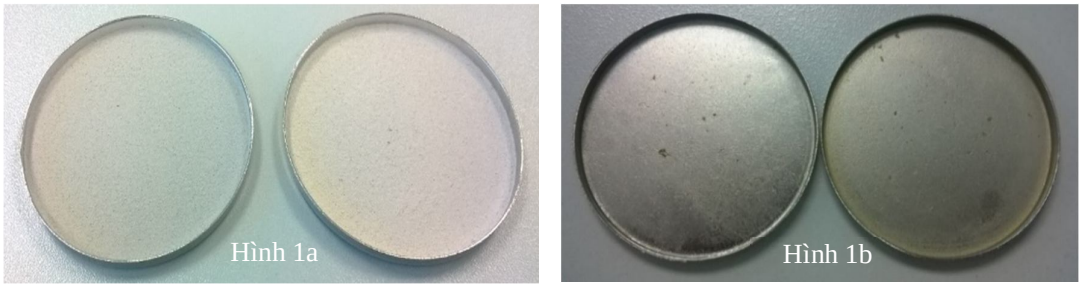
- Máy nghiền thô;
- Bếp điện (hot plate) điều chỉnh nhiệt độ, đèn hồng ngoại;
- Bát sứ;
- Nhiệt kế, pipet các loại, đũa khuấy dung dịch;
- Khay đếm đường kính 5 cm đi kèm theo hệ đếm alpha – beta tổng;
- Dung dịch axít HNO_3 (65%);
- Dung dịch H_2O_2 (30%);
- Dung dịch axetone và nước cất 2 lần.

2.2. Chuẩn bị mẫu đo bằng phương pháp tro hóa và axit hóa

Các mẫu rau muống được thu thập từ các vùng trồng rau của Thành phố Hồ Chí Minh chủ yếu là Quận 12, huyện Hóc Môn và huyện Củ Chi vào khoảng từ đầu tháng 6 đến tháng 12 năm 2015. Các mẫu rau muống này được loại bỏ phần rễ, giữ lại phần ăn được rồi rửa qua nước sạch để loại bỏ tạp chất. Khoảng 200g rau mẫu muống tươi sẽ được sấy khô mẫu trong tủ sấy ở nhiệt độ 85°C cho đến khi khối lượng mẫu không đổi.

Một phần mẫu sau khi sấy khô được tro hóa bằng lò nung ở nhiệt độ 450°C trong 8 giờ, sau đó được nghiền mịn và rây. Mẫu đo cuối cùng bao gồm 100mg mẫu tro được trải thành một lớp mỏng [9] lên bề mặt khay đếm mẫu như Hình 1a. Một lượng nhỏ dung dịch axeton được dùng để giữ cố định tro trên bề mặt khay đếm.

Phần mẫu ở giai đoạn sấy khô còn lại được nghiền và rây để được phần bột mịn. Sử dụng cân phân tích lấy 0,5g mẫu hòa vào 1mL dung dịch HNO_3 đậm đặc và 5 mL dung dịch H_2O_2 30% [10]. Đun nhẹ hỗn hợp này ở nhiệt độ 85°C cho đến khi cạn khô. Tiếp tục cho vào một lượng dung dịch như trên và đun cho đến khi hỗn hợp chuyển sang trong suốt. Khi thể tích hỗn hợp còn lại khoảng 1,5mL đến 2mL thì cho vào khay đếm mẫu và sấy khô nhẹ dưới đèn hồng ngoại. Khối lượng mẫu rắn sau khi sấy cần được bảo đảm nhỏ hơn 100mg.



Hình 1. *Các mẫu đo được tạo ra bằng phương pháp tro hóa (1a) và axit hóa (1b)*

2.3. Hiệu chỉnh sự tự hấp thụ đối với alpha và beta

Một trong những khó khăn của phương pháp đo tổng hoạt độ phóng xạ alpha và beta đó chính là sự tự hấp thụ của mẫu đo, do đó cần thiết phải hiệu chỉnh sự tự hấp thụ này. Hệ số tự hấp thụ alpha hay beta của các mẫu đo được tính theo công thức (1).

$$f_{\alpha/\beta} = \frac{\left(A_{\alpha/\beta}\right)_c}{\left(A_{\alpha/\beta}\right)_s} \quad (1)$$

trong đó, $(A_{\alpha/\beta})_c$ là tổng hoạt độ phóng xạ alpha hay beta đo được từ thực nghiệm, $(A_{\alpha/\beta})_s$ là tổng hoạt độ alpha và beta của chất đánh dấu hay mẫu chuẩn sử dụng.

2.4. Tổng hoạt độ phóng xạ alpha và beta

Đối với cả hai phương pháp tạo mẫu, tổng hoạt độ alpha và beta trong các mẫu rau muống và đất được tính theo công thức (2).

$$A_{\alpha/\beta} = \frac{n_{\alpha/\beta}}{m \times \varepsilon_{\alpha/\beta} \times f_{\alpha/\beta}} \quad (2)$$

trong đó, $A_{\alpha/\beta}$ (Bq/kg) là tổng hoạt độ alpha hay beta tính cho 1kg rau muống tươi, $n_{\alpha/\beta}$ (số đếm/giây) là số đếm thực của mẫu phân tích ghi nhận bởi hệ đo, m (kg) là khối lượng rau muống tươi sử dụng để phân tích, $\varepsilon_{\alpha/\beta}$ là hiệu suất ghi đối với alpha hay beta của các đầu dò và $f_{\alpha/\beta}$ là hệ số tự hấp thụ alpha hay beta của mẫu đo.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hệ số tự hấp thụ alpha và beta

Thông tin và số lượng các mẫu đo được sử dụng cho việc hiệu chỉnh này sự tự hấp thụ tia alpha và tia beta được trình bày tương ứng trong Bảng 1 và Bảng 2. Chất đánh dấu ^{214}Am mua từ NIST (National Institute of Standards and Technology) được dùng để tạo các mẫu hiệu chỉnh tự hấp thụ alpha với chất nền là rau muống và mẫu chuẩn IAEA-156 được dùng để tạo các mẫu hiệu chỉnh tự hấp thụ beta.

Bảng 1. *Thông tin các mẫu dùng để hiệu chỉnh tự hấp thụ alpha*

Phương pháp tạo mẫu	Số lượng mẫu	Khối lượng mẫu đo (mg)	Hoạt độ alpha của chất đánh dấu (Bq)
Tro hóa	3	100	5,41 ± 0,02
Axit hóa	7	1,5 22,6 44,1 65,8 76,3 89 103	10,82 ± 0,03

Bảng 2. *Thông tin các mẫu dùng để hiệu chỉnh tự hấp thụ beta*

Phương pháp tạo mẫu	Số lượng mẫu	Khối lượng mẫu (mg)	Hoạt độ beta của mẫu chuẩn (Bq)
Tro hóa	3	100	0,84±0,02
Axit hóa	6	15,6	0,053±0,001
		38,6	0,114±0,003
		60,8	0,199±0,005
		74,3	0,270±0,007
		84,1	0,360±0,009
		100,6	0,479±0,012

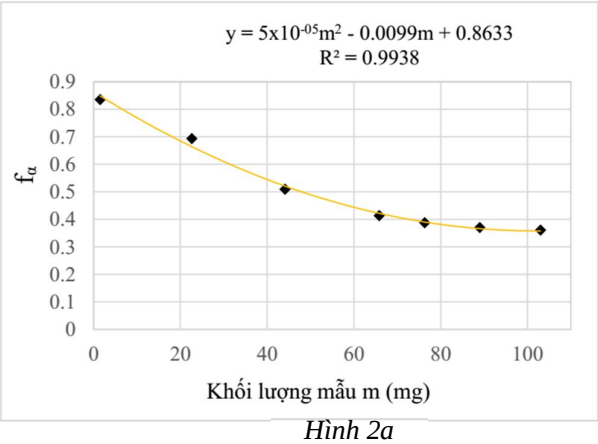
Bảng 3. *Hệ số tự hấp thụ alpha và beta đối với các mẫu tro hóa*

Loại hiệu chỉnh tự hấp thụ	Khối lượng mẫu (mg)	Hoạt độ chất đánh dấu hay mẫu chuẩn (Bq)	Hoạt độ đo được trên mẫu (Bq)	Hệ số tự hấp thụ
Alpha	100	5,41±0,02	2,34±0,04 2,71±0,04 2,25±0,04	0,447±0,004
Beta	100	0,84±0,02	0,729±0,007 0,725±0,007 0,737±0,008	0,87±0,01

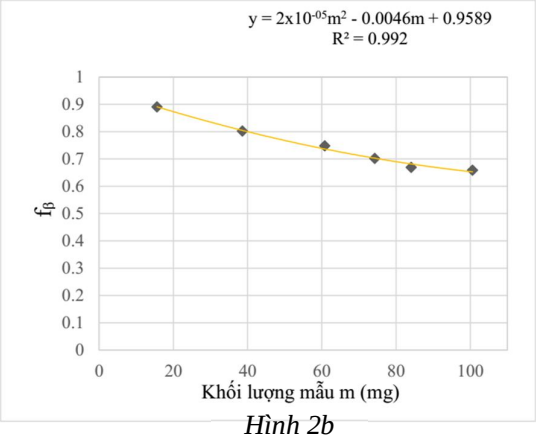
Các mẫu hiệu chỉnh tự hấp thụ alpha được đo trong 3 giờ và các mẫu hiệu chỉnh tự hấp thụ beta được đo trong 24 giờ trên máy đếm tổng alpha/beta phông thấp LB4200. Bảng 3 trình bày các kết quả đo các mẫu tro hóa, theo đó hệ số tự hấp thụ alpha và beta tương ứng là 0,447±0,004 và 0,87±0,01. Đối với các mẫu axit hóa, Bảng 4 và Hình 2 trình hệ số hấp thụ alpha và beta và các đường cong làm khớp các giá trị hệ số tự hấp thụ alpha và beta theo các khối lượng mẫu. Có thể thấy nếu cùng một khối lượng mẫu đo thì các mẫu axit hóa hấp thụ các tia alpha và beta nhiều hơn các mẫu tro hóa.

Bảng 4. *Hệ số tự hấp thụ alpha và beta đối với các mẫu axit hóa*

Loại hiệu chỉnh tự hấp thụ	Khối lượng mẫu (mg)	Hoạt độ chất đánh dấu hay mẫu chuẩn (Bq)	Hoạt độ đo được trên mẫu (Bq)	Hệ số tự hấp thụ
Alpha	1,5	10,82±0,03	9,02±0,09	0,835±0,009
	22,6		7,49±0,07	0,694±0,007
	44,1		5,50±0,06	0,509±0,006
	65,8		4,47±0,05	0,413±0,005
	76,3		4,18±0,05	0,388±0,005
	89		3,99±0,05	0,370±0,005
	103		3,90±0,05	0,361±0,004
Beta	15,6	0,053±0,001	0,047±0,004	0,89±0,08
	38,6	0,114±0,003	0,091±0,008	0,80±0,07
	60,8	0,199±0,005	0,149±0,007	0,75±0,04
	74,3	0,270±0,007	0,190±0,004	0,70±0,02
	84,1	0,360±0,009	0,241±0,007	0,67±0,03
	100,6	0,479±0,012	0,316±0,007	0,66±0,02



Hình 2a



Hình 2b

Hình 2. *Hệ số tự hấp thụ alpha (2a) và beta (2b) theo khối lượng mẫu*

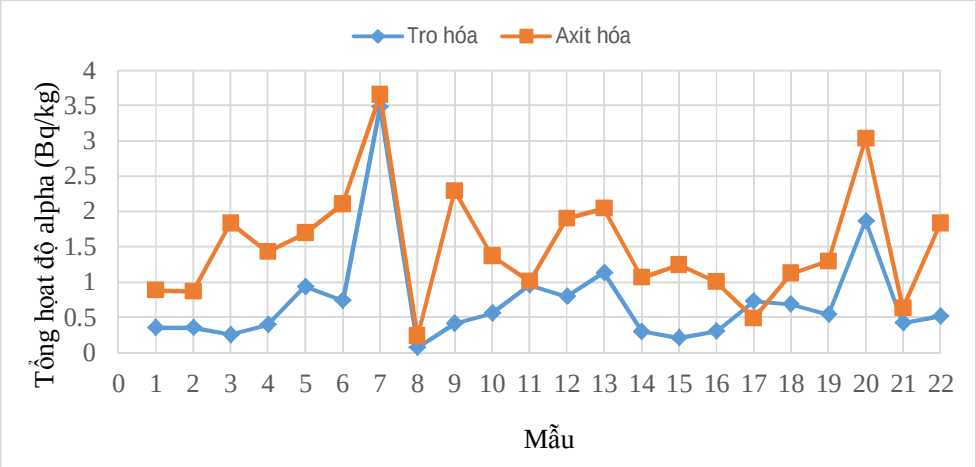
3.2. Tổng hoạt độ alpha và beta

Kết quả tổng hoạt độ alpha và beta đo được trong 22 mẫu rau muống đã thu thập được tại TP Hồ Chí Minh được thể hiện trong Bảng 5. Ở phương pháp tro hóa tổng hoạt độ alpha có giá trị trong khoảng từ 0,07±0,04 Bq/kg đến 3,48±0,12 Bq/kg và tổng hoạt độ beta có giá trị trong khoảng từ 25,63±0,21 Bq/kg đến 125,93±0,67 Bq/kg. Ở phương pháp axit hóa tổng hoạt độ alpha có giá trị trong khoảng từ 0,23±0,28 Bq/kg đến 3,65±0,37 Bq/kg và tổng hoạt độ beta có giá trị trong khoảng từ 34,43±0,60 Bq/kg đến 222,4±1,65 Bq/kg.

Các mẫu có tổng hoạt độ phóng xạ alpha cao tương ứng với mẫu 7 ở xã Xuân Thới Sơn - Hóc Môn, mẫu 13 ở phường Thanh Xuân - Quận 12 và mẫu 20 ở xã Ngã Ba Giồng - Hóc Môn. Trong khi đó, các mẫu có hoạt độ beta cao tương ứng mẫu số 5 ở xã Xuân Thới Thượng - Hóc Môn, mẫu số 6 ở xã Xuân Thới Thượng - Hóc Môn và mẫu số 7.

Bảng 5. *Tổng hoạt độ alpha và beta đo được từ hai quy trình làm mẫu*

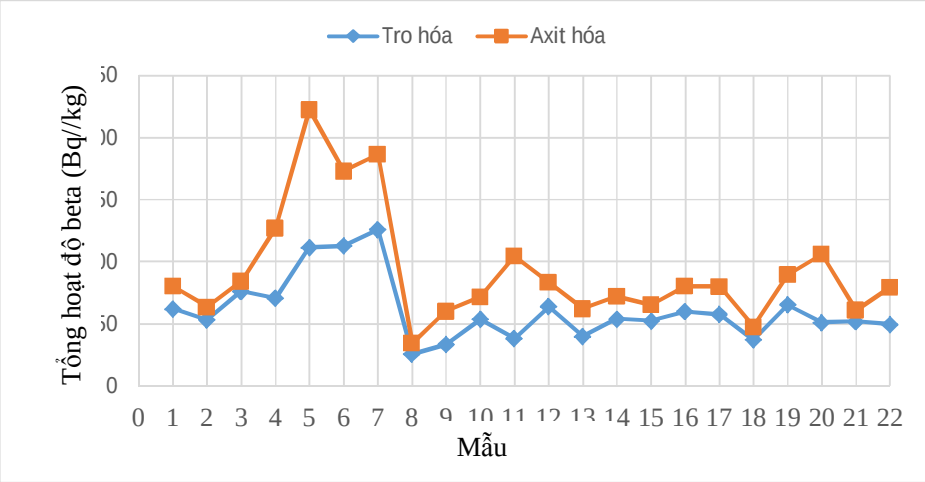
Mẫu	Tọa độ GPS	Tro hóa		Axit hóa	
		Tổng alpha (Bq/kg)	Tổng beta (Bq/kg)	Tổng alpha (Bq/kg)	Tổng beta (Bq/kg)
1	10°52'31,0"N|106°39'27,5"E	0,35±0,05	62,35±0,46	0,88±0,16	80,42±0,84
2	10°53'13,2"N|106°40'28,8"E	0,35±0,05	53,39±0,44	0,87±0,19	63,61±0,78
3	10°52'45,9"N|106°39'22,0"E	0,25±0,05	76,30±0,56	1,83±0,23	84,37±0,91
4	10°53'18,0"N|106°40'23,4"E	0,40±0,06	70,72±0,55	1,43±0,24	127,20±1,27
5	10°50'50,6"N|106°34'31,5"E	0,94±0,06	111,56±0,77	1,69±0,20	222,40±1,65
6	10°51'36,8"N|106°33'17,6"E	0,74±0,07	112,81±0,62	2,10±0,33	173,26±1,37
7	10°52'35,0"N|106°33'31,2"E	3,48±0,12	125,93±0,67	3,65±0,37	186,59±1,44
8	10°54'34,7"N|106°38'16,1"E	0,07±0,04	25,63±0,21	0,23±0,28	34,43±0,60
9	10°51'25,8"N|106°36'07,4"E	0,41±0,05	33,44±0,22	2,29±0,33	60,33±0,75
10	10°53'08,2"N|106°38'40,5"E	0,56±0,05	53,90±0,34	1,37±0,33	71,63±0,87
11	10°53'08,1"N|106°38'27,1"E	0,96±0,05	38,28±0,24	1,01±0,53	104,59±1,42
12	10°52'35,7"N|106°38'49,7"E	0,80±0,07	63,95±0,40	1,90±0,36	83,35±1,05
13	10°53'37,4"N|106°40'45,5"E	0,13±0,06	39,87±0,26	2,04±0,34	62,30±0,79
14	10°53'49,0"N|106°41'11,1"E	0,30±0,04	53,96±0,35	1,06±0,26	72,10±0,75
15	10°53'12,4"N|106°40'50,6"E	0,21±0,06	52,55±0,34	1,24±0,41	65,38±0,65
16	10°52'51,3"N|106°39'47,3"E	0,30±0,06	59,98±0,38	1,00±0,41	80,55±1,16
17	10°57'43,5"N|106°35'38,9"E	0,73±0,06	57,62±0,38	0,49±0,24	80,18±0,76
18	10°51'17,8"N|106°36'01,6"E	0,68±0,07	37,38±0,27	1,12±0,20	47,69±0,58
19	10°48'47,7"N|106°35'07,1"E	0,54±0,06	65,40±0,40	1,29±0,29	89,65±0,88
20	10°52'08,0"N|106°33'30,0"E	1,87±0,09	51,13±0,36	3,03±0,26	106,14±0,91
21	10°53'32,9"N|106°40'26,5"E	0,42±0,05	52,00±0,35	0,63±0,22	61,02±0,62
22	10°54'17,6"N|106°40'40,5"E	0,51±0,06	49,74±0,32	1,83±0,22	79,41±0,78



Hình 3. *Tổng hoạt độ alpha trong các mẫu rau muống từ hai phương pháp tạo mẫu*

Nhìn chung, khoảng dao động tổng hoạt độ alpha và beta của các mẫu khảo sát là khá lớn, các mẫu có hoạt độ cao phân bố không tập trung không mang tính quy luật. Không có mối tương quan giữa tổng hoạt độ alpha và tổng hoạt độ beta nhưng có thể thấy rằng tổng hoạt độ beta là cao hơn rất nhiều so với tổng hoạt độ alpha. Đây cũng là đặc tính chung của các mẫu môi trường như: đất, nước, động vật, thực vật… bởi sự phổ biến của các đồng vị phát beta trong tự nhiên.

Hình 3 và Hình 4 là đồ thị so sánh các giá trị tổng hoạt độ alpha và tổng hoạt độ beta của các mẫu có được từ hai phương pháp làm mẫu. Theo đó, quy trình tạo mẫu axit hóa cho kết quả tổng hoạt độ alpha từ 1,04 đến 7,32 lần và tổng hoạt độ beta cao hơn từ 1,11 đến 1,99 lần so với quy trình tạo mẫu tro hóa. Sự khác nhau trong kết quả đo có thể giải thích là do nhiệt độ của quá trình của các quá trình làm mẫu.



Hình 4. *Tổng hoạt độ beta trong các mẫu rau muống từ hai phương pháp tạo mẫu*

Ở phương pháp tro hóa, nhiệt độ nung mẫu 450°C có thể phá vỡ phần lớn các liên kết hữu cơ, tạo được những mẫu mỏng từ mẫu phân tích có khối lượng lớn. Điều này có thể cải thiện sai số thống kê, giảm hiệu ứng tự hấp thụ và hiệu ứng xuyên âm tràn tín hiệu ghi nhận "crosstalk". Tuy nhiên, nhiệt độ cao làm mất khá nhiều đồng vị phóng xạ của những nguyên tố dễ bay hơi như ^{210}Po hoặc ^{210}Pb... Trong khi đó, phương pháp axit hóa sử dụng phản ứng hóa học để hủy mẫu, nhiệt độ của cả quá trình dưới 90°C nên có thể cải thiện được tình trạng thăng hoa một số đồng vị phóng xạ nêu trên.

4. Kết luận

Phương pháp tro hóa có thể tạo ra những mẫu đo mỏng từ khối lượng mẫu phân tích lớn (khoảng 10g) nên sai số hoạt độ nhỏ. Hệ số hấp thụ alpha và beta của các mẫu tro hóa tương ứng là 0,447±0,004 và 0,87±0,01. Phương pháp axít hóa sử dụng hỗn hợp dung dịch HNO_3 đặc: H_2O_2 30% tỉ lệ 1:5 hủy mẫu ở nhiệt độ 85°C đến 90°C cho hoạt độ alpha và beta đúng với hoạt độ thực của mẫu khảo sát. Tuy nhiên, do lượng mẫu phân tích khá ít (khoảng 5g) nên sai số hoạt độ lớn hơn so với sai số hoạt độ tính được từ phương pháp tro hóa. Phương pháp tạo mẫu axit hóa cho kết quả tổng hoạt độ alpha

từ bằng đến cao hơn ~ 7,32 lần và tổng hoạt độ beta cao hơn từ 1,11 đến 1,99 lần so với phương pháp tạo mẫu tro hóa. Tùy vào yêu cầu phân tích mà lựa chọn phương pháp tối ưu. Để xác định nhanh (trong trường hợp khẩn cấp) tổng hoạt độ alpha/beta của một mẫu thì lựa chọn phương pháp tro hóa là tối ưu. Nếu cần sử dụng giá trị hoạt độ để tình suất liều và đánh giá an toàn phóng xạ thì cần lựa chọn phương pháp axit hóa.

Ghi chú: *Công trình nghiên cứu này được cấp kinh phí từ Đề tài mã số C2015-18-06 của Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Evenden, W.G., Sheppard S.C.& Killey R.W.D. (1998), "Carbon-14 and tritium in plants of a wetland containing contaminated groundwater", *Applied Geochemistry***,** 13(1), pp. 17-21.
2. Hamby, D. M &Tynybekov A. K. (2002), "Uranium, thorium, and potassium in soils along the shore of lake Issyk-Kyol in the Kyrghyz Republic", *Environmental Monitoring and Assessment*, 73(2), pp.101-108.
3. Ahmet Varinlioglu & Abdullah Köse. (2005) "Determination of natural and artificial radionuclide levels in soils of western and southern Coastal area of Turkey", *Water, Air, and Soil Pollution*, 164(1) pp.401-407.
4. Tormos J., Jouve A., Revy D., Millan-Gomez R., Zanon R.& Erario M.J. (1995) "A rapid method for determining strontium-90 in contaminated samples of soil and plant", *Journal of Environmental Radioactivity*, 27(3), pp.193-206.
5. Attila Vértes, Sandor Nagy, Zoltán Klencsar, Rezso G. Lovas & Frank Rosch (2011) *Handbook of Nuclear Chemistry (2nd edition)*, Springer.
6. Sahu, S.K., Ajmal, P.Y., Bhangare, R.C., Tiwari, M.& Pandit, G.G. (2014), "Natural radioactivity assessment of a phosphate fertilizer plant area"**,** *Journal of Radiation Research and Applied Sciences***,** 7(1), pp. 123-128.
7. Hao, L.C., Thu, H.N.P., Thang, N.V. & Bao L.Q. (2015), "Radon and radium concentrations in drinkable water supplies of the Thu Duc region in Ho Chi Minh City, Vietnam", *Applied Radiation and Isotopes*, 105, pp.219-224.
8. United States Environmental Protection Agency (EPA) (1980) "*Gross alpha and gross beta radioactivity in drinking water*", EPA method 900.0, Section 1.
9. Shanthi, G., Maniyan, C. G., Allan Gnana Raj G. & Thampi Thanka Kumaran J. (2009), "Radioactivity in food crops from highbackground radiation area in southwest India", *Current Science*, 97(9) pp.1331-1335.
10. Yang Dazhu, Zhu Yongjum, S. Möbius & C. Keller. (1990), "Simultaneous determination of alpha and beta-emitting nuclides by liquid scintillation counting", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 144(1), pp. 63-71.

(Ngày Tòa soạn nhận được bài: 10-5-2016; ngày phản biện đánh giá: 10-6-2016; ngày chấp nhận đăng: 23-9-2016)