

# XÁC ĐỊNH LIỀU CHIẾU TRONG CỦA P-32 CHO NHÂN VIÊN BỨC XẠ BẰNG PHÂN TÍCH NƯỚC TIỂU VÀ ĐO NHẬP NHÁY LỎNG

NGUYỄN VĂN HÙNG\*, PHẠM HÙNG THÁI\*\*

## TÓM TẮT

Mẫu nước tiểu của đối tượng bị nhiễm xạ P-32 được thu góp, xử lý hóa học rồi đo hoạt độ beta trên hệ nhập nháy lỏng ALOKA-LSC-6100. Sau đó, dùng chương trình chuyên dụng MONDAL 3.0 sẽ tính được liều hiệu dụng. Kết quả nghiên cứu được áp dụng xác định liều cho nhân viên bức xạ ở Viện Nghiên cứu hạt nhân. Ngoài ra phương pháp này cũng được so sánh với phương pháp đo bằng ống đếm GM và kết quả cho thấy nó cho độ nhạy và độ chính xác cao hơn khi đối tượng bị nhiễm xạ P-32 ở mức hoạt độ thấp.

**Từ khóa:** xác định liều chiếu trong, đo nhập nháy lỏng, liều hiệu dụng (liều toàn thân).

## ABSTRACT

### *Determining internal dosimetry of P-32 for radiation workers by analysis of the human urine and liquid scintillation counting*

Urine samples from the subjects internally contaminated with P-32 are collected, chemically processed, and measured beta activity by the liquid scintillation counting system of ALOKA-LSC-6100. Then, effective doses are calculated by using the specialized software of MONDAL3.0. The results are applied in dosimetry for the radiation workers in the Nuclear Research Institute. Besides, this method is also compared with that of using GM counter, and the result is shown it gives sensitivity and accuracy better in the case of subjects contaminated at low activity level.

**Keywords:** internal radiation dosimetry, liquid scintillation counting, effective dose (dose for whole-body).

## 1. Mở đầu

Định liều chiếu trong đối với các đồng vị phóng xạ phát beta bằng phương pháp đo nhập nháy lỏng đã được nghiên cứu và áp dụng phổ biến tại nhiều phòng thí nghiệm trên thế giới [4, 5]. Tại Việt Nam, phương pháp này tuy còn khá mới mẻ nhưng đã được áp dụng ở một số cơ sở nghiên cứu trong lĩnh vực môi trường, thủy văn đồng vị do có một số tính chất ưu việt của phương pháp này như độ nhạy xác định tốt, độ chính xác của phương pháp cao... Vì vậy, nếu sử dụng phương pháp này để xác định P-32 trong nước tiểu người phục vụ cho việc xác định liều chiếu trong sẽ có ý nghĩa thiết thực hơn vì mở rộng được khả năng xác định liều chiếu trong ở mức hoạt độ thấp [3,

\* TS, Viện Nghiên cứu Hạt nhân Đà Lạt

\*\* ThS, Viện Nghiên cứu Hạt nhân Đà Lạt

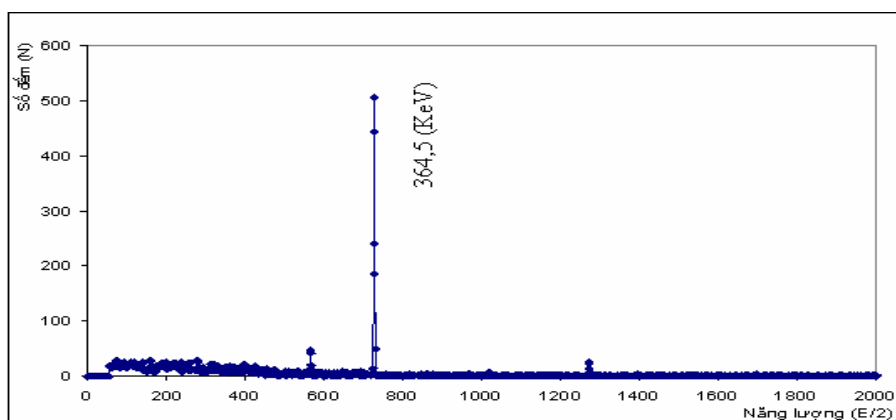
8]. Xác định liều chiếu trong đối với P-32 cho nhân viên bức xạ dựa trên phép phân tích nước tiểu người và đo trên hệ nhấp nháy lỏng được nghiên cứu áp dụng lần đầu tiên tại Viện Nghiên cứu hạt nhân (Đà Lạt).

Để loại trừ những ảnh hưởng bởi I-131 hay những đồng vị phóng xạ khác hiện diện trong nước tiểu dẫn đến sai số khi xác định P-32, vì vậy cần thiết phải tách P-32 ra khỏi các đồng vị gây nhiễu như I-131 (ở Viện, trong các đợt Lò phản ứng hạt nhân hoạt động thì thường sản xuất đồng thời P-32 và I-131 để cung cấp cho các bệnh viện trong nước). Bên cạnh đó, việc tách và làm giàu P-32 trong nước tiểu còn góp phần làm tăng độ nhạy và độ chính xác của phương pháp đối với P-32. Phương pháp này có tính đến tách hóa học và làm giàu đồng vị cho kết quả tốt hơn (mẫu nước tiểu được trộn trong dung dịch chất nhấp nháy nên làm tăng hiệu suất phát quang khi tín hiệu tới detector nhấp nháy. Do đó hiệu suất ghi cao, đạt đến 98%) so với phương pháp sử dụng hệ đo hoạt độ beta tổng cộng dùng ống đếm GM đang áp dụng tại Viện (phương pháp này cũng phải tách hóa học P-32 trong mẫu nước tiểu, sau đó đo hoạt độ trên hệ đo beta tổng cộng dùng ống đếm chứa khí GM nhưng hiệu suất ghi nhỏ, chỉ đạt 20%). Hơn nữa, nhân phóng xạ P-32 được làm giàu lên 10 lần, tức là khả năng phát hiện P-32 tốt hơn 10 lần so với lúc chưa tách hóa học.

## 2. Thực nghiệm

### 2.1. Thu gộp và chuẩn bị mẫu nước tiểu

Mẫu nước tiểu của các đối tượng không bị nhiễm xạ trong (P-32, I-131, ... hay các đồng vị phóng xạ khác từ quá trình sản xuất chất phóng xạ hay xạ trị bằng đồng vị phóng xạ, ...) được thu gộp vào các bình nhựa sạch loại 0,5 lít. Sau đó cho thêm vào 5 ml Focmandehit (Formol) để bảo quản tránh bị bốc mùi hôi sau một thời gian lưu mẫu. Đo kiểm tra trên hệ phổ kế gamma phòng thấp để xác định hiện trạng “phóng xạ” của mẫu. Sau đó mẫu được cho thêm một lượng đồng vị phóng xạ P-32 và I-131 biết trước hoạt độ. Đo hoạt độ trên phổ trên phổ kế gamma phòng thấp HPGe Canberra [2] để xác định số đếm tại đỉnh năng lượng 364,5 keV của I-131 và kết quả được trình bày trên hình 1.



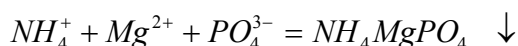
**Hình 1. Phổ gamma của mẫu nước tiểu có chứa P-32 và I-131 trước khi tách hóa P-32**

## 2.2. Tách hóa P-32 trong mẫu nước tiểu

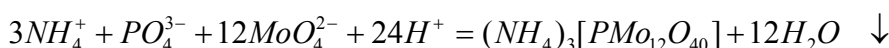
### 2.2.1. Nguyên lý

Việc tách hóa P-32 trong mẫu nước tiểu dựa trên nguyên lý sau [2, 4, 6]:

- Khi có mặt ion  $Mg^{2+}$  và ion  $NH_4^+$  trong dung dịch ammoniac, ion  $PO_4^{3-}$  tạo nên kết tủa màu trắng  $NH_4MgPO_4$ , không tan trong dung dịch ammoniac nhưng tan trong axit:



- Khi có mặt muối molipđat  $(NH_4)_2MoO_4$  trong dung dịch  $HNO_3$ , ion  $PO_4^{3-}$  tạo nên kết tủa amoni photpho molipđat  $(NH_4)_3[PmO_{12}O_{40}]$  có màu vàng không tan trong axit nitric nhưng tan trong kiềm và dung dịch amoniac:



### 2.2.2. Quy trình

Việc tách P-32 trong mẫu nước tiểu được thực hiện theo quy trình sau [2, 4, 6]:

1- Lấy 50 ml nước tiểu vào bình tròn 250 ml. Thêm 1 gam  $KMnO_4$  và 4 ml  $H_2SO_4$  (khối lượng riêng  $d = 1,84 \text{ g/cm}^3$ ) đun trên bếp cách cát trong 2-4 giờ.

2- Thêm dung dịch O-xalic acid cho đến lúc dung dịch mẫu mất màu, lọc bỏ kết tủa (nếu có). Thêm 1 ml dung dịch chất mang P (15,3 mg  $PO_4^{3-}$ ).

3- Thêm dung dịch  $NH_3$  (đ) cho đến lúc dung dịch mẫu có môi trường kiềm.

4- Thêm 5 ml thuốc thử  $Mg^{2+}$ , khuấy 5 phút, ly tâm hỗn hợp tách thành hai phần: Tủa màu trắng và dung dịch.

5- Hòa tan tủa bằng 3 ml dung dịch  $HNO_3$  3M (a)

6- Đun cạn phần dung dịch và chuyển về môi trường kiềm bằng  $NH_3$ , cho tiếp 1 ml dung dịch chất mang photpho và lập lại bước 4. Lấy tủa, bỏ dung dịch. Hòa tan tủa bằng 3 ml dung dịch  $HNO_3$  (b). Trộn hai phần (a) và (b) với nhau.

7- Thêm vài giọt Aerosol O.T và làm ấm dung dịch bằng nước nóng. Thêm từ từ 30 ml dung dịch thuốc thử molybdate, khuấy khoảng 5 phút, ly tâm, bỏ phần nước nổi. Rửa kết tủa hai lần bằng 3 ml dung dịch  $NH_4NO_3$  0,5 M.

8- Hòa tan kết tủa bằng 5 ml dung dịch  $NH_4OH$  ( $d = 0,88 \text{ g/cm}^3$ ).

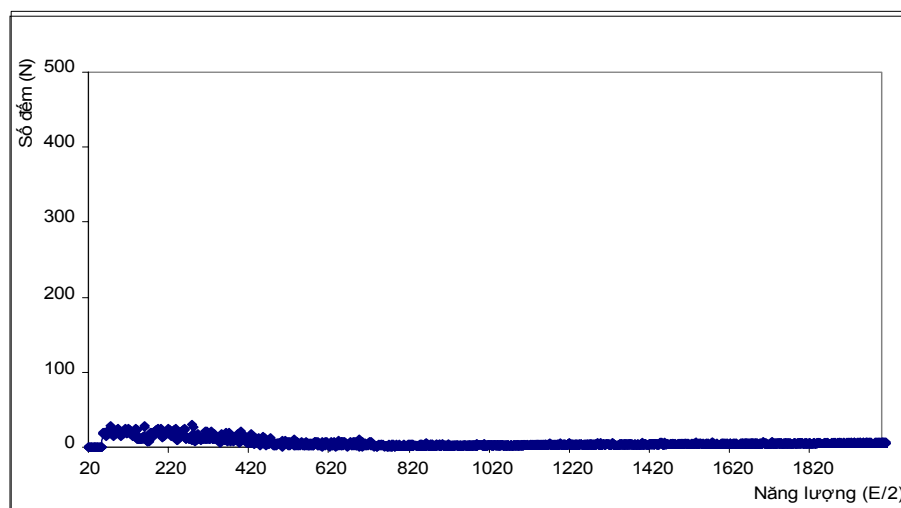
9- Chuyển toàn bộ dung dịch mẫu vào cuvet chuyên dụng, đo hoạt độ P-32 trên hệ đo nhấp nháy lỏng ALOKA-LSC-6100 trong thời gian 20 phút/mẫu.

10- Tính toán và hiệu chỉnh hoạt độ P-32.

### 2.3. Xác định độ sạch phóng xạ sau khi tách hóa

Sau khi thực hiện quy trình tách hóa P-32, mẫu được đo trên phổ kế gamma trong cùng điều kiện: hình học mẫu, thời gian đo, khoảng cách giữa mẫu và đầu dò của hệ đo, ... giống như trước khi thực hiện tách hóa P-32 để xác định độ sạch phóng xạ của mẫu

sau khi tách (hình 2). Kết quả đo cho thấy sau khi tách hóa P-32 thì không còn thấy I-131. Điều này chứng tỏ quy trình tách hóa đối với P-32 là tin cậy, đã loại bỏ được đồng vị không quan tâm là I-131.



**Hình 2. Phổ gamma của mẫu nước tiểu sau khi tách hóa P-32**

#### 2.4. Xác định hiệu suất tách P-32

Việc tính hiệu suất tách hóa dựa vào công thức sau [5]:

$$H(\%) = \frac{A}{A_0} \cdot 100 \quad (1)$$

Trong đó A là hoạt độ xác định được sau khi tách hóa và  $A_0$  là hoạt độ ban đầu thêm vào nước tiểu.

Mẫu nước tiểu đã biết hoạt độ P-32 như ở mục 1. Áp dụng quy trình tách hóa ở mục 2 để tách P-32, sau đó mẫu được đo trên hệ nhấp nháy lỏng. Áp dụng phương pháp ngoại suy hiệu suất ghi dùng mẫu chuẩn C-14 dạng dung dịch của Nhật Bản (đi kèm theo hệ đo ALOKA-LSC-6100; do không có dung dịch chuẩn P-32 nên dùng dung dịch chuẩn C-14 để ngoại suy hiệu suất ghi) để xác định hoạt độ của P-32 [2, 3, 8]. Tiến hành quy trình xác định hiệu suất ghi 3 lần trên 3 mẫu nước tiểu khác nhau. Từ đó tính được hiệu suất tách hóa trung bình đối với P-32 trong mẫu nước tiểu là  $(90 \pm 3)\%$  [2].

#### 2.5. Xác định giới hạn phát hiện

Giới hạn phát hiện LOD (Limit Of Detection) của nhân phóng xạ quan tâm ở mức tin cậy 95% được tính theo công thức sau [1, 2]:

$$LOD = \frac{2,71 + 4,65\sqrt{B \cdot t}}{t} \quad (2)$$

Trong đó: LOD là giới hạn phát hiện của hệ đo, B là suất đếm phong, và t là thời gian đo.

Hoạt độ phóng xạ cực tiểu có thể đo được MDA (Minimum Detectable Activity) được tính theo công thức sau [1, 2]:

$$MDA = \frac{LOD}{H} \tag{3}$$

Trong đó: MDA là hoạt độ phóng xạ thấp nhất đo được (Bq) và H là hiệu suất ghi của hệ đo.

Thu góp 5 mẫu nước tiểu sạch “phóng xạ” và chuẩn bị mẫu thực hiện như ở mục 1 nhưng không thêm P-32, I-131... vào mẫu, thực hiện việc tách hóa P-32 như quy trình ở mục 2. Mẫu sau khi tách hóa, được hòa tan bằng 5 ml NH<sub>4</sub>OH. Đo các mẫu trên hệ đo nhấp nháy lỏng trong thời gian 20 phút/mẫu sẽ xác định được LOD ≈ 0,117 Bq. Hiệu chỉnh các quá trình hóa học như làm giàu đồng vị P-32, hiệu suất tách hóa, thể tích mẫu đo xác định được MDA ≈ 69,5 pCi/lít. Từ đó xác định được hoạt độ phóng xạ của P-32 thâm nhập vào cơ thể qua đường hít thở (sau một ngày) theo phương pháp đo nhấp nháy lỏng và phương pháp đo trên hệ GM và cho kết quả tương ứng là 74 Bq và 440 Bq. Áp dụng chương trình đánh giá liều chiếu trong chuyên dụng MONDAL 3.0 [2, 7] sẽ tính được liều hiệu dụng (liều toàn thân) theo hai phương pháp tương ứng là 0,08 μSv và 0,5 μSv [1, 2].

**2.6. Định liều chiếu trong cho một số đối tượng tham gia sản xuất P-32**

**2.6.1. Chuẩn bị và đo hoạt độ mẫu**

Mẫu nước tiểu của các đối tượng tham gia sản xuất đồng vị P-32 được thu góp sau một ngày (sau ngày tiến hành sản xuất P-32) với thể tích từ 100 đến 200 ml. Xử lý sơ bộ và tiến hành tách hóa P-32 như quy trình ở mục 2. Sau đó mẫu được đo hoạt độ beta của P-32 bằng hai phương pháp sau:

- Phương pháp đo nhấp nháy lỏng: thời gian đo 20 phút/mẫu, tính hoạt độ P-32 bằng phép ngoại suy hiệu suất dùng mẫu chuẩn dung dịch C-14 [3, 8].
- Phương pháp đo dùng ống đếm GM [2, 5].

Kết quả xác định hoạt độ P-32 (Bq/ngày) và lượng xâm nhập (Intake – ký hiệu là I) theo đường hít thở được nêu trong bảng 1 [2, 6, 8].

**Bảng 1. Kết xác định hoạt độ P-32 trong mẫu nước tiểu của 2 đối tượng trong 9 đợt sản xuất theo hai phương pháp (Ký hiệu: ống đếm GM “GM”, nhấp nháy lỏng “LSC”, không xác định “NA”)**

TT	Ngày sản xuất P-32	Ngày đo mẫu	Đối tượng	Hoạt độ P-32 trong mẫu nước tiểu (Bq/ngày) và giá trị I (Bq) của 2 đối tượng			
Đợt Lò phản ứng hoạt động ngày 28/6-2/7/2010							
				Hoạt độ P-32 (Bq/ngày)		I (Bq)	
				GM	LSC	GM	LSC
1	4/7/2010	7/7/2010	T.Binh	149,2 ± 15,2	161,5 ± 11,7	3,1E+03	3,3E+03

Đợt Lò phản ứng hoạt động ngày 19-23/7/2010							
				Hoạt độ P-32 (Bq/ngày)		I (Bq)	
				GM	LSC	GM	LSC
2	25/7/2010	27/7/2010	T.Binh	125,8 ± 10,4	140,2 ± 9,7	2,6E+03	2,9E+03
3	25/7/2010	27/7/2010	P.Thọ	70,4 ± 8,1	74,1 ± 6,8	1,4E+03	1,5E+03
Đợt Lò phản ứng hoạt động ngày 9-13/8/2010							
				Hoạt độ P-32 (Bq/ngày)		I (Bq)	
				GM	LSC	GM	LSC
4	15/8/2010	17/8/2010	P.Thọ	60,5 ± 7,2	55,6 ± 5,4	1,2E+03	1,1E+03
Đợt Lò phản ứng hoạt động ngày 6-11/9/2010							
				Hoạt độ P-32 (Bq/ngày)		I (Bq)	
				GM	LSC	GM	LSC
5	14/9/2010	16/9/2010	P.Thọ	210,4 ± 17,2	203,7 ± 12,7	4,3E+03	4,2E+03
Đợt Lò phản ứng hoạt động ngày 4-8/10/2010							
				Hoạt độ P-32 (Bq/ngày)		I (Bq)	
				GM	LSC	GM	LSC
6	11/10/2010	14/10/2010	T.Binh	35,6 ± 6,3	32,1 ± 4,1	7,2E+02	6,6E+02
7	11/10/2010	14/10/2010	P.Thọ	47,3 ± 6,5	52,5 ± 8,4	9,7E+02	1,1E+03
Đợt Lò phản ứng hoạt động ngày 8-12/11/2010							
				Hoạt độ P-32 (Bq/ngày)		I (Bq)	
				GM	LSC	GM	LSC
8	14/11/2010	17/11/2010	T.Binh	179,8 ± 17,2	186,5 ± 14,3	3,7E+03	3,8E+03
9	11/11/2010	17/11/2010	P.Thọ	193,7 ± 17,9	210,5 ± 16,9	4,0E+03	4,3E+03
Đợt Lò phản ứng hoạt động ngày 3-7/01/2011							
				Hoạt độ P-32 (Bq/ngày)		I (Bq)	
				GM	LSC	GM	LSC
10	9/01/2011	12/01/2010	T.Binh	NA	34,2 ± 5,2	NA	7,0E+02
11	9/01/2011	12/01/2010	P.Thọ	NA	30,9 ± 4,7	NA	6,4E+02
Đợt Lò phản ứng hoạt động ngày 17-21/ 01/2011							
				Hoạt độ P-32 (Bq/ngày)		I (Bq)	
				GM	LSC	GM	LSC
12	23/01/2011	26/01/2011	T.Binh	NA	25,8 ± 4,2	NA	5,3E+02
13	23/01/2011	26/01/2011	P.Thọ	NA	28,7 ± 5,4	NA	5,9E+02

Đợt Lò phản ứng hoạt động ngày 14-18/02/2011							
				Hoạt độ P-32 (Bq/ngày)		I (Bq)	
				GM	LSC	GM	LSC
14	20/02/2011	23/02/2011	T.Binh	65,3 ± 8,5	76,4 ± 9,3	1,3E+03	1,6E+03
15	20/02/2011	23/02/2011	P.Thọ	NA	22,6 ± 4,1	NA	4,7E+02

**2.6.2. Đánh giá liều chiếu trong đối với P-32**

Từ giá trị hoạt độ P-32 xác định được (Bq/ngày), tính thời điểm nhân phóng xạ thâm nhập vào cơ thể theo đường hô hấp là 1 ngày (thời điểm từ lúc sản xuất P-32 đến lúc lấy mẫu nước tiểu), sử dụng phần mềm MONDAL 3.0 sẽ tính được lượng hoạt độ thâm nhập theo đường hít thở trong (bảng 1) và liều hiệu dụng gây ra do hít phải P-32.

Kết quả tính liều tổng cộng đối với 15 lần thu góp mẫu của 2 đối tượng được nêu trong bảng 2, trong đó ký hiệu D ( $\mu\text{Sv}$ ) là liều hiệu dụng (theo các đợt thu góp mẫu) của từng đối tượng bị nhiễm P-32. Từ bảng 2 thấy rằng, kết quả nhận được liều hiệu dụng (là liều tích lũy khi một lượng P-32 xâm nhập vào cơ thể dạng tức thời, đã được chương trình MONDAL 3.0 xử lý và tính toán, có tính tới yếu tố phân rã vật lý và đào thải sinh học [1]) có giá trị nằm trong dải tương ứng là 0,79 – 4,80  $\mu\text{Sv}$  theo phương pháp đo dùng ống đếm GM và 0,51 – 4,80  $\mu\text{Sv}$  theo phương pháp đo nhấp nháy lỏng.

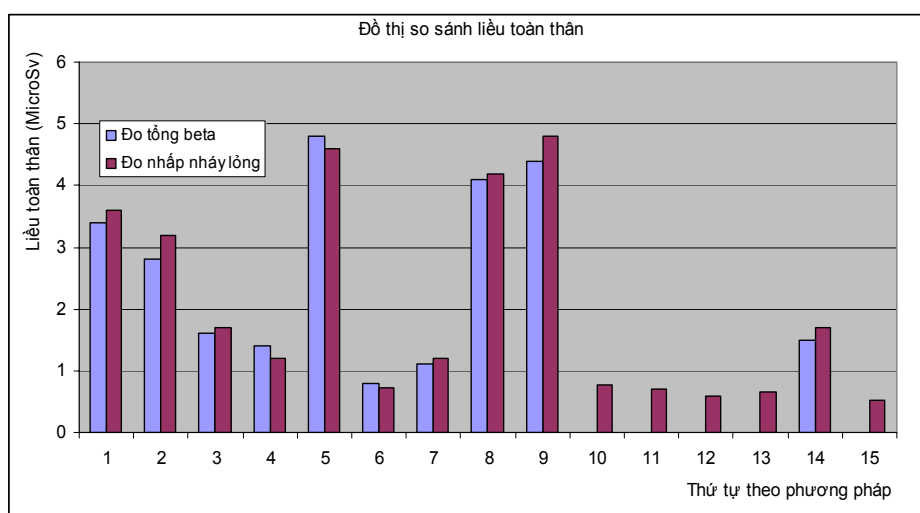
**Bảng 2. Kết quả tính liều hiệu dụng D ( $\mu\text{Sv}$ ) dùng chương trình MONDAL 3.0 theo hai phương pháp (GM và LSC)**

TT	Ngày sản xuất P-32	Ngày đo mẫu	Đối tượng	D ( $\mu\text{Sv}$ )	
				Phương pháp GM	Phương pháp LSC
1	4/7/2010	7/7/2010	T.Binh	3,40	3,60
2	25/7/2010	27/7/2010	T.Binh	2,80	3,20
3	25/7/2010	27/7/2010	P.Thọ	1,60	1,70
4	15/8/2010	17/8/2010	P.Thọ	1,40	1,20
5	14/9/2010	16/9/2010	P.Thọ	4,80	4,60
6	11/10/2010	14/10/2010	T.Binh	0,79	0,72
7	11/10/2010	14/10/2010	P.Thọ	1,10	1,20
8	14/11/2010	17/11/2010	T.Binh	4,10	4,20
9	11/10/2010	17/11/2010	P.Thọ	4,40	4,80
10	9/01/2011	12/01/2010	T.Binh	NA	0,77
11	9/01/2011	12/01/2010	P.Thọ	NA	0,70
12	23/01/2010	26/01/2011	T.Binh	NA	0,58
13	23/01/2010	26/01/2011	P.Thọ	NA	0,65
14	20/02/2011	23/02/2011	T.Binh	1,50	1,70
15	20/02/2011	23/02/2011	P.Thọ	NA	0,51

Từ các giá trị liều hiệu dụng xác định được ở bảng 2 cho thấy tất cả các giá trị này rất thấp (nếu lấy giá trị liều trung bình trong một tháng nhân với 12 tháng để được liều tổng cộng trong một năm) so với liều giới hạn cho phép hàng năm (20 mSv/năm) [1, 2]. Điều này chứng tỏ các đối tượng có bị nhiễm xạ trong khi tiếp xúc với P-32 nhưng vẫn đảm bảo về mặt an toàn bức xạ.

### 2.7. So sánh kết quả định liều

Trong điều kiện phương pháp xử lý hóa và làm giàu mẫu như nhau, phương pháp đo dùng ống đếm GM và phương pháp đo nhấp nháy lỏng cho kết quả định liều có sự sai khác không quá 14% (hình 3). Tại một số đợt sản xuất của tháng 1 và 2 năm 2011, do các đối tượng bị nhiễm P-32 ở mức thấp thấp nên không xác định được liều bằng phép đo dùng ống đếm GM, tuy nhiên có thể phát hiện được bằng phép đo nhấp nháy lỏng. Điều này cho thấy, phương pháp đo nhấp nháy lỏng cho độ nhạy cao hơn so với phương pháp dùng ống đếm GM khi đối tượng bị nhiễm xạ P-32 ở mức hoạt độ thấp.



**Hình 3. So sánh liều hiệu dụng của P-32 đo bằng phương pháp đo dùng ống đếm GM và phương pháp đo nhấp nháy lỏng**

### 3. Kết luận

Từ kết quả thực nghiệm trên thấy rằng phương pháp định liều bằng phép đo nhấp nháy lỏng có độ nhạy và độ chính xác cao so với phương pháp đo dùng ống đếm GM. Việc áp dụng kết quả nghiên cứu để xác định liều cho hai đối tượng (là nhân viên bức xạ) làm việc trực tiếp trên dây chuyền sản xuất P-32 ở Viện trong một số đợt sản xuất P-32 cho thấy liều tổng cộng trung bình theo năm là nhỏ hơn liều giới hạn cho phép. Từ đó, có thể áp dụng quy trình trên để xác định liều chiếu trong cho các nhân viên bức xạ có tiếp xúc với nguồn phóng xạ hờ P-32 ở các cơ sở bức xạ khác cũng như cho các bệnh nhân chẩn đoán và điều trị bằng P-32 ở các cơ sở y tế.



**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Nguyễn Văn Hùng (2003), *Nghiên cứu định liều chiếu trong trên cơ sở phương pháp đo toàn thân và phân tích nước tiểu người*, Luận án Tiến sĩ Vật lý, Bộ GD & ĐT.
2. Phạm Hùng Thái, Nguyễn Văn Hùng và cộng sự (2011), *Nghiên cứu áp dụng quy trình xác định P-32 và I-131 trong nước tiểu bằng phương pháp nhấp nháy lỏng phục vụ định liều chiếu trong*, Báo cáo tổng kết đề tài cấp Cơ sở năm 2010, Viện NLNTVN.
3. D.L. Horrocks (1974), *Application of liquid scintillation counting*, Packard Instrument Co., Inc. Japan.
4. IAEA (2000), *Indirect methods for assessing intakes of radionuclides causing occupational exposure*, Safety reports series No. 18, Vienna, Austria.
5. IAEA (1989), *Measurement of radionuclides in food and environment*, Technical report series, No. 295, Vienna, Austria.
6. NCRP (1987), *Use of bioassay procedures for assessment of intenal radionuclide deposition*, Report No. 87, Bethesda, MD, 20814, UK.
7. N. Ishigure et al (2000), *MONDAL 3.0, a personal computer program for monitoring to dose calculation*, NIRS, Japan.
8. Y. Kobayashi (1987), *Liquid scintillation analysis, science and technology*, Packard Instrument Co., Inc., Japan.

(Ngày Tòa soạn nhận được bài: 26-4-2011; ngày chấp nhận đăng: 13-6-2011)