

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HCM  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**

**NGUYỄN DUY SANG**

**NGHIÊN CỨU BỘT ỚT  
ĐÃ CHIẾU XẠ GAMMA  
BẰNG CƠ CHẾ NHIỆT HUỖNH QUANG**

Ngành: Vật lý nguyên tử và hạt nhân  
Mã số ngành: 62 44 05 01

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ**

**Tp. Hồ Chí Minh – Năm 2019**

Công trình được hoàn thành tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên –  
Đại học quốc gia Tp. Hồ Chí Minh

Người hướng dẫn khoa học:

- 1.HDC: TS. Trần Văn Hùng
2. HDP: PGS. TS. Nguyễn Quốc Hiến

Phản biện 1: PGS. TS. Đỗ Quang Bình

Phản biện 2: PGS. TS. Nguyễn An Sơn

Phản biện 3: TS. Hồ Mạnh Dũng

Phản biện độc lập 1: TS. Hoàng Sỹ Thân

Phản biện độc lập 2: TS. Nguyễn Tất Thắng

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp nhà nước  
hợp tại .....

vào hồi.....giờ.....ngày.....tháng.....năm.....

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

1. Thư viện Tổng hợp Quốc gia Tp.HCM
2. Thư viện Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên - HCM

## MỤC LỤC

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÁT HIỆN THỰC PHẨM ĐÃ CHIẾU XẠ .....     | 2  |
| 1.1. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu .....                                        | 2  |
| 1.2. Công nghệ bức xạ và ứng dụng trong bảo quản thực phẩm .....                 | 2  |
| 1.3. Phát hiện thực phẩm chiếu xạ .....                                          | 3  |
| 1.4. Thiết bị nghiên cứu xác định thực phẩm chiếu xạ .....                       | 4  |
| 1.5. Kết luận chương 1 .....                                                     | 5  |
| CHƯƠNG 2. NHIỆT HUỖNH QUANG VÀ ỨNG DỤNG TRONG PHÁT HIỆN THỰC PHẨM CHIẾU XẠ ..... | 6  |
| 2.1. Cơ chế nhiệt huỳnh quang .....                                              | 6  |
| 2.2. Các mô hình của hiện tượng nhiệt huỳnh quang .....                          | 6  |
| 2.3. Ứng dụng nhiệt huỳnh quang trong phát hiện thực phẩm chiếu xạ .....         | 8  |
| 2.4. Thực nghiệm xử lý mẫu bột ớt .....                                          | 8  |
| 2.5. Kết luận chương 2 .....                                                     | 9  |
| CHƯƠNG 3. CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH VÀ XỬ LÝ PHỔ NHIỆT HUỖNH QUANG .....         | 10 |
| 3.1. Mô phỏng và phân tích phổ nhiệt huỳnh quang .....                           | 10 |
| 3.2. Các phương pháp xác định thông số bẫy .....                                 | 11 |
| 3.3. Xác định các đặc trưng của phổ nhiệt huỳnh quang .....                      | 12 |
| 3.4. Ước lượng liều xạ của mẫu .....                                             | 14 |
| 3.5. Kết luận chương 3 .....                                                     | 14 |
| CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU BỘT ỚT ĐÃ CHIẾU XẠ .....                            | 15 |
| 4.1. Xác định các đặc trưng của phổ nhiệt huỳnh quang của bột ớt .....           | 15 |
| 4.2. Xác định tính chiếu xạ của mẫu dựa trên việc tái chiếu xạ .....             | 16 |
| 4.3. Xác định thông số động học của bột ớt .....                                 | 18 |
| 4.4. Sự phù hợp của phổ nhiệt huỳnh quang theo các mô hình động học ...          | 20 |
| 4.5. Kết luận chương 4 .....                                                     | 21 |

## MỞ ĐẦU

Bằng nhãn quan con người không thể phân biệt được đâu là mẫu thực phẩm đã chiếu xạ. Nhu cầu phải có những thủ tục pháp lý để khẳng định chính xác liệu thực phẩm đã chiếu xạ hay chưa trong thương mại hóa thực phẩm chiếu xạ.

Luận án được thực hiện với mục đích phát hiện bột ớt đã chiếu xạ, đưa ra các kết luận chính xác về mức liều xạ và các đặc trưng về phổ nhiệt huỳnh quang của mẫu bột ớt, từ những phương pháp nghiên cứu này sẽ làm cơ sở để ứng dụng cho các loại thực phẩm khác. Nghiên cứu góp phần tạo tâm lý an tâm của người tiêu dùng đối với thực phẩm chiếu xạ và cho thấy thực phẩm chiếu xạ đúng liều rất an toàn.

Đối tượng nghiên cứu của luận án là phổ nhiệt huỳnh quang của bột ớt. Phương pháp nghiên cứu của luận án là thực nghiệm kết hợp với mô phỏng phân tích và xử lý phổ nhiệt huỳnh quang của bột ớt, các phương pháp kiểm tra tính bảo hòa, xác định chỉ số fading theo thời gian, ước lượng thời gian tồn tại của phổ nhiệt huỳnh quang.

Bố cục của luận án bao gồm: tổng quan về các phương pháp phát hiện thực phẩm đã chiếu xạ, nhiệt huỳnh quang và ứng dụng trong phát hiện thực phẩm chiếu xạ, các phương pháp phân tích và xử lý phổ nhiệt huỳnh quang, kết quả nghiên cứu bột ớt đã chiếu xạ.

Các kết quả thu được đã được công bố trên các tạp chí uy tín trong và ngoài nước. Đặc biệt, có ba công trình được công bố trên hai tạp chí quốc tế uy tín nằm trong danh mục SCIE của Clarivate Analytics: tạp chí “Journal of Taibah University for Science” và tạp chí “Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms”. Bên cạnh việc công bố kết quả nghiên cứu trên các tạp chí, các kết quả thu được trong quá trình thực hiện luận án cũng được chúng tôi báo cáo tại các hội nghị.

## **CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÁT HIỆN THỰC PHẨM ĐÃ CHIẾU XẠ**

### **1.1. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu**

#### **1.1.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới**

Nhiệt huỳnh quang hay nhiệt phát quang (TL) được xem là một trong những phương pháp phát hiện thực phẩm đã chiếu xạ. Nó dựa trên những thay đổi tính chất của các khoáng chất chứa bên trong thực phẩm khi bị chiếu xạ. TL đã phát triển mạnh và là phương pháp được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như đo liều bức xạ bao gồm ứng dụng trong chữa bệnh, phác đồ điều trị của bệnh nhân ung thư, xác định tuổi của cổ vật trong khảo cổ và địa chất, thăm dò khoáng sản, tìm kiếm quặng uranium, nghiên cứu thiên thạch và mặt trời.

Các báo cáo nghiên cứu trên thế giới đã cho thấy tầm quan trọng của việc phải xác định thực phẩm đã chiếu xạ. Trước hết là phân biệt được mẫu thực phẩm đã chiếu xạ hay chưa, sau đó là ước lượng liều xạ và các thông số đặc trưng của phổ TL của mẫu.

#### **1.1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước**

Ở Việt Nam, phát hiện thực phẩm chiếu xạ là vấn đề vẫn chưa được nghiên cứu. Các phương pháp như TL, quang phát quang, electron cộng hưởng vẫn chưa được dùng để phát hiện thực phẩm chiếu xạ. Các thiết bị phục vụ cho phương pháp quang phát quang, electron cộng hưởng rất ít và không được dùng trong xác định thực phẩm. Đối với phương pháp TL, nước ta đã có những hệ đo nhiệt huỳnh quang (TLD) có thể được dùng để đo phổ TL.

### **1.2. Công nghệ bức xạ và ứng dụng trong bảo quản thực phẩm**

#### **1.2.1. Công nghệ bức xạ**

Nghiên cứu và triển khai ứng dụng công nghệ bức xạ ở Việt Nam được bắt đầu vào năm 1980 và chủ yếu được tiến hành tại Viện Nghiên cứu Hạt

nhân Đà Lạt trên cơ sở sử dụng lò phản ứng hạt nhân và nguồn chiếu xạ gamma. Năm 1999, trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ TP. HCM (Vinagamma) đã đưa vào hoạt động thiết bị chiếu xạ nguồn Cobalt-60 công nghiệp. Kể từ đó xuất hiện hàng loạt các cơ sở chiếu xạ trên khắp cả nước.

### **1.2.2. Thực phẩm chiếu xạ gamma**

Thực phẩm chiếu xạ đã được chứng minh là lành tính và mang lại những lợi ích kinh tế - xã hội to lớn. Thực phẩm chiếu xạ gamma là công nghệ sử dụng năng lượng tia gamma để xử lý thực phẩm nhằm nâng cao chất lượng vệ sinh an toàn thực phẩm, nâng cao thời gian bảo quản thực phẩm, khử trùng, diệt khuẩn nhanh. Cùng với sự phát triển nhanh chóng về số lượng thiết bị chiếu xạ, sự chấp nhận và ứng dụng công nghệ bức xạ, hàng loạt các điều, luật, quy định có tính pháp lý của nhà nước đã được ban hành.

## **1.3. Phát hiện thực phẩm chiếu xạ**

### **1.3.1. Các phương pháp phát hiện thực phẩm chiếu xạ**

Việc kiểm soát thực phẩm chiếu xạ trở nên cần thiết hơn khi mà chiếu xạ thực phẩm ngày càng được ứng dụng và thương mại hóa rộng rãi. Trong thực tế, thật khó để đưa ra một phương pháp phát hiện thực phẩm chiếu xạ một cách tối ưu nhất. Mỗi phương pháp phát hiện thực phẩm dựa trên những thay đổi về mặt vật lý, hóa học và sinh học của mẫu thực phẩm.

### **1.3.2. Lựa chọn phương pháp và thực phẩm cho nghiên cứu**

Các phương pháp vật lý xác định thực phẩm đã chiếu xạ bao gồm phương pháp quang phát quang (PL), nhiệt huỳnh quang (TL) và electron cộng hưởng (ESR). Tuy nhiên với điều kiện trong nước chỉ có các hệ đo TLD phục vụ cho nghiên cứu phát hiện thực phẩm chiếu xạ, phương pháp TL được lựa chọn.

Phương pháp TL về nguyên tắc có thể được áp dụng để xác định thực phẩm đã chiếu xạ đối với bất kỳ loại thực phẩm nào có khoáng chất silicat có

thể tách được. Giới hạn phát hiện và độ ổn định của phương pháp phụ thuộc vào số lượng và chủng loại khoáng thu được từ các mẫu riêng lẻ và dải nhiệt độ của phổ TL được chọn để phân tích. Thực phẩm được chọn đảm bảo các nguyên tắc sao cho việc tách khoáng chất được thực hiện tốt nhất.

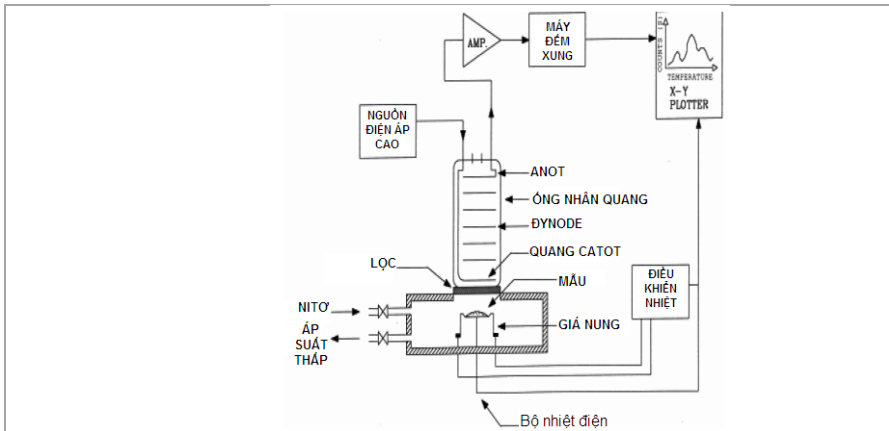
## 1.4. Thiết bị nghiên cứu xác định thực phẩm chiếu xạ

### 1.4.1. Thiết bị chiếu xạ gamma

Nguồn bức xạ tạo ra năng lượng bức xạ ion hóa đi xuyên qua thực phẩm giúp cho thực phẩm được bảo quản lâu hơn. Trong nghiên cứu, thiết bị được sử dụng để chiếu xạ thực phẩm là thiết bị SVST Co-60/B hoạt động theo kiểu hàng hoá được xử lý di chuyển bao quanh bản nguồn cố định Cobalt-60. Thiết bị do Hungary thiết kế và chế tạo được đặt ở Vinagamma.

### 1.4.2. Hệ đo nhiệt huỳnh quang

Hệ đo nhiệt huỳnh quang (TLD) là kết quả của việc ứng dụng phương pháp TL, thường dùng để xác định liều bức xạ và định liều cá nhân, giám sát môi trường hoặc xác định liều trong y khoa. Trong nghiên cứu phát hiện thực phẩm chiếu xạ, hệ đo TLD được sử dụng để phân biệt thực phẩm đã chiếu xạ hay chưa, ước lượng liều xạ và các thông số đặc trưng của phổ TL mà hệ đo được. Sơ đồ bố trí hệ đo TLD được cho bởi Hình 1.1.



**Hình 1.1.** Sơ đồ nguyên lý hệ đo TLD

Hệ đo TLD làm việc bởi sự nung nóng vật liệu TL và đo lượng ánh sáng phát ra từ bức xạ photon thông qua quá trình kích thích bẫy electron ở vùng cấm của tinh thể. Các mẫu khoáng được đặt trên giá nung và được đun nóng thông qua bộ nhiệt điện. Ánh sáng phát ra từ mẫu được cho đi qua bộ lọc sau đó được cho qua ống nhân quang. Ống nhân quang là nơi chuyển đổi thông lượng ánh sáng phát ra từ mẫu sang tín hiệu electron. Bên trong ống nhân quang, những photon tương tác với âm cực quang, năng lượng từ những photon được âm cực quang hấp thụ và chuyển đổi thành tín hiệu electron. Ống nhân quang có các dương cực phụ, sau khi khuếch đại trong khoảng giữa dương cực phụ, electron bị hút về dương cực và được ghi nhận thông qua máy đếm xung. Phổ TL thu được thông qua số đếm xung theo nhiệt độ.

### **1.5. Kết luận chương 1**

Trong chương này, luận án đã trình bày tổng quan về các vấn đề liên quan đến TL, tình hình sử dụng công nghệ bức xạ trong nước và trên thế giới, ứng dụng công nghệ bức xạ trong bảo quản thực phẩm.

Với những nghiên cứu ban đầu cho thấy chiếu xạ thực phẩm là phương pháp hữu ích và tiết kiệm trong bảo quản thực phẩm. Việc chiếu xạ đúng liều giúp thực phẩm tươi, sạch và an toàn, tạo tâm lý an tâm của người tiêu dùng đối với thực phẩm chiếu xạ.

Luận án đã trình bày các phương pháp chủ yếu để xác định thực phẩm chiếu xạ, lựa chọn phương pháp và mẫu thực phẩm phù hợp, các thiết bị cần thiết cho nghiên cứu.

Kết quả cho thấy, việc nghiên cứu phát hiện thực phẩm chiếu xạ theo cơ chế TL cần dựa trên cơ sở các tiêu chuẩn EN 1788 và TCVN 7412. Trong đó hai yếu tố quyết định sự thành công của phương pháp bao gồm việc lựa chọn mẫu chứa khoáng chất có thể tách được và phải có hệ đo TLD phù hợp.

## CHƯƠNG 2. NHIỆT HUỖNH QUANG VÀ ỨNG DỤNG TRONG PHÁT HIỆN THỰC PHẨM CHIẾU XẠ

### 2.1. Cơ chế nhiệt huỳnh quang

#### 2.1.1. Hiện tượng nhiệt huỳnh quang

Nhiệt huỳnh quang hay nhiệt phát quang (TL) là hiện tượng phát ra ánh sáng từ vật liệu (bao gồm chất cách điện hoặc chất bán dẫn) được nung nóng khi mà trước đó vật liệu đã được chiếu xạ một cách có chủ đích hay tình cờ bởi các bức xạ ion hóa.

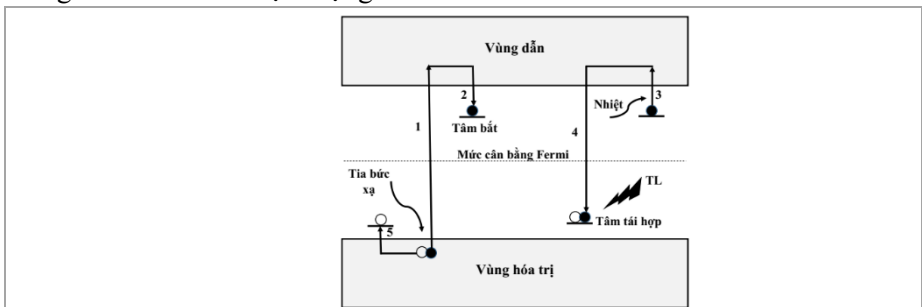
Các yếu tố đảm bảo cho việc phát tín hiệu TL: vật liệu phải là chất bán dẫn hoặc chất cách điện, kim loại không phát ra tín hiệu TL, vật liệu phải có thời gian để hấp thụ đủ năng lượng khi được phơi chiếu bức xạ và được nung nóng để phát tín hiệu TL.

#### 2.1.2. Cơ chế đơn giản giải thích hiện tượng nhiệt huỳnh quang

Cơ chế đơn giản để giải thích hiện tượng TL dựa trên lý thuyết vùng năng lượng và mô hình nguyên tử cô lập, nguyên tử chất bán dẫn hoặc chất cách điện có vùng hóa trị, vùng dẫn và ở giữa là vùng cấm.

### 2.2. Các mô hình của hiện tượng nhiệt huỳnh quang

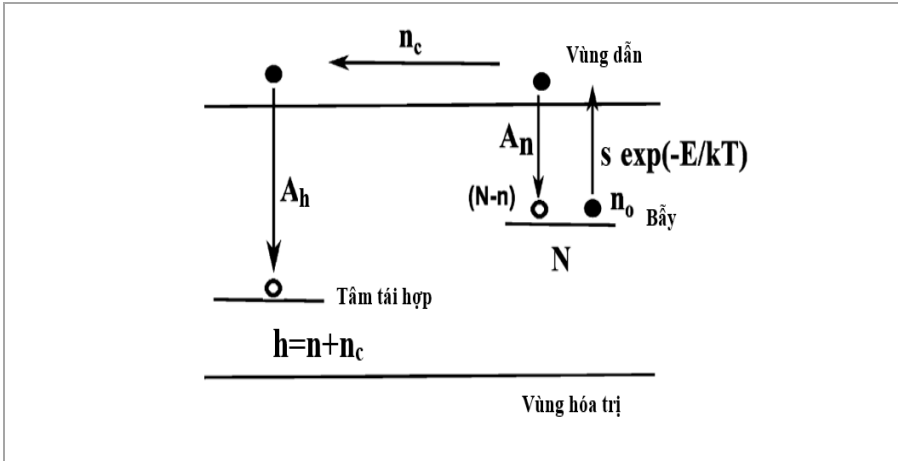
Hiện tượng TL bắt nguồn từ sự dịch chuyển của các electron và lỗ trống đến các mức năng lượng được tạo ra do sự sai khác về mặt cấu trúc tinh thể - các khuyết tật của vật liệu. Hình 2.1 là sơ đồ cấu trúc vùng năng lượng đơn giản nhất mô tả hiện tượng TL.



**Hình 2.1.** Giản đồ vùng năng lượng mô tả hiện tượng TL

### 2.2.1. Mô hình một bẫy và một tâm tái hợp

Mô hình đơn giản được sử dụng trong nghiên cứu TL là mô hình có hai mức năng lượng bao gồm một bẫy và một tâm tái hợp còn được gọi là mô hình hai mức (OTOR) được mô tả bởi Hình 2.2. Các ký hiệu được sử dụng trong mô hình này bao gồm:  $N$  là tổng mật độ ( $\text{cm}^{-3}$ ),  $n$  là mật độ electron tại bẫy ( $\text{cm}^{-3}$ ),  $n_0$  là mật độ electron ban đầu tại bẫy ( $\text{cm}^{-3}$ ),  $n_c$  là mật độ hạt mang điện tự do trong vùng dẫn ( $\text{cm}^{-3}$ ),  $h$  là mật độ lỗ trống tại tâm tái hợp ( $\text{cm}^{-3}$ ),  $E$  là năng lượng bẫy (eV),  $s$  là tần số thoát ( $\text{s}^{-1}$ ),  $A_n$  là hệ số bắt tại bẫy hay còn được gọi là xác suất tái bẫy ( $\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$ ),  $A_h$  là hệ số tái hợp tại tâm tái hợp hay còn được gọi là xác suất tái hợp ( $\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$ ),  $I$  là cường độ phát TL.



**Hình 2.2.** Giản đồ năng lượng mô tả mô hình hai mức (OTOR)

### 2.2.2. Mô hình động học bậc một

Mô hình bậc một (mô hình Randall Wilkins) là trường hợp riêng của mô hình OTOR (trong vùng cấm chỉ tồn tại một loại tâm bắt và tâm tái hợp) xảy ra khi xác suất tái bẫy không đáng kể so với xác suất tái hợp tức là các electron bị kích thích bởi nhiệt và thoát khỏi tâm bắt chuyển lên vùng dẫn và tái hợp ngay với các lỗ trống ở tâm tái hợp.

### 2.2.3. Mô hình động học bậc hai

Mô hình động học bậc hai (còn gọi là mô hình Garlick Gibson) cũng là trường hợp riêng của mô hình OTOR khi xác suất tái hợp và xác suất tái bẫy bằng nhau.

#### **2.2.4. Mô hình động học bậc tổng quát**

Hai mô hình động học bậc một và bậc hai đều là trường hợp riêng của mô hình OTOR dựa vào những giả thiết khác nhau. Để khắc phục giới hạn của hai mô hình động học bậc một và bậc hai, mô hình động học trung gian được đưa ra với giả thiết cường độ phát quang của vật liệu tỷ lệ với mật độ ban đầu  $n_0$  bị bắt tại bẫy theo một bậc  $b$  nào đó mà  $b$  có giá trị nằm giữa 1 và 2 gọi là mô hình bậc tổng quát (GOK) (còn gọi là mô hình May Partridge)

### **2.3. Ứng dụng nhiệt huỳnh quang trong phát hiện thực phẩm chiếu xạ**

#### **2.3.1. Nguyên tắc đo phổ nhiệt huỳnh quang**

Các mẫu thực phẩm có lẫn các chất khoáng có thể tách khoáng được. Sau khi chiếu xạ, các khoáng chất hấp thụ đủ năng lượng sẽ gây ra quá trình ion hóa các electron hóa trị tạo ra các electron tự do trong vùng dẫn và các lỗ trống tự do trong vùng hóa trị. Các electron tự do có thể bị bẫy tại bẫy electron. Nếu electron tại bẫy này hấp thụ đủ năng lượng khi mẫu được nâng nhiệt nó sẽ quay trở lại vùng dẫn. Sự tái hợp sẽ tạo ra các đường TL đặc trưng dựa vào việc hủy các lỗ trống bị bẫy bởi các electron tự do và các lỗ trống bị bẫy ở tâm tái hợp.

#### **2.3.2. Quy trình tách khoáng thực phẩm chiếu xạ**

Các tiêu chuẩn liên quan đến việc xác định thực phẩm chiếu xạ: tiêu chuẩn quốc tế EN 1788 và tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7412. Theo các tiêu chuẩn này, thực phẩm muốn được phát hiện đã chiếu xạ thì thực phẩm đó phải đảm bảo tách khoáng và đo được phổ TL trên hệ đo TLD.

### **2.4. Thực nghiệm xử lý mẫu bột ớt**

#### **2.4.1. Quy trình tách khoáng của mẫu bột ớt**

Để có thể đo được phổ TL trên hệ đo TLD, các mẫu bột ốt cần được bảo quản và xử lý theo một qui trình tách khoáng hợp lý.

#### **2.4.2. Đo phổ nhiệt huỳnh quang của mẫu bột ốt**

Trước khi đo mẫu khoáng chất, hệ TLD được khởi động và cài đặt. Các phép đo được thiết lập ở tốc độ gia nhiệt  $5^{\circ}\text{C/s}$ , thời gian đo 30 giây cho mỗi phép đo. Các mẫu khoáng chất sau khi được tách khoáng sẽ được cân định lượng, mỗi mẫu cỡ 10 mg được đặt vào khay chứa của hệ đo TLD.

#### **2.4.3. Nhận xét**

Theo qui trình tách khoáng bột ốt, bắt buộc sử dụng hóa chất là dung dịch natri polytungstate để tách tỷ trọng. Thực tế cho thấy, hóa chất này khá khan hiếm nên việc tái chế polytungstate là cần thiết để có thể tái sử dụng nhằm tách các khoáng chất tiếp theo. Với khoáng chất của mẫu bột ốt đã kích nhiệt và đo trên hệ đo TLD một lần thì không thể tái chiếu xạ sau đó kích nhiệt và đo lại lần nữa. Nguyên nhân là do sau khi kích nhiệt, trong mẫu khoáng chất vẫn còn một lượng nhỏ chất hữu cơ sẽ bị cháy và không thể đo được phổ TL.

### **2.5. Kết luận chương 2**

Chương này trình bày tổng quan về các phương pháp phát hiện thực phẩm đã chiếu xạ, đưa ra một số khái niệm liên quan đến hiện tượng TL, các mô hình động học: mô hình hai mức, mô hình bậc một, mô hình bậc hai và mô hình bậc tổng quát. Dựa trên các mô hình động học để giải thích các tính chất đặc trưng của phổ TL. Luận án cũng trình bày qui trình tách khoáng từ thực phẩm và tách khoáng từ bột ốt. Việc tách khoáng thành công từ thực phẩm đóng vai trò quyết định trong phát hiện thực phẩm chiếu xạ.

## CHƯƠNG 3. CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH VÀ XỬ LÝ PHỔ NHIỆT HUỖNH QUANG

### 3.1. Mô phỏng và phân tích phổ nhiệt huỳnh quang

#### 3.1.1. Chương trình R

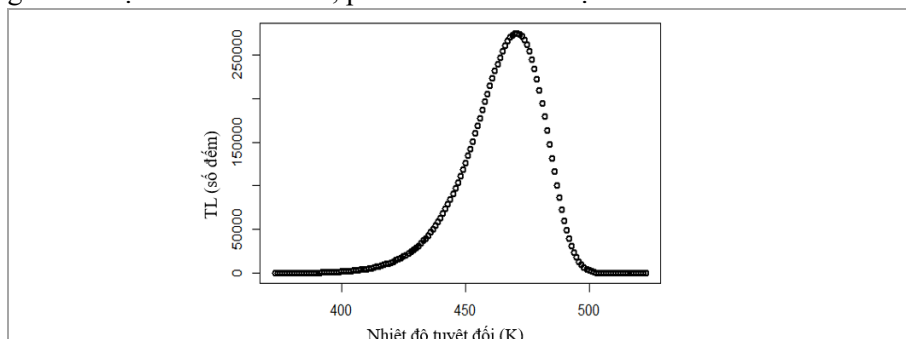
Chương trình R được đề xuất bởi Ihaka và Gentleman là phần mềm mã nguồn mở chạy trên nhiều hệ điều hành khác nhau. Các thông tin liên quan đến chương trình R có thể tham khảo tại địa chỉ <http://www.r-project.org>.

#### 3.1.2. Gói thư viện TGCD của chương trình R

Gói thư viện TGCD được các nhà phát triển đưa trực tuyến trên mạng internet, thường xuyên được kiểm tra, nâng cấp nhằm giảm thiểu sai số và đạt hiệu quả trong phân tích phổ TL. Gói thư viện TGCD được dùng để mô phỏng, phân tích và xử lý phổ TL. Gói thư viện TGCD dùng phương pháp GCD để giải chấp phổ TL với một đỉnh hoặc tách đỉnh phổ TL từ nhiều đỉnh.

#### 3.1.3. Mô phỏng phổ nhiệt huỳnh quang theo các thông số ban đầu

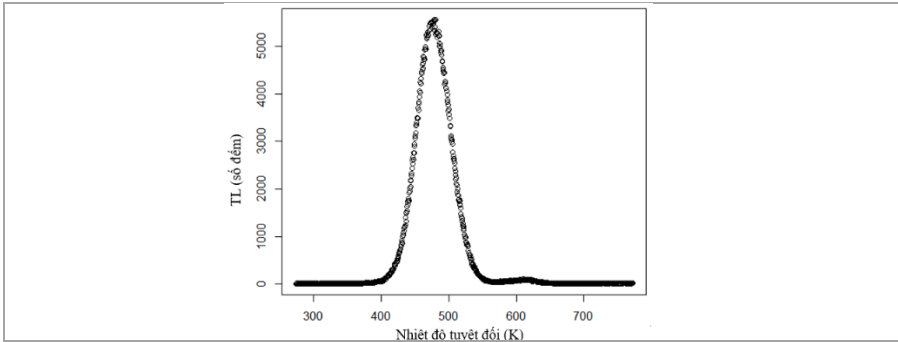
Phổ TL được mô phỏng dựa trên gói TGCD theo mô hình OTOR. Các thông số cho mô phỏng phổ TL là  $E$ ,  $\beta$ ,  $s$ ,  $A_n$ ,  $A_h$ ,  $n_0$  và  $N$  được lấy từ gói thư viện TGCD. Khi đó, phổ TL của mẫu được cho bởi Hình 3.1.



**Hình 3.1.** Mô phỏng phổ TL dạng đỉnh đơn

#### 3.1.4. Phân tích phổ nhiệt huỳnh quang thực nghiệm

Ứng dụng gói thư viện TGCD của chương trình R đối với phổ TL (KL1) dạng đỉnh đơn được lấy từ chính thư viện này và cho bởi Hình 3.2.



**Hình 3.2. Phổ TL của mẫu KL1**

### **3.2. Các phương pháp xác định thông số bẫy**

#### **3.2.1. Phân tích phổ TL bằng cách lấy gia tăng ban đầu**

Garlick và Gibson đưa ra phương pháp gia tăng ban đầu (IR) để xác định giá trị năng lượng bẫy. Phương pháp IR dựa trên cơ sở phổ TL trong giai đoạn gia tăng ban đầu của đỉnh phát quang, cường độ TL tỷ lệ thuận với hàm mũ của năng lượng bẫy theo dạng:  $I_{TL} \propto \exp(-E/kT)$ . Đồ thị liên quan giữa  $\ln(I_{TL})$  và  $1/kT$  cho phép xác định giá trị của năng lượng bẫy.

#### **3.2.2. Phân tích phổ TL bằng cách lấy toàn bộ đỉnh**

Phân tích phổ TL bằng cách lấy toàn bộ đỉnh (WGP) dựa trên cách tính diện tích của phổ TL của một đỉnh. Tích phân  $n(T)$  của phổ TL trong một khoảng nhiệt độ từ  $T_0$  ở đoạn đầu của sự gia tăng cho đến nhiệt độ cuối  $T_f$  tại đó đường TL kết thúc chia cho tốc độ gia nhiệt sẽ cho giá trị  $n$  ở nhiệt độ  $T_0$ . Đồ thị gồm  $\ln(I/n^b)$  và  $1/kT$  là một đường thẳng có hệ số góc là  $-E$ . Nếu biết trước bậc động học  $b$  có thể tính được giá trị năng lượng bẫy. Khi  $b$  chưa biết có thể vẽ một số đường thẳng để chọn giá trị  $b$  cho hợp lý. Ở đây, giá trị năng lượng được tính toán sau khi làm khớp theo dạng đường thẳng.

#### **3.2.3. Phân tích phổ nhiệt huỳnh quang dựa vào hình dạng đỉnh**

Phương pháp phân tích phổ TL dựa vào hình dạng đỉnh (PS) còn có tên là phương pháp Chen được sử dụng để xác định các thông số động học của phổ TL. Dựa vào việc cường độ TL tăng hoặc giảm quanh đỉnh phổ mà

theo Chen có thể xác định được các thông số động học. Phương pháp này dựa trên nhiệt độ cực đại  $T_m$ , nhiệt độ ban đầu  $T_1$  và nhiệt độ cuối  $T_2$ . Hai giá trị  $T_1$  và  $T_2$  được lấy ở một nửa cường độ TL cực đại  $I_m$ .

### 3.2.4. Phương pháp giải chập phổ nhiệt huỳnh quang

Phương pháp giải chập (GCD) được dùng trong phân tích phổ TL thực nghiệm. Trong đó, hai giá trị đo được từ thực nghiệm là cường độ TL cực đại  $I_m$  và nhiệt độ cực đại  $T_m$  được giải chập theo các mô hình động học.

### 3.2.5. Sai số và độ chính xác trong phép phân tích phổ TL

Sai số của giá trị năng lượng trong phép phân tích phổ TL liên quan đến sai số của việc làm khớp phổ dạng đường thẳng được cho bởi:

$$\sigma_E^2 = \left\{ \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \right\} \frac{\sum x_i^2}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3.1)$$

trong đó,  $n$  số các bộ số liệu có được để làm khớp,  $a$ ,  $b$  là các hằng số của đường thẳng cần làm khớp, độ lớn của  $a$  chính là giá trị năng lượng bẫy,  $(x_i, y_i)$  là bộ số liệu tương ứng của trục hoành và trục tung trong đồ thị cần làm khớp. Khi đó  $\sigma_E$  là sai số của giá trị năng lượng bẫy.

Đối với các phương pháp GCD, độ chính xác của quá trình giải chập phổ TL được đánh giá qua hệ số FOM được cho bởi:

$$FOM = \frac{\sum_p |y_{ex} - y_{fit}|}{\sum_p y_{fit}} \quad (3.2)$$

trong đó,  $y_{ex}$  là cường độ TL thực nghiệm,  $y_{fit}$  là cường độ TL theo hàm động học cần giải chập. Hệ số FOM càng nhỏ thì phổ TL được giải chập càng gần với phổ thực nghiệm.

## 3.3. Xác định các đặc trưng của phổ nhiệt huỳnh quang

### 3.3.1. Phương pháp xóa nhiệt

Phương pháp xóa nhiệt cho phép xóa các đỉnh phổ TL trước, đỉnh nằm ở nhiệt độ thấp hơn. Mẫu được nâng lên đến nhiệt độ vượt quá nhiệt độ ở đỉnh  $T_m$  để làm trống hết các bẫy của đỉnh này. Sau đó làm lạnh nhanh mẫu, xóa nhiệt và quét nhiệt lại từ đầu. Bằng cách lần lượt áp dụng cách xóa nhiệt

nêu trên cho từng đỉnh nằm ở nhiệt độ thấp lên đến nhiệt độ cao ta có thể tìm được các nhiệt độ cho các đỉnh.

### **3.3.2. Kiểm tra tính bão hòa của mẫu**

Để kiểm tra xem mẫu đã bão hòa hay chưa, một phương pháp bán thực nghiệm dựa trên việc làm khớp phổ TL bằng hai mô hình GOK và OTOR được đưa ra. Để đưa ra kết luận về tính bão hòa của mẫu ứng với liều xạ tương ứng, tiến hành so sánh giá trị  $n_0$  và  $N$ , nếu hai giá trị này khác nhau nhiều có nghĩa là mẫu vẫn chưa bão hòa. Còn nếu hai giá trị  $n_0$  và  $N$  gần bằng nhau có thể mẫu đã đạt được trạng thái bão hòa.

#### **3.3.2.1. Kiểm tra tính bão hòa của mẫu mô phỏng**

Mẫu bão hòa (GL1) và chưa bão hòa (GL2) được mô phỏng và tính toán theo mô hình OTOR. Kết quả tính toán cho thấy các mẫu này phù hợp với điều kiện đã mô phỏng ban đầu.

#### **3.3.2.2. Tính bão hòa của mẫu thực nghiệm**

Sử dụng phổ thực nghiệm TLD-100 từ dự án GLOCANIN để xác định tính bão hòa. Kết quả sau khi giải chấp phổ TL cho thấy, tất cả các đỉnh đều cho tỷ số  $n_0/N$  gần bằng 1, vì thế các đỉnh phổ TL của mẫu TLD-100 đều đạt trạng thái gần như bão hòa.

### **3.3.3. Hiện tượng suy giảm cường độ nhiệt huỳnh quang**

Hiện tượng suy giảm cường độ TL (gọi tắt là fading) là hiện tượng mà cường độ đỉnh phổ TL giảm theo thời gian bảo quản do tác động của các điều kiện môi trường bao gồm: nguồn bức xạ, nhiệt độ, ánh sáng, bức xạ vũ trụ và thời gian bảo quản mẫu. Chỉ số fading được cho bởi:

$$p = -\frac{1}{t} \ln\left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right) \quad (3.3)$$

#### **3.3.4. Ước lượng thời gian sống của bẫy nhiệt huỳnh quang**

Trên thực tế, các vật liệu sau khi được tách khoáng không phải lúc nào cũng đo được phổ TL. Các phổ TL sẽ chỉ tồn tại một thời gian thì tín hiệu TL sẽ mất đi và không thể đo được phổ TL. Trong nghiên cứu TL, thời gian sống

(Lifetime) của electron ở bẫy TL quyết định việc phổ TL còn có thể đo được hay không. Singh and Gartia đưa ra phương pháp tính thời gian sống theo mô hình động học bậc tổng quát (GOK):

$$\tau = \frac{\exp(\frac{E}{kT})}{s(2-b)} \quad (3.4)$$

Sử dụng số liệu thực nghiệm mẫu TLD-100 của dự án GLOCANIN. Các giá trị bán thời gian sống của từng đỉnh TL đều rất lớn. Điều này cho thấy, phổ TL của hai mẫu TLD-100 có thể tồn tại rất lâu qua nhiều năm.

### 3.4. Ước lượng liều xạ của mẫu

Phương pháp này còn được gọi là phương pháp thêm liều, sau khi được chiếu xạ lần đầu, mẫu được tách khoáng để lấy khoáng chất đo cường độ TL. Mẫu sau đó được chiếu xạ lần nữa với các mức liều xạ lần lượt là 1 kGy, 1,5 kGy, 2 kGy rồi lại được xử lý tách khoáng lần nữa để đo cường độ TL. Hàm ước lượng có phương trình:

$$TL(D) = a \left[ 1 - \exp\left(-\frac{D+b}{c}\right) \right] \quad (3.5)$$

Trong đó a, b và c là các hằng số được ước lượng dựa trên việc làm khớp bằng chương trình Origin, phương pháp được đánh giá qua hệ số tin cậy  $R^2$ . Hệ số này càng gần 1 thì việc ước lượng càng chính xác. Giá trị b cho phép ước lượng liều  $D_0$  (TL=0 khi  $D = -b$ ).

### 3.5. Kết luận chương 3

Chương này trình bày các phương pháp phân tích và xử lý phổ TL. Phổ TL được mô phỏng bằng chương trình R và gói thư viện TGCD. Các phương pháp được đưa ra bao gồm cách xóa nhiệt để tìm vị trí đỉnh phổ TL, sự bão hòa và chỉ số fading, xác định thời gian thời gian sống, phương pháp thêm liều.

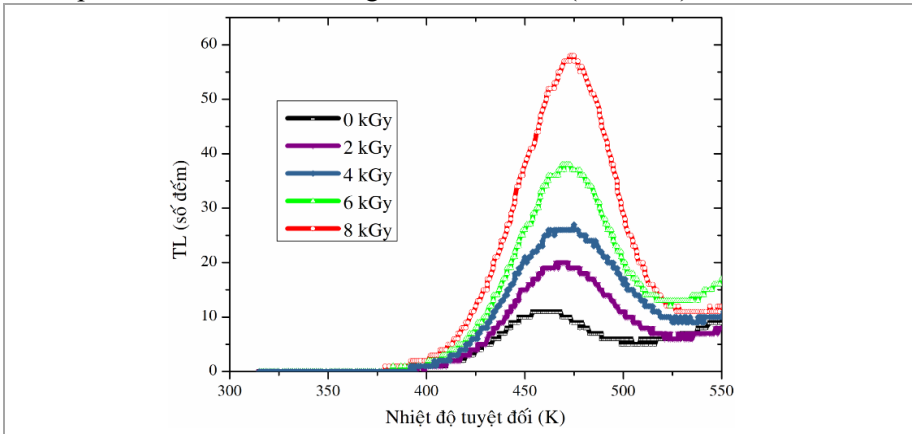
Thông qua các phương pháp xử lý phổ bao gồm: IR, WGP, PS và GCD để xác định các thông số bẫy TL như năng lượng bẫy, tần số thoát, bậc động học và tỷ số tái hợp và tái bẫy.

## CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU BỘT ỚT ĐÃ CHIẾU XẠ

### 4.1. Xác định các đặc trưng của phổ nhiệt huỳnh quang của bột ớt

#### 4.1.1. Phân biệt các mẫu bột ớt dựa vào vị trí đỉnh phổ TL

Để phân biệt mẫu bột ớt đã qua chiếu xạ hoặc chưa chiếu xạ, các mẫu bột ớt sau khi được tách khoáng sẽ được đo trên hệ đo TLD. Kết quả cho thấy, cường độ TL tăng dần theo liều xạ, mẫu không chiếu xạ cường độ TL rất thấp, mẫu đã chiếu xạ cường độ TL cao hơn (Hình 4.1).



**Hình 4.1.** Phổ TL của mẫu bột ớt được chiếu xạ với liều xạ khác nhau

#### 4.1.2. Ước lượng thời gian tồn tại phổ TL của mẫu bột ớt

##### 4.1.2.1. Xác định chỉ số fading của mẫu bột ớt

Để khảo sát fading theo thời gian, các mẫu bột ớt được tách khoáng và được đo trên hệ đo TLD ít nhất hai lần đo sau khoảng thời gian 15 ngày. Chỉ số fading của mẫu bột ớt được tính theo mô hình động học bậc nhất và kết quả được cho bởi Bảng 4.1.

**Bảng 4.1.** Chỉ số fading theo thời gian bảo quản của mẫu bột ớt

| Liều xạ (kGy)    | 0      | 2      | 4      | 6      | 8      |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 15 ngày (số đếm) | 2504   | 4173   | 4850   | 6108   | 7304   |
| 30 ngày (số đếm) | 1980   | 3212   | 4184   | 4975   | 5923   |
| Chỉ số fading    | 1,56 % | 1,74 % | 0,98 % | 1,36 % | 1,39 % |

Kết quả sau 15 ngày, với mỗi mẫu bột ốt, cường độ TL giảm ít, chỉ số fading giảm không quá 2%, cho thấy phổ TL của mẫu bột ốt vẫn còn có thể đo được trong điều kiện bảo quản thương mại kéo dài đến vài tháng.

#### **4.1.2.2. Xác định thời gian sống tại bẫy TL của mẫu bột ốt**

Thời gian sống của electron tại bẫy TL của mẫu bột ốt theo mô hình GOK được tính toán thông qua các thông số E, b, s. Các giá trị thời gian sống của mẫu bột ốt được tính theo đơn vị giờ được chuyển đổi qua đơn vị ngày để xác định thời gian còn có thể đo phổ TL theo đơn vị ngày. Thời gian sống nhỏ nhất của mẫu bột ốt thuộc về mẫu bột ốt chiếu xạ 8 kGy bảo quản 30 ngày là 3264 giờ tức là khoảng 136 ngày (hơn 4,5 tháng). Như vậy, với các mẫu bột ốt đã chiếu xạ, thời gian có thể đo được phổ TL có thể kéo dài đến hơn 4,5 tháng.

#### **4.1.3. Kết luận về sự bão hòa của mẫu bột ốt**

Các mẫu bột ốt đã chiếu xạ được xác định tính bão hòa dựa trên chương trình R và gói thư viện TGCD. Các kết quả xác định tính bão hòa được cho bởi Bảng 4.2.

**Bảng 4.2.** Kiểm tra tính bão hòa của các mẫu bột ốt

| Mẫu           | 0 kGy | 2 kGy | 4 kGy | 6 kGy | 8 kGy |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tỷ số $n_0/N$ | 0,45  | 0,51  | 0,62  | 0,85  | 0,91  |

Các kết quả cho thấy, tỷ số  $n_0/N$  chưa bằng 1. Do đó, các mẫu bột ốt được chiếu xạ với liều xạ lên đến 8 kGy vẫn chưa đạt đến trạng thái bão hòa.

### **4.2. Xác định tính chiếu xạ của mẫu dựa trên việc tái chiếu xạ**

#### **4.2.1. Phân biệt mẫu bột ốt đã chiếu xạ**

Kết quả phân biệt các mẫu bột ốt không chiếu xạ, đã chiếu xạ với liều xạ từ 2 kGy trở lên được cho bởi Bảng 4.3. Trong đó, những mẫu bột ốt được phân biệt là đã chiếu xạ thì đánh dấu (+), ngược lại những mẫu bột ốt được chưa chiếu xạ thì đánh dấu (-).

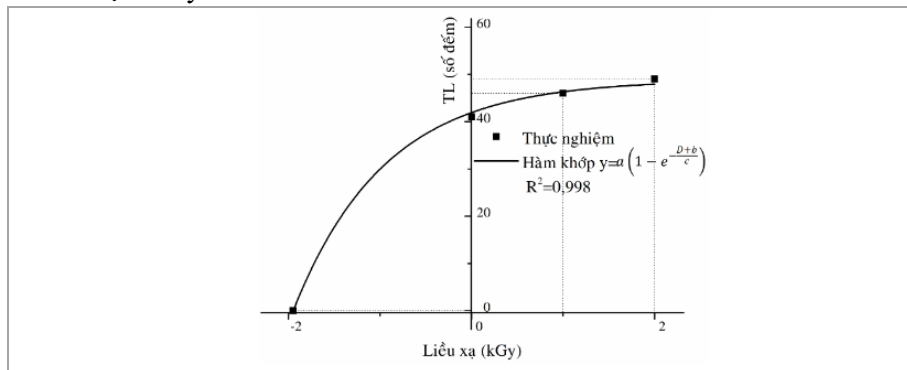
**Bảng 4.3.** Phân biệt mẫu bột ốt đã chiếu xạ bằng phương pháp tỷ lệ

| Mẫu | Liều xạ (kGy) | TL1<br>(số đếm) | TL2<br>(số đếm) | TL1/TL2 | Kết quả |
|-----|---------------|-----------------|-----------------|---------|---------|
| 1   | 0             | 91              | 2169            | 0,04    | (-)     |
| 2   | 2             | 1669            | 2475            | 0,67    | (+)     |
| 3   | 4             | 2346            | 2853            | 0,82    | (+)     |
| 4   | 6             | 3604            | 3517            | 1,02    | (+)     |
| 5   | 8             | 4801            | 4121            | 1,16    | (+)     |
| 6   | Chưa biết 1   | 87              | 1425            | 0,06    | (-)     |
| 7   | Chưa biết 2   | 4762            | 4899            | 0,97    | (+)     |

Kết quả cho thấy, việc sử dụng phương pháp tỷ lệ để phân biệt mẫu bột ốt đã chiếu xạ hay chưa chiếu xạ là phù hợp. Kết quả nghiên cứu tương đồng với nghiên cứu của Elahi và cộng sự.

#### 4.2.2. Ước lượng liều xạ của mẫu bột ốt

Dùng phương pháp ước lượng với mẫu bột ốt đã chiếu xạ với liều xạ 2 kGy và sau đó tái chiếu xạ mẫu này ở 1 kGy và 2 kGy, thu được kết quả như Hình 4.2. Kết quả cho thấy giá trị ước lượng liều xạ của mẫu bột ốt là 1,98 kGy, cho hệ số tin cậy  $R^2=0,998$ . Vì vậy, có thể kết luận mẫu bột ốt này có liều xạ 2 kGy.

**Hình 4.2.** Ước lượng mẫu bột ốt với liều xạ 2 kGy

Thực hiện phương pháp ước lượng với tất cả các mẫu bột ớt được chiếu xạ với liều xạ từ 2 kGy trở lên và các mẫu bột ớt chưa biết trước liều xạ, kết quả được cho bởi Bảng 4.4.

**Bảng 4.4.** Kết quả xác định liều xạ của bột ớt

| Mẫu | Liều thực (kGy) | Liều ước lượng (kGy) | R <sup>2</sup> |
|-----|-----------------|----------------------|----------------|
| 1   | 0               | 0,01 ± 0,03          | 0,996          |
| 2   | 2               | 1,98 ± 0,12          | 0,998          |
| 3   | 4               | 4,12 ± 0,14          | 0,998          |
| 4   | 6               | 5,81 ± 0,20          | 0,997          |
| 5   | 8               | 7,83 ± 0,19          | 0,995          |
| 6   | Chưa biết 1     | 0,01 ± 0,11          | 0,996          |
| 7   | Chưa biết 2     | 9,81 ± 0,16          | 0,997          |

Kết quả cho thấy, các mẫu bột ớt được ước lượng gần với liều xạ thực tế, hệ số tin cậy luôn lớn hơn 0,995. Việc ước lượng liều xạ cho mẫu rau thơm (oregano) được D'Oca và cộng sự cho bởi Bảng 4.5. Kết quả ước lượng liều thu được của mẫu rau thơm cũng tương tự như mẫu bột ớt tức là cho liều ước lượng gần với liều xạ thực tế đã chiếu lên mẫu.

**Bảng 4.5.** Kết quả xác định liều xạ của D'Oca và cộng sự

| Mẫu | Liều thực (kGy) | Liều ước lượng (kGy) | TL1/TL2 |
|-----|-----------------|----------------------|---------|
| 1   | 0               | 0,082                | 0,10    |
| 2   | 0,5             | 0,37                 | 0,88    |
| 3   | 1,5             | 1,56                 | 3,2     |
| 4   | 2               | 2,10                 | 3,9     |

### 4.3. Xác định thông số động học của bột ớt

#### 4.3.1. Năng lượng sấy

Phương pháp IR được dùng để xác định giá trị năng lượng sấy cho mẫu bột ớt được chiếu xạ với các liều chiếu khác nhau từ 2 kGy đến 8 kGy

được bảo quản sau 15 ngày và 30 ngày sau khi chiếu xạ. Các kết quả các giá trị năng lượng bẫy E theo phương pháp IR được tính toán trong Bảng 4.6.

**Bảng 4.6.** Các giá trị E của mẫu bảo quản 15 ngày

| Mẫu | Liều (kGy) | Quãng nhiệt độ (°C) | E (eV)  | Sai số (eV) | R <sup>2</sup> |
|-----|------------|---------------------|---------|-------------|----------------|
| 1   | 0          | 153-198             | 0,63398 | 0,02882     | 0,98975        |
| 2   | 2          | 141-175             | 0,90347 | 0,02093     | 0,99572        |
| 3   | 4          | 139-167             | 0,86679 | 0,01591     | 0,99698        |
| 4   | 6          | 128-162             | 0,85231 | 0,01019     | 0,99871        |
| 5   | 8          | 122-158             | 0,81479 | 0,02929     | 0,98976        |

Kết quả cho thấy, với mẫu bột ớt không chiếu xạ năng lượng bẫy nhỏ nhất E = 0,66400 eV. Với mẫu bột ớt chiếu xạ với liều xạ từ 2 kGy trở lên, năng lượng bẫy có sự thay đổi, liều xạ 2 kGy cho E = 0,92367 eV, liều xạ 8 kGy cho E = 0,80916 eV. Giá trị năng lượng bẫy của mẫu không chiếu xạ và các mẫu chiếu xạ khác nhau nhiều nên có thể dùng để phân biệt mẫu bột ớt đã chiếu xạ. Correcher và cộng sự đã dùng phương pháp IR để xác định các giá trị năng lượng bẫy của các mẫu hạt vùng chiếu xạ và cho kết quả trong Bảng 4.7. Kết quả của Correcher và cộng sự đối với mẫu hạt vùng tương đồng với kết quả nghiên cứu đối với mẫu bột ớt tức là năng lượng bẫy thay đổi khi mẫu bị chiếu xạ.

**Bảng 4.7.** Các giá trị E của mẫu hạt vùng cho bởi Correcher và cộng sự

| Mẫu | Liều xạ (kGy) | Bảo quản (giờ) | Quãng nhiệt độ (°C) | E (eV) | Sai số (eV) | R <sup>2</sup> |
|-----|---------------|----------------|---------------------|--------|-------------|----------------|
| 1   | 0             | -              | 154-176             | 0,68   | 0,03        | 0,989          |
| 2   | 10            | 500            | 140-160             | 0,82   | 0,02        | 0,997          |
| 3   | 10            | 1000           | 144-162             | 0,99   | 0,01        | 0,999          |
| 4   | 10            | 11000          | 154-180             | 1,05   | 0,01        | 0,999          |
| 5   | 5             | 11000          | 154-180             | 1,12   | 0,02        | 0,999          |
| 6   | 1             | 11000          | 154-180             | 1,14   | 0,01        | 0,997          |

### 4.3.2. Tần số thoát của electron tại bẫy

Phương pháp PS được dùng để tính tần số thoát của electron tại bẫy TL của mẫu bột ốt chiếu xạ 8 kGy với thời gian bảo quản sau 15 ngày và 30 ngày. Giá trị  $s$  của mẫu bảo quản 15 ngày là  $6,52 \times 10^9 \text{ (s}^{-1}\text{)}$  so với giá trị  $s$  của mẫu bảo quản 30 ngày là  $29,5 \times 10^9 \text{ (s}^{-1}\text{)}$ . Kết quả cho thấy, sau khi bảo quản, giá trị  $s$  tăng lên tức số electron thoát ra tại bẫy TL trong một đơn vị thời gian tăng. Tuy nhiên, chỉ với kết quả giá trị  $s$  của mẫu bột ốt 8 kGy bảo quản 15 ngày và 30 ngày thì không thể xác định thời gian bảo quản cho mẫu.

### 4.3.3. Bậc động học

Kết quả cho thấy giá trị bậc động học của mẫu bột ốt liều xạ 8 kGy thay đổi không nhiều, giá trị  $b$  của mẫu bảo quản sau 15 ngày là 1,859, bảo quản sau 30 ngày là 1,902. Như vậy, bậc động học phổ TL của mẫu bột ốt 8 kGy không thay đổi khi phân tích với mô hình GOK sau thời gian bảo quản.

### 4.3.4. Tỷ số tái hợp và tái bẫy

Khi phân tích và xử lý phổ TL của mẫu bột ốt theo mô hình OTOR, mẫu cần được xác định tỷ số tái hợp và tái bẫy  $R$ . Tỷ số tái hợp và tái bẫy  $R$  không lớn hơn 1. Kết quả cho thấy, các giá trị  $R$  của mẫu bột ốt theo thời gian bảo quản thay đổi không đáng kể. Giá trị  $R$  của mẫu bột ốt liều xạ 8 kGy bảo quản sau 15 ngày là 0,37 và bảo quản sau 30 ngày là 0,38.

## 4.4. Sự phù hợp của phổ nhiệt huỳnh quang theo các mô hình động học

Kết quả cho thấy, theo các mô hình động học, các giá trị năng lượng bẫy  $E$  có sự tương quan, bậc động học hầu như không thay đổi, giá trị tỷ số tái hợp và tái bẫy  $R$  thay đổi nhưng không đáng kể.

Khi so sánh sự khác nhau của hai mô hình GOK và OTOR đối với thông số tần số thoát electron tại bẫy TL của mẫu bột ốt theo thời gian bảo quản mẫu và liều xạ luôn khác nhau. Tần số thoát theo mô hình GOK và tần số thoát theo mô hình OTOR chỉ bằng nhau trong trường hợp mẫu bảo hòa.

Như vậy, không thể dựa vào tần số thoát của hai mô hình để phân biệt mẫu đã chiếu xạ hay chưa cũng như xác định liều xạ cho các mẫu bột ốt.

#### **4.5. Kết luận chương 4**

Trong chương này, luận án đã đạt được các kết quả trong việc xác định mẫu bột ốt đã chiếu xạ bao gồm các đặc trưng của phổ TL, phân biệt và ước lượng liều xạ, xác định các thông số động học, so sánh sự phù hợp của phổ TL theo các mô hình động học.

Các đặc trưng của mẫu bột ốt được xác định bao gồm vị trí đỉnh phổ, ước lượng thời gian còn có thể đo được phổ TL, kiểm tra sự bão hòa. Khi khảo sát tính bão hòa của mẫu bột ốt cho thấy các mẫu bột ốt với các mức liều xạ lên đến 8 kGy vẫn chưa đạt đến trạng thái bão hòa.

Giá trị năng lượng bẫy TL dùng để phân biệt mẫu không chiếu xạ và mẫu đã chiếu xạ. Đối với tần số thoát electron tại bẫy TL, thông số này được dùng để xác định tính bão hòa của mẫu bột ốt. Giá trị tần số thoát theo hai mô hình GOK và OTOR bằng nhau trong điều kiện mẫu đã bão hòa.

Xét đến sự phù hợp của phổ TL của mẫu bột ốt theo các mô hình động học, các kết quả cho thấy, hai mô hình GOK và OTOR đều có thể được sử dụng trong phân tích phổ TL.

## KẾT LUẬN CHUNG

Luận án được thực hiện với mục đích phát hiện bột ốt đã chiếu xạ, đưa ra các kết luận về mức liều xạ và các đặc trưng phổ TL của mẫu bột ốt đã chiếu xạ. Luận án sử dụng các phương pháp nghiên cứu thực nghiệm, mô phỏng, phân tích và xử lý phổ TL của bột ốt, kết hợp với các phương pháp kiểm tra tính bão hòa, xác định chỉ số fading theo thời gian, ước lượng thời gian tồn tại của phổ TL. Dựa trên kết quả nghiên cứu, chúng tôi rút ra một số kết luận chính như sau:

- Việc phát hiện mẫu thực phẩm đã chiếu xạ bằng phương pháp TL được xem là có thể thực hiện khi đã có những tiêu chuẩn qui định cụ thể cho mẫu từ tách khoáng cho đến đo phổ TL. Tuy nhiên, trong quá trình nghiên cứu thực tế, trở ngại lớn nhất là tìm kiếm mẫu thực phẩm phù hợp để có thể tách khoáng và đo được phổ TL. Thành công ban đầu của việc tách khoáng và đo phổ TL của mẫu bột ốt đóng vai trò quyết định đến kết quả và phương pháp phát hiện thực phẩm đã chiếu xạ. Trong luận án này, mẫu bột ốt được chọn để phát hiện chiếu xạ và xác định các đặc trưng về phổ TL của nó. Vị trí đỉnh phổ TL của các mẫu bột ốt nghiên cứu được xác định với một đỉnh chính nằm ở vị trí nhiệt độ cỡ 200 °C. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu về bột ốt của Elahi và cộng sự.

- Luận án đạt được mục tiêu là phân biệt được mẫu bột ốt đã chiếu xạ dựa trên việc tái chiếu xạ. Điều cần làm rõ là với khoáng chất của mẫu bột ốt đã kích nhiệt và đo trên hệ đo TLD một lần thì không lấy mẫu này để tái chiếu xạ và đo phổ TL lần nữa. Việc tái chiếu xạ là thực hiện lại mẫu đã được tách khoáng trước đó nhưng phải là mẫu chưa bị kích nhiệt. Đây là điều chưa được nêu ra trong các tiêu chuẩn qui định phát hiện thực phẩm chiếu xạ.

- Các nghiên cứu về phát hiện thực phẩm trên thế giới hầu như chỉ phân biệt thực phẩm đã chiếu xạ mà ít khi ước lượng liều xạ đã chiếu lên mẫu thực phẩm. Thực phẩm được bảo quản bằng phương pháp chiếu xạ đã được

chứng minh là phương pháp hiệu quả, an toàn và tiết kiệm. Việc không chiếu xạ hoặc chiếu xạ quá liều sẽ làm cho thực phẩm không còn an toàn nữa. Từ đó đặt ra yêu cầu cho thực phẩm chiếu xạ muốn bảo quản tốt thì phải chiếu xạ đúng liều qui định. Do đó, phương pháp ước lượng liều xạ đối với thực phẩm chiếu xạ có ý nghĩa quan trọng trong việc phát hiện chiếu xạ, tạo niềm tin, sự an tâm của người tiêu dùng đối với thực phẩm chiếu xạ, mang lại lợi ích kinh tế và thúc đẩy xã hội phát triển.

- Khi nghiên cứu phổ TL, việc nghiên cứu phổ biến hiện nay thường là xác định các thông số động học của bầy TL mà chưa nghiên cứu cách xác định tính bão hòa của mẫu thực phẩm. Mẫu thực phẩm nếu bị chiếu xạ quá liều thì nó sẽ dần đạt đến trạng thái bão hòa. Kết quả luận án cho thấy các mẫu bột ớt được chiếu xạ với liều xạ lên đến 8 kGy vẫn chưa bão hòa. Việc xác định được mẫu thực phẩm có bão hòa chưa được xem là điểm nổi bật của luận án.

- Một trong những vấn đề trong phát hiện thực phẩm chiếu xạ đó là thời gian xử lý mẫu thực phẩm sau khi chiếu xạ trước khi đo phổ TL. Những mẫu thực phẩm chiếu xạ sau khi tách khoáng không phải lúc nào cũng đo được phổ TL bởi tín hiệu sẽ mất đi theo thời gian bảo quản. Điều này chưa được đề cập đến trong các tiêu chuẩn qui định phát hiện thực phẩm chiếu xạ. Luận án chỉ ra rằng thời gian tồn tại của phổ TL có thể ước lượng được thông qua thời gian sống của bầy TL. Thông số này mang nhiều ý nghĩa bởi nó quyết định thời gian còn có thể đo được phổ TL. Đây được xem là điểm mới của luận án.

- Các mẫu thực phẩm sau thời gian bảo quản, cường độ TL sẽ bị suy giảm. Đối với bột ớt sau khoảng thời gian 15 ngày, chỉ số fading suy giảm nhẹ nhỏ hơn 2 %. Phổ TL của mẫu bột ớt vẫn còn có thể đo được sau khoảng thời gian kéo dài đến vài tháng. Tuy nhiên, đối với từng mẫu, sự suy giảm của chỉ số fading là rất khác nhau và bị ảnh hưởng của nhiều yếu tố môi

trường và điều kiện thực nghiệm tách khoáng. Kết quả được công bố ở công trình [10],[11] của phần danh mục của nhóm tác giả.

- Các thông số bẫy như năng lượng bẫy, tần số thoát, bậc động học và tỷ số tái hợp và tái bẫy của mẫu bột ốt được tính toán bằng các phương pháp IR, WGP, PS và GCD. Luận án cho thấy có thể dùng năng lượng bẫy TL để phân biệt mẫu thực phẩm đã chiếu xạ. Nghiên cứu của Correcher và cộng sự [18] cũng cho thấy sự khác nhau của năng lượng bẫy đối với mẫu thực phẩm chiếu xạ. Kết quả này được công bố ở công trình [8] của phần danh mục của nhóm tác giả.

- Phổ TL thực nghiệm thu được thường rất phức tạp bao gồm sự chồng chập của nhiều đỉnh đơn. Dựa trên gói thư viện TGCD của chương trình R, luận án đã giải quyết triệt để các vấn đề liên quan đến giải chập và tách đỉnh phổ TL. Một trong những điểm nổi bật của luận án đó là cho thấy phổ TL của mẫu bột ốt khi giải chập phù hợp với cả hai mô hình GOK và OTOR. Kết quả được công bố ở công trình [9] của phần danh mục của nhóm tác giả.

Vấn đề chính trong chiếu xạ thực phẩm là phân biệt được mẫu thực phẩm đã chiếu xạ hay chưa. Qua nghiên cứu của luận án, vấn đề này không chỉ dừng lại ở việc có thể phân biệt được mẫu bột ốt đã chiếu xạ hay chưa mà còn cho phép ước lượng được liều xạ của các mẫu bột ốt khác.

Những điểm mới của luận án: mô phỏng và giải chập phổ TL từ gói thư viện TGCD của chương trình R, đưa ra phương pháp bán thực nghiệm xác định tính bão hòa của mẫu mô phỏng và mẫu thực nghiệm, đưa ra thông số thời gian sống của electron tại bẫy TL.

Hướng phát triển: cần nghiên cứu phương pháp quang phát quang, electron cộng hưởng để so sánh với phương pháp TL, kết quả chỉ mới có những khảo sát trên mẫu bột ốt cần thêm những nghiên cứu khác cho các mẫu thực phẩm và gia vị khác, nghiên cứu xác định thời gian sống của bẫy TL theo các mô hình động học khác.

## **DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ**

- [1]. Nguyễn Duy Sang (2013), Nghiên cứu ứng dụng hiện tượng nhiệt huỳnh quang trong việc xác định sản phẩm chiếu xạ ở Việt Nam, Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, 29, 105-110.
- [2]. Nguyễn Duy Sang (2015), Đo phổ nhiệt huỳnh quang của bột ớt với các liều chiếu xạ khác nhau, Tạp chí Khoa học Trường Đại học Sư Phạm TP. Hồ Chí Minh, 9 (75), 62-70.
- [3]. Nguyễn Duy Sang (2015), Nghiên cứu tách khoáng silicat từ bột ớt nhằm đo phổ nhiệt huỳnh quang, Tạp chí Khoa học Trường Đại học Huế, 11, 201-206.
- [4]. Nguyen Duy Sang, Tran Van Hung, Nguyen Quoc Hien, Cao Van Chung, and Nguyen Van Hung (2015), Dose assessment of gamma Co-60 irradiated chili powder by thermoluminescent technique, The 11th Regional Conference on Nuclear Science and Technology.
- [5]. Nguyễn Duy Sang (2016), Nghiên cứu ảnh hưởng của chiếu xạ gamma đến giá trị năng lượng bẫy từ phổ nhiệt phát quang, Hội nghị chuyên ngành NHEP 2016 về Vật lý hạt nhân, Vật lý Năng lượng cao và các vấn đề liên quan. Hà Nội.
- [6]. Nguyễn Duy Sang (2016), Tính toán các thông số động học từ phổ nhiệt huỳnh quang của mẫu bột ớt chiếu xạ, Tạp chí Khoa học Trường Đại học Sư Phạm TP. Hồ Chí Minh, 12(90), 31-38.
- [7]. Nguyen Duy Sang (2016), Fitting thermoluminescence glow curves by using the R package TGCD to calculate the kinetic parameters of chilli powder samples, The 10th Scientific Conference University Of Science – VNUHCM, 184.
- [8]. Nguyen Duy Sang (2016), Study of the effect of gamma-irradiation on the activation energy value from the thermoluminescence glow curve, Journal of Taibah University for Science, 11(6), 1221-1225.
- [9]. Nguyen Duy Sang, Tran Van Hung, Nguyen Quoc Hien and Nguyen Van Hung (2017), Using the computerized glow curve deconvolution method and the R package TGCD to determination of thermoluminescence kinetic parameters of chilli powder samples by GOK model and OTOR one, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 394, 113-120,
- [10]. Nguyen Duy Sang, Tran Van Hung, Nguyen Quoc Hien and Nguyen Van Hung (2017), Estimate lifetime of thermoluminescence traps in GOK model of chilli powder samples by using the R package TGCD, Journal of Science and Technology Development VNU-HCM, 20, 74-78.
- [11]. Nguyen Duy Sang, Tran Van Hung, Nguyen Quoc Hien and Nguyen Van Hung (2018), Determine dose-saturation level from thermoluminescence curves by the GOK and OTOR models, Journal of Taibah University for Science, 12(6), 846-851.