

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC ĐÀ LẠT**

**ĐOÀN PHAN THẢO TIÊN**

**SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH KÍCH HOẠT  
NEUTRON VÀ THỐNG KÊ ĐA BIẾN ĐỂ ĐÁNH GIÁ NGUỒN  
GỐC Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ QUA CHỈ THỊ SINH HỌC  
CÂY RÊU TẠI MỘT SỐ TỈNH, THÀNH VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Vật lý kỹ thuật

Mã số: 9.52.04.01

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ NGÀNH VẬT LÝ KỸ THUẬT**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:**

- 1. PGS.TS. NGUYỄN AN SƠN**
- 2. GS. TS. LÊ HỒNG KHIÊM**

*Đà Lạt, 2022*

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Đà Lạt

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS. Nguyễn An Sơn

Người hướng dẫn khoa học 2: GS.TS. Lê Hồng Khiêm

Phản biện 1: ...

Phản biện 2: ...

Phản biện 3: ...

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp trường, họp tại Trường Đại học Đà Lạt vào hồi ... giờ ..', ngày ... tháng ... năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Đại học Đà Lạt
- Website <http://www.dlu.edu.vn....>

## MỞ ĐẦU

### 1. Lý do chọn đề tài

Trong những năm gần đây, ô nhiễm môi trường là vấn đề đáng quan tâm ở nhiều quốc gia trên thế giới trong đó có Việt Nam. Nguyên nhân chính của thảm họa ô nhiễm không khí do sự phát triển bùng nổ của các ngành công nghiệp, do tốc độ đô thị hóa tăng nhanh, do sự khai thác tài nguyên bừa bãi và việc sử dụng quá mức nhiên liệu cho các hoạt động của con người.

Nhiều quốc gia đã xây dựng các chương trình nghiên cứu và đánh giá chất lượng không khí bằng nhiều phương pháp khác nhau. Phương pháp quan trắc môi trường không khí sử dụng bộ lọc (Filter) để thu mẫu cần chi phí đầu tư lớn. Trong khi đó, việc sử dụng sinh vật tồn tại trong môi trường tự nhiên để quan trắc môi trường là một phương pháp với chi phí thấp, nhưng chưa được triển khai trên diện rộng ở các nước nghèo và đang phát triển.

Phương pháp sử dụng chỉ thị cây rêu là phù hợp với điều kiện kinh tế của nước ta. Nghiên cứu sàng lọc để chọn loại rêu làm đối tượng nghiên cứu chung, chọn quy trình xử lý mẫu rêu trước khi phân tích để hoàn thiện phương pháp sử dụng chỉ thị cây rêu trong nghiên cứu ô nhiễm môi trường không khí ở Việt Nam là việc làm cần thiết. Phương pháp phân tích kích hoạt neutron dụng cụ từ lò phản ứng hạt nhân là một phương pháp xác định hàm lượng đa nguyên tố trong số lượng lớn mẫu sinh học có độ tin cậy cao. Kết hợp phương pháp thống kê đa biến để truy xuất các nguồn ô nhiễm chính phát ra trong không khí ở xung quanh những khu vực mẫu được thu thập làm tăng độ tin cậy của phương pháp quan trắc. Vì những lý do trình bày ở trên, đề tài "*Sử dụng phương pháp phân tích kích hoạt neutron và thống kê đa biến để*

đánh giá nguồn gốc ô nhiễm không khí qua chỉ thị sinh học cây rêu tại một số tỉnh, thành Việt Nam” đã được chọn làm đề tài luận án.

## **2. Mục đích nghiên cứu của luận án**

Đánh giá mức độ ô nhiễm không khí giữa các khu vực nghiên cứu (thành phố, vùng ven và nông thôn/ miền núi); giữa các tỉnh Thừa Thiên Huế, Quảng Nam, thành phố Hồ Chí Minh (Quận 1), Khánh Hòa và Lâm Đồng bằng hàm lượng (mg/kg) các nguyên tố trong chỉ thị sinh học rêu *Barbula indica*. Truy xuất nguồn phát các nguyên tố trong không khí và xác định vị trí ảnh hưởng của các nguồn gây ô nhiễm không khí bằng phương pháp thống kê đa biến (phân tích nhân tố).

## **3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

1) Một số loài rêu sinh trưởng tự nhiên ở thành phố Huế và thành phố Đà Lạt, trong đó chọn được ba loài rêu gồm *Hypnum commutatum*, *Leucobrum aduncum* và *Barbula indica*.

2) Rêu *Barbula indica* được thu thập ở một số tỉnh thành gồm Thừa Thiên Huế, Quảng Nam, Khánh Hòa, Lâm Đồng và Tp. Hồ Chí Minh.

## **4. Nội dung thực hiện luận án**

1) Điều tra và sàng lọc một số loài rêu tự nhiên để chọn loài rêu phù hợp dùng làm chỉ thị chung trong nghiên cứu ô nhiễm không khí ở Việt Nam và chọn quy trình xử lý phù hợp đối với mẫu rêu được thu thập ở Việt Nam.

2) Ứng dụng phương pháp phân tích kích hoạt neutron dụng cụ để xác định hàm lượng các nguyên tố hóa học có trong mẫu rêu và đánh giá mức độ ô nhiễm không khí giữa các khu vực nghiên cứu đã chọn.

3) Truy xuất nguồn phát các nguyên tố trong không khí và xác định những vị trí ảnh hưởng của các nguồn gây ô nhiễm không khí bằng phương pháp phân tích nhân tố.

## 5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

### *Ý nghĩa khoa học*

Kết quả nghiên cứu sàng lọc của ba loài rêu tự nhiên là có cơ sở khoa học để chọn rêu *Barbula indica* làm chỉ thị chung, đồng thời đã bổ sung quy trình xử lý mẫu phù hợp đối với rêu sinh trưởng ở Việt Nam (môi trường khí hậu nhiệt đới gió mùa). Như vậy, một phần kết quả nghiên cứu của luận án đã góp phần xây dựng hoàn thiện phương pháp sử dụng chỉ thị sinh học bằng rêu *Barbula indica* để quan trắc môi trường không khí ở Việt Nam. Đây là một phương pháp khả dĩ, phù hợp với điều kiện kinh tế của nước ta. Kết quả của luận án đã giải thích, truy suất nguồn gây ô nhiễm bằng phân tích nhân tố.

### *Ý nghĩa thực tiễn*

Kết quả nghiên cứu đã áp dụng thành công phương pháp quan trắc môi trường không khí bằng rêu *Barbula indica* ở các khu vực nghiên cứu bao gồm Thừa Thiên Huế (Tp. Huế và một số khu vực lân cận), Quảng Nam (Tp. Hội An và Thị xã Điện Bàn), Khánh Hòa (Tp. Nha Trang và Huyện Khánh Vĩnh), Lâm Đồng (Tp. Đà Lạt và một số khu vực lân cận) và Tp. Hồ Chí Minh (Quận 1). Kết quả này cho thấy tính khả dĩ của phương pháp đối với vị trí địa lý, địa hình và khí hậu nhiệt đới ở Việt Nam.

## CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

### 1.1. Tổng quan tình hình nghiên cứu quan trắc môi trường không khí

Ô nhiễm không khí đang là vấn đề cần quan tâm ở nhiều quốc gia trên thế giới, đặc biệt là các nước đang phát triển. Để kiểm soát tốt chất lượng không khí cần xem xét đến nhiều nguyên nhân gây ra, trong đó xác định thành phần các chất gây ô nhiễm và nguồn phát tán các chất đó trong không khí là việc làm cần thiết. Ở các nước phát triển,

các chương trình quản lý chất lượng không khí được kiểm soát tốt, sử dụng nhiều công nghệ cao để nghiên cứu đánh giá nguyên nhân và đưa ra nhiều biện pháp để kiểm soát nguồn gây ô nhiễm. Ngược lại, ở các nước đang phát triển, việc đánh giá ô nhiễm môi trường vẫn chưa được triển khai trên diện rộng do hạn chế kinh phí. Do đó phương pháp sử dụng chỉ thị sinh học để quan trắc môi trường là một giải pháp hữu ích đối với các nước đang phát triển, trong đó có Việt Nam.

### ***1.1.1. Một số khái niệm và tiêu chí liên quan đến quan trắc sinh học***

Các loài sinh vật dùng làm chỉ thị sinh học trong nghiên cứu ô nhiễm không khí được lựa chọn trên cơ sở đặc trưng là sự tích tụ các chất dinh dưỡng chỉ xảy ra từ khí quyển (Ruhling, 1994).

### ***1.1.2. Tình hình nghiên cứu quan trắc môi trường không khí bằng chỉ thị sinh học cây rêu ở nước ngoài***

Phương pháp sử dụng cây rêu để quan trắc môi trường không khí đã được thực hiện đầu tiên với quy mô quốc gia ở Thụy Điển (Rühling và Tyler, 1968). Chương trình khảo sát rêu đầu tiên ở quy mô Châu Âu được thực hiện vào năm 1990 với 25 quốc gia tham gia. Sau đó đã có nhiều quốc gia tham gia và đã được mở rộng sang các khu vực Châu Phi và châu Á (Frontasyeva và Harmens, 2015). Chương trình này thực hiện điều tra theo chu kỳ 5 năm.

### ***1.1.3. Tình hình nghiên cứu quan trắc môi trường không khí bằng chỉ thị sinh học cây rêu ở trong nước***

Trước năm 2010, một số nhóm nghiên cứu đã sử dụng chỉ thị sinh học gồm rêu, nấm, địa y (Trần Ninh, 1995; Thái Khắc Định và Hoàng Thị Hải Thanh, 2008). Trong đó, loài rêu *Barbula indica* đã được sử dụng ở Hà Nội và Thái Nguyên (Nguyen và cộng sự, 2010), nhưng nghiên cứu này chỉ có tính thăm dò và còn hạn chế như: không thực hiện sàng lọc các loài rêu tự nhiên phát triển ở địa phương thu mẫu,

do đó chọn loại rêu *Barbula indica* chỉ theo quan sát. Từ năm 2010 – 2014, hướng nghiên cứu này bị gián đoạn. Từ năm 2014, GS. Lê Hồng Khiêm đã đưa phương pháp đánh giá ô nhiễm không khí qua chỉ thị sinh học cây rêu về Việt Nam theo chương trình điều tra chung các nước Châu Âu – Châu Á (ICP\_Vegetation). Nhóm nghiên cứu đã bắt đầu những nghiên cứu đầu tiên với việc khảo sát một số loại rêu sinh trưởng tự nhiên ở thành phố Huế và thành phố Đà Lạt

## **1.2. Một số loại rêu làm chỉ thị sinh học để nghiên cứu quan trắc ô nhiễm không khí**

### **1.2.1. Nghiên cứu ở nước ngoài**

Theo các báo cáo thống kê định kỳ của Chương trình ICP\_Vegetation, các loài rêu được sử dụng làm chỉ thị sinh học nhiều nhất ở khu vực Châu Âu gồm rêu *Pleurozium schreberi*, *Hypnum cupressiforme*, *Hylocomium splendens*, *Pseudoscleropodium purum* và một số loại khác (Harmens và cộng sự, 2013c).

### **1.2.2. Nghiên cứu ở trong nước**

Một số loài rêu đã sử dụng gồm rêu *Barbula indica* và *Calymperes teneru* (Trần Ninh, 1995; Nguyen và cộng sự, 2010).

## **1.3. Kỹ thuật phân tích kích hoạt neutron**

### **1.3.2. Kỹ thuật phân tích kích hoạt neutron dụng cụ**

Ứng dụng phân tích kích hoạt neutron dụng cụ để xác định hàm lượng nguyên tố có trong mẫu phân tích được thực hiện theo các bước như sau: (1) tạo mẫu; (2) kích hoạt mẫu; (3) đo phổ gamma của mẫu đã được chiếu xạ sau thời gian phân rã; (4) phân tích phổ và tính hàm lượng nguyên tố trong mẫu.

### 1.3.3. Tổng quan ứng dụng INAA dùng nguồn neutron từ lò phản ứng IBR2 tại JINR

Thông số đặc trưng các kênh chiếu tại phòng Regata sử dụng nguồn neutron từ lò phản ứng hạt nhân IBR2 được trình bày ở Bảng 1.1.

**Bảng 1.1.** Thông số đặc trưng của các kênh chiếu tại phòng REGATA

Kênh chiếu	Thông lượng chùm neutron $\times 10^{12}$ (n/cm <sup>2</sup> .s)			Nhiệt độ (°C)	Bán kính kênh (mm)	Chiều dài (mm)
	Nhiệt	Trên nhiệt	Nhanh			
Kênh 1 (Cd)	-	3,31	4,43	70	28	260
Kênh 2	1,23	2,96	4,10	60	28	260

## 1.4. Phân tích đa biến và ứng dụng trong phân tích môi trường không khí

### 1.4.1. Phân tích đa biến

**Phân tích nhân tố:** Ứng dụng chính của phân tích nhân tố là giảm thiểu số biến và phát hiện cấu trúc của các biến có mối tương quan lẫn nhau. Phân tích nhân tố cần giải quyết hai hệ số là hệ số nhân tố tải trọng và hệ số điểm nhân tố (Bradley và cộng sự, 1982).

### 1.4.2. Ứng dụng trong phân tích môi trường không khí

Ứng dụng phân tích đa biến trong mô hình thụ thể để truy xuất nguồn gốc gây ra ô nhiễm trong không khí từ bộ số liệu đa biến gồm hàm lượng đa nguyên tố trên tập hợp mẫu thu được và các biến này có mối tương quan lẫn nhau (Henry và cộng sự, 1984).

## CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

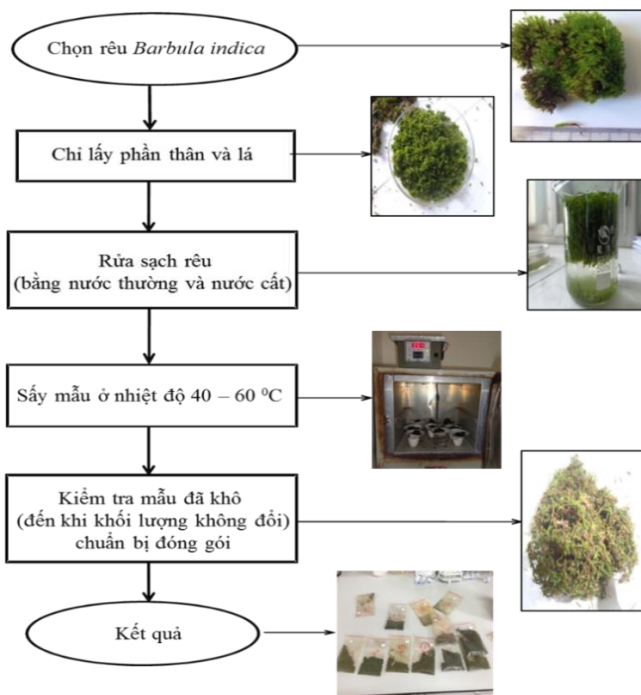
### 2.1. Phương pháp thu thập mẫu

Phương pháp thu thập mẫu được thực hiện tuân theo quy chuẩn của Chương trình ICP –Vegetation (Frontasyeva và Harmens, 2015).

### 2.2. Phương pháp xử lý mẫu



Quy trình thực hiện xử lý mẫu rêu thu thập ở Việt Nam được trình bày theo Hình 2.5.



**Hình 2.5.** Quy trình xử lý mẫu rêu *Barbula indica* thu thập ở Việt Nam

### 2.3. Phương pháp phân tích bằng kỹ thuật INAA tại JINR

Kỹ thuật chiếu xạ.

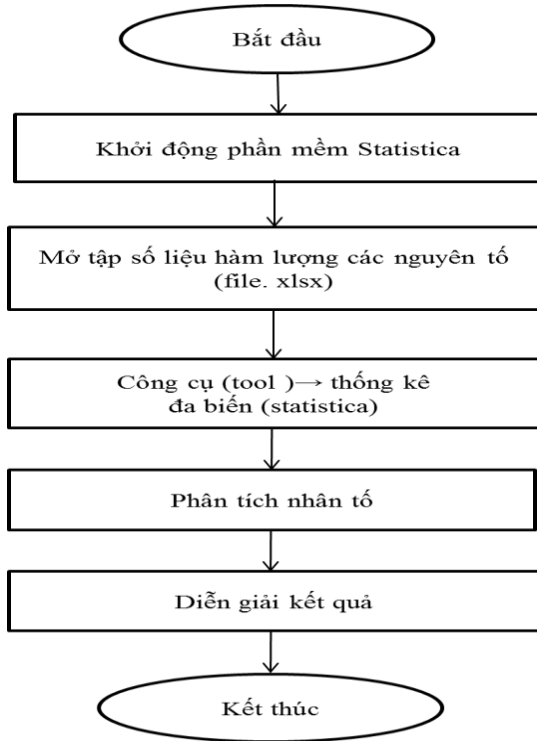
Quy trình đo phổ gamma.

Phân tích phổ gamma.

Xác định hàm lượng nguyên tố.

### 2.4. Phương pháp phân tích thống kê đa biến

Quy trình phân tích thống kê đa biến thực hiện theo hình 2.19



**Hình 2.19.** Sơ đồ quy trình phân tích nhân tố

## CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Kết quả sàng lọc một số loại rêu tự nhiên để chọn một loại rêu dùng làm chỉ thị chung trong nghiên cứu ô nhiễm không khí

#### 3.1.1. Kết quả điều tra và thu thập một số loại rêu tự nhiên

Kết quả điều tra và thu thập một số loại rêu sinh trưởng ở khu vực miền Trung đã thu thập được 12 mẫu rêu ở Tp. Huế bao gồm 5 mẫu *Hypnum*, 5 mẫu *Barbula* và 2 mẫu *Leucobryum*; 7 mẫu rêu ở Tp. Đà Lạt gồm 3 *Hypnum*, 2 mẫu *Leucobryum* và 2 mẫu *Barbula*; 2 mẫu rêu *Barbula* ở Tp. Nha Trang.

### **3.1.2. Kết quả so sánh hàm lượng các nguyên tố trong các loài rêu được thu thập ở Tp. Đà Lạt và Tp. Huế**

Kết quả so sánh hàm lượng các nguyên tố trong ba loài rêu tự nhiên thu thập được ở Tp. Huế và Tp. Đà Lạt cho thấy rằng với hai quy trình làm sạch mẫu khác nhau nhưng khả năng hấp thụ các nguyên tố trong 3 loài rêu có chiều hướng *Leucobryum* > *Hypnum* > *Barbula*. Tuy nhiên, đặc trưng môi trường khí hậu ở nước ta, mẫu rêu thu thập được có lớp bụi bao phủ trên mặt rêu, do đó trong quy trình làm sạch rêu cần thực hiện thêm bước rửa sạch mẫu bằng nước thường và nước cất.

### **3.1.4. Kết quả chọn chỉ thị sinh học rêu làm đối tượng nghiên cứu chung**

Qua các kết quả điều tra và đánh giá hàm lượng các nguyên tố trong ba loại rêu cho thấy rằng rêu *Leucobryum* và *Hypnum* không đạt các yêu cầu làm chỉ thị sinh học chung do chiều cao của rêu quá ngắn và phân bố thưa thớt. Do đó, kết quả chọn rêu *Barbula indica* làm đối tượng chỉ thị sinh học chung và quy trình xử lý mẫu (có rửa) đã được triển khai đồng nhất ở nhiều khu vực nghiên cứu tại Việt Nam. Kết quả này cũng đã được bổ sung thêm đối tượng rêu và bước làm sạch mẫu rêu trong hướng dẫn thu thập mẫu (đối với các quốc gia có môi trường khí hậu nhiệt đới) của chương trình chung ICP\_Vegetation (Frontasyeva và Harmens, 2015; 2020). Đây là một kết quả mới và có ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án.

### **3.2. Kết quả hàm lượng các nguyên tố trong rêu *Barbula indica* và đánh giá mức độ ô nhiễm không khí ở các khu vực nghiên cứu**

Kết quả phân tích các mẫu rêu *Barbula indica* bằng kỹ thuật INAA tại Phòng thí nghiệm Ứng dụng vật lý neutron - JINR đã xác định được hàm lượng hơn 30 nguyên tố với sai số tương đối dưới 15%.

### 3.2.6. **Đánh giá mức độ ô nhiễm không khí ở các khu vực nghiên cứu**

Kết quả ở Bảng 3.4 cho thấy rằng trong các mẫu rêu *Barbula indica* thu ở khu vực thành phố Hồ Chí Minh có hàm lượng trung vị và hàm lượng lớn nhất của các nguyên tố Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Br, Sr, Cs, Ba, La, Ce, Sm đạt giá trị cao nhất. Đặc biệt các nguyên tố kim loại nặng có độc tố cao như Cr, Fe, Co, Ni – đặc trưng có trong khí thải từ các phương tiện giao thông, hoạt động trong sinh hoạt con người như đốt nhiên liệu rắn (than, củi ở các hàng quán nhỏ) (Pacyna & Pacyna, 2001; Sonntag và cộng sự, 2014). Điều này cũng khẳng định rằng Tp. Hồ Chí Minh bị ô nhiễm bụi, trong đó có thành phần kim loại nặng lơ lửng trong không khí (Hien và cộng sự, 2001) dẫn đến tỷ lệ người dân sống ở Tp. Hồ Chí Minh mắc các bệnh về hô hấp tăng cao đặc biệt đối với trẻ nhỏ (Luong và cộng sự, 2020). Như vậy, hàm lượng nguyên tố lắng đọng trong các mẫu rêu thu ở thành phố Hồ Chí Minh có liên quan đến các hoạt động trong ngành công nghiệp nhẹ và mức độ đô thị hóa cao. Kết quả ghi nhận cả hàm lượng trung vị và hàm lượng lớn nhất của các nguyên tố Na, Cl, Mg, K có trong mẫu rêu thu ở Quảng Nam là có giá trị cao nhất, hàm lượng lớn nhất của nguyên tố Brom (Br) trong ba tỉnh thành phố được nghiên cứu – các nguyên tố này có thể bị ảnh hưởng hàm lượng hơi muối trong không khí (có nguồn gốc từ sol khí biển) và hoạt động từ nông nghiệp (Bradl, 2005). Cả hàm lượng trung vị và hàm lượng lớn nhất của các nguyên tố Se, Cd, Sb có giá trị cao nhất trong các mẫu rêu thu ở tỉnh Thừa Thiên Huế. Các nguyên tố này được xác định có trong thành phần của các chất khí được giải phóng bởi quá trình đốt cháy nhiên liệu rắn bao gồm rác thải trong sinh hoạt và nông nghiệp (Wielgosinski, 2012).

Kết quả ở Bảng 3.5 cho thấy rằng cả hàm lượng trung vị và hàm lượng lớn nhất của các nguyên tố Na, Cl, Mg, Ca, Mn, Br, Sr, Zr, Sn,

I, Co, Ni, Sb, Hf có giá trị cao nhất trong các mẫu rêu *Barbula indica* thu ở tỉnh Khánh Hòa. Khu vực Khánh Hòa có nhiều mỏ khoáng sản như đá garnite, mỏ Titan (Ilmenite), mỏ cát Silic... (Imrich, 2000), do đó hàm lượng nguyên tố kim loại nặng như Mn, Sr, Zr, Sn, Co, Hf có thể ảnh hưởng từ hoạt động khai thác khoáng sản tại khu vực nghiên cứu (McKay và cộng sự, 1986). Thành phố Nha Trang tiếp giáp biển nên có thể bị ảnh hưởng từ hơi nước biển (Na, Cl, Br, Mg, Ca) phát tán trong không khí. Kết quả phân tích cho thấy cả hàm lượng trung vị và hàm lượng lớn nhất của nguyên tố As có giá trị lớn nhất trong các mẫu rêu được thu thập ở khu vực Lâm Đồng. Điều này cũng được lý giải hàm lượng nguyên tố As cao trong môi trường không khí có thể bị ảnh hưởng từ hàm lượng nguyên tố As trong môi trường khác cao như từ hoạt động khai thác nước ngầm (Polya và cộng sự, 2010; Nguyễn Đình Trung, 2016), trong đất (Hahn & Hoang, 2015). Cũng theo nghiên cứu Imrich (2000), tỉnh Lâm Đồng có nhiều mỏ khoáng sản được hình thành từ quá trình phong hóa như mỏ cao lanh (Kaolin), mỏ bô xít (Bauxit), ... – chứa hàm lượng lớn các nguyên tố đất hiếm và phóng xạ (Höhn, Frimmel, & Pašava, 2014; Fairclough và Tulsidas, 2019; Elliot, 2018, Bùi Thế Vinh & Trần Phương Duy, 2019). Trong Bảng 3.5 cũng cho thấy rằng hàm lượng lớn nhất của các nguyên tố thuộc nhóm nguyên tố đất hiếm (La, Ce, Sm, Tb) và phóng xạ thorium (22mg/kg), uranium (21mg/kg) có giá trị cao nhất. Điều này được lý giải hàm lượng các nguyên tố trong mẫu rêu thu ở Lâm Đồng có thể bị ảnh hưởng do hoạt động khai thác mỏ cao lanh và bauxit ở xung quanh vị trí thu mẫu (Phạm Xuân Tích, 2015).

**Bảng 3.4.** Hàm lượng (mg/kg) nhỏ nhất (Min), lớn nhất (Max) và giá trị trung vị của các nguyên tố có trong mẫu rêu *Barbula indica* được thu thập ở Thừa Thiên Huế, Quảng Nam và Tp. Hồ Chí Minh

Nguyên tố	Thừa Thiên Huế			Quảng Nam			Tp. Hồ Chí Minh		
	Min	Max	Trung vị	Min	Max	Trung vị	Min	Max	Trung vị
<b>Na</b>	300	1280	620	540	<b>2510</b>	1310	440	1340	930
<b>Mg</b>	830	1930	1550	1080	2730	1620	870	1970	1290
<b>Al</b>	1000	12700	5800	1700	7800	3200	2500	15300	4800
<b>Cl</b>	550	3600	1700	1300	<b>4000</b>	2100	530	970	780
<b>K</b>	6500	26000	16000	14000	30000	17000	9300	16000	12000
<b>Ca</b>	4900	16000	11000	6700	30000	9800	9400	<b>34000</b>	14000
<b>Sc</b>	0,24	2,12	1,09	0,44	1,9	0,8	0,81	2,2	1,81
<b>Ti</b>	129	741	271	92	465	205	204	914	524
<b>V</b>	2,55	19,5	12,2	3,39	44,7	5,11	5,26	<b>57,4</b>	8,08
<b>Cr</b>	2,1	21,7	11	3,8	15,6	6,8	13,8	<b>31,2</b>	19,9
<b>Mn</b>	41	121	74	29	112	88	45	170	77
<b>Fe</b>	1120	7030	3720	1580	5270	4810	3080	<b>19600</b>	5430
<b>Co</b>	0,32	2,17	1,4	0,73	3,81	1,01	1,75	3,41	3,28
<b>Ni</b>	1,09	9,6	4,2	1,48	7,7	2,7	7,3	<b>12,6</b>	9,5

<b>Zn</b>	71	460	126	144	470	254	96	<b>790</b>	178
<b>As</b>	0,99	3,3	2,3	1,29	11,6	3	1,95	5,5	4,1
<b>Se</b>	0,84	<b>2,2</b>	1,4	0,6	0,96	0,7	0,32	0,5	0,39
<b>Br</b>	6	19,9	10,4	6,4	<b>50,1</b>	7,7	8,7	24,7	12,8
<b>Sr</b>	32	70	46	24	100	29	56	<b>275</b>	90
<b>Cd</b>	1,59	<b>3,8</b>	2,4	0,25	2,9	2	0,25	1,07	0,8
<b>Sb</b>	0,74	<b>2,1</b>	1,4	0,53	1,6	0,89	0,68	1,6	1
<b>Cs</b>	0,71	3,4	1,58	0,44	1,63	1,18	2,2	<b>14,1</b>	5,3
<b>Ba</b>	23	<b>340</b>	58	24	127	83	83	260	101
<b>La</b>	0,95	7,7	3,1	0,91	7,9	2,24	2,89	8,8	5,6
<b>Ce</b>	2,3	18,3	6,2	1,4	16,9	4,2	6,1	18,3	11,7
<b>Sm</b>	0,13	1,01	0,51	0,141	1,2	0,35	0,59	1,74	1,15
<b>Tb</b>	0,02	<b>0,52</b>	0,09	0,02	0,15	0,05	0,07	0,33	0,17
<b>Ta</b>	0,03	0,16	0,09	0,05	0,19	0,06	0,07	0,22	0,15
<b>Th</b>	0,44	3,3	1,78	0,4	3,5	0,86	0,72	2	1,49
<b>U</b>	0,19	0,96	0,62	0,14	2,2	0,23	0,32	1,53	1,1

**Bảng 3.5.** Hàm lượng (mg/kg) nhỏ nhất (Min), lớn nhất (Max) và giá trị trung vị của các nguyên tố có trong mẫu rễ *Barbula indica* được thu thập ở Khánh Hòa và Lâm Đồng

Nguyên tố	Khánh Hòa			Lâm Đồng		
	Min	Max	Trung vị	Min	Max	Trung vị
<b>Na</b>	428	2240	847	282	1790	446
<b>Mg</b>	1366	<b>2772</b>	1575	760	2428	1226
<b>Al</b>	2800	<b>34600</b>	9345	4710	32700	10650
<b>Si</b>	17800	62800	40050	17500	<b>84900</b>	27900
<b>Cl</b>	162	2900	458	74	2430	298
<b>K</b>	6390	13100	8095	4600	12500	7085
<b>Ca</b>	8500	30600	12750	7520	15800	10700
<b>Sc</b>	0,3	<b>6,7</b>	1,14	0,7	7,2	1,59
<b>Ti</b>	153	<b>1750</b>	380	338	1250	559
<b>V</b>	3,7	39	8,65	5,1	22	13,2
<b>Cr</b>	2,77	22,5	6	5,1	14,8	8,85
<b>Mn</b>	96	<b>525</b>	152	40	175	88
<b>Fe</b>	1040	17600	3965	2250	15800	4850
<b>Co</b>	0,49	<b>7,2</b>	1,33	0,61	3,6	0,99
<b>Ni</b>	2,06	10,5	5,38	2	7,7	3,21
<b>Zn</b>	39	301	142	44	749	80
<b>As</b>	1,64	14,8	2,8	2,3	<b>30</b>	12,8
<b>Br</b>	3,3	<b>24</b>	9,5	2,4	8,3	4,2
<b>Sr</b>	43	<b>241</b>	<b>75</b>	33	158	49
<b>Zr</b>	7,4	<b>109</b>	38	14,8	73	30
<b>Mo</b>	0,63	3,8	1,33	0,42	<b>6</b>	0,95
<b>Sn</b>	2,43	<b>4,9</b>	3,11	1,43	3,6	2,24
<b>Sb</b>	0,22	1,37	0,44	0,19	1	0,32
<b>I</b>	2,40	<b>11,80</b>	6,45	1,15	5,70	2,30
<b>Cs</b>	0,75	3,6	1,53	0,3	5	0,79
<b>Ba</b>	31,4	131	52,5	27	107	38
<b>La</b>	1,37	<b>16,7</b>	4,58	1,9	36,4	4



<b>Ce</b>	2,8	<b>43</b>	10,5	4	65	10,9
<b>Sm</b>	0,19	2,85	1,33	0,28	8	0,73
<b>Tb</b>	0,03	0,41	0,23	0,07	1,44	0,17
<b>Hf</b>	0,21	<b>3,9</b>	1,22	0,56	2,40	1,11
<b>Ta</b>	0,04	0,81	0,31	0,10	1,20	0,24
<b>Th</b>	0,47	11,00	5,20	1,30	<b>22,00</b>	3,68
<b>U</b>	0,42	3,30	1,77	0,38	<b>21,00</b>	1,45

Như vậy, kết quả ở Bảng 3.4 và Bảng 3.5 cho thấy rằng đa số thành phần nguyên tố có trong mẫu rêu thu được đã phản ánh rõ thành phần vật chất có trong môi trường không khí - liên quan đến đặc trưng địa lý, hoạt động kinh tế, môi trường sống, .... ở các khu vực nghiên cứu.

### 3.4. Kết quả phân tích thống kê đa biến và tìm nguồn gốc ô nhiễm trong không khí

#### 3.4.1. Kết quả trích xuất phương sai

**Bảng 3.6.** Kết quả phân tích nhân tố các giá trị phương sai

	<b>FA1</b>	<b>FA2</b>	<b>FA3</b>	<b>FA4</b>	<b>FA5</b>	<b>FA6</b>
Phương sai tích lũy (%)	40,16	17,68	7,88	6,32	5,93	4,34
Phương sai toàn phần (%)	40,16	57,84	65,71	72,03	77,96	82,30

#### 3.4.2. Diễn giải các nhân tố phân tích

Kết quả phân tích nhân tố đã xác định được 6 nhóm nhân tố đặc trưng cho 6 nguồn ô nhiễm phát ra trong không khí (Bảng 3.7).

**Bảng 3.7.** Kết quả phân tích nhân tố tải trọng

	<b>FA1</b>	<b>FA2</b>	<b>FA3</b>	<b>FA4</b>	<b>FA5</b>	<b>FA6</b>
<b>Na</b>	0,38	0,35	0,04	0,28	<b>0,54</b>	0,04
<b>Mg</b>	0,25	-0,07	0,37	<b>0,63</b>	0,37	0,13
<b>Al</b>	<b>0,78</b>	0,24	0,41	0,06	-0,33	0,02
<b>K</b>	-0,21	0,01	0,12	0,00	<b>0,81</b>	-0,13
<b>Ca</b>	-0,16	0,13	-0,04	<b>0,89</b>	-0,04	0,14
<b>Sc</b>	<b>0,89</b>	0,38	0,10	-0,01	-0,07	0,00
<b>Ti</b>	<b>0,66</b>	<b>0,58</b>	0,13	0,12	-0,28	0,00

<b>V</b>	0,31	<b>0,54</b>	0,20	<b>0,63</b>	-0,08	-0,08
<b>Cr</b>	0,09	<b>0,86</b>	0,03	0,19	0,18	0,03
<b>Mn</b>	0,28	0,14	0,11	0,21	-0,21	<b>0,81</b>
<b>Fe</b>	<b>0,64</b>	<b>0,54</b>	-0,02	0,00	-0,04	0,04
<b>Co</b>	0,38	<b>0,58</b>	0,03	0,08	0,06	<b>0,62</b>
<b>Ni</b>	0,09	<b>0,81</b>	0,18	0,13	0,16	0,26
<b>Zn</b>	-0,13	0,19	<b>0,78</b>	0,17	0,24	-0,02
<b>As</b>	<b>0,72</b>	-0,03	0,24	0,07	-0,35	-0,03
<b>Br</b>	-0,07	0,17	-0,16	<b>0,49</b>	0,43	0,46
<b>Sb</b>	-0,20	0,47	-0,01	0,09	<b>0,57</b>	-0,09
<b>Ba</b>	0,02	<b>0,58</b>	0,07	-0,27	0,43	0,36
<b>La</b>	<b>0,93</b>	0,20	-0,09	0,05	0,12	0,23
<b>Ce</b>	<b>0,94</b>	0,23	0,12	0,00	0,01	0,13
<b>Sm</b>	<b>0,93</b>	0,10	-0,09	0,02	0,16	0,18
<b>Gd</b>	0,30	<b>0,52</b>	-0,19	0,01	<b>0,56</b>	0,15
<b>Tb</b>	<b>0,94</b>	-0,08	0,10	-0,02	0,00	0,14
<b>Ta</b>	<b>0,64</b>	0,01	<b>0,63</b>	-0,09	-0,22	0,14
<b>Th</b>	<b>0,67</b>	0,01	<b>0,64</b>	-0,08	-0,20	0,12
<b>U</b>	<b>0,92</b>	-0,09	-0,16	0,06	0,10	0,03

**Nhân tố 1** (FA1) giải thích được 40,17% giá trị các biến. Với nhân tố 1 là tập hợp gồm các nguyên tố Al, Sc, Ti, Fe, As, La, Ce, Sm, Tb, Ta, Th và U với hệ số tải trọng từ 0,64 đến 0,94. Nguồn phát các nguyên tố trong nhóm nhân tố 1 có thể suy đoán là nguồn từ bụi đá, đất tồn tại ở lớp vỏ trái đất xung quanh vị trí thu mẫu (Elliot, 2018).

**Nhân tố 2** (FA2) giải thích được 17,68% giá trị các biến. Nhóm các nguyên tố Cr, Ni, Ti, Co, Ba, V, Fe thuộc nhóm có nguồn phát thải chính của khí xăng dầu do hoạt động của phương tiện giao thông (Sonntag và cộng sự, 2014). Theo kết quả nghiên cứu khác cũng được ghi nhận từ kết quả phân tích các nguyên tố có trong hạt bụi PM<sub>2,5</sub> đã chỉ ra rằng nhóm nguyên tố có trong thành phần khí thải trong xăng,

dầu diesel bao gồm: Co, Ba, Cr, Fe, Ni, Na (Yang và cộng sự, 2019). Như vậy, nhân tố FA2 có nguồn phát do phương tiện giao thông từ khí thải ở dạng khí hoặc dưới dạng các hạt bụi nhỏ, có khả năng di chuyển xa trong khí quyển trước khi chúng chạm tới mặt đất là một nguồn ô nhiễm không khí đáng kể đã phát hiện tại các điểm thu mẫu.

**Nhân tố 3 (FA3)** giải thích 7,88% giá trị các biến. Các nguyên tố ảnh hưởng trong nhân tố 3 gồm: kẽm, tantan và thori với hệ số tải trọng lớn hơn 0,5. Nguyên tố kẽm có hệ số tải trọng lớn nhất (0,78) được xem là có ảnh hưởng lớn trong nhân tố 3. Nguyên tố kẽm được xác định có nguồn gốc từ các hạt mài mòn lốp xe, với quá trình lưu thông có sự bào mòn các lốp xe và bay vào trong môi trường không khí (Couchell và cộng sự, 2004). Như vậy, nhân tố 3 được xác định có đóng góp lớn từ hoạt động vận chuyển các phương tiện có tải trọng lớn ảnh hưởng từ hạt sol khí chứa nguyên tố kẽm do sự ma sát giữa lốp xe mà mặt đường khi tham gia giao thông, từ hoạt động khai thác và vận chuyển khoáng sản đi nơi khác.

**Nhân tố 4 (FA4)** giải thích 6,32% giá trị các biến, bao gồm các nguyên tố Mg (0,63), Ca (0,89), V (0,63) và Br (0,49). Tập hợp các nguyên tố Mg, Ca, V và Br có thành phần trong cát biển (Ilmenite) – chứa lượng lớn titan (Mehdilo và cộng sự, 2015). Ngoài ra nguyên tố Vanadi có xu hướng kết hợp với một số nguyên tử ở dạng các phân tử nhỏ hơn trong không khí, và có thể phát tán đi xa (Costigan và cộng sự, 2001). Như vậy nhân tố 4 có ảnh hưởng đến hơi nước và phát thải sinh học tự nhiên.

**Nhân tố 5 (FA5)** giải thích được 5,93% giá trị các biến, bao gồm các nguyên tố Na (0,54), K (0,81), Sb (0,57), Ga (0,56), Br và Ba có hệ số tải trọng 0,43. Nhóm các nguyên tố có trong phân kali (K) thường được bổ sung để cải thiện năng suất và chất lượng của cây trồng (trong

đó có cây lúa), và trong trạng thái tự nhiên muối K thường kết hợp với các muối Na và Mg (Hartati và Purnomo, 2018). Nhóm nguyên tố Sb, Br là thành phần từ chất đốt các nguyên liệu rắn như củi, than (Pacyna và Pacyna, 2001). Như vậy nhân tố 5 có ảnh hưởng từ trong hoạt động nông nghiệp như phân bón, chất đốt từ các sản phẩm của nông sản.

**Nhân tố 6 (FA6)** giải thích được 4,34% giá trị các biến, bao gồm các nguyên tố Mn (0,81), Co (0,64) là thành phần có trong nguồn nước xả thải từ sinh hoạt hoặc nhà máy (Barrio-Parra và cộng sự, 2018). Ngoài ra có sự ảnh hưởng của nguyên tố Br (0,46) có thành phần trong quặng Thiếc (SnBr, SnBr<sub>2</sub>, SnI, SnI<sub>2</sub>).

### 3.4.3. Phân tích nhân tố điểm

Kết quả phân tích nhân tố điểm (FS) được trình bày trong Bảng 3.8.

**Bảng 3.8.** Kết quả phân tích nhân tố điểm

	FS1	FS2	FS3	FS4	FS5	FS6
<b>H1</b>	-0,16	0,66	0,07	-0,22	0,84	-0,60
<b>H2</b>	-0,37	-0,19	0,14	-0,38	0,78	-0,23
<b>H3</b>	-0,57	-0,46	0,31	-0,10	<b>1,31</b>	-0,54
<b>H4</b>	-0,45	-0,76	0,24	0,06	<b>1,49</b>	-0,65
<b>H5</b>	-0,61	0,89	0,87	-2,37	<b>2,00</b>	0,87
<b>H6</b>	-0,38	-0,42	-0,40	-0,28	0,28	0,36
<b>H7</b>	-0,52	-0,64	-0,27	-0,13	0,49	-0,37
<b>H8</b>	-0,46	0,91	-0,22	0,43	0,34	-0,49
<b>H9</b>	-0,38	<b>1,29</b>	-0,09	-0,31	0,38	-0,59
<b>H10</b>	-0,35	-0,21	-0,56	0,41	0,25	0,30
<b>H11</b>	-0,74	-0,35	-0,61	0,39	-0,39	-0,51
<b>H12</b>	-0,07	-0,09	-0,24	-0,35	0,54	-0,66
<b>H13</b>	-0,23	<b>1,52</b>	-0,12	-0,11	-0,01	-0,25
<b>H14</b>	0,17	0,91	-0,70	-0,75	0,23	0,14
<b>H15</b>	-0,64	-0,32	-0,81	0,15	-0,59	0,05
<b>H16</b>	-0,53	-1,20	-0,46	0,30	-0,01	-0,54
<b>H17</b>	-0,68	-0,58	-0,33	0,41	-0,02	0,09

<b>HA1</b>	-0,63	-1,20	0,58	0,13	0,37	-0,01
<b>HA2</b>	-0,52	-0,72	-0,43	-0,51	0,36	-0,45
<b>HA3</b>	-0,25	0,54	0,46	-0,60	0,82	-0,43
<b>HA4</b>	-0,31	0,26	0,15	0,56	<b>1,41</b>	0,62
<b>HA5</b>	-0,48	-0,93	-0,02	-0,76	0,93	-0,28
<b>HA6</b>	0,34	0,16	-0,12	<b>3,87</b>	<b>2,29</b>	0,72
<b>HA7</b>	-0,47	-1,14	<b>1,05</b>	-0,18	<b>1,79</b>	-0,68
<b>KH1</b>	0,52	-0,27	-0,06	-0,16	-1,60	<b>5,82</b>
<b>KH2</b>	-0,04	-1,41	-0,30	0,15	-0,37	0,50
<b>KH3</b>	0,59	-1,42	<b>1,43</b>	-0,97	0,18	0,91
<b>KH4</b>	-0,55	-0,16	0,37	<b>2,40</b>	-0,48	<b>1,14</b>
<b>KH5</b>	-0,58	-1,43	-0,76	<b>1,58</b>	-0,40	0,43
<b>KH6</b>	<b>2,19</b>	<b>2,97</b>	<b>1,05</b>	-0,21	-0,89	-0,39
<b>DL1</b>	-0,33	0,44	0,60	-0,05	-0,54	0,52
<b>DL2</b>	0,03	-0,56	-0,24	0,25	-0,36	-0,23
<b>DL3</b>	0,98	0,02	-0,27	0,34	-1,35	-0,89
<b>DL4</b>	-0,07	-0,44	-0,46	-0,59	-1,02	-0,59
<b>DL5</b>	0,34	0,05	-0,01	-0,02	-0,99	-0,28
<b>DL6</b>	0,38	0,14	-0,41	-0,29	-1,54	-0,93
<b>DL7</b>	0,20	0,12	0,16	0,57	-0,92	-0,61
<b>DL8</b>	0,30	-0,02	-0,36	-0,06	-1,30	-0,15
<b>DL9</b>	<b>1,07</b>	-0,74	<b>5,61</b>	-0,32	-0,73	-0,15
<b>DL10</b>	<b>5,95</b>	-1,04	-1,36	0,41	<b>1,74</b>	-0,26
<b>DL11</b>	-0,24	-0,97	0,68	-0,24	-0,17	-0,02
<b>DL12</b>	-0,01	-0,41	-0,94	-0,06	-1,30	-0,79
<b>DL13</b>	0,18	-0,46	0,01	-0,44	-1,26	-0,51
<b>DL14</b>	-0,49	-0,65	-0,74	-0,52	-1,29	0,18
<b>DL15</b>	0,36	0,24	-0,30	-0,77	-1,64	-1,20
<b>DL16</b>	0,28	-0,63	-0,29	-0,47	-1,18	-0,60
<b>SG1</b>	-0,77	<b>2,71</b>	<b>1,41</b>	<b>3,26</b>	-0,83	-0,74
<b>SG2</b>	-0,15	0,50	-0,56	0,06	0,67	0,61
<b>SG3</b>	0,04	<b>1,33</b>	-0,76	-0,25	0,33	0,89

<b>SG4</b>	0,05	<b>1,41</b>	-1,53	-0,48	0,27	0,05
<b>SG5</b>	-0,75	0,52	-0,17	-0,94	0,08	0,28
<b>SG6</b>	-0,18	<b>2,24</b>	-0,31	-1,81	<b>1,01</b>	<b>1,16</b>

**FS1:** Ảnh hưởng liên quan từ thành phần lớp vỏ trái đất. Kết quả phân tích nhân tố điểm ở Bảng 3.15 chỉ ra rằng các địa điểm tương ứng với nhân tố FA1 có hệ số điểm cao (FS) như: KH6 (2,19) vị trí thu mẫu ở đèo Khánh Lê thuộc huyện Khánh Vĩnh – Khánh Hòa bị ảnh hưởng do khai thác núi đá granite (Ellioptt, 2018); DL9 (1,07) Cánh đồng cắm tú cầu, đường Lộc Quý, Thiên Lộc, Xã Xuân Thọ; DL10 (5,95) – vị trí thu mẫu thuộc xã Xuân Trường.

**FS2:** Ảnh hưởng từ khí thải và hạt bụi cuốn theo do hoạt động của phương tiện giao thông. Vị trí H9 (1,29) và H13 (1,29) ở khu vực thu mẫu thuộc ngoại ô tỉnh Thừa Thiên Huế, gần đường quốc lộ QL49, với lượng xe lưu thông lớn; thêm vào đó 2 khu vực này gần những bãi tập kết cát ở gần Sông Hương - địa điểm thường xuyên xảy ra nạn khai thác cát ở lòng sông (Nguyễn Hoàng Sơn và cộng sự, 2008). Đối với vị trí KH6 (2,97) có hệ số nhân tố điểm cao nhất đây là vị trí Đèo Khánh Lê thuộc đường quốc lộ HA1. Kết quả nghiên cứu cũng đã tìm ra bốn trong sáu điểm thu mẫu ở thành phố Hồ Chí Minh ảnh hưởng bởi nhân tố 2 gồm SG1 (2,71), SG6(2,24),SG3 (1,33) và SG4 (1,41).

**FS3:** Ảnh hưởng từ hoạt động phương tiện giao thông (do quá trình bào mòn lớp xe). Các vị trí ảnh hưởng của nhân tố 3 bao gồm: HA7 (1,05) thuộc thành phố Hội An; SG1 (1,41) thuộc Tp. Hồ Chí Minh; KH3 (1,43) và KH6 (1,05) thuộc tỉnh Khánh Hòa - các vị trí này gần quốc lộ nên chủ yếu bị ảnh hưởng bởi hạt kềm quá trình lớp bị bào mòn từ các phương tiện giao thông. Điểm đặc biệt ở vị trí DL9 có hệ số tải trọng rất lớn 5,61. Vị trí này gần khu vực khai thác đá cao lanh và bô xít ở gần Trại Mát với kết quả phân tích hàm lượng các nguyên tố Al, Zn, As, Ta, Th cao (Novikov và cộng sự, 2018).

**FS4:** Kết quả phân tích nhân tố điểm cũng đã chỉ ra rằng các vị trí KH4 (2,40), KH5 (1,58) thuộc Trung tâm thành phố Nha Trang, vị trí SG1 (3,24) có vị trí là trung tâm thành phố Hồ Chí Minh – bị ảnh hưởng từ các hoạt động xây dựng công trình. Mẫu HA6 có hệ số tải trọng 3,87 vị trí này bị ảnh hưởng nguồn bụi cát biển.

**FS5:** Nguồn phát thải từ nông nghiệp như phân bón, chất đốt từ phế phẩm nông nghiệp. Các mẫu rêu ảnh hưởng nhân tố 5 bao gồm: H3 (1,31), H4 (1,49), H5 (2,00), HA4 (1,41), HA6 (2,29), HA7 (1,79), DL10 (1,79) - các vị trí gần khu vực nông thôn và vùng ven; SG6 thuộc khu vực trung tâm, nhưng ở đây có hoạt động của nhiều quán nhỏ vẫn dùng chất đốt từ củi và than.

**FS6:** Thành phần đặc trưng khác. Các vị trí ảnh hưởng nhân tố 6 bao gồm KH1 (5,82), KH4 (1,14), SG6 (1,16). Đáng chú ý vị trí KH1 – thuộc xã Khánh Phú – huyện Khánh Vĩnh – điểm có khai thác quặng Thiếc (Thành Long, 2011).

## KẾT LUẬN

Các phương pháp thực nghiệm chính đã được thực hiện trong luận án bao gồm: phương pháp thu thập và xử lý mẫu theo quy trình chung của chương trình ICP\_Vegetation, phương pháp INAA dùng nguồn neutron từ lò phản ứng xung IBR2 – Viện Liên hiệp Nghiên cứu hạt nhân Dubna – Liên bang Nga để xác định hàm lượng các nguyên tố trong mẫu rêu, phương pháp phân tích nhân tố bằng phần mềm thương mại Statistica 8.0 để xác định nguồn phát ra các nguyên tố (có thể gây ô nhiễm không khí) và xác định các vị trí bị ảnh hưởng.

Từ đó luận án đã đạt được những kết quả nghiên cứu chính như sau:

1. Đã chọn được một loài rêu *Barbula indica* sinh trưởng tự nhiên làm đối tượng nghiên cứu chung phù hợp điều kiện môi trường ở Việt

Nam - đáp ứng các tiêu chí làm chỉ thị sinh học theo chương trình điều tra ô nhiễm không khí qua cây rêu (ICP\_Vegetation). Từ kết quả sàng lọc đến kết quả so sánh khả năng hấp thụ các nguyên tố (qua kết quả phân tích hàm lượng các nguyên tố) trong các loài rêu tự nhiên sinh trưởng ở thành phố Huế và Đà Lạt. Quy trình xử lý mẫu rêu thu ở Việt Nam bổ sung thêm bước rửa mẫu bằng nước thường và nước cất (để loại bỏ lớp bụi bao phủ lên bề mặt và những tạp chất bám xung quanh cây rêu) đã được cập nhật vào hướng dẫn của chương trình ICP\_Vegetation (Monitoring manual 2020). Kết quả nghiên cứu này đã góp phần hoàn thiện phương pháp quan trắc môi trường không khí bằng chỉ thị sinh học rêu *Barbula indica* ở Việt Nam. Đây là một kết quả mới so với nghiên cứu trước và có ý nghĩa khoa học đối với nước ta (khi Việt Nam tham gia chương trình ICP\_Vegetation).

2. Đã thu thập được mẫu rêu *Barbula indica* tại 52 địa điểm thuộc 5 tỉnh ở miền Trung và miền Nam của nước ta, đây là các khu vực được triển khai lần đầu tiên (nghiên cứu trước triển khai ở miền Bắc (nhóm Nguyễn Việt Hùng)). Kết quả phân tích bằng kỹ thuật INAA đã xác định được hàm lượng hơn 30 nguyên tố với sai số tương đối dưới 15%, trong đó có nhiều nguyên tố kim loại nặng và có độc tố cao đối với con người và sinh vật. Kết quả đánh giá mức độ ô nhiễm trong không khí cho thấy trung tâm Tp. Hồ Chí Minh cao so với các vị trí trung tâm khác trong các khu vực nghiên cứu (được hiển thị qua hàm lượng các nguyên tố trong mẫu rêu).

3. Phân tích nhân tố được thực hiện với bộ số liệu đa chiều gồm 52 vị trí và hàm lượng 26 nguyên tố. Kết quả đã giải thích được hơn 80% giá trị các biến, truy xuất 6 nguồn ô nhiễm chính phát ra trong không khí và xác định những vị trí ảnh hưởng bởi các nguồn phát đó. Đặc



biệt xác định được những vị trí có giá trị nhân tố điểm cao bất thường có thể ảnh hưởng từ hoạt động khai thác mỏ.

Luận án đã triển khai thành công phương pháp quan trắc môi trường không khí bằng chỉ thị sinh học rêu *Barbula indica* ở 5 tỉnh gồm Thừa Thiên Huế, Quảng Nam, Khánh Hòa, Lâm Đồng và Tp. Hồ Chí Minh (Quận 1), trong đó có cả khu vực nông thôn và miền núi. Đây là kết quả mới của luận án và có ý nghĩa thực tiễn đối với nước ta. Trong đó, kết quả nghiên cứu đánh giá ô nhiễm không khí qua phân tích chỉ thị sinh học cây rêu *Barbula indica* được thu thập ở Thừa thiên huế, Quảng Nam và Tp. Hồ Chí Minh đã được công bố trên tạp chí quốc tế thuộc danh mục ISI (tạp chí Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, Q2, IF<sub>2020</sub>=2,1). Hàm lượng các nguyên tố As, Cd, Cr, Fe, Ni, V, Zn, Al và Sb trong rêu *Barbula indica* là một phần trong bộ số liệu đầu tiên của Việt Nam trong chương trình ICP\_Vegetation.

Mặc dù, luận án đạt được những kết quả mới, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn đối với Việt Nam. Tuy nhiên nhóm nghiên cứu đã gặp một số khó khăn và hạn chế về đối tượng và thời gian nghiên cứu. Cụ thể, cây rêu là sinh vật biểu sinh do đó phụ thuộc vào khí hậu (mùa mưa), môi trường đất (lớp thực vật mục) để cây rêu sinh trưởng; giá trị hàm lượng nguyên tố trong rêu là giá trị tích lũy trong suốt thời gian sinh trưởng của rêu – tuổi rêu. Do đó để thu được mẫu rêu đồng nhất thời gian sống cần số lượng người tham gia lớn. Vì vậy số lượng mẫu trong luận án sau khi thu được và sàng lọc có được 52 mẫu rêu đạt tiêu chí làm đối tượng chỉ thị. Phương pháp phân tích kích hoạt neutron được sử dụng ở nước ngoài do đó mất nhiều thời gian (khoảng 1 năm) sau khi thu thập và xử lý mẫu ở Việt Nam và mẫu được phân tích tại Viện Liên hiệp Nghiên cứu hạt nhân Dubna – Liên bang Nga.

### **Những kết quả mới mà luận án đã đạt được:**

Xác định đối tượng rêu *Barbula indica* làm chỉ thị chung và bổ sung quy trình xử lý mẫu tối ưu đối với rêu sinh trưởng trong môi trường khí hậu ở Việt Nam. Đây là kết quả mới của luận án so với nghiên cứu nhóm Nguyễn Việt Hùng.

Lần đầu tiên triển khai thành công phương pháp sử dụng rêu *Barbula indica* ở năm tỉnh thành phố gồm Thừa thiên Huế, Quảng Nam, Lâm Đồng, Khánh Hòa và thành phố Hồ Chí Minh (Quận 1).

Đóng góp bộ số liệu đầu tiên về hàm lượng các nguyên tố lắng đọng từ môi trường không khí ở Việt Nam trong rêu *Barbula indica* (kể từ năm 2015 - Việt Nam là thành viên chính thức trong chương trình ICP\_Vegetation).

### **KIẾN NGHỊ**

Dựa vào những kết quả đạt được của luận án, có thể triển khai nghiên cứu thêm những vấn đề sau:

1. Triển khai sử dụng rêu *Barbula Indica* làm chỉ thị sinh học điều tra lắng đọng kim loại nặng trong không khí cho tất cả các tỉnh ở Việt Nam.
2. Ứng dụng tính năng hấp thu các chất dinh dưỡng từ không khí của cây rêu có thể sử dụng cải thiện môi trường không khí ở những thành phố lớn có mức độ ô nhiễm không khí cao.

### **DANH MỤC CÁC CÔNG BỐ CHÍNH DÙNG BẢO VỆ LUẬN ÁN**

1. **Thao Tien Doan Phan**, Dung Do Van, Vinh Ha Xuan, Hong Khiem Le, Nguyen Thi Minh Nguyet. (2016). Comparison of ability absorption of heavy metal elements of Babula and Hypnum moss species by the neutron activation analysis method- *Proceeding of Advances in Applied and Engineering Physics*, pp:465-469. ISBN: 978-604-913-232-2.

2. **Doan, Phan. T.T.**, Trinh, T.T.M., Khiem, L.H., Frontasyeva, M.V., Quyet, N.H. (2019). Study of airborne trace element pollution in central and southern Vietnam using moss (*Barbula indica*) technique and

neutron activation analysis. *Asia-Pacific J Atmos Sci* (Q2); 55, 247–253. <https://doi.org/10.1007/s13143-018-0065-4>.

3. Khiem, L. H., Quan, V.D., Trinh, T. T. M., Frontasyeva, M. V., **Tien, D. P. T.**, Nam, L.D., Mai, N. N., Quyet, N. H., Hong, K.T., Son, N.A., Thanh, T.T., Trung T.D. and Thang, D.V. (2019). The Study of Air Pollution of Metal Elements in Hanoi, Hung Yen and Dong Nai Using *Barbula Indica* Moss. *Communications in Physics*, Vol.29, No.3SI, pp. 401 – 410. Doi: 10.15625/0868-3166/29/3SI/14329.

4. **Đoàn Phan Thảo Tiên**, Trịnh Thị Thu Mỹ, Frontasyeva M.V, Lê Hồng Khiêm, Nguyễn An Sơn, Hà Xuân Vinh. (2019). Nghiên cứu và phân tích nguồn gốc ô nhiễm không khí ở thành phố Huế thông qua rêu *Barbula* bằng phần mềm Statistica 8.0. *Tạp chí khoa học – Trường đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, Khoa học tự nhiên và Công nghệ*, Tập 16, số 6, tr: 107 – 114. ISSN 1859 – 3100.

5. **Doan Phan Thao Tien**, Le Hong Khiem, Trinh Thi Thu My, Marina Vladimir Frontasyeva, Nguyen Thi Minh Sang, Nguyen An Son. (2020). Comparing atmospheric trace element accumulation of three moss speices. *Science & Technology Development Journal*, 23 (4), 752 – 757. DOI: 10.32508/stdj.v23i4.2417.

6. Nguyễn An Sơn, **Đoàn Phan Thảo Tiên**, Lê Hồng Khiêm, Nguyễn Thị Nguyệt Hà, Nguyễn Thị Minh Sang, Phạm Thị Ngọc Hà, Lê Việt Huy, Phạm Đăng Quyết, Hồ Hữu Thắng, Nguyễn Trương Dương Cẩm. (2020). Xác định nguyên tố vết trong không khí tại thành phố Đà Lạt qua chỉ thị trên rêu *Barbula* bằng phương pháp huỳnh quang tia X phân xạ toàn phần. *Tạp chí khoa học Trường Đại học sư phạm Tp. Hồ Chí Minh*, Tập 17, Số 6, 1048-1056, ISSN 1859 – 3100.

7. **Đoàn Phan Thảo Tiên**, Lê Hồng Khiêm, Nguyễn An Sơn, Đỗ Văn Dũng, Hà Xuân Vinh. (2022). Nghiên cứu ô nhiễm không khí qua phân tích chỉ thị sinh học cây rêu ở tỉnh Quảng Nam. *Kỷ yếu của Hội nghị quốc tế về Vật lý Kỹ thuật và Ứng dụng lần thứ 7 (CAEP7)*. Đã chấp nhận đăng.

8. **Doan Phan Thao Tien**, Trinh Thi Thu My, Le Hong Khiem, Marina Frontasyeva, Inga Zinicovskaia, Nguyen An Son, Do Van Dung. (2022). Studying airborne trace elements in featured areas in Red River Delta and South Central Vietnam using moss biomonitoring technique and neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* (Q2). Online: 18/05/2022. <https://doi.org/10.1007/s10967-022-08331-z>