

# NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ DIỆT KHUẨN BỀ MẶT CỦA HỆ THỐNG ĐÈN UVC - KHUYNH HƯỚNG MỚI TRONG KIỂM SOÁT NHIỄM KHUẨN Ở BỆNH VIỆN

## INVESTIGATING THE PERFORMANCE OF UVC LAMP SYSTEM ON SURFACE DISINFECTION - NEW TRENDS IN INFECTION CONTROL IN HOSPITALS

Phan Nguyễn Duy Minh, Trần Thị Ngọc Thu, Nguyễn Thị Đông Phương\*

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam<sup>1</sup>

\*Tác giả liên hệ / Corresponding author: ntdphuong@ute.udn.vn

(Nhận bài / Received: 31/8/2023; Sửa bài / Revised: 04/12/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 06/12/2023)

**Tóm tắt** - Diệt khuẩn bằng bức xạ tia cực tím (UVC) đã được phát triển rất nhiều năm gần đây, và được ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực. Nghiên cứu này đã sử dụng bức xạ UVC để diệt trừ 05 chủng vi khuẩn *Bacillus cereus*; *Escherichia coli*; *Salmonella enterica ser. Typhimurium*; *Staphylococcus aureus*; *Vibrio parahaemolyticus* với khoảng cách chiếu UVC là 40cm; 80cm; 120cm; 160cm và 200cm. Kết quả của nghiên cứu cho thấy, tại khoảng cách 40cm không tìm thấy khuẩn lạc nào mọc trên đĩa petri. Tuy nhiên, khi khoảng cách lớn hơn 80cm, khả năng làm bất hoạt vi khuẩn của UVC phụ thuộc vào chủng loại vi khuẩn. Cụ thể, khoảng 50% *B. cereus*; *E. coli*, *V. parahaemolyticus* bị bất hoạt, nhưng đối với 2 chủng còn lại thì chúng vẫn không ngừng tăng trưởng, mặc dù có giảm đi so với mẫu đối chứng.

**Từ khóa** - UVC; Diệt khuẩn; Vi khuẩn; Đèn UVC

### 1. Đặt vấn đề

Trong nhiều thập kỷ qua, công nghệ diệt khuẩn bằng tia cực tím (Ultraviolet Germicidal Irradiation - UVGI) đã có những bước phát triển mạnh mẽ và được xem là một phương pháp thay thế đầy hứa hẹn cho các phương pháp diệt khuẩn truyền thống. Bức xạ cực tím có hiệu quả cao trong việc kiểm soát sự phát triển của vi sinh vật trong nhiều môi trường khác nhau, chẳng hạn như nước, không khí, cũng như trên bề mặt. Phương pháp diệt khuẩn bằng tia UVC mang đến nhiều ưu điểm so với việc diệt khuẩn bằng hóa chất như thời gian diệt khuẩn ngắn, an toàn và thân thiện với môi trường khi không tạo ra chất tồn dư độc hại, chi phí vận hành thấp, cũng như cách thiết lập và vận hành tương đối đơn giản.

Trong đại dịch COVID-19, việc khử trùng bề mặt và không khí bằng tia cực tím đã thu hút rất nhiều sự chú ý và nhiều sản phẩm diệt khuẩn bằng tia UVC đã có mặt trên thị trường [1]. Nhiều nơi công cộng có mức độ ô nhiễm không khí và bề mặt khác nhau, từ bệnh viện và cơ sở chăm sóc sức khỏe đến nhà hàng và nhà ăn, bắt đầu sử dụng hệ thống khử trùng bề mặt bằng tia cực tím [2]. Chiếu xạ UVGI là một kỹ thuật khử trùng sử dụng ánh sáng cực tím (UV), đặc biệt là UVC (200-280 nm), để tiêu diệt hoặc làm bất hoạt vi sinh vật. Cụm từ UVGI ban đầu được đặt ra bởi Ủy ban Quốc tế về Chiếu sáng (International Commission on Illumination-CIE) và được Trung tâm Kiểm soát Dịch bệnh (Centers for Disease Control-CDC) thông qua, và cụm từ

**Abstract** - Disinfection of bacteria by ultraviolet C (UVC) radiation has been developed for many years, and has been applied in many fields. This study used UVC radiation to investigate on eliminating 05 strains of *Bacillus cereus*; *Escherichia coli*; *Salmonella enterica ser. Typhimurium*; *Staphylococcus aureus*; *Vibrio parahaemolyticus* with variable UVC with the UVC irradiation distance to bacteria is 40cm; 80cm; 120cm; 160cm and 200cm. The results of the study showed that, no colonies were found growing on petri dishes at the distance of 40cm. However, when the distance is greater than 80cm, the ability of UVC to inactivate bacteria depends on the type of bacteria. Specifically, about 50% of *B. cereus*; *E. coli* and *V. parahaemolyticus* were inactivated, but for the remaining two strains, they still continued to grow, although they decreased compared to the control sample.

**Key words** - UVC; Disinfection; Bacteria; UVC lamp

này được sử dụng chủ yếu cho hai loại UV có khả năng diệt khuẩn là UVB (280-320 nm) và UVC (200-280 nm) để phân biệt với tia UVA (320-400 nm) là loại không có khả năng diệt khuẩn. Mặc dù, các bước sóng của UVB và UVC đều gây ra một số hiệu ứng quang hóa có hiệu quả diệt khuẩn, nhưng các bước sóng trong phạm vi UVC đặc biệt gây hại cho tế bào vì chúng bị hấp thụ bởi protein, RNA và DNA nên loại bức xạ UVC thường được sử dụng trong các ứng dụng diệt khuẩn [3]. Việc sử dụng rộng rãi các phương pháp diệt khuẩn bằng UVC cũng được khuyến nghị để hạn chế sự lây lan của vi-rút sau khi mở cửa trở lại các địa điểm công cộng [4].

Diệt khuẩn bề mặt bằng UVC đề cập đến việc sử dụng bức xạ UVC để khử trùng bề mặt bên trong phòng và hệ thống thông gió, hoặc khử trùng thiết bị và bề mặt vật liệu, chẳng hạn như thiết bị nha khoa và y tế. Các bề mặt bị nhiễm khuẩn thường là tạo ra nguồn vi sinh vật trong không khí và các vi sinh vật trong không khí lại thường tạo ra nhiễm khuẩn bề mặt. Sự tương tác của các quá trình nhiễm khuẩn không khí và bề mặt làm cho vấn đề khử trùng không khí và bề mặt gần như không thể tách rời nhau, chẳng hạn như trong lĩnh vực y tế, chăm sóc sức khỏe và ngành công nghiệp thực phẩm.

Tuy nhiên, hiểu biết của người sử dụng về các đặc điểm và hiệu quả khử trùng bằng tia UVC đã dẫn đến việc sử dụng không phù hợp công nghệ đầy hứa hẹn này. Các ứng

<sup>1</sup> The University of Danang - University of Technology and Education, Danang, Vietnam (Nguyen Duy Minh Phan, Thi Ngoc Thu Tran, Thi Dong Phuong Nguyen)

dụng của công nghệ diệt khuẩn bằng UVC phần lớn chỉ giới hạn trong ngành thực phẩm, hàng không và bệnh viện vì những lo ngại của người dùng liên quan đến những nguy cơ của việc chiếu UV nơi công cộng có thể gây ra ảnh hưởng đến sinh lý da và mắt của con người. Một trong những tác động cấp tính rõ ràng nhất của tia cực tím đối với da là tạo ra một loạt các chất trung gian trong da cùng nhau gây ra “cháy nắng”. Và nặng nề hơn là bức xạ tia cực tím cũng được phân loại là “chất gây ung thư hoàn toàn” vì nó vừa là tác nhân gây đột biến vừa là tác nhân gây hại không đặc hiệu và có đặc tính của cả chất khởi tạo khối u và chất kích thích khối u [5].

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sẽ tiến hành kiểm tra hiệu quả của việc sử dụng bức xạ UVC trong diệt khuẩn bề mặt. Mục tiêu của nghiên cứu là thu được các kết quả về khả năng bất hoạt các loại vi khuẩn gây hại đặc biệt hay xuất hiện trên bề mặt các thiết bị ở bệnh viện bằng hệ thống đèn UVC. Sự thay đổi về liều lượng của tia cực tím hoặc tầm xa của bức xạ bằng cách thay đổi khoảng cách chiếu xạ cực tím sẽ ảnh hưởng thế nào đến sự phát triển của các chủng vi khuẩn cũng sẽ được trình bày trong bài báo này.

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Vật liệu

#### 2.1.1. Hóa chất, thiết bị

Tất cả hóa chất đạt độ tinh khiết cao và được mua từ Công ty Merck (Việt Nam). Thiết bị chiếu UVC là một hệ thống gồm 4 đèn UVC Fort Di công suất 100W mỗi bóng, điện áp 220V, tần số hoạt động 50/60Hz chiều dài 75cm như được bố trí như trong Hình 1.

#### 2.1.2. Chủng vi sinh vật, môi trường và điều kiện nuôi cấy

Các chủng vi sinh vật được lựa chọn ở đây là các loài thường xuất hiện ở môi trường của bệnh viện như các phòng nghỉ của bệnh nhân, các vật dụng sau mổ... Các chủng được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm *Bacillus cereus* (*B. cereus* MT300401); *Escherichia coli* (*E. coli* ATCC 85922); *Salmonella enterica ser. Typhimurium* (*S. enterica ser. Typhimurium* ATCC 14028); *Staphylococcus aureus* (*S. aureus* ATCC 25923); *Vibrio parahaemolyticus* (*V. parahaemolyticus* ATCC 1782) với môi trường nuôi cấy được liệt kê ở Bảng 1.

Các chủng vi khuẩn ở trên được nuôi cấy trong môi trường lỏng ở 37°C với tốc độ lắc 120 rpm đến khi đạt mật độ quang ở bước sóng 600 nm (OD600) xung quanh giá trị 1,0. Môi trường thạch được chuẩn bị bằng cách bổ sung 1,7% (w/v) agar vào môi trường lỏng TSB để chuẩn bị nuôi cấy chủng trên môi trường thạch cho thí nghiệm quét UVC [6].

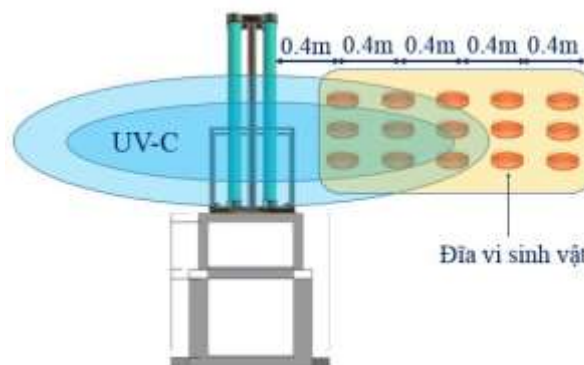
**Bảng 1.** Môi trường được sử dụng để nuôi cấy vi sinh vật thử nghiệm

STT	Vi khuẩn	Chủng	Môi trường
01	<i>B. cereus</i>	MT300401	Luria-Bertani
02	<i>E. coli</i>	ATCC 85922	Luria-Bertani
03	<i>S. enterica ser. Typhimurium</i>	ATCC 14028	TSB
04	<i>S. aureus</i>	ATCC 25923	Nutrient Broth
05	<i>V. parahaemolyticus</i>	ATCC 1782	Nutrient Broth bổ sung muối

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

#### 2.2.1. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm diệt khuẩn bằng UVC được thiết lập theo sơ đồ Hình 1. Mỗi loại vi khuẩn được cấy trên các đĩa được đặt cách hệ thống đèn UVC với các khoảng cách lần lượt là 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm (mỗi hàng đĩa cách nhau 40cm). Ứng với mỗi khoảng cách ta sẽ bố trí 3 đĩa.



**Hình 1.** Bố trí thí nghiệm khử khuẩn bằng UVC

Mỗi thí nghiệm được thực hiện chiếu đèn UVC cho mỗi loại vi khuẩn trong thời gian 02 phút [3]. Mục đích của thí nghiệm này sẽ giúp ta đánh giá khả năng diệt khuẩn của hệ thống đèn lên các loại vi sinh vật khác nhau với cùng một khoảng cách diệt khuẩn cũng như nghiên cứu ảnh hưởng của việc thay đổi khoảng cách diệt khuẩn đến sự tăng trưởng của vi khuẩn khi các bán kính diệt khuẩn thay đổi từ 40 cm; 80 cm; 120 cm; 160 cm và 200 cm tương ứng với cường độ phát xạ 555,9 mJ/cm<sup>2</sup>; 197,7 mJ/cm<sup>2</sup>; 106,8 mJ/cm<sup>2</sup>; 67,8 mJ/cm<sup>2</sup> và 48,9 mJ/cm<sup>2</sup>.

Vì thế, trong phần thí nghiệm này ta chia ra làm 02 dãy thí nghiệm: Đánh giá khả năng diệt khuẩn của UVC, thí nghiệm được bố trí quét UVC với bán kính 40 cm và nghiên cứu ảnh hưởng của bán kính quét UV đến sự tăng trưởng của vi khuẩn, thí nghiệm được bố trí quét UV với các bán kính thay đổi từ 40 cm; 80 cm; 120 cm; 160 cm và 200 cm tương ứng với cường độ phát xạ 555,9 mJ/cm<sup>2</sup>; 197,7 mJ/cm<sup>2</sup>; 106,8 mJ/cm<sup>2</sup>; 67,8 mJ/cm<sup>2</sup> và 48,9 mJ/cm<sup>2</sup>. Chủng vi khuẩn được trải trên môi trường TSA với nồng độ vi khuẩn ban đầu là  $(1,05 \pm 0,02) \times 10^8$  CFU/ml. Mỗi thí nghiệm dành cho mỗi chủng đều thiết lập có mẫu đối chứng. Mẫu đối chứng là mẫu vi khuẩn được cấy lên bề mặt rắn của agar nhưng không được quét bằng UVC (mẫu đối chứng dương) và được đặt vào cùng điều kiện của các mẫu được quét UVC. Mẫu đối chứng âm là mẫu không chứa vi khuẩn trên bề mặt rắn agar nhưng được đặt vào khu vực tiệt trùng UVC như đã thiết lập.

#### 2.2.2. Đánh giá hiệu quả diệt khuẩn của UVC

Với mục tiêu đánh giá được hiệu quả của hệ thống đèn diệt khuẩn UVC và ảnh hưởng của cự ly hay bán kính của tầm quét UVC đến sự phát triển của vi khuẩn, phương pháp đếm khuẩn lạc được sử dụng trong thí nghiệm này theo phương pháp đếm chuẩn, được xác định dưới dạng CFU/ml, ước tính đơn vị hình thành khuẩn lạc trên ml bằng cách tính số lượng khuẩn lạc trung bình (từ phép xác định 3 đĩa) và nhân tỷ lệ nghịch của hệ số pha loãng. Việc đếm khuẩn lạc được tiến hành sau khi quét UVC và so sánh với mẫu đối chứng dương.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Đánh giá hiệu quả diệt khuẩn của UVC

Sau khi thiết lập các thí nghiệm như mô tả của Hình 1 với bán kính quét 40 cm, kết quả tăng trưởng của vi khuẩn sau khi quét UVC được thể hiện ở Bảng 2.

**Bảng 2.** Khả năng diệt khuẩn của UVC với bán kính 0,4m

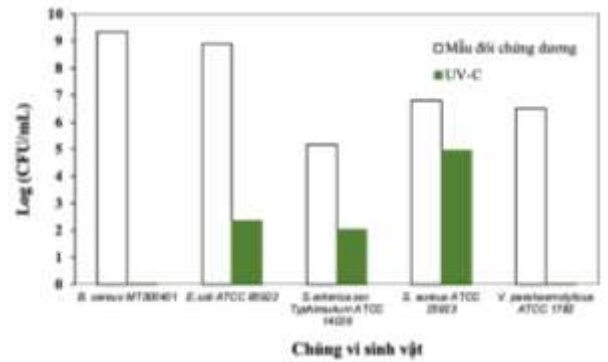
STT	Xét nghiệm	Đơn vị	Kết quả	
			Mẫu đối chứng dương	UVC
1	<i>B. cereus</i> MT300401	CFU/ml	> 10 <sup>9</sup>	na
2	<i>E.coli</i> ATCC 85922	CFU/ml	(8,2±0,1) x 10 <sup>8</sup>	na
3	<i>S. enterica ser. Typhimurium</i> ATCC 14028	CFU/ml	(1,5 ±0,05)x 10 <sup>5</sup>	na
4	<i>S. aureus</i> ATCC 25923	CFU/ml	(6,5 ± 0,1)x 10 <sup>6</sup>	na
5	<i>V. parahaemolyticus</i> ATCC 1782	CFU/ml	(3±0,2) x 10 <sup>6</sup>	na

Với kết quả kiểm nghiệm quét UVC khoảng dưới 0,4 mét tương ứng với cường độ phát xạ nhỏ hơn 555,9 mJ/cm<sup>2</sup> ở trên có thể cho thấy hiệu quả diệt khuẩn bằng UVC gần như tuyệt đối. Không tìm thấy bất kỳ khuẩn lạc nào mọc trên đĩa TSA khi so với mẫu đối chứng dương. Kết quả này tương đương khi so sánh với công trình của các tác giả Kalchayanand đã công bố vào năm 2020 khi nghiên cứu đánh giá của hiệu quả của UVC khi khử các vi khuẩn *E. coli* ATCC 43895, *Salmonella* Newport 13109 and Typhimurium DT-104 and *L. monocytogenes* FSIS 1/2b với đối tượng nghiên cứu là thịt bò [7]. Kết quả của họ cho thấy, với cường độ 590 mJ/cm<sup>2</sup> trong vòng 75 giây, UVC đã bất hoạt được các loại vi khuẩn này, và làm giảm mật độ vi khuẩn hiếu khí từ 0,69 đến 1,54 log CFU/cm<sup>2</sup>. Những nghiên cứu sớm hơn về việc bất hoạt khoảng 54,6% loài *L. monocytogenes* ATCC 19111 trên bề mặt thịt bò bằng việc xử lý UVC với cường độ 195 mJ/cm<sup>2</sup> [8] trong khi đó nghiên cứu trên bề mặt agar cho kết quả bất hoạt vi khuẩn cao hơn, các vi khuẩn được nghiên cứu cũng là *L. monocytogenes*, *Salmonella* Typhimurium, and *E. coli* O157:H7 với lý do bề mặt agar dễ thấm thấu tia phát xạ UV hơn là bề mặt thịt [9], [10].

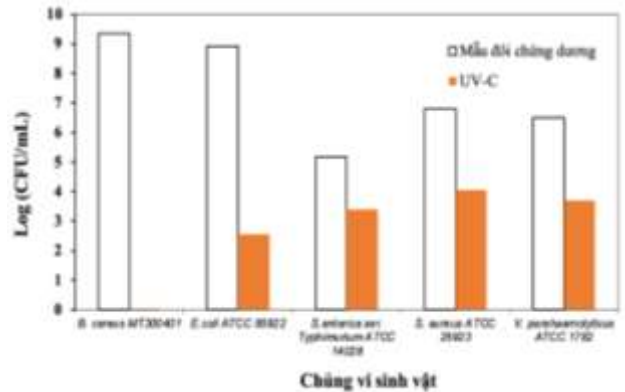
#### 3.2. Ảnh hưởng của bán kính quét UVC đến sự phát triển của vi khuẩn

Với thí nghiệm nghiên cứu của cường độ phát xạ của UVC hay khoảng cách đặt máy UVC đến bề mặt chứa vi khuẩn ảnh hưởng đến sự bất hoạt của các vi khuẩn mục tiêu trên bề mặt, thí nghiệm đã cho thay đổi khoảng cách đặt đĩa môi trường rắn chứa vi khuẩn thay đổi theo khoảng cách hoặc thay đổi theo cường độ phát xạ từ 555,9 mJ/cm<sup>2</sup>; 197,7 mJ/cm<sup>2</sup>; 106,8 mJ/cm<sup>2</sup>; 67,8 mJ/cm<sup>2</sup> và 48,9 mJ/cm<sup>2</sup>. Kết quả đã được thể hiện trong các Hình 2-5.

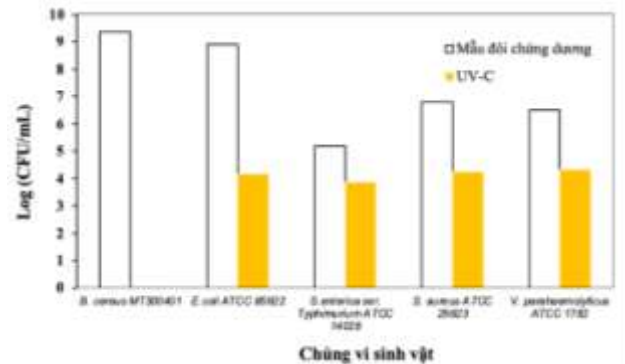
Dựa vào kết quả được thể hiện trên các Hình 2-5, có thể thấy, nếu giảm cường độ phát xạ của UVC hoặc nếu khoảng cách đĩa chứa vi khuẩn càng để xa máy quét thì khả năng bất hoạt của UVC càng giảm. Cụ thể, đối với chủng *B. cereus* MT300401, mất khả năng phân chia tế bào dừng lại ở việc chiếu UVC nhỏ hơn 106,8 mJ/cm<sup>2</sup>, nồng độ của chúng có giảm ít từ 10<sup>9</sup> xuống 1,8×10<sup>3</sup>; trong khi các



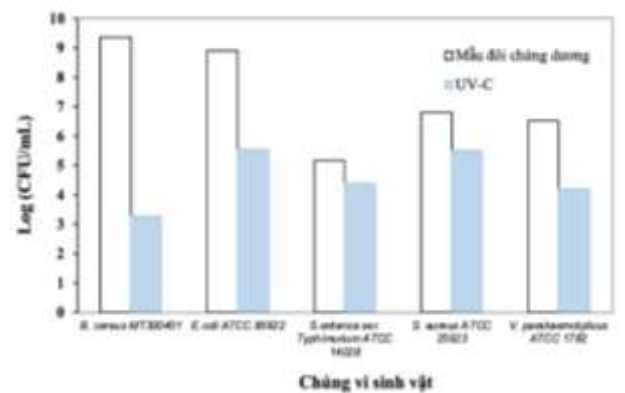
**Hình 2.** Khả năng diệt khuẩn của UVC với bán kính quét 80 cm



**Hình 3.** Khả năng diệt khuẩn của UVC với bán kính quét 120 cm



**Hình 4.** Khả năng diệt khuẩn của UVC với bán kính quét 160 cm



**Hình 5.** Khả năng diệt khuẩn của UVC với bán kính quét 200 cm chủng khác có độ hoạt động mạnh hơn chủng *B. cereus* MT300401 khi chiếu UV nhỏ hơn 197,7 mJ/cm<sup>2</sup>. Nghĩa là, với cường độ 197,7 mJ/cm<sup>2</sup> *E. coli* ATCC 85922;

*S. enterica ser. Typhimurium* ATCC 14028; *S. aureus* ATCC 25923; *V. parahaemolyticus* ATCC 1782 vẫn phát triển trên bề mặt rắn của đĩa môi trường TSA, nhưng vẫn ở giới hạn cho phép của tiêu chuẩn của bộ tài nguyên môi trường quy định cho nước thải y tế bệnh viện QCVN 28:2010/BTNMT. Nhưng với khoảng cách lớn hơn 160 cm thì việc quét UVC không còn hiệu quả đối với các chủng này. Hoạt tính của các loại vi khuẩn đối với cường độ phát xạ của UVC cũng khác nhau, UVC thực sự hiệu quả đối với *B. cereus* với bán kính phát xạ dưới 200cm nghĩa là 2m. Còn đối với *E. coli* thì hoạt tính giảm rõ rệt khi chiếu UVC ở bán kính 200 cm. Vậy so với số liệu ở Bảng 02, có thể nhận thấy rằng sự bất hoạt vi khuẩn ở bán kính nhỏ hơn 40 cm. Nếu so sánh với các nghiên cứu trước khi sử dụng UVC để làm bất hoạt vi khuẩn trên bề mặt thịt bò thì nghiên cứu này có nhiều ưu điểm như thời gian phát xạ UV ngắn, chỉ 2 phút (120 giây) khi so sánh với công trình của Kim và cộng sự công bố vào năm 2014 cho thấy thời gian phát xạ UV của họ ít nhất là 5 phút (300 giây) [9]. Nghiên cứu này còn chỉ ra liều lượng, thời gian phát xạ UV ảnh hưởng rất lớn đến sự tăng trưởng của *coliforms* trên bề mặt thịt bò. Với thời gian phát xạ UV trong 5 phút, 10 phút, 15 và 20 phút mật độ *coliforms* xác định ở giá trị lần lượt là 3,80, 3,60, 3,48 và 3,28 Log CFU/g so với thịt bò không chiếu UV thì *coliforms* có mật độ là 4,82 Log CFU/g. Hơn nữa, các nghiên cứu còn chỉ ra sự kết hợp UVC với UV ozon sẽ cho hiệu quả bất hoạt vi khuẩn lớn hơn [7].

#### 4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, các kết quả đạt được về khả năng bất hoạt vi khuẩn dựa vào chiếu xạ UVC khá tương đồng với các nghiên cứu trước đây của các nhà khoa học trên thế giới. Với cường độ phát xạ 556 mJ/cm<sup>2</sup> tương ứng với khoảng cách chiếu xạ 40 cm, hầu như các vi khuẩn đều bị bất hoạt, hay nói một cách khác chúng không có khả năng phát triển trên bề mặt trong phạm vi bán kính phát xạ UVC nhỏ hơn 40 cm. Kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra rằng khoảng cách giữa nguồn UVC và bề mặt cần được diệt khuẩn là một yếu tố quan trọng để đảm bảo hiệu quả. Khoảng cách này có thể thay đổi tùy thuộc vào loại đèn, công suất. Hơn nữa, việc đánh giá ảnh hưởng của khoảng cách chiếu xạ UVC đến khả năng diệt khuẩn trên từng chủng vi khuẩn, trong đó có tụ cầu khuẩn và *Salmonella* là các vi khuẩn thường có mặt ở bệnh viện cũng là một điểm mới so với các nghiên cứu trước đây. Trong các nghiên cứu

tiếp theo, nhóm tác giả sẽ tập trung vào các thí nghiệm kiểm tra hiệu quả của hệ thống đèn UVC trong việc diệt khuẩn các vi sinh vật trong môi trường không khí.

**Lời cảm ơn:** Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí thực hiện nghiên cứu trong bài báo từ Ủy ban Nhân dân Thành phố Đà Nẵng theo hợp đồng số 22/HĐ-SKHCHN (2021).

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N. D. M. Phan *et al.*, "Application of ultraviolet germicidal irradiation technology in the disinfection robot sector: A review", *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, vol. 20, no. 11.2, pp. 19–25, 2022.
- [2] N. D. M. Phan *et al.*, "An Ultraviolet C Light-Emitting Robot Design for Disinfection in the Operating Room", *Recent Trends in Mechatronics Towards Industry 4.0*, Springer, Vol. 730, pp. 185–196, 2022. [https://doi.org/10.1007/978-981-33-4597-3\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-33-4597-3_18)
- [3] J. R. Bolton and C. A. Cotton, *The ultraviolet disinfection handbook*. American Water Works Association, 2011.
- [4] B. Ma, P. M. Gundy, C. P. Gerba, M. D. Sobsey, and K. G. Linden, "UV inactivation of SARS-CoV-2 across the UVC spectrum: KrCl\* excimer, mercury-vapor, and light-emitting-diode (LED) sources", *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 87, no. 22, pp. e01532-21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.01532-21>
- [5] M. Kneissl, T.-Y. Seong, J. Han, and H. Amano, "The emergence and prospects of deep-ultraviolet light-emitting diode technologies", *Nat. Photonics*, vol. 13, no. 4, pp. 233–244, 2019. DOI: 10.1038/s41566-019-0359-9
- [6] L.D. Nguyen, and D.Q. Nguyen, *Microorganisms*, Publishing House of Education, 2007.
- [7] Kalchayanand, J. M. Bosilevac, D. A. King, and T. L. Wheeler, "Evaluation of UVC radiation and a UVC-ozon combination as fresh beef interventions against Shiga toxin-producing *Escherichia coli*, salmonella, and listeria monocytogenes and their effects on beef quality", *J. Food Prot.*, vol. 83, no. 9, pp. 1520–1529, 2020. <https://doi.org/10.4315/JFP-19-473>
- [8] A. M. Hamidi-Oskouei, C. James, and S. James, "The efficiency of UVC radiation in the inactivation of *Listeria monocytogenes* on beef-agar food models", *Food Technol. Biotechnol.*, vol. 53, no. 2, pp. 231–236, 2015. doi: 10.17113/ftb.53.02.15.3966
- [9] H. J. Kim, Y. J. Lee, and J. B. Eun, "Changes in the microbiological characteristics of Korean native cattle (Hanwoo) beef exposed to ultraviolet (UV) irradiation prior to refrigeration", *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.*, vol. 34, no. 6, pp. 815–821, 2014. doi: 10.5851/kosfa.2014.34.6.815
- [10] N. Kalchayanand, T. M. Arthur, J. M. Bosilevac, J. E. Wells, and T. L. Wheeler, "Chromogenic agar medium for detection and isolation of *Escherichia coli* serogroups O26, O45, O103, O111, O121, and O145 from fresh beef and cattle feces", *J. Food Prot.*, vol. 76, no. 2, pp. 192–199, 2013. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-182>