

# NGHIÊN CỨU DÙNG PLASMA LẠNH VỚI KHÍ ARGON VÀ OXY DIỆT VI KHUẨN TRÊN BỀ MẶT VẬT LIỆU

● LÊ CAO ĐĂNG - NGUYỄN TƯỜNG LONG  
- NGÔ NGUYÊN VŨ - LÊ THỊ HỒNG THỦY

## TÓM TẮT:

Plasma lạnh được tạo ra trong môi trường điện áp cao giữa các điện cực ở nhiệt độ phòng và thành phần của nó phụ thuộc vào các khí chạy giữa các điện cực đó. Bài báo này đánh giá hiệu quả khử trùng của plasma lạnh tác dụng lên vi khuẩn trên những bề mặt phẳng. Sau đó, quy trình khử trùng được thử nghiệm trực tiếp trên bề mặt tiền polymer và đánh giá hiệu quả của phương pháp khử trùng này. Sử dụng hai kiểu khí làm tác nhân diệt khuẩn, gồm: loại 100% Argon tinh khiết, hoặc 98% Argon kết hợp với 2% Oxy. Quy trình khử trùng bằng thiết bị đã được thử nghiệm trên 5 loài vi khuẩn khác nhau (*Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* và *Staphylococcus aureus*). Sau đó, lặp lại quy trình trên tiền và đánh giá hiệu quả của plasma lạnh đối với hệ vi sinh vật trên bề mặt tiền. Kết quả rất tích cực với cả hai thiết lập khí đều mang lại hiệu suất cao lên đến 99,97% lượng vi khuẩn bị tiêu diệt. Nghiên cứu đã chứng minh được hiệu quả của quy trình khử trùng bằng plasma lạnh trên bề mặt phẳng và mở ra nhiều ứng dụng tiềm năng hơn của kỹ thuật khử trùng bề mặt, đặc biệt là tiền, trong tương lai.

**Từ khóa:** plasma lạnh, khử khuẩn bề mặt, plasma argon, plasma argon/oxy.

## 1. Đặt vấn đề

Vi khuẩn là những vi sinh vật nhân sơ có khả năng thích nghi cao và gây ra nhiều loại bệnh như nhiễm trùng mắt, nhiễm trùng da và máu, bao gồm cả viêm màng não và viêm phổi. Vi khuẩn có thể được phân loại đơn giản thành vi khuẩn Gram dương và vi khuẩn Gram âm dựa trên sự khác biệt cấu trúc của tế bào. Vi khuẩn Gram dương có thành tế bào peptidoglycan tương đối dày, trong khi vi khuẩn Gram âm có thành tế bào peptidoglycan mỏng hơn nhưng có màng ngoài

chứa lipopolysaccharid và protein. Do đó, làm thế nào để tiêu diệt hoặc làm bất hoạt những vi khuẩn và nội bào tử này một cách hiệu quả là một vấn đề quan trọng trong việc nâng cao chất lượng cuộc sống hàng ngày của con người.

Các phương pháp thông thường dựa trên nhiệt, etanol, phát xạ tia cực tím [2] và khử hóa chất, chẳng hạn như hydrogen peroxide, EtO [3], là những cách hiệu quả để vô hiệu hóa vi khuẩn hiện có. Đối với khử trùng bằng nhiệt, sưởi khô hoặc sưởi ướt, nó có tỷ lệ khử hoạt tính cao,

nhưng bị hạn chế bởi nhiệt độ yêu cầu rất cao (hơn 120°C) và kích thước của mẫu, được đặt trong một buồng. Bên cạnh đó, nó có thể gây hư hỏng nhiệt cho các vật liệu như nhựa, cao su, chất xơ, thực phẩm, da và thời gian diệt khuẩn dài. Một phương pháp khử trùng khác sử dụng các chất diệt khuẩn hóa học như hydrogen peroxide và Ethanol với 75% có thể được vận hành đơn giản để khử trùng hiệu quả. Tuy nhiên, hiệu quả khử trùng của etanol vẫn còn quá thấp, gây ra ăn mòn và tạo ra dư lượng độc hại và các chất gây kích ứng, nó luôn là mối lo đối với cơ thể con người. Trong một cách tiếp cận mới, bức xạ tia cực tím ở bước sóng 254 nm đã được nghiên cứu để khử trùng bề mặt và không ghi nhận được sự phá hủy hoặc ăn mòn do nhiệt. Tuy nhiên, phát xạ tia cực tím sẽ làm hỏng các axit nucleic, DNA, RNA và protein để làm bất hoạt tế bào. Mặc dù phát xạ tia cực tím có hiệu quả và tiện lợi, nhưng nhược điểm của nó là chi phí cao, tổn thương mô sống, nguy hiểm cho con người, đặc biệt vùng da và mắt, và tính không thấy khiến nó không phù hợp để điều trị trên cơ thể người. Đó là lý do tại sao khử trùng bằng tia cực tím UV thường được thực hiện bằng cách sử dụng đèn UVC với tấm chắn bảo vệ. Bên cạnh đó, UV có một giới hạn lớn đó là UV chỉ hoạt động trong đường ánh sáng của nó và có thể bị chặn bởi các vật thể. Phải đảm bảo chiếu trực tiếp UV lên những gì muốn tiệt trùng. Tóm lại, những hạn chế của các phương pháp tiệt trùng thông thường như thời gian điều trị lâu, tác dụng phụ hoặc mất khả năng sử dụng đối với các vật nhạy cảm với nhiệt buộc chúng tôi phải tìm kiếm các phương pháp tiệt trùng mới hiệu quả cao.

Trong những năm gần đây, plasma lạnh đã mở ra nhiều ứng dụng tiềm năng trong lĩnh vực y sinh [4], chủ yếu là vì chúng ta có thể vận hành nó ở áp suất khí quyển. Plasma được gọi là trạng thái thứ tư của vật chất, bao gồm các nguyên tử hoặc phân tử khí trung hòa, các ion tích điện, các điện tử tự do và các gốc ion dôi dào. Theo báo cáo, các gốc và chất trung tính bị kích thích trong plasma

lạnh có thể thúc đẩy các phản ứng sửa đổi DNA, protein và màng tế bào, gây ra các hiệu ứng như bất hoạt vi khuẩn [5]. Các kết quả gần đây cũng cho thấy plasma lạnh có thể vô hiệu hóa một số chủng vi khuẩn trong vòng vài giây mà không làm tổn thương mô sống so với các phương pháp thông thường [6] và nhiệt độ plasma gần với cơ thể người, có tiềm năng lớn để áp dụng trên mô sống.

Nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng thời gian chiếu có hiệu quả bất hoạt vi khuẩn từ hàng chục giây đến vài phút [6]. Việc sử dụng các loại khí khác nhau có ảnh hưởng đến kết quả trong hiệu quả khử trùng. Argon và heli là những khí phổ biến nhất được sử dụng trong plasma lạnh và plasma argon có lợi thế kinh tế vì yêu cầu chi phí thấp hơn nhiều. Ngoài ra, khi bổ sung phần nhỏ oxy có thể làm tăng quá trình tạo ra gốc oxy phản ứng và tăng cường tốc độ diệt khuẩn. Hiệu quả diệt khuẩn của plasma vẫn chưa được hiểu đầy đủ. Tuy nhiên, hầu hết các nguồn plasma áp suất khí quyển đều có một số vấn đề. Chúng bao gồm nhiệt độ khí quá nóng, thời gian xử lý kéo dài, không gian hạn chế và tiêu thụ quá nhiều khí làm việc. Phóng điện plasma heli trong plasma lạnh là phổ biến vì heli có điện áp đánh thủng tương đối thấp và có thể dễ dàng tạo ra phóng điện plasma ổn định. Mặc dù plasma Ar/O<sub>2</sub> áp suất khí quyển tương đối khó duy trì so với plasma He/O<sub>2</sub>, nhưng nó tạo ra nhiều gốc oxy phản ứng hơn và mật độ điện tử của plasma argon gần gấp đôi plasma heli ở áp suất khí quyển. Trong nghiên cứu này, một phương pháp kỹ thuật để duy trì plasma Ar/O<sub>2</sub> ổn định hoạt động ở tần số vô tuyến 20 kHz ở áp suất khí quyển được đề xuất. *Pseudomonas aeruginosa* (Pa) (ATCC 9027), *Salmonella enterica* (Sal) (ATCC 6539), *Escherichia coli* (EC) (ATCC 25922), *Enterococcus faecalis* (Ef) (ATCC 29212) và *Staphylococcus aureus* (Sa) (ATCC 29213) được chọn làm đối tượng nghiên cứu cho thí nghiệm diệt khuẩn. Phương pháp đếm khuẩn lạc CFU được sử dụng để kiểm tra khả năng tồn tại của vi khuẩn được xử lý bởi Ar/O<sub>2</sub>.

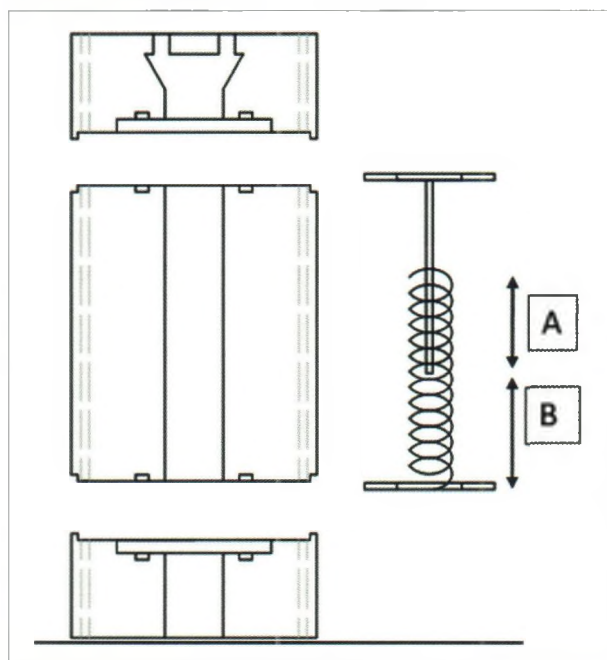
## 2. Mô hình thiết bị plasma lạnh ở áp suất khí quyển

Hình 1 trình bày hình ảnh bên ngoài và mặt cắt ngang tương ứng của plasma argon áp suất khí quyển. Buồng plasma này bao gồm hai điện cực đặt đồng trục. Vỏ bên ngoài plasma lạnh này được làm bằng nhựa Polylactic Acid được in bằng máy in 3D. Chúng tôi cho khí để duy trì trạng thái plasma vào đầu thiết bị và kiểm soát tốc độ dòng chảy bằng lưu lượng kế có thể điều chỉnh thủ công. Dòng khí chính là 7 slm argon (độ tinh khiết 99,95%) và khí O<sub>2</sub> (độ tinh khiết 99,5%) được thêm vào trong bộ tạo plasma khoảng 2%. Điện cực dương có cấu tạo bằng thanh vonfram thẳng, điện cực âm được cấu tạo bằng thép chịu nhiệt. Chiều dài của vùng A và B lần lượt là 2 điện cực chồng lên nhau và phần không chồng lên nhau. Đường kính bên trong điện cực âm là 22mm và độ dày mỗi điện cực là 2mm. Hệ khí được đưa vào buồng và chảy đến không gian giữa cả hai điện cực trong vùng A, nơi khoảng cách khe hở nhỏ tạo ra điện trường mạnh. Các photon UV và các ion bị kích thích trong quá trình phóng điện plasma bị đẩy ra khỏi vòi phun. Khoảng cách khe hở giữa điện cực âm và điện cực dương có thể được giảm xuống để tăng điện trường, nhưng plasma khối không thể tồn tại trong một vùng hẹp không thỏa mãn các điều kiện cần thiết cho sự tồn tại của plasma. Điều này có thể dẫn đến tạo ra lửa do điện trường cao. Nếu điện cực bên trong có cấu hình điện cực như trong Hình 1, vấn đề gây ra lửa nhiệt lượng cao có thể được giảm thiểu. Như thể hiện trong Hình 1, một tia plasma áp suất khí quyển có cấu hình bước điện cực bao gồm hai phần: vùng tạo trường mạnh có nhãn “A” và vùng hình thành plasma có nhãn “B”. Điện áp đầu vào là 20kV dòng một chiều với tần số 20kHz, plasma Ar/O<sub>2</sub> ổn định phóng điện plasma đã được thực nghiệm.

## 3. Phương pháp nghiên cứu

Vi khuẩn sử dụng trong nghiên cứu bao gồm các chủng vi khuẩn *Enterococcus faecalis* (Ef) (ATCC 29212), *Staphylococcus aureus* (Sa)

Hình 1: Hình ảnh plasma argon áp suất khí quyển

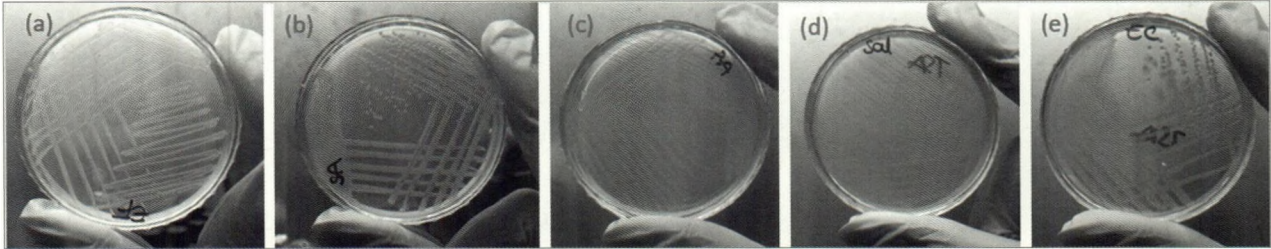


(ATCC 29213), *Pseudomonas aeruginosa* (Pa) (ATCC 9027), *Salmonella enterica* (Sal) (ATCC 6539), *Escherichia coli* (EC) (ATCC 25922), được nuôi cấy trên điều kiện thạch dinh dưỡng Tryptic soy agar (TSA) 24 giờ trước khi tiến hành các thí nghiệm. Nồng độ vi khuẩn được pha loãng mật độ quang 0.067 ở 600 nm (OD600), tương ứng với mật độ vi khuẩn xấp xỉ 10<sup>6</sup> ~ 10<sup>7</sup> đơn vị hình thành khuẩn lạc CFU/ml như ở Hình 2.

Chúng tôi xác nhận mật độ quần thể vi khuẩn bằng phương pháp pha loãng 1000 lần kết hợp với đo OD vi khuẩn để đạt mật độ xấp xỉ 10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup> CFU/ml. Bề mặt dùng để trải vi khuẩn khi chiếu plasma được sử dụng trong nghiên cứu này là đĩa nhựa dùng 1 lần làm từ nhựa PE (Polyethylene), có bề mặt phẳng, đã được tiệt trùng và độ rõ quang học cao. Để ngăn ngừa ô nhiễm, mẫu vi khuẩn đã được trải qua một quá trình cố định trước khi được đưa vào buồng plasma. Đầu tiên, 150µl vi khuẩn được dùng pipet hút đưa lên đĩa nhựa, trải đều vi khuẩn bằng tăm bông (tiêu chuẩn bộ y tế) và làm khô trong 20 phút trong tủ an toàn sinh học. Sau khi dung dịch trên đĩa nhựa đã khô, đặt đĩa nhựa vào buồng plasma với các

**Hình 2: 5 mẫu vi khuẩn được nuôi cấy sử dụng trong thí nghiệm**

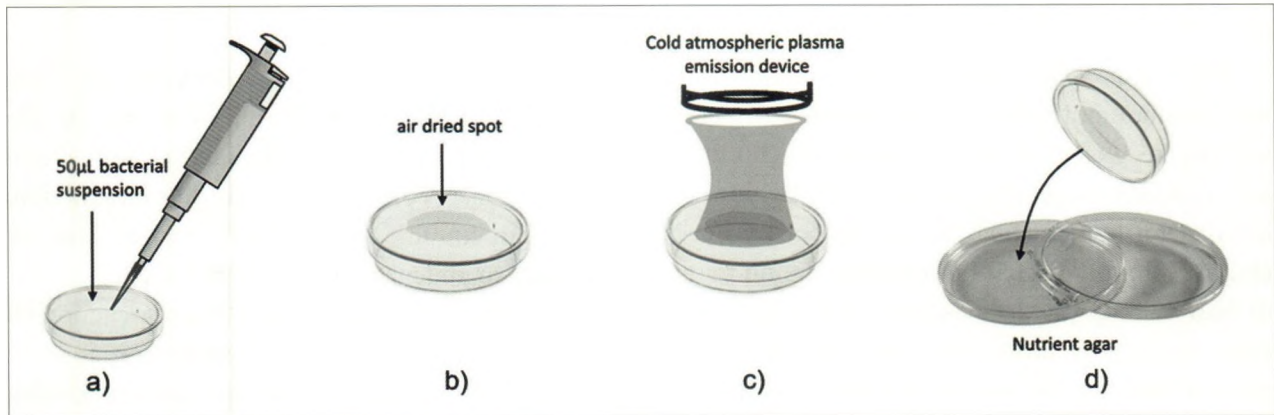
a) *Enterococcus faecalis* b) *Staphylococcus aureus* c) *Pseudomonas aeruginosa* d) *Salmonella enterica* e) *Escherichia coli*



điều kiện thứ nhất lưu lượng 7 lít/phút khí Argon, khoảng cách xử lý là  $z = 4\text{cm}$ ; điều kiện thứ 2 khí Oxy được thêm vào với tỷ lệ 2% tổng lưu lượng khí và giữ nguyên các thông số còn lại. Thực nghiệm chiếu plasma lạnh cho 5 loại vi khuẩn đã nêu trên. Các mẫu sau khi được xử lý bằng plasma lạnh sẽ được mạ lên đĩa thạch agar, tiếp theo ủ ở  $37^\circ$  trong 24 giờ sẽ lấy ra tính CFU. Kết quả diệt khuẩn được tính theo công thức (1). Mỗi mẫu vi khuẩn sẽ được thực hiện khử khuẩn độc lập và lặp lại cẩn thận thí nghiệm một lần để kiểm tra kết quả. (Hình 3)

oxy. Điều kiện hoạt động thiết bị plasma của chúng tôi là 20 kV dòng một chiều với lưu lượng dòng khí chính là 7 lít/phút Argon tinh khiết, khoảng cách từ nguồn plasma đến mẫu là 4cm và thời gian xử lý 60 giây. Bài báo đã thí nghiệm trên nhiều chủng loại vi khuẩn khác nhau và đánh giá hiệu quả bằng phương pháp đếm CFU tính toán phần trăm diệt khuẩn sau khi chiếu plasma. Có thể kết luận rằng hiệu quả của plasma lạnh trong khử khuẩn đã cho ra kết quả khá khả quan khi đã tiêu diệt hầu hết các chủng loại vi khuẩn được làm đối tượng thí nghiệm (cũng là các loại vi khuẩn thường gặp). Kết quả

**Hình 3: Quy trình lấy mẫu**



$$\text{Kết quả diệt khuẩn} = \frac{N_0 - N_x}{N_0} \times 100\% \quad (1)$$

Trong đó:  $N_x$  và  $N_0$  là số lượng khuẩn lạc CFU sống sót trên mẫu đối chứng và mẫu sau khi được xử lý bằng CAP và ủ ở  $37^\circ$  trong 24 giờ.

**4. Kết quả và kết luận (Hình 4, Bảng 1)**

Bài báo thiết kế thành công mô hình thiết bị plasma lạnh dựa trên Argon tinh khiết với bổ sung

được đánh giá sau 24 giờ vi khuẩn được nuôi trong tủ ủ ở  $37^\circ$ , so sánh giữa đĩa petri được chiếu plasma và đĩa không chiếu cho thấy hầu hết vi khuẩn bị bất hoạt dưới tác động của plasma, ngược lại vi khuẩn ở đĩa không được chiếu plasma phát triển mạnh mẽ. Sự khác biệt này thể hiện rõ rệt ở tất cả các loại vi khuẩn và lần lặp. Việc bổ sung một phần nhỏ oxy vào dòng khí Argon cho kết quả khử khuẩn tốt hơn.

Hình 4: Kết quả cho thấy sự thay đổi hình thái rõ ràng của vi khuẩn *Salmonella enterica* sau khi xử bằng CAP



hơn nữa. Đối với *Staphylococcus aureus*, kết quả của chúng tôi chỉ ra rằng 60 giây xử lý plasma lạnh vẫn không thể khử trùng 50%. Tuy nhiên, cần phải có nhiều nghiên cứu hơn nữa. Sự khác biệt ở kết quả của *Enterococcus faecalis* là khi bổ sung thêm oxy hiệu quả giảm hơn (nhưng không đáng kể) so với Argon tinh khiết cũng có thể được gây ra bởi sự bảo vệ của các vi khuẩn đã được tiêu diệt. Vi khuẩn chết ở lớp trên có thể bảo vệ vi khuẩn bên dưới. Vì vậy, có

Bảng 1. Hiệu quả diệt khuẩn của plasma lạnh

Chủng vi khuẩn	100% Argon		100% Argon 2% Oxy	
	Lần 1	Lần 2	Lần 1	Lần 2
<i>Escherichia coli</i> (ATCC 25922)	68.54%	84.05%	69.48%	84.93%
<i>Enterococcus faecalis</i> (ATCC 29212)	86.14%	80.98%	73.85%	64.28%
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 9027)	96.56%	97%	97.76%	99.82%
<i>Salmonella enterica</i> (ATCC 6539)	99.94%	99.97%	99.97%	99.96%
<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 29213)	56.59%	38.61%	45.45%	39.16%

Hiệu quả khử khuẩn trên chủng loại *Salmonella enterica* và *Pseudomonas aeruginosa* là đáng kể 99.7% và 99.82%. Điều đó cho thấy, loại vi khuẩn Gram âm chúng tôi thử nghiệm có kết quả tốt hơn vi khuẩn Gram dương. Lý do vi khuẩn Gram âm dễ bất hoạt hơn có thể do thành tế bào và kích thước vi khuẩn. Điều này cũng phần nào chứng minh được đặc tính vật lý của plasma lạnh, cụ thể hơn là khả năng xuyên thấu và phá hủy tế bào vi khuẩn của các ion khí. Điều này có thể rút ra được khi so sánh kết quả thí nghiệm giữa hai loại vi khuẩn Gram âm và Gram dương. Các tế bào vi khuẩn Gram dương có thành tế bào dày hơn, do đó chúng có thể sống sót khi bị các ion tấn công. Ngoài ra, mật độ vi khuẩn dày cũng dẫn đến kết quả còn nhiều vi khuẩn còn sống do các ion trong thí nghiệm có độ xuyên thấu thấp. Tuy nhiên, cần phải có nhiều nghiên cứu

thể thực hiện thêm phương pháp đánh giá bằng ảnh chụp SEM hay TEM để đánh giá sự tổn thương thành tế bào vi khuẩn sau khi được chiếu bằng plasma. Với các hiệu suất diệt khuẩn khác nhau, vẫn còn thiếu một lời giải thích rõ ràng và cho thấy sự phức tạp của công nghệ plasma.

Việc kiểm soát mức năng lượng mà các ion có thể nhận được thông qua điều chỉnh điện áp hoặc lưu lượng dòng khí là quan trọng. Chính mức năng lượng này và thời gian tồn tại trong không khí của các ion sẽ quyết định hiệu quả diệt khuẩn. Yếu tố khoảng cách giữa bề mặt tiếp xúc và luồng plasma đáng lưu ý do khoảng cách càng gần sẽ cho ra hiệu quả càng cao. Và yếu tố chính quyết định hiệu quả diệt khuẩn của plasma lạnh là thời gian chiếu, thời gian chiếu càng lâu hiệu quả diệt khuẩn càng tốt mà không ảnh hưởng đến bề mặt vật liệu. Bài báo đã thí nghiệm trước đó với nhiều thời gian và chọn

thời gian chiếu 60 giây cho nghiên cứu là hợp lý để tiết kiệm chi phí và tiêu diệt hầu như hoàn toàn vi khuẩn trên bề mặt.

Trong trường hợp của bài báo, hiệu quả khử trùng của 3 loại Gram âm tốt hơn 2 loại Gram dương. Đối với Gram dương, có những lý do sau khả dĩ giải thích sự kém hơn trong hiệu quả khử trùng. Một là khuẩn Gram dương có cấu trúc thành dày làm giảm hiệu quả khử trùng. Lý do tiếp theo, các gốc oxy phản ứng, đặc biệt là các nguyên tử oxy, trong plasma có thể phá vỡ các liên kết quan trọng của cấu trúc peptidoglycan, dẫn đến phá hủy thành tế bào vi khuẩn [10]. Tuy nhiên, một số nghiên cứu cũng chỉ ra vi khuẩn Gram âm dễ bị tấn

công bởi các hạt mang điện hơn [11]. Do đó, vẫn khó có thể kết luận, vi khuẩn Gram âm khử trùng bằng tia Argon plasma đơn giản hơn Gram dương, vì cơ chế phức tạp, tình trạng plasma khác nhau và chủng vi khuẩn khác nhau.

Nghiên cứu thực nghiệm trong bài báo này chỉ ra rằng plasma Argon có khả năng tiêu diệt hầu hết các loại vi khuẩn thường gặp trên vật dụng, việc bổ sung oxy vào các plasmas argon trong khí quyển có hiệu quả đáng kể đến hiệu quả khử trùng huyết tương. Trong bối cảnh hiện nay, plasma áp suất khí quyển Ar/O<sub>2</sub> có tiềm năng lớn để làm sạch các khu vực bị ô nhiễm bởi các vi khuẩn gây bệnh và truyền nhiễm ■

#### *Lời cảm ơn:*

❖ *Cảm ơn Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh - Đại học quốc gia - Hồ Chí Minh đã hỗ trợ về thời gian và cơ sở vật chất.*

❖ *Cảm ơn Trường Đại học Nguyễn Tất Thành đã cung cấp cơ sở vật chất, các thí nghiệm vi sinh và tư vấn về quy trình diệt khuẩn.*

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO:**

1. G. R. Holyoak, S. Wang, Y. Liu, and T. D. J. T. Bunch, "Toxic effects of ethylene oxide residues on bovine embryos in vitro," vol. 108, no. 1-2, pp. 33-38, 1996.
2. W. Hijnen, E. Beerendonk, and G. J. J. W. r. Medema, "Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: a review," vol. 40, no. 1, pp. 3-22, 2006.
3. T. Von Woedtke, S. Reuter, K. Masur, and K.-D. J. P. R. Weltmann, "Plasmas for medicine," vol. 530, no. 4, pp. 291-320, 2013.
4. M. J. I. T. o. p. s. Laroussi, "Low-temperature plasmas for medicine?" vol. 37, no. 6, pp. 714-725, 2009.
5. H. Yasuda, T. Miura, H. Kurita, K. Takashima, A. J. P. P. Mizuno, and Polymers, "Biological evaluation of DNA damage in bacteriophages inactivated by atmospheric pressure cold plasma," vol. 7, no. 3#4, pp. 301-308, 2010.
6. J.-W. Lackmann et al., "Photons and particles emitted from cold atmospheric-pressure plasma inactivate bacteria and biomolecules independently and synergistically," vol. 10, no. 89, p. 20130591, 2013.
7. M. Moreau, N. Orange, and M. J. B. a. Feuilleux, "Non-thermal plasma technologies: new tools for bio-decontamination," vol. 26, no. 6, pp. 610-617, 2008.
8. Y. S. Seo, A.-A. H. Mohamed, K. C. Woo, H. W. Lee, J. K. Lee, and K. T. J. I. t. o. p. s. Kim, "Comparative studies of atmospheric pressure plasma characteristics between He and Ar working gases for sterilization," vol. 38, no. 10, pp. 2954-2962, 2010.
9. J.-P. Lim, H. S. Uhm, and S.-Z. J. P. o. p. Li, "Influence of oxygen in atmospheric-pressure argon plasma jet on sterilization of Bacillus atrophaeus spores," vol. 14, no. 9, p. 093504, 2007.
10. M. Yusupov, E. Neyts, U. Khalilov, R. Snoeckx, A. Van Duin, and A. J. N. J. o. P. Bogaerts, "Atomic-scale simulations of reactive oxygen plasma species interacting with bacterial cell walls," vol. 14, no. 9, p. 093043, 2012.
11. N. De Geyter and R. J. A. r. o. b. e. Morent, "Nonthermal plasma sterilization of living and nonliving surfaces," vol. 14, pp. 255-274, 2012.

Ngày nhận bài: 5/8/2024

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 12/9/2024

Ngày chấp nhận đăng bài: 27/9/2024

*Thông tin tác giả:*

1. ThS. LÊ CAO ĐĂNG<sup>1</sup>

2. TS. NGUYỄN TƯỜNG LONG<sup>1</sup>

3. NGÔ NGUYỄN VŨ<sup>2</sup>

4. LÊ THỊ HỒNG THỦY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG TP. Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Trường Đại học Nguyễn Tất Thành

## **DISINFECTION OF MATERIAL SURFACES USING COLD PLASMA WITH ARGON AND OXYGEN: A STUDY ON BACTERIAL INACTIVATION**

● Master. **LE CAO DANG**<sup>1</sup>

● Ph.D **NGUYEN TUONG LONG**<sup>1</sup>

● **NGO NGUYEN VU**<sup>2</sup>

● **LE THI HONG THUY**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ho Chi Minh City University of Technology,  
Vietnam National University - Ho Chi Minh City

<sup>2</sup>Nguyen Tat Thanh University

### **ABSTRACT:**

This study investigated the effectiveness of cold plasma as a surface disinfection method, focusing on its application to disinfect the surface of polymer banknotes. Cold plasma was generated at room temperature in a high-voltage environment between electrodes, with its composition varying based on the gases used. Two gas compositions - 100% pure argon and a mixture of 98% argon with 2% oxygen - were evaluated for their disinfection efficacy. The study tested cold plasma's bactericidal effects on five bacterial species (*Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, and *Staphylococcus aureus*) on flat surfaces and then extended testing to banknotes to assess its impact on banknote-associated microflora. Results showed a high disinfection efficiency, with up to 99.97% bacterial reduction in both gas settings. This study highlights cold plasma's potential as an effective disinfection tool for diverse surfaces, suggesting promising applications for currency sanitation and other surface disinfection needs.

**Keywords:** cold plasma, surface disinfection, argon plasma, argon/oxygen plasma.