

## XUNG ÁNH SÁNG - MỘT PHƯƠNG PHÁP DÙNG ĐỂ XỬ LÝ THỰC PHẨM TRƯỚC KHI BẢO QUẢN

Nguyễn Bảo Lộc

Khoa Nông nghiệp & Sinh học Ứng dụng, Trường Đại học Cần Thơ

### Thông tin chung:

Ngày nhận: 05/08/2016

Ngày chấp nhận: 24/10/2016

### Title:

*Pulsed light: A new process for food preservation*

### Từ khóa:

*Xung ánh sáng, thực phẩm, bảo quản, khử khuẩn*

### Keywords:

*Pulsed light, food, preservation, decontamination*

### ABSTRACT

*Pulsed light is a novel nonthermic technology to potentially decontaminate surfaces and foods by killing microorganisms using an intense broad spectrum. This review presents basic knowledges about this technology in terms of principle, effects on microorganisms in vitro and in foods, inactivation mechanisms, limits and main factors affecting the efficiency of the technology*

### TÓM TẮT

*Xung ánh sáng là một kỹ thuật mới, không sử dụng nhiệt, có khả năng khử khuẩn trên bề mặt thực phẩm do tác dụng của một phổ ánh sáng rộng với năng lượng cao. Bài tổng quan này sẽ giới thiệu những kiến thức cơ bản về nguyên tắc hoạt động của kỹ thuật này, ảnh hưởng trên vi sinh vật trong điều kiện in vitro và trên thực phẩm, cơ chế bất hoạt vi sinh vật, những hạn chế và những yếu tố chính ảnh hưởng đến hiệu quả của kỹ thuật này.*

Trích dẫn: Nguyễn Bảo Lộc, 2016. Xung ánh sáng - một phương pháp dùng để xử lý thực phẩm trước khi bảo quản. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. Số chuyên đề: Nông nghiệp (Tập 1): 156-165.

## 1 GIỚI THIỆU

Đã từ lâu, con người luôn luôn tìm kiếm các phương pháp bảo quản cũng như tồn trữ thực phẩm để sử dụng dần vào các thời điểm trái mùa. Những phương pháp cổ xưa như sấy, hun khói, ướp muối, ngâm tẩm,... đã được con người đã ứng dụng thành công trong một thời gian dài. Gần đây, nhiều phương pháp tiên tiến cũng được ứng dụng rất thành công (đóng hộp, thanh trùng, đông lạnh,...). Ngày nay, xã hội ngày càng phát triển, khoa học kỹ thuật ngày càng tiên tiến, nhu cầu của người tiêu dùng ngày càng nâng cao. Việc chế biến và bảo quản thực phẩm phải hướng đến người tiêu dùng với những đòi hỏi ngày càng khắc khe. Thực phẩm làm ra mang các đặc tính càng giống với thực phẩm tươi và thời gian bảo quản càng lâu thì càng tốt. Điều này đòi hỏi việc ứng dụng các phương pháp xử lý không dùng nhiệt phải được nghiên

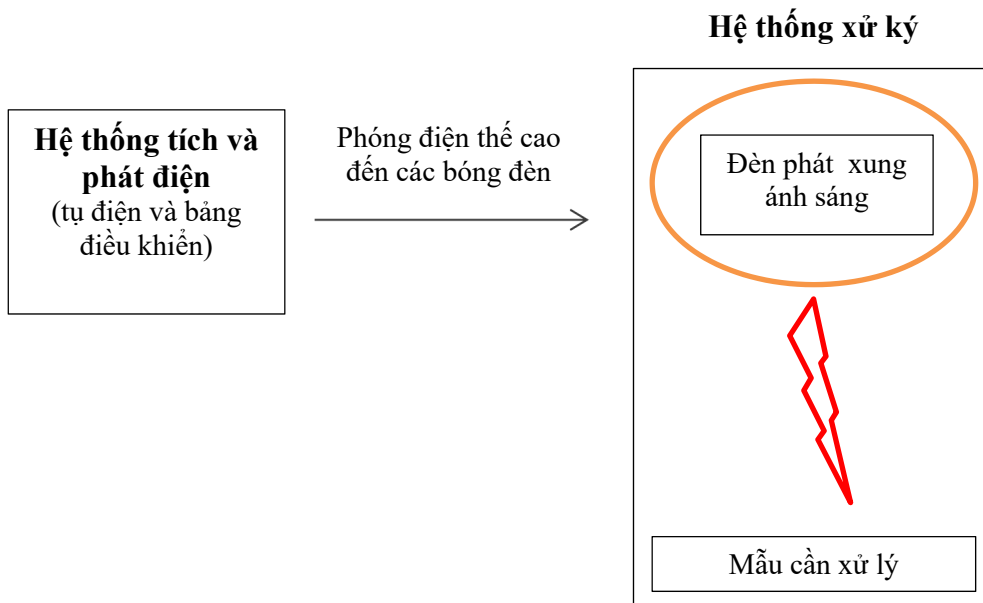
cứu, ví dụ như ion hóa, áp suất cao (Federighi *et al.*, 2001). Với định hướng nghiên cứu trên, bài tổng quan này mong muốn được giới thiệu những cập nhật về các kiến thức hiện tại liên quan đến việc sử dụng xung ánh sáng như một phương pháp dùng để tiêu diệt vi sinh vật.

## 2 NGUYÊN TẮC HOẠT ĐỘNG

Xung ánh sáng là một phương pháp tiên tiến không sử dụng nhiệt dùng để xử lý trong việc bảo quản thực phẩm. Phương pháp này ứng dụng kỹ thuật xung điện để tạo ra các tia sáng có quang phổ rộng (ánh sáng trắng) để tiêu diệt vi sinh vật trong một khoảng thời gian cực ngắn ( $10^{-6}$  đến  $10^{-1}$  giây). Hệ thống xử lý này gồm có một tụ điện dùng để tích năng lượng trong 1 khoảng thời gian tương đối (khoảng 0,2 giây) và tiếp đó, tụ điện này sẽ phóng điện đến 1 hoặc nhiều bóng đèn xenon (tùy cấu tạo của thiết bị) (Hình 1). Các đèn phát xung ánh sáng

sẽ chiếu trực tiếp lên bề mặt của vật cần xử lý trong một thời gian rất ngắn (vài trăm micro giây). Tùy theo cấu tạo của thiết bị, xung ánh sáng có thể tiếp xúc một phần hay tất cả các bề mặt của thực phẩm cần xử lý. Mỗi xung ánh sáng phát ra có năng lượng tương đương vài joule trên 1 cm<sup>2</sup> tùy thuộc vào cấu hình của thiết bị. Năng lượng và số lượng của xung ánh sáng đóng vai trò quan trọng trong việc tiêu diệt vi sinh vật. Với một thiết bị phát xung ánh sáng bình thường, các đèn xenon có thể phát ra các xung ánh sáng có độ dài sóng trong khoảng từ tia cực tím đến tia hồng ngoại. Trong đó: 21% tia cực tím (từ 180 – 380 nm), 30% ánh sáng thấy được (380 – 700 nm) và 49% tia hồng ngoại (700 – 1100nm). Phổ ánh sáng được phát ra bởi các thiết bị này có cường độ gấp 20.000 lần so với ánh

sáng mặt trời chiếu đến bề mặt của trái đất (Dunn *et al.*, 1998). Phương pháp xử lý bằng tia cực tím đã được biết đến từ lâu, nhưng ứng dụng của nó trong thực phẩm còn bị hạn chế do tác động oxy hóa các thành phần của thực phẩm (đặc biệt là chất béo) sẽ tạo ra những thay đổi không mong muốn về giá trị cảm quan của sản phẩm. Phương pháp sử dụng xung ánh sáng đã hạn chế được những tác động không mong muốn đó. Sự khác biệt này được lý giải bởi thời gian xử lý của mỗi xung ánh sáng rất ngắn (khoảng 100 μs), điều này sẽ giúp ngăn cản hiệu quả sự hình thành liên kết với oxy tự do hay oxy hòa tan. Ngoài ra, các phản ứng oxy hóa còn bị hạn chế bởi số lượng xung ánh sáng rất ít khi sử dụng phương pháp này (Fine *et al.*, 2004).



Hình 1: Hệ thống điều khiển và phát xung ánh sáng

### 3 BẤT HOẠT VI SINH VẬT BẰNG XUNG ÁNH SÁNG

Ứng dụng chính của xung ánh sáng là để tiêu diệt vi sinh vật. Các cách lý giải về hiệu quả này rất khác nhau. Có những nghiên cứu được thực hiện trên môi trường dinh dưỡng (dạng rắn hoặc dạng lỏng) và trên môi trường thực phẩm cho từng chủng vi khuẩn gây bệnh hay gây hư hỏng rất đặc hiệu, hoặc cho vi sinh vật trên một loại thực phẩm nhất định. Sự không đồng nhất trong vật liệu được xử lý, thiết bị sử dụng, những thông tin không có hoặc không rõ ràng về thiết bị, khoảng cách giữa mẫu cần xử lý và đèn xenon, số lượng xung hoặc thời gian của mỗi xung đều đưa đến những kết quả rất khác nhau và rất khó so sánh. Trong phạm vi có thể, bài tổng quan này sẽ giới thiệu những thông tin

đã được cung cấp và so sánh các kết quả của các nghiên cứu tương tự nhau. Cho đến hiện tại, vẫn còn rất ít các thông tin liên quan đến việc ứng dụng kỹ thuật xung ánh sáng trong lĩnh vực đảm bảo về giá trị và an toàn thực phẩm. Tuy nhiên, trong vài năm trở lại đây, đã có những nghiên cứu liên quan tới việc ứng dụng xung ánh sáng như một phương tiện để kiểm soát hoặc bất hoạt vi sinh vật hiện diện trên thực phẩm được thực hiện.

#### 3.1 Bất hoạt vi sinh vật in vitro bằng xung ánh sáng

Khi đánh giá hiệu quả của một phương pháp xử lý để bảo quản thực phẩm, một trong những tiêu chí đầu tiên là khả năng tiêu diệt các vi sinh vật gây bệnh và/hoặc các vi sinh vật gây hư hỏng để đảm bảo an toàn vệ sinh thực phẩm. Các Bảng 1 và

2 tóm tắt các kết quả nghiên cứu về hiệu quả của xung ánh sáng trên nhiều loại vi sinh vật khác nhau.

### 3.1.1 Bất hoạt vi khuẩn

Trong nghiên cứu về ảnh hưởng của xung ánh sáng đến vi sinh vật được nuôi cấy trên môi trường rắn, Gomez-Lopez *et al.*, 2005 đã cho thấy mức độ giảm mật số của vi sinh vật trong khoảng từ 2,8 đến >5,9 log tùy loại vi khuẩn, sau khi xử lý 50 xung (với năng lượng tương đương 7J) với khoảng cách 8,5cm. Trong khi đó, kết quả nghiên cứu của Rowan *et al.*, 1999 cho thấy, mức độ tiêu diệt vi khuẩn đạt được khoảng 6 log khi xử lý với 200 xung (với năng lượng tương đương 3J) và khoảng cách 4,5 cm. Để đạt được kết quả tương tự khi nghiên cứu với *Escherichia coli* O157:H7 và *Listeria monocytogenes* trên môi trường rắn, thì số lượng xung cần xử lý là 512 để đạt được mức độ tiêu diệt vi sinh vật lần lượt là 7 và 6 log (Macgregor *et al.*, 1998).

Bào tử của vi khuẩn thường có khả năng chống chịu tốt hơn với những tác động bên ngoài (nhiệt độ, áp suất cao,...). Xung ánh sáng được xem là một phương pháp tương đối hữu hiệu để tiêu diệt các bào tử vi khuẩn. Khi sử dụng xung ánh sáng để tiêu diệt bào tử *Bacillus circulans* và *Bacillus cereus* trên bề mặt môi trường rắn với 50 xung thì mức độ giảm mật số đạt được lần lượt là 3,7 và >5,9 log (Gomez-Lopez *et al.*, 2005). Cũng với kết quả như trên, nghiên cứu của Bushnell *et al.* (Bushnell *et al.*, 1998) cho thấy mật số bào tử *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, và *Bacillus stearothermophilus* giảm từ 6 đến 8 log chỉ với mức độ xử lý từ 1 đến 3 xung ánh sáng. Trước đó, Dunn *et al.*, 1997 nghiên cứu trên bào tử của *Bacillus pumilus* trong môi trường lỏng, sau khi xử lý 20 xung ( $1J.cm^{-2}$ ) thì mật số bào tử giảm xuống 6 log.

### 3.1.2 Bất hoạt nấm mốc, nấm men và virus

Liên quan đến hiệu quả xử lý của xung ánh sáng trên nấm men, nấm mốc, có rất nhiều kết quả nghiên cứu đã được công bố (thể hiện trong Bảng 2). Đường như nấm men và nấm mốc ít nhạy cảm hơn với xung ánh sáng so với vi khuẩn (Rowan *et al.*, 1999; Anderson *et al.*, 2000; Gomez-Lopez *et al.*, 2005). Kết quả nghiên cứu của Anderson *et al.*, 2000 cho thấy mật số của nấm mốc *Aspergillus*

*niger* và *Fusarium culmorum* chỉ giảm 4,5 log sau khi xử lý ở 1000 xung. Kết quả này tương đồng với kết quả nghiên cứu đạt được trên *Botrytis cinerea* và *Monilia fructigena* sau khi xử lý 250 giây bằng xung ánh sáng (tương đương với 1500 xung). Các chủng nấm mốc này thể hiện sự chống chịu rất tốt với kỹ thuật xung ánh sáng. Nghiên cứu của Gomez-Lopez *et al.* (Gomez-Lopez *et al.*, 2005) cho thấy khi xử lý xung ánh sáng trên các chủng nấm mốc này với 50 xung thì mật số nấm mốc giảm không quá 3 log. Kết quả nghiên cứu của Gomez-Lopez *et al.*, 2005 cho thấy, khi xử lý nấm mốc với 50 xung thì mức độ tiêu diệt của phương pháp này đạt không quá 3 log. Trước đó, nghiên cứu của Takeshita *et al.* (Takeshita *et al.*, 2003) chỉ ra rằng, chỉ cần xử lý 5 xung trên tế bào nấm men *Saccharomyces cerevisiae*, thì mật số của loại nấm men này đã giảm tới khoảng 6 log.

Số lượng các nghiên cứu về tác dụng của xung ánh sáng trên virus khiêm tốn hơn rất nhiều so với các nghiên cứu trên vi khuẩn, nấm men và nấm mốc. Roberts và Hope 2003 đã nghiên cứu tác dụng của xung ánh sáng trên virus có màng bao và không có màng bao. Trong dung dịch đậm phot phát, với năng lượng xử lý  $1 J/cm^2$  thì mật số virus giảm tương ứng là 4,8 và 7,2 log. Chưa có nhiều cơ sở để giải thích cho cơ chế bất hoạt đối với loại vi sinh vật này. Tuy nhiên, về mặt lý thuyết thì đã có nhiều tác giả đề cập tới. Tiêu biểu như bất hoạt các enzyme quan trọng trong quá trình nhân bản bên trong tế bào và/hoặc gây tổn thương không thuận nghịch lớp protein bao bên ngoài. Sự phá vỡ protein trong lớp màng bao cũng được đề cập tới. Cũng có thể do tác động quang hóa của xung ánh sáng lên cấu trúc bộ gen của virus. Nhiều nghiên cứu cho thấy các virus có cấu tạo ADN sợi đôi chống chịu tốt hơn với kỹ thuật xung ánh sáng so với các virus có cấu tạo ADN sợi đơn.

Trong điều kiện in vitro, các kết quả nghiên cứu cho thấy xung ánh sáng có khả năng tiêu diệt vi sinh vật một cách đáng kể khi được nuôi cấy trên môi trường lỏng hoặc môi trường rắn. Tuy nhiên, với mục đích ứng dụng, rất cần những nghiên cứu cụ thể về tác động của kỹ thuật này đến việc tiêu diệt vi sinh vật trên thực phẩm, cũng như ảnh hưởng của kỹ thuật này đến các thành phần của từng loại thực phẩm khác nhau.

**Bảng 1: Ảnh hưởng của xung ánh sáng trên vi khuẩn in vitro**

Loại vi khuẩn	Môi trường xử lý	Năng lượng (J hoặc J/cm <sup>2</sup> )	Số lượng xung ánh sáng hoặc thời gian xử lý	Mức độ giảm (log)	Tài liệu tham khảo
<b>Tế bào sinh dưỡng</b>					
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Môi trường rắn	3J	200 xung	5,8	23
<i>Salmonella enteritidis</i>	Môi trường rắn	3J	100 xung	4,5	23
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Môi trường rắn	7J	50 xung	4,2	12
<i>Salmonella enteritidis</i>	Môi trường rắn	2J	300 xung	5,6	23
<i>Salmonella typhimurium</i>	Môi trường rắn	7J	50 xung	3,2	12
<i>Escherichia coli</i>	Môi trường rắn	7J	50 xung	4,7	12
<i>Escherichia coli</i>	Môi trường rắn	3J	512 xung	6,82	18
<i>Escherichia coli</i>	Môi trường rắn	3J	200 xung	6,2	23
<i>Klebsiella oxytoca</i>	Môi trường rắn	7J	50 xung	4,2	12
<i>Photobacterium phosphoreum</i>	Môi trường rắn	7J	50 xung	>4,4	12
<i>Staphylococcus aureus</i>	Môi trường rắn	3J	200 xung	5,1	23
<i>Staphylococcus aureus</i>	Môi trường rắn	5,6J/cm <sup>2</sup>	5 giây	7,5	16
<i>Staphylococcus aureus</i>	Môi trường lỏng	5,6J/cm <sup>2</sup>	5 giây	8,5	16
<i>Staphylococcus aureus</i>	Môi trường rắn	7J	50 xung	>5,1	12
<i>Bacillus cereus</i>	Môi trường rắn	7J	50 xung	>3	12
<i>Clostridium perfringens</i>	Môi trường rắn	7J	50 xung	>2,9	12
<i>Listeria monocytogenes</i>	Môi trường rắn	7J	50 xung	2,8	12
<i>Listeria monocytogenes</i>	Môi trường rắn	3J	200 xung	4,4	23
<i>Listeria monocytogenes</i>					
<b>Bào tử</b>					
<i>Bacillus</i>	Môi trường rắn	3J	512 xung	6,25	18
<i>Cereus</i>	Môi trường rắn	7J	50 xung	>5,9	12

**3.2 Bất hoạt vi sinh vật trên bề mặt thực phẩm bằng xung ánh sáng**

Cho đến hiện tại vẫn còn khá ít thông tin liên quan đến việc áp dụng kỹ thuật xung ánh sáng trong xử lý bề mặt thực phẩm. Ưu điểm chính của kỹ thuật này là dùng kết hợp với các phương pháp xử lý khác (nhiệt độ, áp suất,...) nhằm làm giảm chế độ xử lý của các phương pháp này, giúp cho việc duy trì giá trị dinh dưỡng và giá trị cảm quan của thực phẩm, nhưng vẫn đảm bảo được yêu cầu về an toàn và vệ sinh thực phẩm. Một số kết quả nghiên cứu về ứng dụng của kỹ thuật xung ánh sáng trong việc tiêu diệt vi sinh trên bề mặt thực phẩm được trình bày trong Bảng 3.

Nghiên cứu đầu tiên trong lĩnh vực này là công trình của Dunn, 1996, kết quả nghiên cứu cho thấy, khi gây nhiễm vi khuẩn *Samonelle enteritidis* trên bề mặt trứng thì kỹ thuật xung ánh sáng giúp làm giảm 8 log chỉ với điều kiện xử lý là 8 xung ở mức năng lượng 0,5 J/cm<sup>2</sup>. Khi chủng nhiều loại vi sinh vật khác nhau vào nước, dùng kỹ thuật xung ánh sáng xử lý 2 xung ở mức năng lượng 0,25 J/cm<sup>2</sup>, kết quả tiêu diệt được >7, >4 và >4 log tuần tự với các chủng *Klebsiella terrigena*, virut polio và Rotavirut, và *Cryptosporidium parvum* (Huffman et al., 2000).

Các số liệu được thống kê trong Bảng 3 đã cho thấy kết quả đạt được của kỹ thuật xung ánh sáng đối với vi sinh vật gây nhiễm trên bề mặt thực phẩm. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu này đã thể hiện nhiều khó khăn thật sự khi ứng dụng kỹ thuật này trên thực phẩm. Sharma và Demirci (2003) đã nghiên cứu ảnh hưởng của xung ánh sáng trên *Escherichia coli* O157:H7 được gây nhiễm trên hạt đing lăng, với hệ thống “SteriPulse-XL® 3000; Xenon Corp., Mass., U.S.A”. Phổ ánh sáng của hệ thống này bao gồm tia cực tím, ánh sáng nhìn thấy được và tia hồng ngoại, trong đó tia cực tím chiếm 50%. Kết quả nghiên cứu này cho thấy mật số của vi khuẩn *Escherichia coli* O157:H7 chỉ giảm 0,94 log sau khi xử lý 135 xung với khoảng cách 8 cm. Kỹ thuật xử lý này không ảnh hưởng đáng kể đến khả năng nảy mầm của hạt. Với cùng hệ thống xử lý như Sharma và Demirci, khi xử lý bột được gây nhiễm với bào tử nấm mốc *Aspergillus niger* (thời gian xử lý 100 giây với cường độ 5,6 J/cm<sup>2</sup>). Kết quả đạt được là mật số nấm mốc giảm 3,25 và 2,95 log khi xử lý với khoảng cách tương ứng là 3 và 13 cm (Jun et al., 2003). Tương tự như nghiên cứu trên, khi xử lý bề mặt cá hồi tươi được gây nhiễm với *Escherichia coli* O157:H7 và *Listeria monocytogenes* Scott A được thực hiện bởi Ozer và Demirci (2005). Kết quả nghiên cứu cho thấy với cường độ xử lý 5,6

J/cm<sup>2</sup>, thời gian xử lý 30 giây và khoảng cách 5 cm, thì mật số vi khuẩn *Escherichia coli* O157:H7 giảm tối đa là 0,86 log. Đối với *Listeria monocytogenes* Scott A, mật số giảm tối đa là 1,02 log khi xử lý 60 giây với khoảng cách 8cm. Nghiên cứu của Fine và Gervais (Fine and Gervais, 2004) trên chủng vi khuẩn *Escherichia coli* O157:H7. Kết quả nghiên cứu cho thấy, mức độ ức chế vi khuẩn

đạt được là 10,1 và 44,5% khi gây nhiễm trên bột bắp và bột tiêu đen ở điều kiện xử lý là 64 xung với cường độ 31,12 J/cm<sup>2</sup>. Các kết quả nghiên cứu này cho thấy, khả năng ức chế vi sinh vật của kỹ thuật xung ánh sáng phụ thuộc vào số lượng xung và thời gian xử lý, chiều dày của thực phẩm nghiên cứu và khoảng cách giữa thực phẩm cần xử lý với đèn phát xung ánh sáng.

**Bảng 2: Ảnh hưởng của xung ánh sáng trên nấm mốc, nấm men và virus in vitro**

Loại vi sinh vật	Môi trường xử lý	Năng lượng (J hoặc J/cm <sup>2</sup> )	Số lượng xung ánh sáng hoặc thời gian xử lý	Mức độ giảm (log)	Tài liệu tham khảo
<b>Nấm mốc</b>					
<i>Botrytis cinerea</i>	Môi trường rắn	7 J	1500	3	19
<i>Monilia fructigena</i>	Môi trường rắn	7 J	1500	4	19
<i>Botrytis cinerea</i>	Môi trường rắn	7 J	50	1,2	12
<i>Aspergillus niger</i>	Môi trường lỏng	1 J/cm <sup>2</sup>	1	0,8 – 1	31
<i>Aspergillus niger</i>	Môi trường lỏng	1 J/cm <sup>2</sup>	5	4,8	31
<i>Aspergillus niger</i>	Môi trường lỏng	5 J/cm <sup>2</sup>	1	5 – 6,1	31
<i>Aspergillus flavus</i>	Môi trường rắn	7 J	50	2,2	12
<b>Nấm men</b>					
<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	Môi trường lỏng	3,5 J/cm <sup>2</sup>	5	6	27
<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	Môi trường rắn	3 J	100	3,7	23
<b>Virut</b>					
<i>Polio virus type 1</i>	Môi trường lỏng	2 J/cm <sup>2</sup>	2	>6,7	22
<i>Hepatitis A</i>	Môi trường lỏng	2 J/cm <sup>2</sup>	2	>5,7	22
<i>Herpes simplex virus type 1</i>	Môi trường lỏng	2 J/cm <sup>2</sup>	2	>4,8	22

Xung ánh sáng có hiệu quả cao khi xử lý các bề mặt nhẵn và dung dịch trong suốt. Đối với thực phẩm dạng rắn, đục, không đều, xốp hoặc dày (cá, thịt, các loại hạt, rau quả), thì hiệu quả của kỹ thuật xung ánh sáng hầu như đều thấp hơn so với các kết quả đạt được *in vitro*. Đối với hầu hết các sản phẩm, phương pháp này chỉ dùng để xử lý trên bề mặt và vẫn có thể đảm bảo được một số mục tiêu về sức khỏe và an toàn vệ sinh thực phẩm.

**4 CƠ CHẾ BẤT HOẠT VI SINH VẬT CỦA KỸ THUẬT XUNG ÁNH SÁNG**

Xung ánh sáng là một kỹ thuật sử dụng ánh sáng có phổ rộng bao gồm ánh sáng có bước sóng từ 180 nm (tia cực tím) cho đến 1100 nm (tia hồng ngoại); tác dụng ức chế vi sinh vật của kỹ thuật này có sự cộng hưởng của tia cực tím và các thành

phần còn lại của phổ ánh sáng (các tia nhìn thấy và tia hồng ngoại). Thực tế, vùng tia cực tím là nhân tố quan trọng nhất gây ức chế vi sinh vật của kỹ thuật này (Takeshita *et al.*, 2002). Khi sử dụng thiết bị lọc để loại bỏ vùng ánh sáng có bước sóng dưới 320 nm thì kết quả cho thấy, tác dụng ức chế vi sinh vật của kỹ thuật này giảm rõ rệt. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu của các tác giả này cũng cho thấy phần ánh sáng khả kiến và ánh sáng hồng ngoại khi xử lý với cường độ cao cũng có khả năng gây ức chế vi sinh vật. Nghiên cứu cũng cho thấy việc sử dụng ánh sáng đa sắc sẽ cho kết quả tiêu diệt vi sinh vật tốt hơn so với sử dụng ánh sáng đơn sắc. Nguyên nhân của tác dụng này là do sự tổn thương trong hệ thống sửa lỗi ADN và/hoặc sự ức chế hoạt động của hệ thống này.

**Bảng 3: Tóm tắt các kết quả về hiệu quả tiêu diệt vi sinh vật của kỹ thuật xung ánh sáng trên nhiều loại thực phẩm khác nhau**

Loại vi sinh vật	Loại thực phẩm	Năng lượng (J/cm <sup>2</sup> )	Số lượng xung ánh sáng hoặc thời gian xử lý	Mức độ giảm (log hoặc %)	Tài liệu tham khảo
<b>Vi khuẩn</b>					
<i>Salmonella enteritidis</i>	Trứng	0,5	8	>8 log	6
<i>Escherichia coli</i>	Hạt đỉnh lãng	5,6	135	0,6 – 1,82 log	24
<i>Escherichia coli</i>	Cá hồi filet	5,6	135	0,24 – 0,91 log	21
<i>Klebsiella terrigena</i>	Nước	0,25	2	>7 log	14
<i>Listeria monocytogenes</i>	Cá hồi filet	5,6	135	0,72 – 0,8 log	21
<b>Nấm mốc</b>					
<i>Aspergillus niger</i>	Bột ngũ cốc	5,6	100 giây	1,35 – 4,95 log	15
<b>Nấm men</b>					
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Bột lúa mì	1,95	64	1,6%	10
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Tiêu đen	1,95	64	2,5%	10
<b>Virut</b>					
<i>Polio</i> và <i>Rotavirus</i>	Nước	0,25	2	>4 log	14
<b>Kí sinh trùng</b>					
<i>Cryptosporidium Parvum</i>	Nước	0,25	2	>4 log	14

Một điều cần lưu ý rằng, phần lớn các kết quả khoa học được công bố liên quan đến xung ánh sáng đều cho rằng, cơ chế diệt khuẩn của kỹ thuật này chủ yếu là liên quan đến vai trò của phần tia cực tím trong phổ ánh sáng sử dụng (tác dụng quang hóa) (Anderson *et al.*, 2000; Wekhof, 2000; Wekhof *et al.*, 2001; Takeshita *et al.*, 2003; Wuytack *et al.*, 2003)

**4.1 Hiệu ứng quang hóa**

ADN là mục tiêu quan trọng của tế bào vi sinh vật với các tác nhân hóa học và lý học. Chính cấu trúc phức tạp của phân tử này lý giải cho việc nó có thể xảy ra nhiều biến đổi đa dạng và phong phú. Mục tiêu đầu tiên của tế bào chịu sự tác động của xung ánh sáng là ADN (Chang *et al.*, 1985, Bank *et al.*, 1990). Phần quang phổ UV-C đóng vai trò chính trong tác dụng tiêu diệt vi khuẩn, được công bố bởi Wang *et al.*, 2005 khi xử lý *Escherichia coli* bằng xung UV với phổ có bước sóng từ 230 đến 300 nm. Sự bất hoạt cao nhất đạt được ở phổ có bước sóng 270 nm và hầu như không có tác dụng diệt khuẩn khi xử lý ở phổ có bước sóng trên 300 nm.

Các nucleotid của ADN hấp thụ ánh sáng có bước sóng khoảng 260 nm của phổ ánh sáng UV. Điều này lý giải cho những thay đổi và tổn thương ở mức độ ADN của tế bào vi sinh vật. Phổ UV-C gây ra những biến đổi quang hóa như sự hình thành các liên kết nhị hợp của thymine. Chính những thay đổi này sẽ gây trở ngại cho quá trình nhân bản của vi sinh vật hoặc quá trình tổng hợp proteine, điều này sẽ dẫn đến sự tiêu diệt tế bào. Cơ chế tác động đến ADN của vi sinh vật bằng phương pháp xử lý với phổ UV liên tục là một cơ chế thuận nghịch trong một vài điều kiện thí nghiệm nhất

định. Tuy nhiên, trong trường hợp xử lý bằng xung ánh sáng thì cơ chế thuận nghịch này không xuất hiện, có lẽ do ảnh hưởng đáng kể đến hệ thống tự sửa lỗi của ADN. Hệ thống tự sửa lỗi không hoạt động, những sự thay đổi trong cấu trúc ADN do tác động của xung ánh sáng sẽ làm cho tế bào vi sinh vật bị tiêu diệt (McDonald *et al.*, 2000). Kết quả nghiên cứu được công bố bởi Takechita *et al.*, 2003 cho thấy sự hư hỏng ADN, ví dụ như sự phá hủy một vài liên kết hóa học (sự phá vỡ sợi ADN đơn) hoặc sự hình thành các liên kết nhị hợp được thể hiện khi nghiên cứu trên tế bào nấm men (*Saccharomyces cerevisiae*) xử lý với xung ánh sáng. Tuy nhiên, những kết quả nghiên cứu cũng cho thấy, sự hư hỏng ADN gây ra bởi phổ UV liên tục (254 nm) hơi cao hơn so với việc sử dụng xung ánh sáng, mặc dù mức độ bất hoạt tế bào nấm men là gần như nhau ở cả hai trường hợp (Takechita *et al.*, 2003). Kết quả này cho thấy cơ chế tiêu diệt vi sinh vật của xung ánh sáng không chỉ phụ thuộc vào sự tác động lên ADN của tế bào.

**4.2 Hiệu ứng quang nhiệt**

Kết quả nghiên cứu của Wekhof (2000) cho thấy, cơ chế sát khuẩn của kỹ thuật xung ánh sáng bao gồm tác động sát khuẩn bởi phổ của tia UV-C (đặc biệt là sự hình thành liên kết nhị hợp của thymine trên sợi ADN của vi khuẩn) và tác động quang nhiệt của phổ hồng ngoại. Cũng có ý kiến cho rằng, khi xử lý bằng nguồn năng lượng cao, thì việc bất hoạt vi sinh vật đạt được là do sự hấp thụ năng lượng UV của tế bào vi sinh vật, làm tăng nhiệt độ nhất thời ở tế bào vi sinh vật. Sự tăng nhiệt độ này có thể là do sự hấp thụ năng lượng UV khác nhau giữa tế bào vi sinh vật và môi trường bao quanh nó. Việc này làm cho nước trong tế bào vi sinh vật bốc hơi, tạo ra những dòng hơi

bên trong tế bào làm cho màng tế bào bị vỡ ra (Takeshita *et al.*, 2003. Hiện tượng này cũng có thể ảnh hưởng đến bào tử mặc dù lượng nước trong bào tử rất ít (Wekhof *et al.*, 2001). Rõ ràng là hiệu ứng quang nhiệt tỷ lệ thuận với cường độ năng lượng sử dụng và nó sẽ chỉ phát huy tác dụng khi sử dụng kỹ thuật này với cường độ năng lượng đủ mạnh. Như vậy, khi xử lý xung ánh sáng với cường độ năng lượng thấp, một vài loại protein vẫn giữ được hoạt tính vốn có của nó, tuy nhiên khi xử lý với cường độ năng lượng cao thì hoạt tính của chúng sẽ bị tiêu diệt (Cover *et al.*, 2001). Ngược lại, cũng trong cùng một nghiên cứu, các tác giả cho thấy rằng acid nucleic bị ảnh hưởng rất mạnh mẽ ngay cả khi xử lý với cường độ năng lượng thấp. Do đó, rất có thể cả hai hiệu ứng này đều có liên quan đến khả năng bất hoạt vi sinh vật bởi xung ánh sáng, song tỷ lệ tương đối ảnh hưởng của hai hiệu ứng này phụ thuộc vào cường độ năng lượng sử dụng và đặc điểm của quá trình xử lý (Gomez-Lopez *et al.*, 2005).

### 4.3 Hiệu ứng vật lý

Có khả năng là tác dụng của xung ánh sáng trên protein, màng tế bào và các thành phần khác của tế bào xảy ra đồng thời với sự phá hủy acid nucleic. Xử lý bằng xung ánh sáng gây nên sự phân giải protein của nấm men *Saccharomyces cerevisiae* cao hơn rất nhiều so với việc xử lý nấm men này bằng hệ thống chiếu tia UV liên tục. Đây có thể là một dấu hiệu của tổn thương tế bào gây ra trong quá trình xử lý (Takeshita *et al.*, 2003). Một số nghiên cứu dựa trên quan sát tế bào bằng kính hiển vi điện tử trước và sau khi xử lý bằng xung ánh sáng đã cho thấy có sự tác động lên vách tế bào. Việc xử lý bào tử của *Aspergillus niger* với 2 xung ở năng lượng 5 J/cm<sup>2</sup> cho thấy có sự phá hủy do cơ học (bào tử bị thủng), làm tế bào chất được giải phóng ra bên ngoài môi trường. Nhiều lỗ thủng được phát hiện xung quanh bào tử (Wekhof *et al.*, 2001. Takeshita *et al.*, 2003 đã quan sát thấy những thay đổi trong cấu trúc của tế bào, ví dụ như sự tăng lên về kích thước của không bào, sự biến dạng vách tế bào). Điều này chứng tỏ rằng màng tế bào vi sinh vật đã có sự hư hỏng sau khi xử lý bằng xung ánh sáng.

## 5 NHỮNG ƯU ĐIỂM CỦA KỸ THUẬT XUNG ÁNH SÁNG

Hệ thống xử lý xung ánh sáng là một phương pháp khử nhiễm hiệu quả nhờ vào tác động của quang phổ rộng và cường độ năng lượng xử lý cao. Xung ánh sáng được sử dụng một cách tối ưu trong nhiều bối cảnh khác nhau. Xung ánh sáng có thể dùng để khử nhiễm các sản phẩm thực phẩm, thiết bị y tế, các sản phẩm thực phẩm rắn, lỏng và kể cả

bao bì. Kỹ thuật này cho phép tiêu diệt hầu hết tất cả vi sinh vật bao gồm các dạng tế bào sinh dưỡng, bào tử vi khuẩn, nấm mốc, nấm men và kí sinh trùng. Đây là một kỹ thuật rất tiện lợi, không dùng nhiệt và rất dễ tích hợp trên dây chuyền sản xuất và không sản sinh ra hoặc sản sinh ra rất ít chất thải (Dunn, 1996; Huffman *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2000; Roberts and hope, 2003; Takeshita *et al.*, 2003; Ghasemi *et al.*, 2003; Krishnamurthy *et al.*, 2004, Lagunar-solar *et al.*, 2006).

## 6 NHỮNG HẠN CHẾ CỦA KỸ THUẬT XUNG ÁNH SÁNG

Hiệu quả của kỹ thuật xung ánh sáng đã được thể hiện rất rõ trên việc tiêu diệt nhiều loại vi sinh vật. Tuy nhiên, kỹ thuật này cũng có nhiều hạn chế khi sử dụng. Hiệu quả sát khuẩn phụ thuộc vào loại vi sinh vật mục tiêu, hiệu quả này càng lớn khi ánh sáng càng tiếp xúc nhiều với bề mặt cần xử lý. Vì vậy, ứng dụng kỹ thuật này trên bao bì nhựa, mịn và phẳng dường như là một hướng đi cần được phát triển. Một cách tổng quát, kỹ thuật xung ánh sáng là một kỹ thuật xử lý trên bề mặt, chính vì vậy, với khả năng có thể, bề mặt của thực phẩm cần xử lý nên được tiếp xúc hoàn toàn với ánh sáng để tối ưu hóa hiệu quả của kỹ thuật này (Wallen *et al.*, 2001).

Một vài thành phần của thực phẩm có thể làm giảm hiệu quả của kỹ thuật xung ánh sáng, ví dụ như protein, chất béo có tác động mạnh mẽ đến hiệu quả của kỹ thuật này. Một phần của bức xạ sẽ có khả năng bị hấp thụ bởi những thành phần này, do đó nó làm giảm khả năng khử khuẩn của kỹ thuật xung ánh sáng (Dunn, 1996; Gomez-Lopez *et al.*, 2005; Roberts and Hope, 2003).

Cấu trúc hình học của thực phẩm cũng ảnh hưởng đến hiệu quả của kỹ thuật xung ánh sáng. Bề mặt thô, xốp và đục đều ảnh hưởng tiêu cực đến khả năng diệt khuẩn của kỹ thuật này, ở đó, vi sinh vật có thể lưu trú vào những vết nứt, dưới lớp biểu bì, hay ở giữa những nơi có cấu trúc không đồng nhất trong thực phẩm (Gomez-Lopez *et al.*, 2005; Ozer and Demirci, 2005; Lagunar-solar *et al.*, 2006).

Ngoài ra, mật độ vi sinh vật ban đầu cũng ảnh hưởng quan trọng đến hiệu quả của kỹ thuật này. Bên cạnh đó, đối với các loại vi sinh vật càng có khả năng tạo màng sinh học trên bề mặt của thực phẩm thì càng làm giảm hiệu quả diệt khuẩn của kỹ thuật này. Gomez-Lopez *et al.*, 2005 chỉ ra rằng khả năng sát khuẩn của kỹ thuật xung ánh sáng giảm đáng kể khi tăng mật số vi khuẩn *Listeria monocytogenes* trên bề mặt của môi trường nuôi cấy. Một kết quả tương tự cũng đã được công bố bởi Wuytack *et al.*, 2003, khi ông dùng kỹ thuật

xung ánh sáng để khử nhiễm dung dịch huyền phù vi khuẩn với mật độ cao. Các nghiên cứu của Ghasemi *et al.*, 2003 cũng cho kết quả tương tự khi tiến hành trên một số loại thực phẩm dạng lỏng. Tóm lại, để đạt được hiệu quả cao nhất thì thực phẩm nên được xử lý càng sớm càng tốt, ngay trước khi các vi sinh vật trong thực phẩm có cơ hội phát triển.

Nhìn chung, kỹ thuật xung ánh sáng được xem như một kỹ thuật xử lý thực phẩm không dùng nhiệt, kỹ thuật này đảm bảo tính ổn định cho thực phẩm và an toàn về vi sinh và không làm hư hại thực phẩm do nhiệt. Tuy nhiên, nếu khoảng cách giữa thực phẩm và đèn quá gần, thì sự hiện của phổ hồng ngoại có thể làm nóng bề mặt của thực phẩm cần xử lý, đặc biệt là đối với những xử lý năng lượng liều cao và/hoặc thời gian xử lý dài. Điều này đã được Fine and Gervais, 2004 nghiên cứu trên bột mì và tiêu đen, Gomez-Lopez *et al.*, 2005 nghiên cứu trên rau, hay Jun *et al.*, 2003 nghiên cứu trên bột và Ozer and Demerci, 2005 nghiên cứu trên cá hồi tươi filet. Các tác giả này kết luận rằng, thời gian xử lý và khoảng cách giữa thực phẩm với đèn phải hài hòa để đảm bảo hiệu quả xử lý, đồng thời hạn chế đến mức tối thiểu sự nóng lên của bề mặt thực phẩm khi xử lý. Theo các nghiên cứu này, sự tăng nhiệt trên bề mặt thực phẩm xử lý liên quan đến khả năng hấp thụ năng lượng được phát ra từ bóng đèn bởi các loại thực phẩm này khi thời gian xử lý dài, cũng như do sự đối lưu nhiệt khi khoảng cách giữa thực phẩm xử lý và bóng đèn quá gần. Bên cạnh việc gây nóng thực phẩm như kể ở trên thì việc tăng nhiệt cũng đồng thời góp phần vào khả năng tiêu diệt vi sinh vật của kỹ thuật này. Hầu hết các nghiên cứu đều cho rằng, việc xử lý thực phẩm bằng kỹ thuật xung ánh sáng với thời gian quá dài là không phù hợp cho việc muốn giữ trạng thái tươi sống của thực phẩm. Lưu ý cuối cùng là nếu bắt buộc phải xử lý thực phẩm bằng xung ánh sáng với thời gian quá dài, thì nhất thiết phải trang bị cho hệ thống xử lý một bộ phận dùng làm mát thực phẩm và bóng đèn.

## 7 NHỮNG YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN TÁC DỤNG CỦA XUNG ÁNH SÁNG

### 7.1 Ảnh hưởng của thời gian và số lượng xung xử lý

Thời gian xử lý (số lượng xung) là một yếu tố quan trọng, hiệu quả tiêu diệt vi sinh vật tăng tuyến tính với thời gian xử lý. Kết quả nghiên cứu của Wekhof, 2000 cho thấy mật số của nấm mốc *Aspergillus niger* giảm 0,8 và 4,8 log khi xử lý tuần tự 1 xung và 2 xung với cường độ năng lượng là 1 J/cm<sup>2</sup>. Kết quả tương tự cũng đã được công bố bởi Takeshita *et al.*, 2003 khi xử lý dịch nấm men

*Saccharomyces cerevisiae*, tác giả này cho thấy mật số nấm men giảm lần lượt là 2,5; 5 và 6 log sau khi xử lý 1, 2 và 3 xung với cường độ năng lượng giống như thí nghiệm ở trên. Trong một nghiên cứu khác, sau khi xử lý 23 xung trên huyền phù nấm men *Saccharomyces cerevisiae* với mật số ban đầu là 2.10<sup>7</sup> CFU/mL, thì mật số còn lại là 1,3.10<sup>5</sup> CFU/mL, nhưng khi xử lý với 24 xung thì mật số nấm men còn lại thấp hơn 10 CFU/mL (Fine and Gervais, 2004). Với kết quả tương tự, Marquenie *et al.*, 2003 cho thấy hiệu quả tiêu diệt nấm mốc tăng tuyến tính với thời gian xử lý cho tới 100 giây của quá trình xử lý, tuy nhiên, khi thời gian xử lý tăng từ 100 đến 250 giây thì hiệu quả này không tăng nữa. Từ những kết quả nghiên cứu trên cho thấy, khả năng tiêu diệt vi sinh vật bằng xung ánh sáng, do tác dụng quang nhiệt, không theo một quy luật nhất định. Hiện tượng này có thể được giải thích là do có sự hiện diện một phần các vi sinh vật chịu nhiệt trong huyền phù vi sinh vật, hay các vi sinh vật được bảo vệ bởi một số tế bào chết và/hoặc các sản phẩm của quá trình tiêu hủy tế bào.

### 7.2 Ảnh hưởng của cường độ năng lượng sử dụng

Một yếu tố quan trọng khác đã được nghiên cứu nhiều là cường độ năng lượng sử dụng. Các nghiên cứu của Ghasemie *et al.*, 2003 cho thấy sau khi xử lý dịch huyền phù vi khuẩn *Escherichia coli* và *Salmonella enteritidis* với 100 xung ở cường độ năng lượng 9J, thì hiệu quả diệt khuẩn đạt được là 9 log, nhưng khi xử lý với cường độ năng lượng là 4,5J thì hiệu quả của kỹ thuật này chỉ đạt được 7 log. Kết quả xử lý virus bằng xung ánh sáng cho thấy hiệu quả tiêu diệt virus tăng khi cường độ năng lượng xử lý tăng. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu quả tiêu diệt virus Sindbis đạt 2,7; 4,8 và 7,2 log khi xử lý ở cường độ năng lượng lần lượt là 0,25; 0,5 và 1 J/cm<sup>2</sup> (Roberts and Hope, 2003). Kết quả tương tự cũng được Wekhof *et al.*, 2001 công bố khi nghiên cứu trên *Aspergillus niger*. Sau khi xử lý 1 xung với cường độ năng lượng là 1 và 5 J/cm<sup>2</sup>, số lượng bào tử của nấm mốc này giảm lần lượt là 0,8 và 6 log.

## 8 KẾT LUẬN

Các nghiên cứu liên quan đến kỹ thuật xung ánh sáng ngày càng phát triển mạnh mẽ, các kết quả được công bố đã phần nào lấp vào những khoảng trống thông tin liên quan đến kỹ thuật này. Nhiều chuyên ngành và/hoặc lĩnh vực công nghiệp đã thử nghiệm kỹ thuật này trong việc khử nhiễm nhiều loại sản phẩm. Tuy nhiên, những thông tin và số liệu đạt được vẫn còn chưa được biết đến. Điều này đặt ra nhiệm vụ quan trọng cho các nhà khoa



học là họ phải tìm hiểu và phân tích một cách hoàn chỉnh các số liệu này để công bố một cách khách quan trong cộng đồng khoa học. Thật sự, kỹ thuật này đã thể hiện một tiềm năng ứng dụng lớn trong nhiều lĩnh vực khác nhau (dược học, mỹ phẩm, vệ sinh, xử lý nước,...) và bao gồm cả lĩnh vực công nghiệp thực phẩm. Ngoài ra, một sự hiểu biết sâu sắc về các cơ chế ức chế vi sinh vật của kỹ thuật xung ánh sáng sẽ cho phép tối ưu hóa những điều kiện cũng như hiệu quả của kỹ thuật này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Anderson J.G., Rowan N.J., Macgregor S.J., Fouracre R.A., Farish O., 2000. Inactivation of food-borne enteropathogenic bacteria and spoilage fungi using pulsed-light. *IEEE Trans. Plasma. Sci.* 28: 83-88.
- Bank H.L., John J., Schmehl M.K., Dratch R.J., 1990. Bactericidal effectiveness of modulated UV light. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 3888-3889.
- Bushnell A., Cooper J.R., Dunn J., Leo F. May R., 1998. Pulsed light sterilization tunnels and sterile-pass-throughs. *Pharm. Eng.* 18: 48-58.
- Chang J.C., Ossoff S.F., Lobe D.C., Dorfman M.H., Dumais C.M., Qualls R.G., Johnson J.D., 1985. UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.* 49: 1361-1365.
- Cover W.H., Holloway J.M., Xue H., Busby T.F., 2001. Inactivation of lipid enveloped and non enveloped viruses in human plasma proteins with broad spectrum pulsed light. *Plasma Product Biotechnology Meeting. Abstract P 42-45.*
- Dunn J., 1996. Pulsed light and pulsed electrical field for foods and eggs. *Poultry Sci.* 75: 1133-1136.
- DUNN J., BURGESS D., LEO F. : Investigation of pulsed light for terminal sterilization of WFI filled blow/fill/seal polyethylene containers. *PDA J. Pharm. Sci. Technol.*, 1997, 51, 111-115.
- Dunn J., Cooper J.R., Salisbury K., May R., Leo F., 1998. Pure-Bright pulsed light processing and sterilisation. *Eur. J. Par. Sci.* 3: 105-114.
- Federighi M., Tonello C., de Lamballerie M., Ritz M., 2001. Les traitements hautes pressions des aliments. *Polytechnica, Paris*: 151-204.
- Fine F., Gervais P., 2004. Efficiency of pulsed UV light for microbial decontamination of food powders. *J. Food Protect.* 67: 787-792.
- Ghasemi Z., Macgregor S., Anderson J., Lamont Y., 2003. Development of an integrated solid-state generator for light inactivation of food-related pathogenic bacteria. *Meas. Sci. Technol.* 14: 26-32.
- Gomez-Lopez V.M., Devlieghere F., Bonduelle V., Debevere J., 2005. Factors affecting the inactivation of micro-organisms by intense light pulses. *J. App. Microbiol.* 99: 460-470.
- Gomez-Lopez V.M., Devlieghere F., Bonduelle V., Debevere J., 2005. Intense light pulses decontamination of minimally processed vegetables and their shelf-life. *Int. J. Food Microbiol.* 103: 79-89.
- Huffman D.E., Slifko T.R., Salisbury K., Rose J.B., 2000. Inactivation of bacteria, virus and *Cryptosporidium* by a point-of-use device using pulsed broad spectrum white light. *Wat. Res.* 34: 2491-2498.
- Jun S., Irudayaraj J., Demerci A., Geiser D., 2003. Pulsed Uvlight treatment of corn meal for inactivation of *Aspergillus niger* spores. *Int. J. Food Sci. Technol.* 38: 883-888.
- Krishnamurthy K., Demirci A., Irudayaraj J., 2004. Inactivation of *Staphylococcus aureus* by pulsed UV-light sterilization. *J. Food Prot.* 67: 1027-1030.
- Lagunar-Solar M.C., Pina C., Macdonal J.D., Bolkan L., 2006. Development of pulsed UV light processes for surface fungal disinfection of fresh fruits. *J. Food Protect.* 69: 376-384.
- Macgregor S.J., Rowan N.J., McIlvaney L., Anderson J.G., Fouracre R.A., Farish O., 1998. Light inactivation of food-related pathogenic bacteria using a pulsed power source. *Lett. Appl. Microbiol.* 27: 67-70.
- Marquenie D., Geeread A.H., Lammertyn J., Soontjens C., Van Impe J.F., Michiels C.W., Nicolai B.M., 2003. Combinations of pulsed white light and UV-C or mild heat treatment to inactivate conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilia fructigena*. *Int. J. Food Microbiol.* 85: 185-196.
- Macdonald K. F., Curry R.D., Clevenger T.E., Unklesbay K., Eisenstark A., Golden J., Morgen R.D., 2000. A comparison of pulsed and continuous ultraviolet light sources for the decontamination of surfaces. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 28: 1581-1587.
- Ozer N.P., Demirci A., 2005. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* inoculated on raw salmon fillets by pulsed UV-light treatment. *Int. J. Food Sci. Technol.* 40: 1-7.
- Roberts P., Hope A., 2003. Virus inactivation by high intensity broad spectrum pulsed light. *J. Virol. Methods.* 110: 61-65.
- Rowan N.J., Macgregor S.J., Anderson J.G., Fouracre R.A., McIlvaney L., Farish O., 1999. Pulsed-light inactivation of food-related microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 1312-1315.
- Sharma R.R., Demirci A., 2003. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modelling. *J. Food Sci.* 68: 1448-1453.
- Takeshita K., Yamanaka H., Sameshima T., Fukunaga S., Isobe S., Arihara K., Itoh M., 2002. Sterilization effect of pulsed light on various microorganisms. *Bokin Bobai.* 30: 277-284.

- Takeshita K., Shibato J., Sameshima T., Fukunaga S., Isobe S., Arihara K., Itoh M., 2003. Damage of yeast cells induced by pulsed light irradiation. In. *J. Food Microbiol.* 85: 151-158.
- Wallen R.D., May R., Rieger K., Holloway J.M., Cover W.H., 2001. Sterilization of a new medical device using broad-spectrum pulsed light. *Biomed Instrum Technol.* 35: 323-330.
- Wang T., Macgregor S.J., Aaderson J.G., Woolsey G.A., 2005. Pulsed ultra-violet inactivation spectrum of *Escherichia coli*. *Wat. Res.* 39: 2921-2925.
- Wekhof A., 2000. Disinfection with flash lamp. *PDA J. Pharm. Sci. Tech.* 54: 264-276.
- Wekhof A., Trompeter F.J., Franken O., 2001. Pulsed UV-Disintegration (PUVD) : a new sterilization mechanism for packaging and broad medical-hospital applications. The first International Conference on Ultraviolet Technologies. Washinton, D.C. USA, pp. 1-15.
- Wuytack E.Y., Phuong L.D.T., Aertsen A. Reyns K.M., Marquenie D., DE Ketelaere B., Masschalck B., Van Opstal I., Diels A.M., Michiels C.W., 2003. Comparison of sublethal injury induced in *Salmonella enterica* serovar Typhimurium by heat and by different nonthermal treatments. *J. Food Protect.* 66: 31-37.