

## ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP OZONE VI BỌT KHÍ CHO THIẾT BỊ RỬA RAU

A STUDY ON APPLICATION OF ULTRASONIC WAVE-OZONE MICRO BUBBLES  
IN REMOVAL LEAFY VEGETABLES

Trần Anh Sơn, Đặng Quang Kỳ

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

### TÓM TẮT

*Nhu cầu sử dụng thực phẩm rau củ quả sạch đang là vấn đề hết sức cần thiết phục vụ đời sống người dân. Việc loại bỏ tồn dư của dư lượng thuốc bảo vệ thực vật bằng ứng dụng phương pháp Ozone vi bọt khí hiện đang là một trong các giải pháp mang lại hiệu quả cao, đang được các nhà khoa học trong nước và thế giới đầu tư nghiên cứu. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu tiến hành xây dựng mô hình thiết bị rửa rau sử dụng năng lượng vi bọt khí, sau đó thực nghiệm trên bốn loại rau khác nhau xà lách, rau muống, cải thìa và cải bẹ xanh để kiểm chứng tính hiệu quả của phương pháp. Các mẫu rau được ngâm trong bồn rửa siêu âm chứa Ozone vi bọt khí 1.0ppm. Kết quả thực nghiệm chứng minh rằng phương pháp sử dụng Ozone vi bọt khí rất hiệu quả loại bỏ dư thuốc trừ sâu cho các loại rau ăn lá.*

**Từ khóa:** Vi bọt khí; Ozone; Máy rửa rau; Thuốc bảo vệ thực vật.

### ABSTRACT

*The demand for vegetable consumption is essential issue to serve citizens. Excessive protective chemical elimination which is applied advanced solutions brings high effects being investigated by domestic and international scientists. In this report, research team conducted and designed the vegetable washing machine integrated with the ultrasonic power and Ozone microbubbles to wash out plentiful protective chemicals attaching to surfaces of leafy vegetables. Followingly, using Taguchi method for four kinds of vegetables including salad, water spinach, Chinese cabbage, and mustard greens verifies the effectiveness of solutions, Specifically those executed experiments will presents results of method on mustard greens. Vegetable samples are treated soaking pool making ultrasonic wave and Ozone microbubbles raging from 1.0ppm to 2.0ppm. The practical results demonstrated that the method using the ultrasonic power and Ozone microbubbles has high effects on eradicating protective chemical on leafy vegetables.*

**Keywords:** Ultrasonic, Ozone microbubbles, vegetable washing machine, protective chemicals.

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Các hóa chất bảo vệ nông nghiệp hỗ trợ rất nhiều trong canh tác để cải thiện năng suất trồng trọt, nhưng lại gây các tác động tiêu cực đến môi trường, con người, động vật... v.v. Hiện nay, các vấn đề về thực phẩm ô nhiễm, kém vệ sinh là một trong những thực trạng báo động mà mối liên kết xuất phát từ các nhà nông nghiệp và người tiêu dùng. Trước vấn đề đó, các phương pháp kiểm soát hóa chất bảo vệ trên các sản phẩm nông nghiệp được đưa ra. Tại Nhật Bản, kể từ năm 2006, đã có khoảng 600 loại hóa chất bảo vệ được đưa vào danh sách tích cực, các ngưỡng giới hạn hóa chất này đã được tiêu chuẩn hóa [1]. Do đó, các sản phẩm nông nghiệp sẽ không được thương mại hóa nếu vượt quá các tiêu chuẩn chính thức này. Điều này làm tăng nhu cầu phát triển các phương pháp rửa, nhằm loại bỏ các hóa chất bảo vệ trong các mặt hàng nông sản [2].

Ozone là chất bị oxy hóa cao, thường được sử dụng để khử trùng, bất hoạt virus, có tác dụng tẩy trắng, khử mùi và khử các yếu tố hữu cơ [3]. Ngoài ra, khi Ozone chuyển thành oxy, nó không làm hỏng toàn bộ hương vị của rau [4], vì vậy Ozone là lựa chọn thích hợp nhất để loại bỏ các hóa chất bảo vệ trên thực vật. Mặt khác, Ozone là hóa chất được khử trùng rất mạnh nhưng có độ hòa tan hạn chế. Chính lý do đó, Ozone không được áp dụng nhiều trong thực tế. Tuy nhiên, do ứng dụng của các vi hạt Ozone có đường kính nhỏ, bong bóng nổi trên mặt nước chậm hơn và tan hoàn toàn trong nước [3]. Hơn nữa, các vi bọt khí ozone có các tính chất độc nhất như tự chịu áp lực, mang điện tích âm,... Vì vậy, chúng hút các hạt tích điện dương là bụi, sau đó mang chúng lên phía trên mặt nước. Những số liệu này, trong thời gian dài đã thu hút sự chú ý của nhiều nhà nghiên cứu thử nghiệm ứng dụng công nghệ

ozone vào quá trình vệ sinh thực phẩm [5,6].

Phương pháp vi bọt khí cải thiện hiệu quả tiếp xúc giữa thực phẩm và dung dịch ngâm. Hiệu ứng vi bọt, hiệu ứng cơ học và hiệu ứng nhiệt độ là ba thông số ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả rửa [7,8], trong đó hiệu ứng vi bọt là yếu tố chính. Dưới tác dụng của sóng siêu âm, vi bọt khí được tạo ra. Siêu âm tạo ra sức ép thay đổi áp lực môi trường tại một số vị trí nhất định, trong nửa đầu của chu kỳ, sóng áp lực tăng cường, nhưng chúng giảm dần trong phần còn lại của thời kỳ. Những hiện tượng này mang lại hiệu ứng cơ học cho các môi trường bị ảnh hưởng. Sự chênh lệch áp suất giữa hai pha này rất lớn và tỷ lệ với tần số siêu âm, chính sự chênh lệch này là nguyên nhân tạo ra các vi bọt khí [9-11].

Bài báo nhằm tìm giải pháp hiệu quả trong việc rửa rau ăn lá. Các chất gây ô nhiễm vật lý (cát, bụi, v.v.) và các hóa chất bảo vệ thực vật trên rau ăn lá được loại bỏ bằng ứng dụng kết hợp giữa siêu âm và vi hạt ozone. Các thí nghiệm đã được tiến hành trên Salad, rau muống, cải thảo và rau cải bẹ để chứng minh tính hiệu quả. Tuy nhiên, bài báo tập trung trình bày chủ yếu các thí nghiệm trên cải bẹ xanh, loại rau được xem là có khả năng ô nhiễm nhiều nhất.

## 2. TIẾN HÀNH THÍ NGHIỆM

Đối tượng: Có thể thử nghiệm trên các loại rau ăn lá ưa dùng là xà lách, rau muống, cải thảo và cải bẹ xanh. Các loại rau này phải được trồng trọt dựa trên tiêu chuẩn VietGAP. Trong phạm vi bài báo sẽ thực nghiệm trên cải bẹ xanh.

Thiết bị thí nghiệm: Thiết bị thí nghiệm gồm 2 buồng độc lập. Buồng thứ nhất sục rửa

sơ cấp và bước thứ hai ứng dụng siêu âm để rửa thứ cấp. Nước dùng trong quá trình rửa có chứa Ozone với nồng độ phù hợp cho rau ăn lá là 1,0 ppm.

Tiến hành thí nghiệm: Khối lượng rau trước khi rửa:  $m_1$ ; Khối lượng rau sau khi rửa bằng máy:  $m_2$ ; Khối lượng rau sau khi rửa bằng tay:  $m_3$ . Kiểm tra độ sạch cơ học của rau ở trạng thái không có nước bám vào bề mặt rau. Chọn khối lượng mẫu rửa bằng máy  $m_{2i}$  là 0,5 kg cho một lần lấy mẫu rau thứ  $i$ . Chọn khối lượng rửa bằng tay  $m_{3j}$  là 0,5 kg cho một lần lấy mẫu rau thứ  $j$ . Để dễ tính toán, ta phân bố số mẫu rửa bằng máy trùng với số mẫu rửa bằng tay ( $i=j$ ). Giữ lại mẫu  $m_{11}$  làm đại diện mẫu ban đầu. Ta có:

$$m_1 = m_{11} + \sum m_{2i} + \sum m_{3j} \quad (1)$$

Mang toàn bộ mẫu  $m_{2i}$  cho vào máy rửa ở bể rửa sơ cấp cùng trong một lần. Các mẫu  $m_{2i}$  này được cách ly nhau bằng lưới. Sau khi rửa bằng máy lấy ngẫu nhiên 3 mẫu cân khối lượng ta được khối lượng mẫu sau khi rửa bằng máy  $m_{21}, m_{22}, m_{23}$ . Tiếp theo, rửa bằng tay các mẫu  $m_{3j}$  có cách ly trong quá trình rửa. Sau khi rửa bằng tay lấy ngẫu nhiên 3 mẫu cân khối lượng ta được khối lượng mẫu sau khi rửa bằng tay  $m_{31}, m_{32}, m_{33}$ . Tính toán độ bẩn cơ học của rau được thực hiện như sau:

Độ bẩn của mẫu:

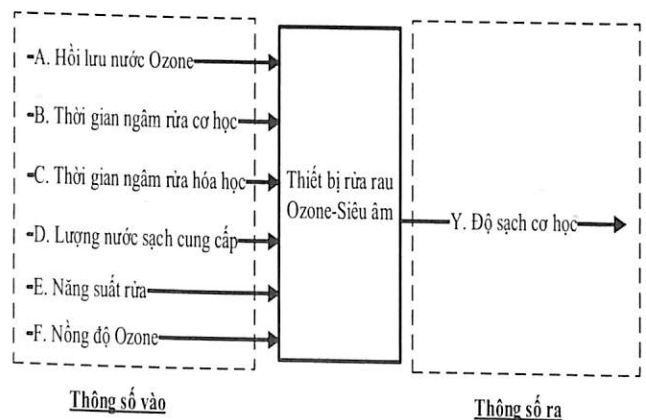
$$b = \frac{\sum \Delta_i}{\sum m_{3i}}, \Delta_i = m_{2i} - m_{3i} \quad (2)$$

Độ sạch của mẫu:

$$s = 1 - \frac{\sum \Delta_i}{\sum m_{3i}} \quad (3)$$

## 2.4. Phương pháp Taguchi

Phương pháp Taguchi cho phép thiết kế các thí nghiệm dựa trên các ma trận trực giao, xác định số lượng cột thích hợp, mô tả sự tích hợp của các thí nghiệm riêng lẻ. Phương pháp Taguchi khắc phục được nhược điểm của phương pháp giai thừa vì nó có thể cắt giảm đáng kể số lượng thí nghiệm nhưng vẫn duy trì tính tổng quát của quá trình phân tích, vì vậy phương pháp này hiệu quả về thời gian và tiết kiệm chi phí. Mô hình của các tham số đầu vào và đầu ra được hiển thị trong Hình 2. Như có thể thấy trên hình, mô hình có chứa sáu thông số đầu vào (A, B, ..., F) và thông số đầu ra Y là độ sạch cơ học được tính theo đơn vị %. Tuy vậy, có một thông số luôn được giữ là hằng trong suốt quá trình là nồng độ Ozone (F), điều này dựa trên các nghiên cứu của nhóm tác giả H.Ikeura [12], chỉ ra rằng nồng độ Ozone được khuyến sử dụng khi rửa rau ăn lá là 1,0 ppm. Kết quả là, có năm thông số sẽ thay đổi còn thông số còn lại (F) sẽ giữ nguyên trong mọi thử nghiệm, được minh họa trong Bảng 1.



Hình 2. Thông số đầu vào và đầu ra.

Bảng 1. Các thông số đầu vào và các mức thử nghiệm:

STT	Ký hiệu	Thông số	Mức điều khiển		
			Mức 1	Mức 2	Mức 3
1	A	Hồi lưu nước Ozone	Có	Không	
2	B	Thời gian ngâm rửa cơ học	2 phút	3 phút	4 phút
3	C	Thời gian ngâm rửa hóa học	2 phút	3 phút	4 phút
4	D	Lượng nước sạch cung cấp	35 lít/ phút	45 lít/ phút	55 lít/ phút
5	E	Năng suất rửa	3,5 kg/phút	4,0 kg/phút	4,5 kg/phút

Theo phương pháp thiết kế truyền thống, để tìm giải pháp tối ưu trong giới hạn các tham số và các mức điều khiển của các tham số đã cho trong Bảng 1 cần phải thực hiện số lượng thí nghiệm là  $N = 2^1 + 3^4 = 83$ . Tức có thể xảy ra 83 khả năng kết hợp của các tham số và các mức. Trong đó, 5 tham số điều khiển được ký hiệu lần lượt bởi 5 chữ cái A, B, C, D và E. Tham số A được lựa chọn ở 2 mức, các tham số còn lại ở 3 mức giới hạn. Với số lượng thí nghiệm rất lớn, như vậy sẽ gây rất nhiều khó khăn trong việc thực hiện, đồng thời gây lãng phí thời gian và kinh phí. Để khắc phục vấn đề này, nhóm thực hiện đề tài đã áp dụng thực nghiệm theo phương pháp Taguchi [13,14]. Mô hình thí nghiệm áp dụng phương pháp Taguchi có 1 tham số 2 mức và 4 tham số 3 mức. Khi đó, số lượng thí nghiệm khảo sát chế độ rửa được lấy theo ma trận trực giao L18, gồm 18 thí nghiệm được ký hiệu từ TN1 đến TN18. Bằng việc áp dụng phương pháp Taguchi, số lượng thí nghiệm đã giảm vô cùng đáng kể từ 83 xuống còn 18 thí nghiệm nhưng vẫn phản

ảnh đầy đủ thông tin của quá trình. Phương pháp Taguchi sử dụng tỷ số tín hiệu/nhiều SN (Signal-to-Noise) được chuyển đổi từ hàm số mất mát  $L = k(Y-m)^2$ , trong đó L là mất mát do sai lệch giá trị đặc tính y nhận được so với giá trị đặc tính m mong muốn, k là hằng số. Tỷ số SN được xây dựng và chuyển đổi để tính toán theo tiêu chí “Lớn hơn tốt hơn” (Larger is better).

$$SN_L = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (4)$$

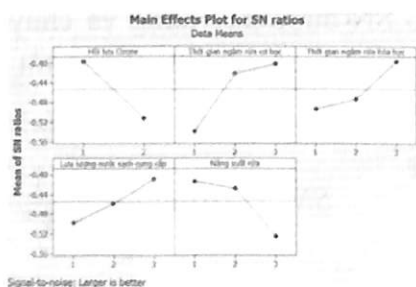
Sử dụng phần mềm Minitab để tính toán hàm mục tiêu, đánh giá và sắp xếp các thông số theo tiêu chuẩn “Lớn hơn tốt hơn” (Hình 3).

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

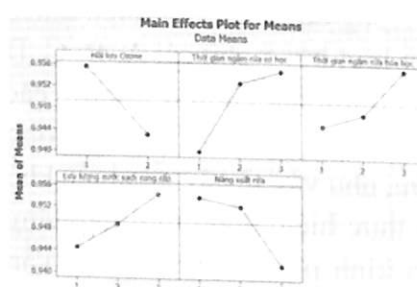
Tiến hành thực nghiệm trên cải bẹ xanh ta thu được các kết quả theo Bảng 2 và Hình 3 ~ 4.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm dựa trên ma trận trực giao Taguchi đối với cải bẹ xanh:

TT	Thông số điều khiển					Giá trị đo			S/N (dB)	Trung bình (µm)
	A	B	C	D	E	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>		
1	1	1	1	1	1	0.93	0.93	0.94	-0.5996	0.933333
2	1	1	2	2	2	0.94	0.95	0.95	-0.47638	0.946667
3	1	1	3	3	3	0.97	0.96	0.95	-0.35552	0.96
4	1	2	1	2	2	0.95	0.95	0.96	-0.41542	0.953333
5	1	2	2	3	3	0.93	0.95	0.95	-0.50801	0.943333
6	1	2	3	1	1	0.98	0.97	0.98	-0.20538	0.976667
7	1	3	1	3	1	0.96	0.97	0.97	-0.29478	0.966667
8	1	3	2	1	2	0.97	0.97	0.97	-0.26457	0.97
9	1	3	3	2	3	0.96	0.95	0.94	-0.44649	0.95
10	2	1	1	1	3	0.92	0.93	0.91	-0.72527	0.92
11	2	1	2	2	1	0.94	0.96	0.93	-0.50896	0.943333
12	2	1	3	3	2	0.95	0.93	0.93	-0.56961	0.936667
13	2	2	1	2	3	0.94	0.94	0.95	-0.50702	0.943333
14	2	2	2	3	1	0.96	0.95	0.93	-0.47834	0.946667
15	2	2	3	1	2	0.96	0.95	0.95	-0.41542	0.953333
16	2	3	1	3	2	0.96	0.95	0.95	-0.41542	0.953333
17	2	3	2	1	3	0.93	0.95	0.92	-0.60158	0.933333
18	2	3	3	2	1	0.97	0.95	0.95	-0.38604	0.956667
<b>Giá trị trung bình:</b>						0.9511	0.9505	0.9461	-0.4541	0.949259



(a) Tỷ lệ SN



(b) Giá trị trung bình

Hình 3. Đồ thị Kết quả tính toán theo Taguchi.

Taguchi Analysis: Y1, Y2, ... versus Hôi lưu Ozon, Thời gian

Response Table for Signal to Noise Ratios  
Larger is better

Level	Hôi lưu Ozon	Thời gian ngâm rửa củ học	Thời gian ngâm rửa hóa học	Lưu lượng nước sạch cung cấp	Năng suất rửa
1	-0.3962	-0.5392	-0.4929	-0.4979	-0.4122
2	-0.5120	-0.4216	-0.4730	-0.4570	-0.4261
3		-0.4015	-0.3964	-0.4074	-0.5240
Delta	0.1157	0.1377	0.0965	0.0905	0.1118
Rank	2	1	4	5	3

Response Table for Means

Level	Hôi lưu Ozon	Thời gian ngâm rửa củ học	Thời gian ngâm rửa hóa học	Lưu lượng nước sạch cung cấp	Năng suất rửa
1	0.9556	0.9400	0.9450	0.9444	0.9539
2	0.9430	0.9528	0.9472	0.9459	0.9522
3		0.9550	0.9556	0.9544	0.9417
Delta	0.0126	0.0150	0.0106	0.0100	0.0122
Rank	2	1	4	5	3

Hình 4. Các mức ảnh hưởng của các biến đầu vào.

Từ các kết quả trên, có thể phân tích đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ sạch cơ học của rau khi rửa như sau (theo mức độ giảm dần) là B, A, E, C, D.

Bảng 3. Mức ảnh hưởng của các biến đầu vào:

	Hồi lưu Ozone	Thời gian ngâm rửa cơ học (phút)	Thời gian ngâm rửa hóa học (phút)	Lưu lượng nước sạch cung cấp (l/phút)	Năng suất rửa (kg/phút)
Mức 1	0.9556	0.9400	0.9450	0.9444	0.9539
Mức 2	0.9430	0.9528	0.9472	0.9489	0.9522
Mức 3		0.9550	0.9556	0.9544	0.9417
Chênh lệch	0.0126	0.0150	0.0106	0.0100	0.0122
Mức độ ảnh hưởng	2	1	4	5	3

Dựa trên kết quả cho thấy, thời gian sục rửa cơ học là yếu tố ảnh hưởng nhiều nhất đến độ sạch cơ học. Lưu lượng nước sạch cung cấp lại là thông số tác động ít nhất đối với kết quả. Qua đó, thay đổi thời gian ngâm rửa cơ học từ mức 1 sang mức 2 tạo nên sự thay đổi đáng kể độ sạch cơ học. Tuy nhiên, không có nhiều khác biệt khi thay đổi từ mức 2 sang mức 3 (độ dốc thấp hơn). Mặt khác, việc hồi lưu nước Ozone mang lại hiệu quả đáng kể đối với độ sạch cơ

học. Tăng năng suất rửa làm giảm độ sạch cơ học. So sánh giữa việc thay đổi năng suất rửa từ mức 1 lên mức 2 và từ mức 2 lên mức 3, độ sạch cơ học tương ứng có sự thay đổi theo chiều hướng giảm đáng kể. Nhìn vào bảng số liệu thu thập và kết quả phân tích SN theo tiêu chí “Lớn hơn tốt hơn” có thể thấy ở lượt thí nghiệm thứ 6 cho kết quả tối ưu. Giá trị trung bình của độ sạch cơ học đạt mức 97,67%.

Bảng 4. Thí nghiệm cho kết quả tối ưu nhất:

TT	Thông số đầu vào					Giá trị đo			S/N (dB)	Trung bình (µm)
	A	B	C	D	E	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>		
6	1	2	3	3	1	0.98	0.97	0.98	-0.20538	0.976667

Từ đó có thể đưa ra thông số tối ưu vận hành thiết bị đối với cải bẹ xanh như sau:

Bảng 5. Các thông số tối ưu đối với chế độ rửa cải bẹ xanh:

TT	Ký hiệu	Thông số	Mức		
			Mức 1	Mức 2	Mức 3
1	A	Hồi lưu Ozone	có		
2	B	Thời gian ngâm rửa cơ học	3 phút		
3	C	Thời gian ngâm rửa hóa học	4 phút		
4	D	Lưu lượng nước sạch cấp	55 lít/phút		
5	E	Năng suất rửa	3,5 kg/phút		

**4. KẾT LUẬN**

Phương pháp rửa rau ứng dụng sóng siêu âm, vi bọt khí và dung dịch Ozone kết hợp đã chứng minh nhanh chóng và hiệu quả khả năng loại bỏ phần lớn lượng chất bảo vệ thực vật trên bề mặt rau, đặc biệt là rau ăn lá như xà lách, rau muống, cải thảo và cải bẹ xanh. Đối với các vấn đề xã hội, nghiên cứu này đóng góp một quy trình sơ chế rau phù hợp với tiêu chuẩn an toàn thực phẩm của Bộ Y tế. Mang ý nghĩa thiết thực trong việc bảo vệ sức khỏe cộng đồng trước các vấn đề an toàn vệ sinh thực phẩm, ngộ độc thực phẩm đang vượt quá mức báo động hiện nay.

**Lời cảm ơn:**

Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh; Nghiên cứu này được tài trợ từ kinh phí thực hiện đề tài Nghiên cứu khoa học cấp Trường (Hỗ trợ NCS, HVCH); Mã số đề tài TSDH-2017-14. ❖

Ngày nhận bài: **12/8/2019**

Ngày phản biện: **19/8/2019**

**Tài liệu tham khảo:**

[1]. Buakham, R., Songsermpong, S. and Eamchotchawalit, C. (2012). *Kinetics of the reduction of pesticide residues in vegetables by ultrasonic cleaning*. Asian Journal of Food and Agro-Industry, 5(5): p. 364-373.

[2]. Chen, J.Y., Lin, Y.J. and Kuo, W.C. (2013). *Pesticide residue removal from vegetables by ozonation*. Journal of Food Engineering, 114(3): p. 404-411.

[3]. Ikeura, H., Kobayashi, F. and Tamaki, M. (2011). *Removal of residual pesticides in vegetables using ozone microbubbles*. Journal of Hazardous Materials, 186(1): p. 956- 959.

[4]. Ku, Y., Chang, J.-L., Shen, Y.-S. and Lin, S.-Y.

(1998). *Decomposition of diazinon in aqueous solution by ozonation*. Water Research, 32(6): p. 1957-1963.

[5]. Pan, J., Xia, X.-X. and Liang, J. (2008). *Analysis of pesticide multi-residues in leafy vegetables by ultrasonic solvent extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry*. Ultrasonics Sonochemistry, 15(1): p. 25-32.

[6]. Wu, J., Luan, T., Lan, C., Hung Lo, T.W. and Chan, G.Y.S. (2007). *Removal of residual pesticides on vegetable using ozonated water*. Food Control, 18(5): p. 466-472.

[7]. Zander, A. and Bunning, M. (2010). *Guide to Washing Fresh Produce*. Colorado State University Extension, 3.

[8]. Dũng, P.Đ. (2013). Đề tài "Nghiên cứu quy trình công nghệ sơ chế, bảo quản và chế tạo thiết bị sơ chế, bảo quản một số loại rau phổ biến tại TP.Hồ Chí Minh"; Sở Khoa học và Công nghệ TP.Hồ Chí Minh.

[9]. Qui, T.K. (2007). Đề tài "Hoàn thiện công nghệ bảo quản rau quả tươi xuất khẩu"; Sở Khoa học và Công nghệ Lâm Đồng.

[10]. Khanh, V.C. (2007). Đề tài "Nghiên cứu quy trình công nghệ thu hoạch, sơ chế tại nhà đóng gói và tạm trữ rau bằng phương pháp bốc hơi tương ướt tại thành phố Hồ Chí Minh"; Sở Khoa học và Công nghệ TP.Hồ Chí Minh.

[11]. Mori, E., Itoh, K. and Imamura, A. (1977). *Analysis of a short column vibrator by apparent elasticity method and its application*. Ultrasonics International 1977 Conference Proceedings: p. 262-265.

[12]. Ikeura, H., Kobayashi, F. and Tamaki, M. (2011). *Removal of residual pesticides in vegetables using ozone microbubbles*. Journal of Hazardous Materials, 186(1): p. 956-959.

[13]. Wilson, G., *Chapter 6 - Taguchi's techniques, in Six Sigma and the Product Development Cycle*, G. Wilson, Editor. 2005, Butterworth-Heinemann: Oxford. p. 107-178.

[14]. Berk, J. and Berk, S., *Chapter 11 - ANOVA, Taguchi, and Other Design of Experiments Techniques: Finding needles in haystacks...*, in Quality Management for the Technology Sector, J. Berkand Berk, S., Editors. 2000, Butterworth-Heinemann: Woburn. p.106-123.