

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

ĐOÀN NHƯ KHUÊ

**ỨNG DỤNG KỸ THUẬT GIA NHIỆT OHM ĐỂ THANH
TRÙNG NƯỚC ÉP BƯỞI**

Ngành: Công nghệ Thực phẩm
Mã số ngành: 62540101

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2022

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: TS Lại Quốc Đạt

Người hướng dẫn 2: PGS. TS Lê Thị Kim Phụng

Phản biện độc lập 1:

Phản biện độc lập 2:

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....
.....

vào lúc giờ ngày tháng năm

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

Tạp chí quốc tế

1. Doan, K. N., Lai, D. Q., Le, P. T. K., & Le, T. N, Influences of AC frequency and electric field strength on changes in bioactive compounds during pasteurization of pomelo juice by ohmic heating, *Innovative Food Science and Emerging Technonogy*, 2021, 72, 102754. **(Q1-SCIE)**
2. Doan, K. N., Lai, D. Q., Le, P. T. K., & Le, T. N, Inactivation of pectin Methylesterase and *Lactobacillus Plantarum* by ohmic heating in pomelo juice, *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, 56(4), 1987-1995. **(Q1- SCIE)**.
3. Khue, D. N., Tiep, H. T., & Dat, L. Q., Phung, Le.T.K., Tam, L.N, Influence of frequency and temperature on the inactivation of *Salmonella enterica serovar enteritidis* in Ohmic heating of pomelo juice. *LWT. Food Science & Technology*, 2020, 129, 109528. **(Q1-SCIE)**.
4. Doan, K. N., Lai, D. Q., & Le, P. T. K. Inactivation of *E. coli* O157: H7 by Ohmic Heating at Different Frequencies and Temperatures in Buffer and Pomelo Juice. *Chemical Engineering Transactions*, 2020, 78, 475-480 **(Q3- scopus)**.

CHƯƠNG 1 MỞ ĐẦU

1.1 Lý do chọn đề tài

Nước ép bưởi chứa hàm lượng cao các thành phần dinh dưỡng, các hợp chất có hoạt tính sinh học. Tuy nhiên, nước ép bưởi có thể nhiễm vi sinh vật gây ngộ độc cho người, vi sinh vật gây hư hỏng sản phẩm và bị tách lớp do enzyme pectin methylesterase (PME). Thanh trùng/tiệt trùng bằng nhiệt được sử dụng phổ biến trong công nghệ chế biến thực phẩm để bất hoạt VSV, enzyme làm giảm phẩm cấp của sản phẩm. Tuy nhiên, phương pháp gia nhiệt thông thường (CH) có tốc độ truyền nhiệt chậm vì độ dẫn nhiệt của thực phẩm thấp do đó gây phân hủy các hợp chất nhạy nhiệt và biến đổi chất lượng cảm quan nước ép. Gia nhiệt Ohm (OH) là phương pháp gia nhiệt trực tiếp, có tốc độ gia nhiệt đồng đều, nhanh chóng trong toàn khối thực phẩm. Bên cạnh nhiệt độ, tác động của điện trường trong OH cũng gia tăng hiệu quả bất hoạt VSV và enzyme. Do đó, nhiệt độ cần để thanh trùng/tiệt trùng nước ép thấp hơn, trong thời gian ngắn hơn nên chất lượng sản phẩm cao hơn. Hiệu quả của phương pháp gia nhiệt Ohm phụ thuộc vào các thông số của quá trình gia nhiệt, đặc tính của từng sản phẩm cụ thể. Mỗi loại thực phẩm khác nhau sẽ có những biến đổi khác nhau về thành phần hóa lý, cảm quan hay vi sinh khi chịu tác động của gia nhiệt Ohm. Do đó, để xác định được ảnh hưởng của các thông số OH đối với nước ép bưởi, chúng tôi thực hiện luận án:” Ứng dụng kỹ thuật gia nhiệt Ohm để thanh trùng nước ép bưởi”. Kết quả nghiên cứu này cung cấp dữ liệu cho quá trình triển khai ứng dụng gia nhiệt Ohm để chế biến nước ép bưởi ở qui mô pilot hoặc qui mô công nghiệp tiếp theo.

1.2 Mục tiêu của luận án

Mục tiêu của nghiên cứu này là (1) xác định được ảnh hưởng của OH đến khả năng ức chế vi sinh vật gây bệnh và gây hư hỏng nước ép bưởi, (2) xác định được ảnh hưởng của OH đến khả năng bất hoạt PME trong nước ép bưởi, (3) xác định được ảnh hưởng của OH đến sự biến đổi các hợp chất hóa học đặc trưng trong nước ép bưởi.

1.3 Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Kết quả nghiên cứu ứng dụng OH để thanh trùng nước ép bưởi đã xác định được:

- Điện trường gia tăng tỷ lệ bất hoạt VSV và enzyme

- Hiệu quả bất hoạt VSV, enzyme, và sự phân hủy các hợp chất hóa học đặc trưng ảnh hưởng bởi tần số, và cường độ điện trường áp dụng
 - Các thông số bất hoạt (D, z) của *E. coli* O157:H7, *S. Enteritidis*, *L. plantarum* được xác định
 - OH là một giải pháp thanh trùng nước ép bưởi hiệu quả vì cần thời gian xử lý ngắn, hiệu quả bất hoạt VSV, PME cao và hạn chế sự phân hủy các chất dinh dưỡng
 - Thông số công nghệ phù hợp để thanh trùng nước ép bưởi đã được xác định.
- ➔ Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra phương pháp OH có thể áp dụng để duy trì chất lượng cho sản phẩm nước ép bưởi thanh trùng

1.4 Bố cục của luận án

Luận án có 114 trang, 15 bảng, 25 hình và 159 tài liệu tham khảo, bao gồm các phần: Chương 1: Mở đầu; Chương 2: Tổng quan; Chương 3: Nguyên liệu và phương pháp nghiên cứu; Chương 4: Kết quả và bàn luận; Chương 5: Kết luận và kiến nghị; Tài liệu tham khảo; Các công trình đã công bố.

TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU

2.1 Những tác nhân làm giảm phẩm cấp nước ép

2.1.1 VSV gây bệnh

Nước ép bưởi có tính axit ($\text{pH} < 4,6$), có nguy cơ tồn tại những VSV gây bệnh như *E. coli* O157:H7, các chủng *Salmonella*, và loài ký sinh đơn bào *Cryptosporidium parvum* có thể gây ngộ độc. Trong đó, *E. coli* O157:H7 và *Salmonella* spp là nhóm VSV đích, được kiểm soát chặt chẽ trong ngành công nghiệp chế biến nước trái cây họ có múi. Để đảm bảo an toàn sinh học cho người tiêu dùng nước trái cây, cơ quan FDA đã yêu cầu các nhà chế biến phải có chế độ xử lý để đạt mức giảm tối thiểu 5 log đối với loại VSV gây bệnh có tính kháng cao nhất.

2.1.2 VSV gây hư hỏng

Lactobacillus và *Leuconostoc* là đối tượng gây hư hỏng chính được phân lập trong nước ép họ có múi. Chúng không gây ngộ độc thực phẩm nhưng lại gây hư hỏng, khiến cho nước trái cây lên men và tạo ra hương bơ do sản sinh ra diacetyl. Tính kháng nhiệt của vi khuẩn lactic cao hơn những VSV khác (men, mốc). Do

đó, chế độ tiêu diệt hoàn toàn vi khuẩn *Lactobacillus plantarum* và *Leuconostoc mesenteroides* cũng đảm bảo vô trùng nước quả.

2.1.3 Enzyme gây hư hỏng nước ép bưởi

Pectin methylesterase (PME) là đối tượng gây hư hỏng nước ép bưởi, có tính kháng nhiệt cao hơn VSV. Sự có mặt của PME tác động xấu đến chất lượng nước quả họ có múi, làm thay đổi trạng thái, cấu trúc nước quả, hình thành gel, gây ra sự tách lớp nước quả.

2.2 Gia nhiệt Ohm

Gia nhiệt Ohm (OH), còn gọi là gia nhiệt Joule, là một quá trình sinh nhiệt khi cho một dòng điện xoay chiều đi qua khối thực phẩm, trong đó thực phẩm đóng vai trò như một điện trở, cản trở dòng điện nên điện năng chuyển thành nhiệt năng bên trong khối thực phẩm. OH cung cấp nhiệt nhanh và đồng nhất cho khối thực phẩm. Do đó, không xảy ra sự quá nhiệt giữa lớp bề mặt và tâm khối thực phẩm. Sản phẩm sau xử lý nhiệt bằng phương pháp OH sẽ ít xuất hiện những biến đổi về dinh dưỡng, cảm quan. Tuy nhiên, hiệu quả của OH phụ thuộc độ dẫn điện của thực phẩm, thay đổi theo từng loại nguyên liệu và tùy thuộc vào thông số của hệ thống (tần số dòng điện, cường độ điện trường) của quá trình OH. Cần khảo sát và kiểm soát chặt chẽ các thông số để nâng cao hiệu quả quá trình xử lý.

2.3 Biến đổi thành phần VSV trong nước ép quả sau OH

OH đã được chứng minh có hiệu quả cao hơn CH trong việc giảm mật độ VSV. Tuy nhiên, sự khác biệt này có xu hướng giảm khi nhiệt độ tăng. VSV bị bất hoạt do OH chủ yếu là do tác động của nhiệt và phi nhiệt. Nhiệt làm biến tính protein, tác động phi nhiệt làm cho màng tế bào biến dạng, hình thành các lỗ thủng, làm mất cân bằng áp suất thẩm thấu dẫn đến bất hoạt VSV. Tuy nhiên, tác động bất hoạt VSV do tác nhân phi nhiệt của điện trường chỉ có hiệu quả trong một khoảng nhiệt độ xác định. Nhiệt độ cao, tác nhân gây bất hoạt VSV chủ yếu là do nhiệt.

2.4 Bất hoạt PME

PME bị bất hoạt do OH cao hơn CH, tuân theo động học phản ứng bậc 1. Xử lý OH vô hoạt hoàn toàn phân đoạn không bền nhiệt của enzyme; tuy nhiên, để bất hoạt phân đoạn bền nhiệt cần tác động của nhiệt độ cao hơn.

2.5 Sự biến đổi của các thành phần hóa học trong quá trình OH nước trái cây

Trong OH, cường độ điện trường cao hơn, phân hủy axit ascorbic (AA) lớn hơn. Trong khi đó, ảnh hưởng của tần số đến sự phân hủy AA vẫn chưa xác định được qui luật. Mặc dù, điện trường làm phân hủy AA nếu áp dụng dòng điện có giá trị tần số và cường độ điện trường không phù hợp. Tuy nhiên, so sánh sự phân hủy AA trong nước ép khi thanh trùng bằng OH và CH đã chỉ ra hàm lượng AA được bảo quản tốt hơn trong quá trình OH vì thời gian cần thiết để thanh trùng ngắn hơn nhiều so với các phương pháp CH.

Tác động của OH đến TPC trong nước ép và rau quả không có một qui luật chung, nó biến đổi theo loại nguyên liệu, tần số, cường độ điện trường, thời gian và nhiệt độ xử lý.

Trong trái cây họ có múi, chất đắng chủ yếu là limonin và naringin (naringenin 7fl-neohesperidose). Sự thay đổi hàm lượng naringin tăng theo nhiệt độ và thời gian chế biến, hàm lượng naringin trong nước ép bưởi tăng lên khi xử lý ở nhiệt độ trên 75 °C và tăng mạnh khi đun nóng ở 90 °C trong 15 phút. Xử lý nhiệt và axit hóa nước ép cam làm tăng tốc độ hình thành limonin. Nước ép có pH 3, hàm lượng limonin tăng hơn 4 lần so với limonin trong nước ép có pH 10.

Nước trái cây thanh trùng OH có màu sắc và hương vị không khác biệt có nghĩa so với mẫu tươi khi khảo sát trên một số loại trái cây như xoài, dứa, cam. Chất lượng cảm quan của các mẫu được xử lý OH có chất lượng tốt hơn CH nếu gia nhiệt cùng thể tích. Đồng thời, sự hiện diện của điện trường trong quá trình xử lý OH không tác động đáng kể đến chất lượng cảm quan nước quả.

CHƯƠNG 3: NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

3.1 Nguyên liệu

- Nước ép bưởi được sử dụng là bưởi Năm Roi, được thu hoạch từ trang trại Bình Minh (Vĩnh Long, Việt Nam). Bưởi được gọt vỏ, ép lấy nước và lọc qua hai lớp vải lọc. Hàm lượng chất rắn hòa tan của nước ép là $11,0 \pm 0,5$ °Bx, độ pH là $4,0 \pm 0,2$ và độ dẫn điện là $4,0 \pm 0,5$ mS/cm.

- Vi khuẩn: Chủng *S. Enteritidis* (ATCC 13076), *E. coli* O157:H7 (ATCC 43888), *L. plantarum* (ATCC 8014) dùng để làm thí nghiệm được cung cấp từ nhà sản xuất Microbiologics, Mỹ.

3.2 Phương pháp gia nhiệt

- Gia nhiệt Ohm (OH): 50 mL nước ép bưởi được cho vào buồng xử lý OH. Dòng điện được điều chỉnh tần số và cường độ điện trường trước khi đi qua các điện cực được đặt bên trong buồng gia nhiệt. Buồng gia nhiệt được chế tạo bằng vật liệu Teflon có tính trơ, cách nhiệt, có kích thước 2,5 x 14,5 x 7,5 cm, ở hai đầu gắn 2 tấm điện cực bằng titanium, cách nhau 2 cm, kích thước mỗi tấm điện cực là 0,1x14,3x7,5 cm. Nhiệt độ của mẫu được đo bằng cảm biến nhiệt loại K đặt ở trung tâm của buồng.

- Gia nhiệt thông thường (CH) (để khảo sát ảnh hưởng của yếu tố phi nhiệt): Nước bưởi được chuyển vào ống nghiệm thủy tinh và được gia nhiệt trong bể ổn nhiệt (Memmert WNB14, Đức). Cặp nhiệt kế cùng loại được sử dụng để đo nhiệt độ các mẫu khảo sát trong các thí nghiệm OH, CH. Tất cả các thí nghiệm CH đều được tiến hành trong cùng điều kiện thời gian và nhiệt độ như OH.

3.3 Nội dung thí nghiệm

3.3.1 Ảnh hưởng của OH đến sự bất hoạt *S. Enteritidis*

Mục 1. Ảnh hưởng của tần số dòng điện đến sự bất hoạt *S. Enteritidis*

Mục 2. Ảnh hưởng của cường độ điện trường đến sự bất hoạt *S. Enteritidis*

Mục 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự bất hoạt của *S. Enteritidis*

Mục 4. Ảnh hưởng của OH đến hình thái tế bào *S. Enteritidis*

3.3.2 Ảnh hưởng của OH đến sự bất hoạt *E. coli* O157:H7

Mục 1. Ảnh hưởng của tần số dòng điện đến sự bất hoạt *E. coli* O157:H7

Mục 2. Ảnh hưởng của cường độ điện trường đến sự bất hoạt *E. coli* O157:H7

Mục 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự bất hoạt của *E. coli* O157:H7

Mục 4. Ảnh hưởng của OH đến hình thái tế bào *E. coli* O157:H7

3.3.3 Ảnh hưởng của OH đến sự bất hoạt *L. plantarum*

Mục 1. Ảnh hưởng của tần số dòng điện đến sự bất hoạt *L. plantarum*

Mục 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự bất hoạt của *L. plantarum*

3.3.4 Ảnh hưởng của OH đến sự bất hoạt PME

Mục 1. Ảnh hưởng của tần số dòng điện đến sự bất hoạt PME

Mục 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự bất hoạt PME

3.4.5 Ảnh hưởng của OH đến sự biến đổi các hợp chất hóa học đặc trưng trong nước ép bưởi

Mục 1. Ảnh hưởng của OH đến tốc độ gia nhiệt nước ép bưởi

Mục 2. Khảo sát ảnh hưởng của tần số đến hàm lượng axit ascorbic, axit citric, polyphenol tổng, naringin, limonin và DPPH trong nước ép bưởi khi xử lý OH

Mục 3. Khảo sát ảnh hưởng của cường độ điện trường đến hàm lượng axit ascorbic, axit citric, polyphenol tổng, naringin, limonin và DPPH trong nước ép bưởi khi xử lý OH

Mục 4. Xác định ảnh hưởng của yếu tố phi nhiệt đến axit ascorbic, axit citric, polyphenol tổng, naringin, limonin và DPPH trong nước ép bưởi khi xử lý OH

3.4.6 Khảo sát ảnh hưởng của tần số đến sự ăn mòn điện cực

3.5 Các phương pháp phân tích

- Phân tích vi sinh: mật độ VSV, cấu trúc tế bào (TEM, PI), thông số động học bất hoạt D, z

- Phân tích hóa sinh: hoạt tính PME

- Phân tích hóa học: axit ascorbic, axit citric, polyphenol tổng, hoạt tính chống oxy hóa (DPPH), limonin, naringin, titanium.

3.6 Phương pháp xử lý số liệu

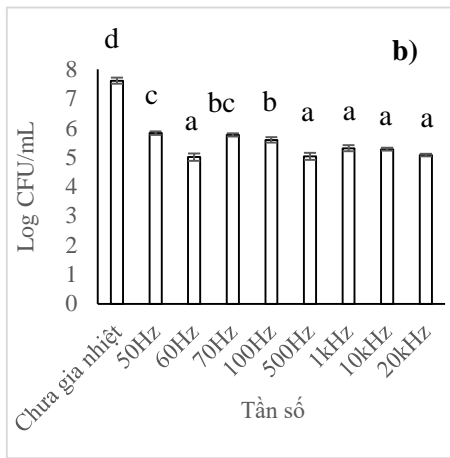
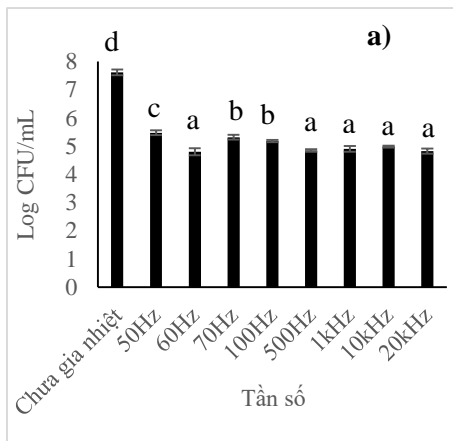
Tất cả các thí nghiệm được lặp lại 3 lần và được trình bày qua giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn. Sự khác biệt có ý nghĩa của các giá trị trung bình được đánh giá bằng phép phân tích phương sai (ANOVA) và sự khác biệt giữa các nghiệm thức được phân tích LSD với mức ý nghĩa $P < 0,05$. Phần mềm phân tích thống kê được sử dụng là Statgraphics centurion XV và XLSTAT (2020).

CHƯƠNG 4 KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1 Ảnh hưởng của OH đến sự bất hoạt S. Enteritidis

4.1.1 Ảnh hưởng của tần số AC đến sự bất hoạt S. Enteritidis

Tần số bất hoạt S. Enteritidis cao nhất ở 60 và ≥ 500 Hz, khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các tần số còn lại ($p \leq 0,05$) (**Hình 4.1**).



Hình 4. 1 Mật độ *S. Enteritidis* trong nước ép bưởi (a) và BPW (b) xử lý OH tại các tần số khác nhau

Tỷ lệ bất hoạt *S. Enteritidis* trong đệm BPW cao hơn trong nước bưởi. Tuy nhiên, tác động của tần số đến vi khuẩn này có xu hướng tương tự trong cả hai môi trường khảo sát, tức là 60 Hz và ≥ 500 Hz có hiệu quả bất hoạt *S. Enteritidis* cao nhất.

4.1.2 Ảnh hưởng của cường độ điện trường AC đến sự bất hoạt *S. Enteritidis*

Tần số và cường độ điện trường đều ảnh hưởng đến khả năng tiêu diệt VSV. Cường độ điện trường 30 V/cm cho hiệu quả bất hoạt VSV tốt hơn 20 V/cm tại bất kỳ tần số nào ($p < 0,05$) (Bảng 4.1).

4.1.3 Ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự bất hoạt *S. Enteritidis*

Khả năng sống sót của *S. Enteritidis* trong nước ép bưởi sau khi xử lý OH và CH ở nhiệt độ 52, 55, 58, 60 và 62 °C được thể hiện trong Hình 4.2 (a, b, c). Mật độ

Bảng 4. 1 Mật độ *S. Enteritidis* trong nước ép bưởi (a) và BPW (b) khi xử lý OH tại các tần số và cường độ điện trường

a)		Log CFU/ml								
		Không xử lý nhiệt	50 Hz	60 Hz	70 Hz	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	10000 Hz	20000 Hz
Nước bưởi	20 V/cm	7,56±0,03 ^a	5,99±0,11 ^b	5,47±0,01 ^e	6,06±0,02 ^b	5,85±0,01 ^c	5,61±0,03 ^d	5,69±0,02 ^d	5,68±0,01 ^d	5,63±0,05 ^d
	30 V/cm	7,61±0,1 ^a	5,47±0,08 ^e	4,79±0,12 ⁱ	5,31±0,09 ^f	5,18±0,04 ^g	4,85±0,05 ^{hi}	4,90±0,08 ^{hi}	4,92±0,09 ^h	4,82±0,09 ^{hi}

b)		Log CFU/ml								
		Không xử lý nhiệt	50 Hz	60 Hz	70 Hz	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	10000 Hz	20000 Hz
BPW	20 V/cm	7,66±0,04 ^a	6,35±0,02 ^b	6,13±0,03 ^c	6,36±0 ^b	6,43±0,07 ^b	6,15±0,11 ^c	6,17±0,07 ^c	6,18±0,05 ^c	6,10±0,01 ^c
	30 V/cm	7,61±0,1 ^a	5,82±0,06 ^d	5,01±0,13 ^h	5,76±0,06 ^d	5,59±0,1 ^e	5,03±0,12 ^{gh}	5,17±0,16 ^f	5,15±0,15 ^g	5,07±0,05 ^{gh}

Các chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$)

Bảng 4. 2 Giá trị k, E, D và z của *S. Enteritidis* trong xử lý OH và CH

	Nhiệt độ (°C)	OH (60 Hz)				OH (500 Hz)				CH			
		D (s)	z (°C)	k (s ⁻¹)	E (kJ/mol)	D (s)	z (°C)	k (s ⁻¹)	E (kJ/mol)	D (s)	z (°C)	k (s ⁻¹)	E (kJ/mol)
Nước ép bưởi	52	129,7 ^a ± 32,8	4,6	0,018	1.535,0	110,2 ^a ± 47,6	4,9	0,021	1.411,9	126,1 ^a ± 1,5	5,3	0,018	1385,0
	55	18,2 ^a ± 1,6		0,127		29,8 ^b ± 5,9		0,078		44,0 ^c ± 3,0		0,052	
	58	6,2 ^a ± 0,2		0,371		6,6 ^a ± 0,4		0,349		7,9 ^b ± 0,0		0,292	
BPW	55	122,0 ^a ± 34,2	5,0	0,019	1.631,8	133,5 ^a ± 53,5	5,2	0,017	1.636,6	107,93 ^a ± 16,8	6,0	0,021	1.374,0
	58	24,0 ^{ab} ± 3,2		0,096		25,6 ^a ± 0,7		0,090		30,4 ^b ± 1,0		0,076	
	60	8,3 ^a ± 0,5		0,501		9,3 ^a ± 0,5		0,248		14,3 ^b ± 0,6		0,161	
	62	4,6 ^a ± 0,3		0,277		4,9 ^a ± 0,1		0,470		6,3 ^b ± 0,1		0,366	

Các chữ cái khác nhau trong cùng một hàng thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$)

Bảng 4. 3 Mật độ *E. coli* O157:H7 trong nước ép bưởi (a) và BPW (b) khi xử lý bằng OH ở các tần số và cường độ điện trường

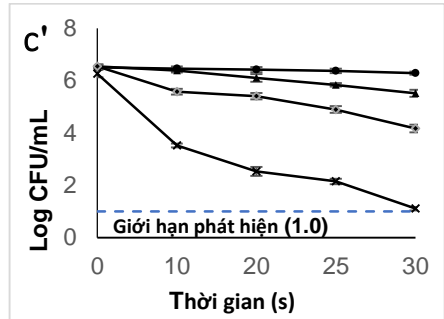
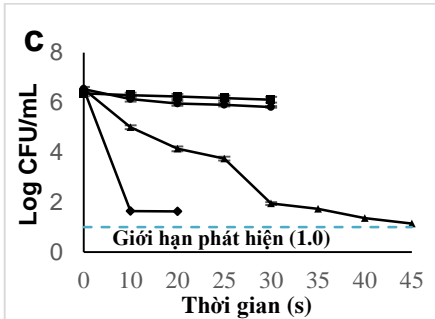
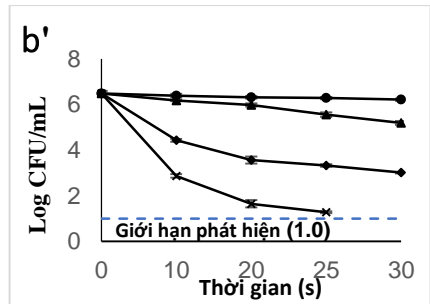
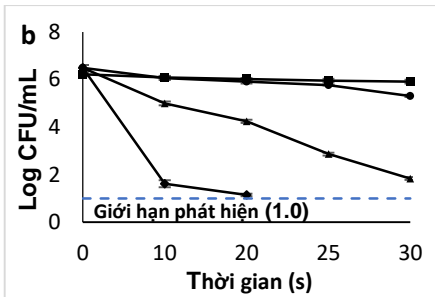
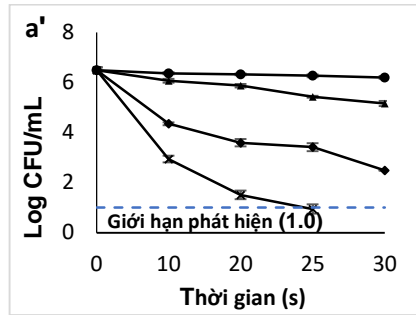
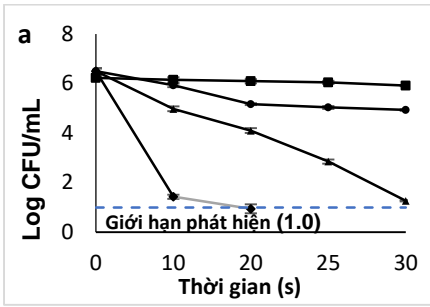
a)		Log CFU/ml								
		Không xử lý nhiệt	50 Hz	60 Hz	70 Hz	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	10000 Hz	20000 Hz
Nước bưởi	20 V/cm	7,27±0,07 ^a	5,62±0,03 ^b	4,55±0,11 ^{de}	5,25±0,15 ^c	5,05±0,12 ^c	4,59±0,01 ^d	4,65±0,05 ^d	4,69±0,15 ^d	4,57±0,12 ^d
	30 V/cm	7,27±0,36 ^a	5,07±0,33 ^c	4,05±0,28 ^f	4,75±0,10 ^d	4,55±0,08 ^d	4,16±0,11 ^f	4,27±0,11 ^{ef}	4,26±0,1 ^f	4,15±0,1 ^{fg}

b)		Log CFU/ml								
		Không xử lý nhiệt	50 Hz	60 Hz	70 Hz	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	10000 Hz	20000 Hz
BPW	20 V/cm	7,27±0,07 ^a	5,72±0,01 ^b	4,64±0,21 ^{ghij}	5,43±0,14 ^{cd}	5,25±0,02 ^{de}	4,68±0,01 ^{ghi}	4,72±0,02 ^g	4,71±0,11 ^g	4,69±0,12 ^{gh}
	30 V/cm	7,17±0,27 ^a	5,01±0,20 ^{ef}	4,27±0,25 ^k	4,48±0,15 ^{fg}	4,61±0,16 ^{hij}	4,31±0,26 ^k	4,43±0,1 ^{ijk}	4,44±0,04 ^{hijk}	4,40±0,16 ^{ik}

Các chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$)

Bảng 4. 4 Giá trị k, E, D và z của *E. coli* O157:H7 khi xử lý OH và CH

	Nhiệt độ (°C)	OH (60 Hz)				OH (500 Hz)				CH			
		D (s)	z (°C)	k (s ⁻¹)	E (kJ/mol)	D (s)	z (°C)	k (s ⁻¹)	E (kJ/mol)	D (s)	z (°C)	k (s ⁻¹)	E (kJ/mol)
Nước ép bưởi	60	59,0 ^a ± 2,4	6,7	0,039	1.412,8	58,4 ^a ± 0,5	6,5	0,040	1.452,9	-	-	-	-
	62	27,3 ^a ± 1,4		0,084		29,3 ^a ± 1,8		0,079		35,4 ^b ± 1,6	8,6	0,065	1.179,9
	65	10,3 ^a ± 0,4		0,223		10,7 ^a ± 0,2		0,215		14,3 ^b ± 0,4		0,161	
	68	3,6 ^a ± 0,1		0,639		3,3 ^b ± 0,0		0,698		8,2 ^c ± 0,1		0,281	
	71	-		-		-		-		2,9 ± 0,1		0,794	
BPW	60	62,1 ^a ± 0,8	6,8	0,037	1.388,2	65,4 ^a ± 1,9	6,2	0,035	1.504,8	-	-	-	-
	62	31,9 ^a ± 1,3		0,072		33,1 ^a ± 2,7		0,070		39,3 ^b ± 2,2	8,4	0,059	1.204,7
	65	11,4 ^a ± 0,5		0,202		11,3 ^a ± 0,7		0,204		15,6 ^b ± 0,4		0,148	
	68	4,1 ^a ± 0,1		0,562		3,4 ^b ± 0,1		0,678		8,5 ^c ± 0,1		0,271	
	71	-		-		-		-		3,1 ± 0,1		0,743	



Hình 4. 2 Mật độ *S. Enteritidis* trong nước ép bưởi và BPW sau khi xử lý OH và CH (a: OH-60 Hz-Bưởi, b: OH-500 Hz-Bưởi, c: CH-Bưởi và BPW: a': OH-60 Hz-BPW, b': OH-500 Hz-BPW, c': CH-BPW, ■ 52 °C, ● 55°C, ▲ 58°C, ◆ 60°C, × 62°C)

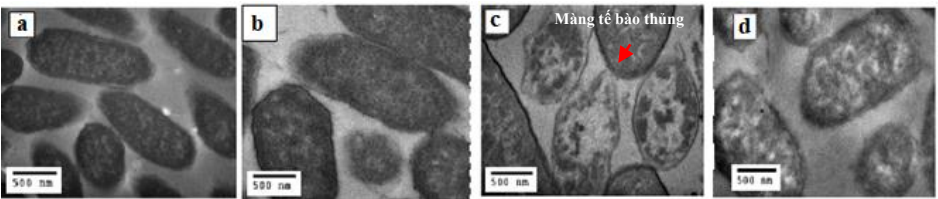
vi khuẩn giảm khi nhiệt độ và thời gian xử lý tăng. Trong cùng điều kiện xử lý, tác dụng bất hoạt *S. Enteritidis* bởi OH cao hơn CH. Mật độ *S. Enteritidis* trong BPW giảm theo xu hướng tương tự như trong nước ép bưởi (Hình 4.2 a', b', c').

Tuy nhiên, tỷ lệ VSV sống sót sau OH và CH ở BPW (pH 7,2) cao hơn trong nước bưởi (pH 4,0). Với các giá trị nhiệt độ và thời gian khảo sát, OH đã làm giảm mật độ VSV nhiều hơn khoảng 0,5 đến 2,5 log so với CH ở cùng điều kiện, cả trong BPW và trong nước bưởi.

4.1.4 Các thông số động học *S. Enteritidis* trong OH và CH

Giá trị D, z của *S. Enteritidis* trong nước ép bưởi và BPW xử lý CH và OH được trình bày ở **Bảng 4.2**. Khả năng chịu nhiệt của *Salmonella* xử lý OH thấp hơn CH và trong nước bưởi thấp hơn trong BPW.

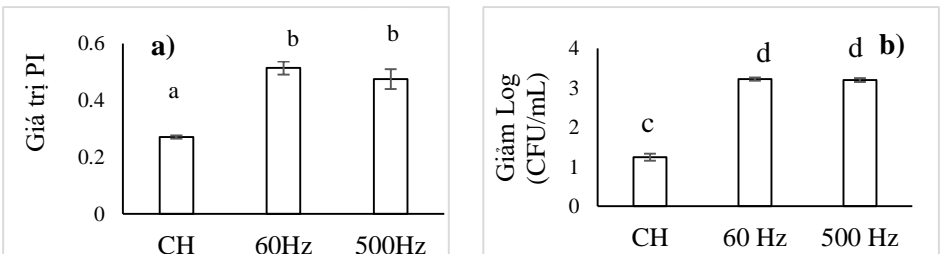
4.1.5 Xác định các thay đổi cấu trúc tế bào *S. Enteritidis*



Hình 4. 3 Hình ảnh chụp TEM tế bào *S. Enteritidis*

(Không xử lý nhiệt- (a), CH- (b), OH- 60Hz-(c), và OH -500 Hz-(d))

Màng tế bào *S. Enteritidis* xử lý CH (**Hình 4.3 b**) vẫn nguyên vẹn. Các tế bào xử lý OH có không gian nội bào mở rộng, chất nội bào bị thoái hóa rõ hơn so với các tế bào được xử lý CH (**Hình 4.3 c (OH-60 Hz) & Hình 4.3 d (OH-500 Hz)**). Ngoài ra, trên màng tế bào của *S. Enteritidis* xử lý OH tại 60 Hz có hiện tượng thủng, vỡ (**Hình 4.3 c**).



Hình 4. 4 Hấp thu PI (a) và giảm mật độ VSV (b) sau OH (60 Hz, 500 Hz) và CH tại 60 °C trong 20 s đối với *S. Enteritidis* trong BPW

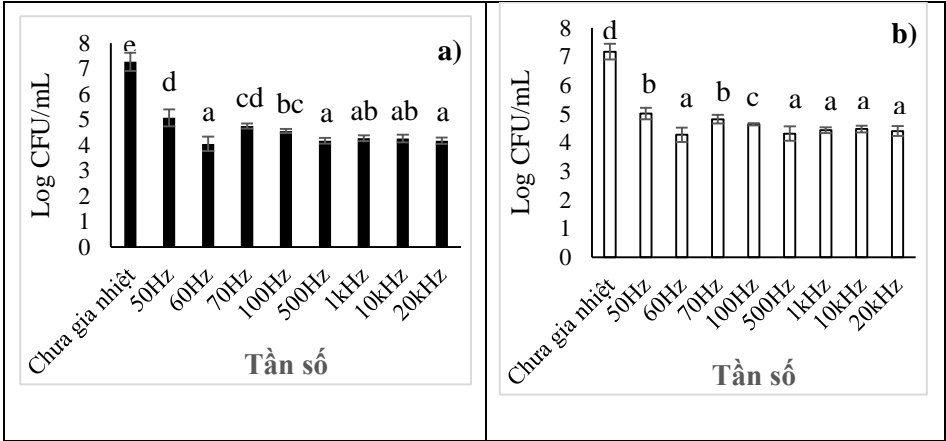
Phân tích định lượng sự rò rỉ, hư tổn màng tế bào được thực hiện thông qua đo độ hấp thu propidium iodide (PI) của tế bào. Độ hấp thu PI của *S. Enteritidis* đã được chỉ ra, tương ứng với sự giảm log của *S. Enteritidis* đối với CH, 60 Hz- OH và 500 Hz-OH (**Hình 4.4**). Độ hấp thu PI của *S. Enteritidis* CH thấp hơn độ hấp thu PI của *S. Enteritidis* OH, tương ứng với sự giảm log *S. Enteritidis* CH thấp hơn OH ($P < 0,05$).

Kết quả phân tích TEM và sự hấp thu PI trong nghiên cứu này chỉ ra màng tế bào bị biến đổi, xuất hiện những lỗ thủng khi xử lý tế bào bằng OH lớn hơn CH. Do đó, OH có cả tác dụng gây chết *S. Enteritidis* do nhiệt và phi nhiệt.

4.2 Ảnh hưởng của OH đến sự bất hoạt *E. coli* O157:H7

4.2.1 Ảnh hưởng của tần số dòng điện đến sự bất hoạt *E. coli* O157: H7

Tần số bất hoạt *E. coli* O157: H7 cao nhất ở 60 và ≥ 500 Hz, khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p \leq 0.05$) so với các tần số còn lại.



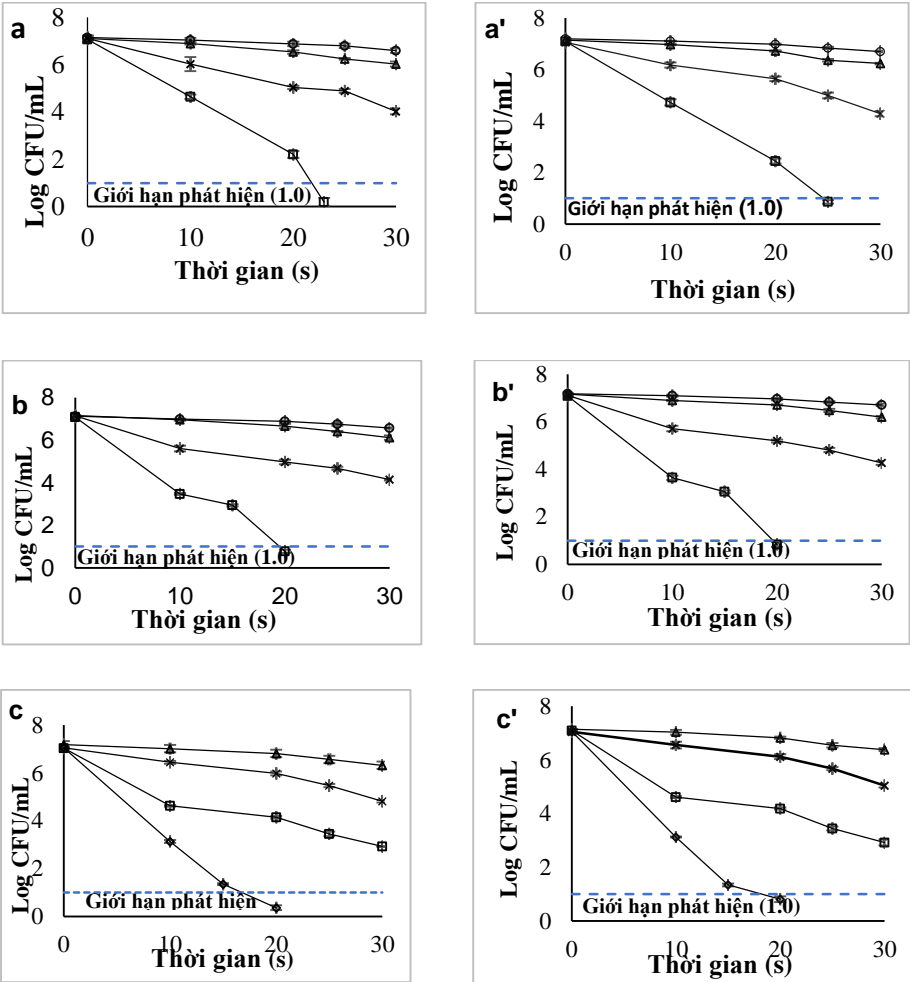
Hình 4. 5 Mật độ *E. coli* O157:H7 trong nước ép bưởi (a) và BPW (b) xử lý OH tại các tần số khác nhau (các chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê, $p < 0,05$)

4.2.2 Ảnh hưởng của cường độ điện trường đến sự bất hoạt của *E. coli* O157: H7

Tần số và cường độ điện trường đều tác động đến khả năng tiêu diệt *E. coli* O157:H7 (**Bảng 4.3**). Trong đó, tần số 60 Hz, ≥ 500 Hz tiêu diệt *E. coli* O157:H7

cao nhất và cường độ điện trường 30 V/cm cho hiệu quả bất hoạt cao hơn 20 V/cm tại tất cả các tần số ($p < 0,05$).

4.2.3 Ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự bất hoạt *E. coli* O157:H7



Hình 4. 6 Mật độ *E. coli* O157:H7 trong nước ép bưởi và BPW xử lý OH và CH Nước ép bưởi (a: 60 Hz, b: 500 Hz, c: CH) và BPW (a': 60 Hz, b': 500 Hz, c': CH), (○ 60 °C, △ 62 °C, × 65 °C, □ 68 °C, ◇ 71 °C).

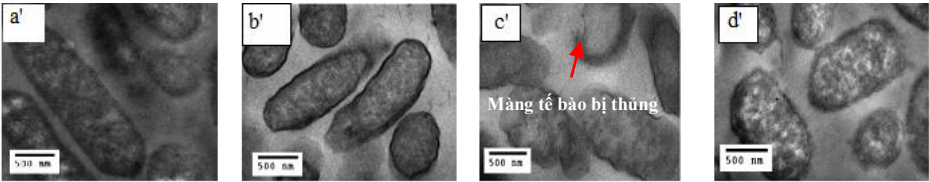
Mật độ bất hoạt VSV tăng khi nhiệt độ và thời gian xử lý tăng. Ở cùng điều kiện xử lý, hiệu quả tiêu diệt *E. coli* O157: H7 bằng phương pháp OH cao hơn CH

(**Hình 4.6** (a, b, c)). Mật độ *E. coli* O157:H7 trong BPW giảm theo xu hướng tương tự như trong nước ép bưởi (**Hình 4.6** (a', b', c')). Tuy nhiên, sự sống sót của các tế bào sau OH và CH trong BPW (pH 7,2) cao hơn trong nước bưởi (pH 4,0). Mật độ *E. coli* O157:H7 khi xử lý OH giảm từ một đến ba log so với trường hợp xử lý CH ở cùng điều kiện đối với cả BPW và nước bưởi.

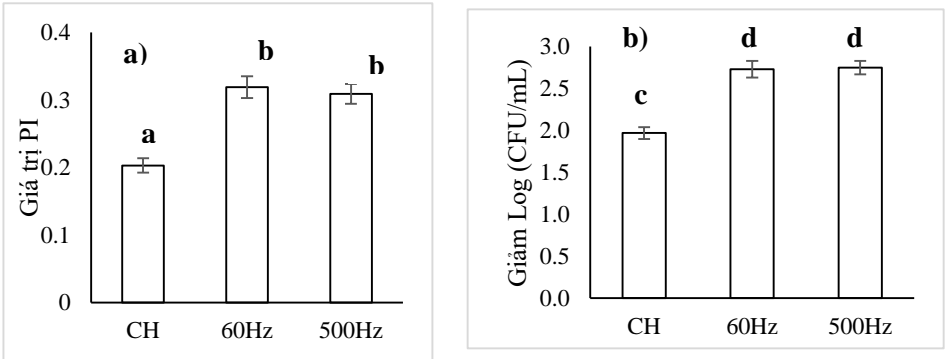
4.2.4 Các thông số động học của *E. coli* O157:H7 trong OH và CH

Giá trị D, z của *E. coli* O157: H7 trong nước ép bưởi, BPW được xử lý bằng CH, OH được trình bày trong **Bảng 4.4**. Khả năng chịu nhiệt của *E. coli* O157: H7 xử lý OH thấp hơn CH, và trong nước bưởi thấp hơn tron BPW (**Bảng 4.4**).

4.2.5 Xác định các thay đổi cấu trúc tế bào *E. coli* O157: H7



Hình 4. 7 Hình ảnh chụp TEM tế bào *E. coli* O157: H7 (65 °C trong 30 s) (Không xử lý nhiệt (a'), CH (b'), OH-60 Hz (c'), và OH-500 Hz (d'))

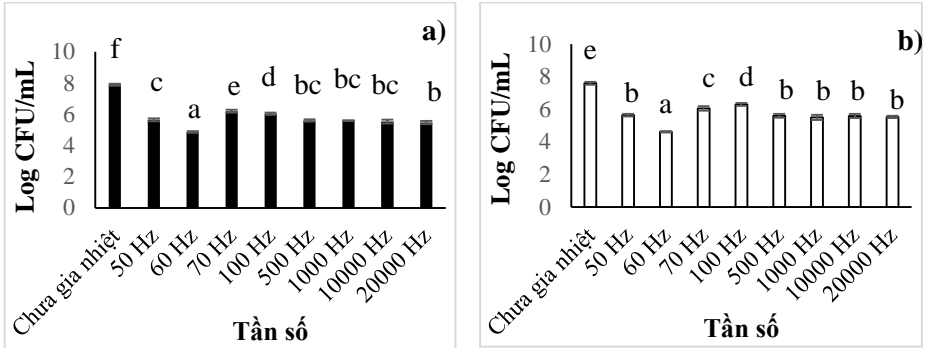


Hình 4. 8 Hấp thu PI (a) và giảm mật độ VSV (b) sau OH (60 Hz, 500 Hz) và CH tại 65 °C trong 30 s đối với *E. coli* O157:H7 trong BPW

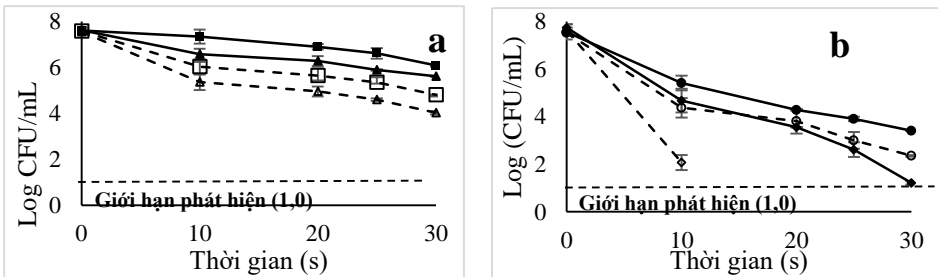
Kết quả phân tích TEM và PI của tế bào *E. coli* O157: H7 tương tự như phân tích tế bào *S. Enteritidis*. Tức là, VSV chết do màng tế bào bị thủng, biến đổi không gian và hình thái tế bào khi xử lý OH cao hơn so với CH.

2.3 Ảnh hưởng của OH đến sự bất hoạt *L. plantarum* trong nước ép bưởi

2.3.1 Ảnh hưởng của tần số AC đến sự bất hoạt của *L. plantarum*



Hình 4. 9 Ảnh hưởng của tần số đến *L. plantarum* trong nước ép bưởi (s) và PBS (b) Tần số có ảnh hưởng đến sự bất hoạt *L. plantarum*, với mức giảm cao nhất ở 60 Hz, tiếp theo là 50 Hz và trong dải tần số ≥ 500 Hz ($p < 0,05$). Tỷ lệ sống sót của chủng vi khuẩn này trong BPS tương tự như trong nước ép bưởi (Hình 4.9).



Hình 4. 10 Đường cong sống sót của *L. plantarum* trong nước ép bưởi
a) tại 65°C (□), 70°C (Δ) đối với OH và 65°C (■), 70°C (▲) đối với CH
b) tại 75°C (○), 80°C (◇) đối với OH và 75°C (●), 80°C (◆) đối với OH

2.3.2 Ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự bất hoạt *L. plantarum*

Mật độ *L. plantarum* giảm khi nhiệt độ và thời gian xử lý tăng lên. Ở cùng điều kiện xử lý, hiệu quả diệt khuẩn của OH cao hơn CH (Hình 4.10). Giá trị D, z của *L. plantarum* được trình bày trong Bảng 4.5. Giá trị D, z khi xử lý OH thấp hơn giá trị thu được từ CH. Kết quả cũng chỉ ra rằng sự bất hoạt *L. plantarum* xử lý

OH tuân theo mô hình động học bậc nhất tương tự như trường hợp bất hoạt do nhiệt.

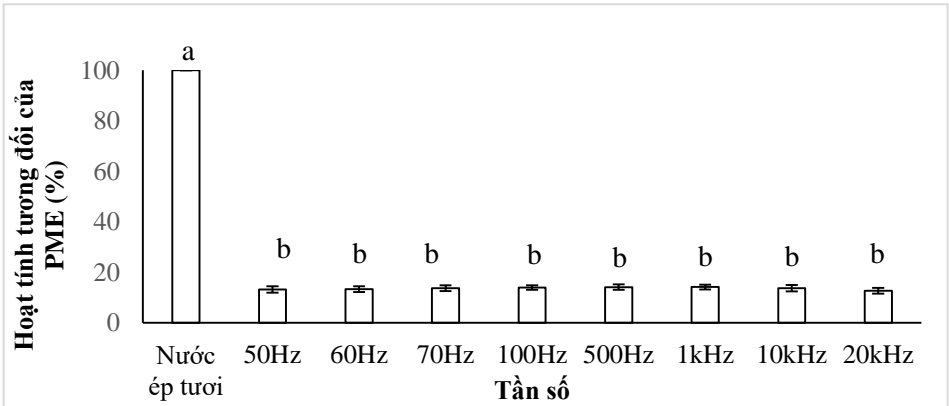
Bảng 4. 5 Giá trị D, z, k, E của *L. plantarum* trong nước ép bưởi xử lý OH và CH

Nhiệt độ (°C)	OH (60 Hz, 30 V/cm)				CH			
	D (s)	z (°C)	k (s ⁻¹)	E (kJ/mol)	D (s)	z (°C)	k (s ⁻¹)	E (kJ/mol)
65	11,9 ± 0,15 ^a	19,3	0,19	590,06	21,2 ± 0,07 ^b	22,5	0,11	576,8
70	9,4 ± 0,7 ^a		0,25		15,9 ± 0,05 ^b		0,15	
75	6,3 ± 0,17 ^a		0,37		7,4 ± 0,01 ^b		0,30	
80	2,0 ± 0,07 ^a		1,18		5,0 ± 0,11 ^b		0,46	

Các chữ cái khác nhau trên cùng một hàng thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$).

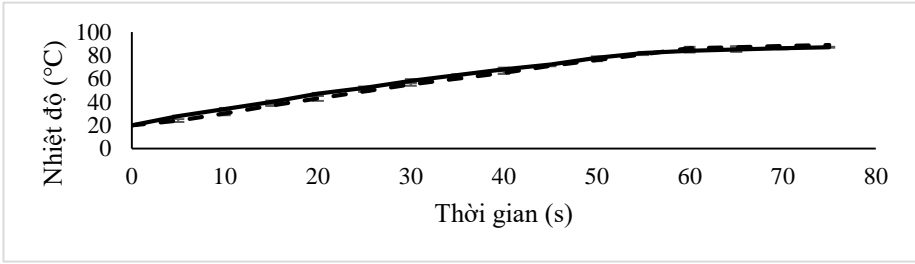
4.4 Ảnh hưởng điều kiện OH đến sự bất hoạt của PME

4.4.1 Ảnh hưởng của tần số AC đến sự bất hoạt PME



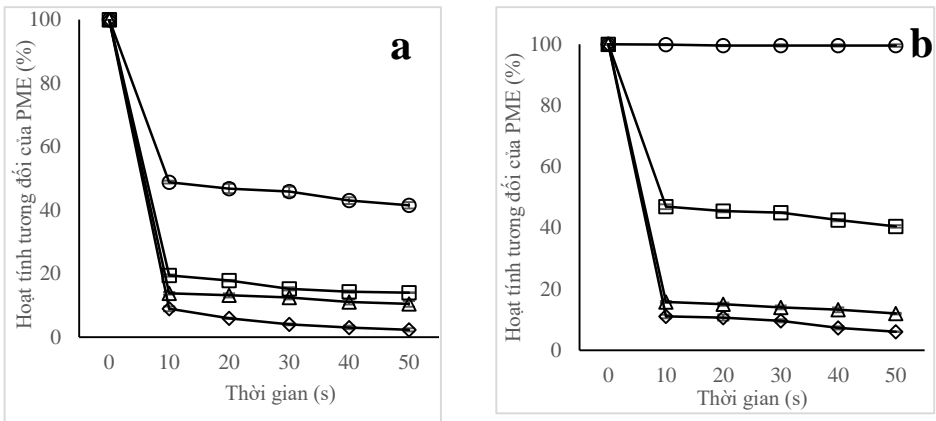
Hình 4. 11 Bất hoạt PME trong nước ép bưởi tại các tần số khác nhau. Các mẫu nước ép bưởi được xử lý OH (30 V/cm, 60 Hz) từ 20 đến 70 °C trong 43 s và giữ ở nhiệt độ này trong 30 s đã giảm 87 % hoạt tính PME. Tuy nhiên, tần số (50-20.000 Hz) không ảnh hưởng đến sự bất hoạt PME ($p > 0,05$).

4.4.2 Ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự bắt hoạt PME



Hình 4. 12 Đường cong gia nhiệt nước ép bưởi bằng kỹ thuật CH (—), và OH (---) tại 60 Hz, 30 V/cm

Động học bắt hoạt PME được trình bày trong **Hình 4.13** cho thấy tỷ lệ bắt hoạt PME tăng khi nhiệt độ và thời gian xử lý tăng. Ở cùng điều kiện xử lý (**Hình 4.12**), sự bắt hoạt PME bởi OH cao hơn CH ($p < 0,05$). Bên cạnh tác động của nhiệt, tác động của các yếu tố phi nhiệt cũng gây bắt hoạt PME. Tăng nhiệt độ đến 80, 90 °C, khác biệt về hiệu quả bắt hoạt OH và CH càng giảm dần.

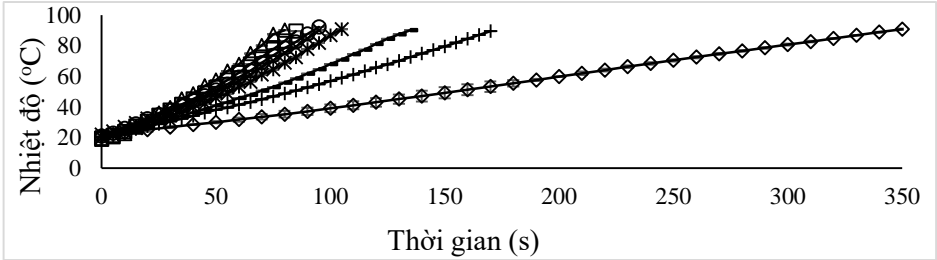


Hình 4. 13 Hoạt tính PME trong nước ép bưởi sau khi xử lý OH và CH (60°C (○), 70°C (□), 80°C (Δ), 90°C (◇)) - OH (a), CH (b)

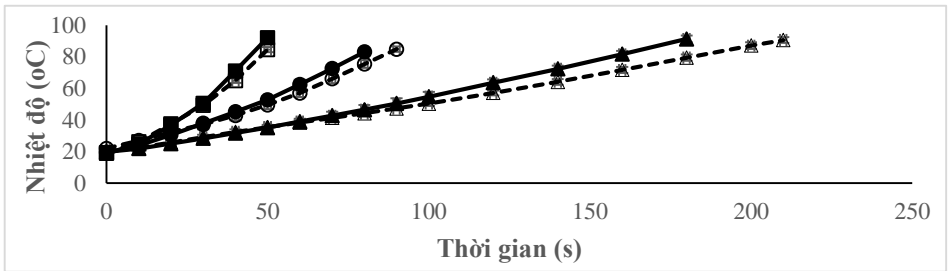
4.5. Ảnh hưởng của OH đến sự biến đổi các hợp chất hóa học đặc trưng trong nước ép bưởi

4.5.1 Tốc độ gia nhiệt nước bưởi với OH

Mối quan hệ giữa tần số, cường độ điện trường và nhiệt độ trong quá trình OH nước ép bưởi được thể hiện trong **Hình 4. 14**, **Hình 4. 15**.



Hình 4. 14 Ảnh hưởng của tần số dòng điện xoay chiều đến tốc độ gia nhiệt nước ép bưởi (Δ 50 Hz, \square 60 Hz, \circ 100 Hz, \times 500 Hz, $*$ 1 kHz, $-$ 5 kHz, $+$ 10 kHz, \diamond 20 kHz)



Hình 4. 15 Ảnh hưởng của cường độ dòng điện đến tốc độ gia nhiệt OH nước ép bưởi (\blacktriangle 20 V/cm - 60 Hz, \bullet 30 V/cm - 60 Hz, \blacksquare 40 V/cm - 60 Hz, Δ 20 V/cm - 500 Hz, \circ 30 V/cm - 500 Hz, \square 40 V/cm - 500 Hz)

Tần số càng tăng, tốc độ gia nhiệt càng giảm, tuy nhiên, cường độ điện trường càng tăng, tốc độ gia nhiệt càng tăng ($p < 0,05$).

4.5.2 Ảnh hưởng của tần số đến thành phần hóa học và các hoạt chất sinh học trong nước ép bưởi

4.5.2.1 Ảnh hưởng của tần số trong quá trình xử lý OH đến pH, độ axit và tổng chất rắn hòa tan

Tần số không ảnh hưởng đến TSS, pH, hoặc độ axit của các mẫu trong thời gian xử lý tại nhiệt độ 80 °C ($p > 0,05$) (**Bảng 4.6**).

4.5.2.2 Ảnh hưởng của tần số trong quá trình OH đến đến các hoạt chất sinh học trong nước bưởi

Tần số có ảnh hưởng đến hàm lượng AA trong nước bưởi gia nhiệt từ 20 đến 80 °C và giữ ổn định ở 80 °C trong 10 s ($p < 0,05$), trong khi không ảnh hưởng đến hàm lượng CA, TPC, naringin, hàm lượng limonin ($p > 0,05$) (**Bảng 4.6**).

Hàm lượng AA trong mẫu nước ép xử lý OH tại 60, 300, 500 Hz và 1 kHz không khác biệt so với mẫu tươi ($p > 0,05$). Nước ép được xử lý OH tại tần số 50 Hz và 20 kHz, gây ra sự phân hủy AA lớn nhất, với mức giảm khoảng 21,5%. Hoạt tính chống oxy hóa trong nước ép bưởi được xác định thông qua hoạt tính quét gốc tự do (DPPH) và được trình bày trong **Bảng 4.6**. Hoạt tính thấp nhất thu được ở mẫu được xử lý tại tần số 20 kHz (tương đương 58,71 mg AA/100g), tiếp theo là các mẫu được xử lý tại tần số 50 Hz, 100 Hz và 10 kHz (tương đương 68,27-69,83 mg AA /100g). Hoạt tính chống oxy hóa cao hơn thu được ở mẫu được xử lý tại tần số 60 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz (tương đương 73,00-75,13 mg AA/100g). Chất đắng naringin trong nước ép bưởi không biến đổi sau xử lý OH, có hàm lượng tương đương như mẫu đối chứng (mẫu không xử lý nhiệt). Hàm lượng limonin luôn thấp hơn ngưỡng phát hiện bao gồm cả mẫu tươi và mẫu xử lý OH tại các tần số khác nhau ($p > 0,05$) (**Bảng 4.6**).

1.3.3 Ảnh hưởng của cường độ điện trường đến hàm lượng các chất có hoạt chất sinh học trong nước ép bưởi

Nước ép bưởi được gia nhiệt OH từ 20 đến 80 °C và giữ nhiệt trong 10 s tại các mức cường độ điện trường 20, 30 và 40 V/cm, tần số 60 và 500 Hz. Cường độ điện trường có ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng AA, TPC và chất chống oxy hóa trong nước ép bưởi ($p < 0,05$) (**Bảng 4.7**). Sự phân hủy AA lớn nhất xảy ra ở cường độ điện trường 20 V/cm (giảm 14,61% và 13,47 % lần lượt tại 60 và 500 Hz). Xử lý nước ép ở 30 V/cm và 40 V/cm, hàm lượng AA không có sự khác biệt so với mẫu tươi ($p > 0,05$).

Bảng 4. 6 Ảnh hưởng của tần số đến những biến đổi các hợp chất hóa học trong nước ép bưởi xử lý OH

	Nước ép tươi	50 Hz	60 Hz	100 Hz	300 Hz	500 Hz	1 kHz	5 kHz	10 kHz	20 kHz
TSS (°Brix)	11,00 ±0,05 ^a	11,10±0,12 ^a	11,10±0,12 ^a	11,10±0,12 ^a	11,10±0,12 ^a	11,20±0,00 ^a	11,10±0,12 ^a	11,20±0,15 ^a	11,10±0,10 ^a	11,00±0,00 ^a
pH	4,00±0,20 ^a	4,00±0,20 ^a	4,00±0,15 ^a	4,10±0,17 ^a	4,10±0,16 ^a	4,10±0,20 ^a	4,10±0,21 ^a	4,10±0,20 ^a	4,00±0,20 ^a	4,00±0,15 ^a
Độ Axit (%)	1,01±0,10 ^a	1,01±0,10 ^a	1,04±0,10 ^a	1,02±0,12 ^a	1,04±0,10 ^a	1,05±0,09 ^a	1,05±0,72 ^a	0,10±0,07 ^a	1,04±0,05 ^a	1,06±0,08 ^a
AA (mg/100g)	83,02±0,08 ^{ab}	65,16± 0,02 ^c	82,54±1,84 ^b	66,72±1,54 ^{de}	85,79±3,40 ^a	84,08±1,10 ^{ab}	85,07±1,96 ^{ab}	78,77±1,61 ^c	68,54±1,15 ^d	66,2±0,74 ^{de}
TPC (mg/100g)	61,24±2,23 ^a	62,96±1,92 ^a	64,79±3,80 ^a	64,15±3,26 ^a	65,78±3,98 ^a	66,47±3,05 ^a	66,57±4,53 ^a	67,46±3,25 ^a	65,19±4,12 ^a	64,59±4,09 ^a
CA (mg/100g)	1109,51±5,23 ^a	954,17±4,10 ^a	944,95±7,47 ^a	1031,87±3,89 ^a	1052,99±2,53 ^a	952,5±4,65 ^a	1000,21±11,73 ^a	1008,87±78,89 ^a	973,27±41,49 ^a	1005,75±67,08 ^a
Naringin (mg/100g)	18,10±0,28 ^a	17,52±0,50 ^a	17,16±0,20 ^a	17,49±1,05 ^a	18,24±0,80 ^a	17,93±0,74 ^a	17,65±0,31 ^a	17,91±0,51 ^a	18,06±0,80 ^a	17,88±0,87 ^a
DPPH (mg/100g)	73,86±1,89 ^a	69,30±3,87 ^{cd}	73,00±2,91 ^{abc}	69,83±2,23 ^{bcd}	73,21±2,81 ^{ab}	75,13±1,20 ^a	74,16±2,45 ^a	74,79±1,34 ^a	68,27±0,30 ^d	58,71±1,52 ^c

Giá trị được trình bày là giá trị trung bình ± SD, các chữ cái a, b, c, d trên cùng một hàng thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).
 AA: Ascorbic acid; TPC: Total phenolic content; CA: Citric acid; TSS: total soluble solids.
 Hàm lượng limonin dưới giới hạn định lượng (4 ppm)

Bảng 4. 7 Ảnh hưởng của cường độ điện trường đến các hợp chất có hoạt tính sinh học trong nước ép bưởi

	Nước ép tươi	60 Hz-20 V/cm	60 Hz-30 V/cm	60 Hz-40 V/cm	500 Hz-20 V/cm	500 Hz-30 V/cm	500 Hz-40 V/cm
CA(mg/100g)	1034,09±34,72 ^a	1109,40±22,33 ^a	1063,95±55,07 ^a	1007,95±43,44 ^a	984,93±13,12 ^a	1060,36±10,50 ^a	1029,01±42,08 ^a
TPC (mg/100g)	66,25±3,02 ^{ab}	63,59±2,89 ^c	68,60±2,29 ^a	67,60±2,92 ^{ab}	63,81±2,31 ^c	69,66±3,30 ^a	66,02±2,07 ^{ab}
AA (mg/100g)	78,75± 5,21 ^{ab}	67,21±0,76 ^c	83,41±3,30 ^a	75,75±3,29 ^b	68,14±3,12 ^c	83,30±0,28 ^{ab}	76,38±0,28 ^b
DPPH (AA mg/100g)	77,93±4,40 ^a	71,06±3,46 ^b	79,41±3,56 ^a	76,20±4,00 ^a	73,24±3,93 ^b	78,14±1,43 ^a	76,02±4,57 ^a
Naringin (mg/100g)	24,45±1,10 ^a	25,40±0,66 ^a	24,68±0,27 ^a	24,74±0,38 ^a	24,56±0,25 ^a	24,26±0,38 ^a	24,86±0,03 ^a
Limonin (mg/100g)	-	-	-	-	-	-	-

Giá trị được thể hiện là giá trị trung bình ± SD. Chữ a, b, c trên cùng một hàng thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($P < 0.05$)

AA: Ascorbic acid; TPC: Total phenolic content; CA: Citric acid.

Hàm lượng limonin dưới giới hạn định lượng (4 ppm)

Hàm lượng CA, TPC không khác biệt so với các mẫu tươi ($p > 0,05$). Tuy nhiên, xử lý nước ép ở cường độ điện trường 20 V/cm, hàm lượng TPC thấp nhất, và TPC cao nhất tại cường độ điện trường 30 V/cm ($p < 0,05$). Hàm lượng chất chống oxy hóa trong mẫu nước ép xử lý OH ở 20 V/cm thấp hơn ở hai cường độ điện trường 30 V/cm và 40 V/cm và mẫu tươi. Hàm lượng naringin trong mẫu nước ép xử lý OH tại các mức cường độ điện trường khác nhau không khác biệt so với mẫu tươi ($p > 0,05$). Hàm lượng limonin dưới ngưỡng định lượng (< 4 ppm) trong cả mẫu tươi và mẫu OH. Điều này cho thấy cường độ điện trường không ảnh hưởng đến CA, limonin, naringin.

4.5.4 Ảnh hưởng phi nhiệt của OH đến hàm lượng các chất có hoạt chất sinh học trong nước ép bưởi

Bảng 4. 8 Ảnh hưởng phi nhiệt của điện suất quá trình OH đến các hợp chất sinh học trong nước ép bưởi

Hợp chất hóa học	Nước ép tươi	OH	CH
TSS ($^{\circ}$ Brix)	11,00 \pm 0,16 ^a	11,01 \pm 0,12 ^a	11,10 \pm 0,12 ^a
pH	4,0 \pm 0,20 ^a	4,00 \pm 0,15 ^a	4 \pm 0,15 ^a
Độ Axit (%)	1,01 \pm 0,10 ^a	1,04 \pm 0,10 ^a	1,04 \pm 0,10 ^a
Độ dẫn điện (mS/m ²)	4,02 \pm 0,50 ^a	4,01 \pm 0,18 ^a	4,12 \pm 0,30 ^a
AA (mg/100g)	81,35 \pm 1,19 ^a	81,62 \pm 5,62 ^a	83,85 \pm 4,88 ^a
CA (mg/100g)	959,76 \pm 3,23 ^a	984,85 \pm 0,06 ^a	984,95 \pm 0,21 ^a
TPC (mg/100g)	77,60 \pm 1,45 ^a	78,84 \pm 0,55 ^a	80,42 \pm 2,98 ^a
Naringin (mg/100g)	21,95 \pm 0,98 ^a	23,54 \pm 1,54 ^a	23,25 \pm 0,62 ^a
DPPH (mg/100g)	73,15 \pm 2,48 ^a	74,00 \pm 1,94 ^a	75,06 \pm 2,54 ^a

Giá trị được trình bày trong bảng là giá trị trung bình \pm SD, chữ cái giống nhau trên cùng 1 hàng thể hiện sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$).

Hàm lượng limonin dưới giới hạn định lượng (4 ppm)

Để xác định ảnh hưởng phi nhiệt của OH đến các chất có hoạt tính sinh học trong nước bưởi, tất cả các mẫu nước ép CH đều được xử lý trong cùng điều kiện thời gian và nhiệt độ với mẫu OH (60 Hz, 30 V/cm). Kết quả cho thấy các phương pháp xử lý OH và CH không ảnh hưởng đến TSS, pH, hoặc độ axit, CA, AA, TPC, hoạt tính chống oxy hóa (DPPH), hàm lượng naringin và hàm lượng limonin trong nước ép (**Bảng 4.8**).

4.5.5 Ảnh hưởng của tần số đến sự ăn mòn điện cực

Phân tích sự ăn mòn điện cực liên quan đến tần số AC từ 60 Hz đến 1 kHz được thể hiện trong **Bảng 4.9**. Khi áp dụng gia nhiệt OH nước ép bưởi tại tần số 60 Hz, hàm lượng ion titanium thôi nhiễm vào dịch quả cao nhất (0,38 mg/L). Nồng độ của các ion titanium giảm xuống dưới giới hạn phát hiện (0,1 ppm) ở các mức tần số ≥ 300 Hz.

Bảng 4. 9 Ảnh hưởng của tần số đến sự ăn mòn điện cực Titanium

Tần số (Hz)	Nồng độ Titanium trong nước ép (mg/L)
60	0,38
100	0,36
300	ND
500	ND
1000	ND

*ND: dưới giới hạn phát hiện (0,1 mg/L)

CHƯƠNG 5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1 Kết luận

Kết quả nghiên cứu chỉ ra: Gia nhiệt Ohm tăng hiệu quả bất hoạt *S. Enteritidis*, *E. coli* O157:H7, *L. plantarum*. Đối với *S. Enteritidis*, *E. coli* O157:H7, xử lý OH tại tần số 60 Hz và dãy tần số ≥ 500 Hz đạt hiệu quả bất hoạt cao nhất và cường độ điện trường 30 V/cm bất hoạt cao hơn 20 V/cm. Đối với *L. plantarum*, hiệu quả bất hoạt cao nhất ở 60 Hz, tiếp theo là 50 Hz và trong dải tần số ≥ 500 Hz. Hơn nữa, các thông số D, z của *S. Enteritidis*, *E. coli* O157:H7, *L. plantarum* đối với cả hai phương pháp gia nhiệt OH và CH cũng được chỉ ra là cơ sở để tính chế

độ thanh trùng nước ép bưởi. Tác động phi nhiệt trong OH tăng cường bất hoạt *S. Enteritidis*, *E. coli* O157:H7, *L. plantarum*.

Trong khi đó, tần số không có ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến sự bất hoạt PME. Yếu tố phi nhiệt tăng cường sự bất hoạt của PME. Các hiệu ứng phi nhiệt thể hiện rõ khi nhiệt độ xử lý bằng hoặc thấp hơn 70 °C. Trên nhiệt độ này, tác dụng bất hoạt PME chủ yếu là do nhiệt.

Tần số ảnh hưởng đáng kể đến sự phân hủy AA, hoạt tính chống oxy hóa của nước ép bưởi. Cường độ điện trường ảnh hưởng đáng kể đến sự thay đổi hàm lượng AA, hàm lượng TPC và hoạt tính chống oxy hóa. OH ở cường độ điện trường thấp (20 V/cm) làm tăng sự phân hủy AA, TPC và hoạt tính chống oxy hóa. Xử lý OH với cường độ điện trường 30 V/cm và tần số 60 Hz, tính chất hóa học và hoạt chất sinh học của nước ép bưởi tương tự như trong nước ép xử lý CH.

Tần số có ảnh hưởng đến sự ăn mòn điện cực titanium khi xử lý OH tại tần số ≤ 100 Hz.

Xử lý OH ở 80 °C, giữ 10s, bất hoạt hơn 5 log VSV đích, gần 90% PME, không biến đổi thành phần hóa học nhạy nhiệt. Như vậy, OH có thể được đề xuất như một phương pháp thanh trùng tiên tiến để bảo toàn độ tươi và các chất dinh dưỡng thiết yếu của nước ép bưởi.

5.2 Kiến nghị

Để hoàn thiện nghiên cứu này, các vấn đề sau cần được triển khai:

- Cơ chế tác động của hiệu ứng phi nhiệt trong dải tần số 50-20.000 Hz và dãy cường độ điện trường (20 – 40 V/cm) đến sự phân hủy các hợp chất có hoạt tính sinh học.
- Đánh giá cảm quan nước ép sau thanh trùng OH qua chỉ tiêu màu sắc, vị đắng
- Cần phải làm sáng tỏ cơ chế bất hoạt enzyme và xác định mô hình bất hoạt PME trong các nghiên cứu sâu hơn.
- Cần có các thí nghiệm đánh giá mức độ tổn thương của vi sinh vật trong quá trình xử lý
- Triển khai OH ở qui mô pilot, qui mô công nghiệp trên nhiều loại trái cây