



สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอห์มมิกต่อสั้มแซกแซ้ม

Optimization of the Ohmic Process Effect for Garcinia Compote

สิรินาถ ชูประจง^{1*}, นวัล บินหะยีนียิ¹, มาดีนา น้อยทับทิม¹
 Sirinat Chooprajong^{1*}, Nawal Binhayeeniyi¹, Madeena Noitubtim¹

(Received: May 17, 2021; Revised: June 30, 2021; Accepted: August 5, 2021)

บทคัดย่อ

การแช่สั้มแซกต้องใช้เวลานานเนื่องจากโดยปกติแล้วกระบวนการดูดซึมน้ำตาลผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์เป็นไปอย่างช้า ๆ การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดระยะเวลาในการแช่สั้มแซกได้ เพราะเป็นการใช้แรงดันไฟฟ้าทำให้เกิดรูพรุนบนผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งสามารถแสดงการเกิดรูพรุนได้โดยการวัดสภาพนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเซลล์ งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอห์มมิกต่อสั้มแซกแซ้ม โดยการให้แรงดันไฟฟ้าแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 25 50 75 100 และ 125 โวลต์ เพื่อศึกษาผลของแรงดันไฟฟ้า ระยะเวลา และอุณหภูมิที่มีผลต่อสภาพนำไฟฟ้าของเซลล์สั้มแซก จากนั้นนำสั้มแซกไปแช่ในสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ 40 50 และ 60 องศาบริกซ์ 24 ชั่วโมง พบว่า แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมได้แก่ 125 โวลต์ ระยะเวลา 2 นาที ซึ่งจะทำให้มีอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่สั้มแซกสามารถดูดซึมได้มากที่สุดคือใน 24 ชั่วโมง คือ 60 องศาบริกซ์

คำสำคัญ: สั้มแซก โอห์มมิก การแช่สั้ม สภาพนำไฟฟ้า

Abstract

General Garcinia compote is carried on for a long time because the process of absorbing sugar through cell membranes and cell walls is slow. Therefore, ohmic heat is shown as one choice to decrease this period. This is because it uses voltage to cause pores on the cell wall and cell membrane, and it can be monitored by measuring the increased electrical conductivity of the cell. This research

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์

¹Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University

*Corresponding author: sirinat.c@pnu.ac.th



was to study the suitable condition of ohmic heat with Garcinia compote. The varieties of electric potential as 25, 50, 75, 100 and 125 V were applied to study the effects of voltage, time and temperature on electrical conductivity of garcinia cells. Garcinia was soaked in 3 concentrations of sucrose solution as 40, 50 and 60 °Brix for 24 hours. The results shown that the optimum voltages with 125 volts, 2 minutes duration, brought to 45 °C, and the Garcinia can be absorbed most in 24 hours with the concentration of sugar solution at 60 degrees brix.

Keywords: Garcinia, Ohmic, Compote conductivity

บทนำ

ส้มแขก (Garcinia) เป็นไม้ยืนต้นในวงศ์ Clusiaceae พื้นที่ปลูกส้มแขกที่สำคัญในประเทศไทยคือพื้นที่ภาคใต้ โดยเฉพาะจังหวัดปัตตานี ยะลา และนราธิวาส ผลของส้มแขกมีรสเปรี้ยว นิยมนำมาประกอบอาหาร สารสำคัญในส้มแขกคือกรดไฮดรอกซีซิตริก (Hydroxy citric acid, HCA) ที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ATP citrate lyase ในวัฏจักรเครป ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยสลายกลูโคสของเซลล์ร่างกายจากอาหารประเภทน้ำตาลไม่ให้เปลี่ยนเป็นไขมัน แต่จะนำไปใช้เป็นพลังงานของร่างกายแทน (Lateh, Saha, & Saniso, 2021) สารสกัดจากส้มแขกยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียหลายชนิดทั้งแกรมบวกและแกรมลบ (Cock & Hart, 2016; Tharachand, Selvaraj, & Abraham, 2015) อีกทั้งสามารถต้านอนุมูลอิสระ (Sripradha, Sridhar, & Maithilikarpagaselvi, 2016) รักษาพยาธิในลำไส้และแก้ท้องผูก (Cock & Hart, 2016) จากสรรพคุณดังกล่าว ส้มแขกจึงถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมน้ำหนัก ยา และของทานเล่น เช่น ส้มแขกอบแห้ง น้ำส้มแขกพร้อมดื่ม ส้มแขกบรรจุแคปซูล และส้มแขกแช่อิ่ม เป็นต้น

พื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ มีกลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนที่แปรรูปผลส้มแขกเป็นผลิตภัณฑ์ส้มแขกแช่อิ่มหลายกลุ่ม เช่น วิสาหกิจชุมชนส้มแขกแช่อิ่มบ้านเจาะเกาะ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปส้มแขกบ้านปูโงะ จังหวัดนราธิวาส กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านท่าสาป จังหวัดยะลา และกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านทรายขาว จังหวัดปัตตานี (Community Enterprise Promotion Division, Department of Agricultural Extension, 2020) เป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรในพื้นที่ ในการผลิตส้มแขกแช่อิ่มต้องใช้เวลาประมาณ 30 – 45 วัน เริ่มจากการปอกเปลือกและตัดแต่งส้มแขกแล้วนำไปแช่น้ำเกลือเพื่อรักษาสภาพขึ้นส้มแขกให้ดูสด และลดความเปรี้ยวลง จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายน้ำตาลเพื่อให้น้ำตาลค่อย ๆ ซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของส้มแขก ซึ่งขั้นตอนนี้ใช้เวลานาน และต้องเปลี่ยนน้ำเชื่อมหลายครั้งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระบวนการหมัก ทำให้สิ้นเปลืองเวลาและมีต้นทุนในการผลิตสูง



ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว และจากการศึกษาค้นคว้า พบว่า กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (Ohmic heating process) เป็นการให้ไฟฟ้ากระแสสลับผ่านชิ้นสัมแนกโดยตรง ทำให้ชิ้นสัมแนกทำหน้าที่เหมือนตัวต้านทานไฟฟ้าจนเกิดความร้อนขึ้นจากภายใน การเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าในระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนที่เพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างในเนื้อเยื่อชีวภาพ เช่น การสลายโปรตีนของผนังเซลล์ (Poojitha & Athmaselvi, 2020) ทำให้เกิดรูพรุนที่เนื้อเยื่อ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำวิธีนี้มาใช้เร่งการดูดซึมน้ำตาลในการผลิตส้มแซ่ส้ม นอกจากนี้การสัมผัสความร้อนในระยะเวลาสั้นจะช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และรักษาคุณภาพเนื้อสัมผัสของอาหารอีกด้วย

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอห์มมิกต่อการผลิตส้มแซ่ส้ม โดยการให้แรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 25, 50, 75, 100 และ 125 โวลต์ เพื่อศึกษาผลของแรงดันไฟฟ้า ระยะเวลา และผลของอุณหภูมิต่อสภาพนำไฟฟ้าของส้มแซ่ส้ม จากนั้นนำส้มแซ่ส้มไปแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 องศาบริกซ์ ซึ่งเป็นช่วงความเข้มข้นเดียวกับที่ใช้ในกระบวนการแช่ส้มโดยทั่วไป เพื่อศึกษาการดูดซึมน้ำตาล

วัตถุประสงค์

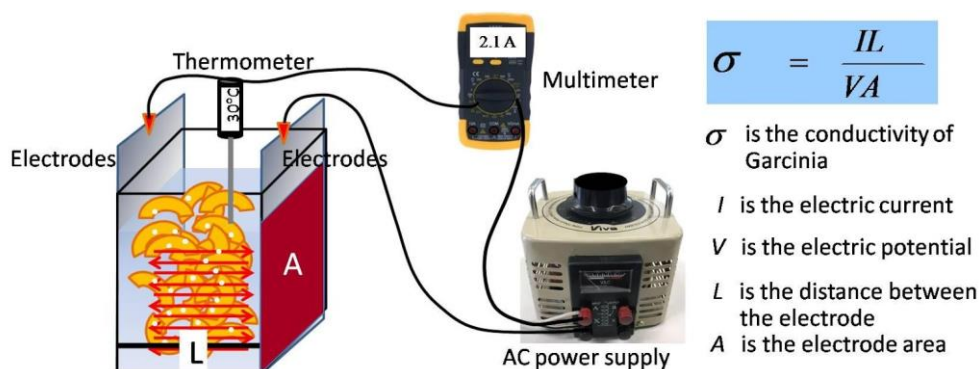
เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอห์มมิกต่อส้มแซ่ส้ม โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาพนำไฟฟ้าของเซลล์ส้มแซ่ส้ม ได้แก่

1. ระยะเวลาที่ให้แรงดันไฟฟ้า 5 ระดับ คือ 25, 50, 75, 100 และ 125 โวลต์
2. อุณหภูมิเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้า 5 ระดับ คือ 25, 50, 75, 100 และ 125 โวลต์
3. ศึกษาการดูดซึมน้ำตาลที่ความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 องศาบริกซ์

วิธีการวิจัย

1. หลักการและเหตุผล

การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เป็นการประยุกต์ใช้กฎของโอห์มโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับจากขั้วไฟฟ้าทั้งสองผ่านไปยังตัวกลาง ซึ่งตัวกลางอาจเป็นของเหลวหรือเป็นของแข็งที่อยู่ในของเหลวที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวกลางจะทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไฟฟ้า ทำให้เกิดความร้อนขึ้นจากภายใน (Kumar, 2018) ซึ่งในงานวิจัยนี้ตัวกลางก็คือชิ้นสัมแนกในสารละลายน้ำเกลือ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกผ่านตัวกลางส้มแขก

อัตราความร้อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวกลางและแรงดันไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าเกือบทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในตัวกลางโดยไม่มีการสูญเสีย (Priyadarshini, Rayaguru, & Nayak, 2020) จากงานวิจัยของ Kamalakkannan, Balakrishnan, Kulandasamy, & Kasthuri (2015) พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าสภาพนำไฟฟ้าของเนื้อมะละกจะเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อให้ไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านตัวกลาง โมเลกุลภายในตัวกลางจะเกิดการสั่นสะเทือนและเสียดสีกัน เกิดเป็นความร้อนภายในเวลาอันรวดเร็ว ความร้อนพยายามจะดันออกสู่ภายนอกเซลล์ทำให้ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์เกิดรูพรุนเล็ก ๆ หรืออาจทำให้เกิดการสลายตัวของเยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์บางส่วน (Lee, Sagong, Ryu, & Kang, 2012) สภาพยอมทางไฟฟ้าของเซลล์จึงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย (Park & Kang, 2013) งานวิจัยของ Sofi'I, Sumarlan, Wingnyatoc, & Susilo (2019) ได้สนับสนุนเหตุผลดังกล่าว โดยทดลองให้ความร้อนแบบโอห์มมิกกับเซลล์สาหร่าย แล้วตรวจวัดปริมาณสารภายในเซลล์ที่ออกมาอยู่ในสารละลายตัวกลางด้วยเครื่อง GC-MS พบว่า สาหร่ายที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกมีปริมาณสารภายในเซลล์ที่ออกมามากกว่าสาหร่ายที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกอย่างมีนัยสำคัญ และปริมาณสารนี้ยังแปรผันตรงกับความหนาแน่นของเซลล์ที่ใช้ทดลองอีกด้วย ซึ่งให้เห็นว่าการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพยอมของเยื่อเลือกผ่านที่ห่อหุ้มเซลล์ ทำให้ไอออนและสารละลายผ่านเข้าออกจากเซลล์ได้มากขึ้น

ด้วยเหตุนี้ การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกจึงมีความน่าสนใจอย่างมากที่จะนำมาใช้ในการแช่ส้มส้มแขกและผลไม้ชนิดอื่น เพื่อแก้ปัญหาคัดค้าน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ต้องใช้เวลานาน และใช้ต้นทุนการผลิตสูง



2. ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น : แรงดันไฟฟ้า ระยะเวลาที่ให้แรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิ

ตัวแปรตาม : สภาพนำไฟฟ้าของส้มแขก

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1) ส้มแขก 2) โซเดียมคลอไรด์ (เกลือ) และ 3) ซูโครส (น้ำตาลทราย)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการให้ความร้อนด้วยกระบวนการโอห์มมิก

1) ก่อ้งแก้ว หนา 0.5 เซนติเมตร ขนาด 10 x 10 x 20 เซนติเมตร 2) แผ่นสแตนเลส หนา 0.25 เซนติเมตร ขนาด 9.5 x 23 เซนติเมตร 3) แท่นเหล็กและที่หนีบยึด 4) สายไฟ 5) เทอร์โมมิเตอร์ 6) แอมมิเตอร์ 7) เครื่องวัดความหวาน (Refractometer) และ 8) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับแรงดันไฟฟ้าได้

4. การเตรียมตัวอย่าง

คัดเลือกผลส้มแขกที่ผลใหญ่และสุกเหลืองแล้วมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกและหั่นให้มีความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร แล้วนำส้มแขกที่หั่นเสร็จแล้วใส่ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.3% w/V เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการแช่แข็ง ดังภาพที่ 2

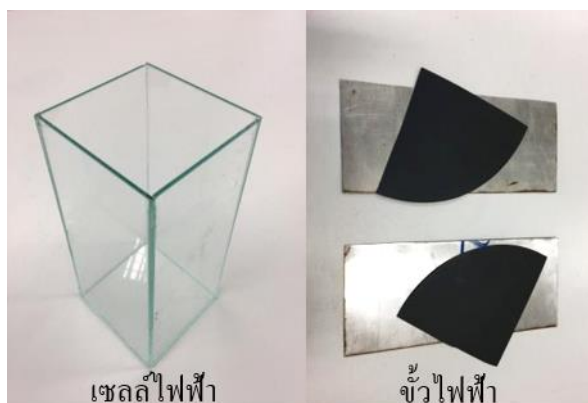


ภาพที่ 2 การเตรียมส้มแขกสำหรับการทดลอง

5. วิธีการทดลอง

5.1 ออกแบบชุดอุปกรณ์และสร้างเซลล์ไฟฟ้าและขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองของเครื่องโอห์มมิก

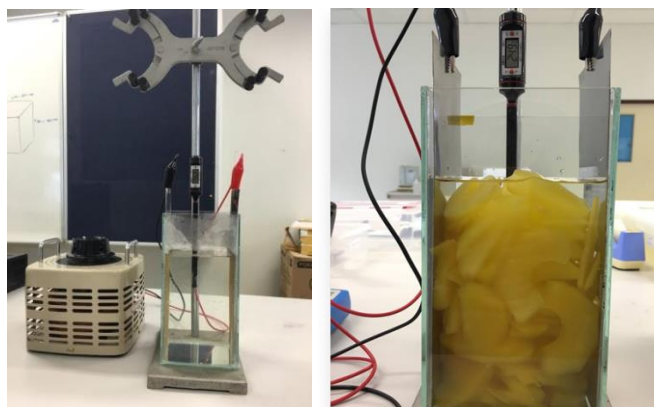
ออกแบบเซลล์ไฟฟ้าสำหรับบรรจุชิ้นส้มแขกโดยใช้ก่อกแก้ว หนา 0.5 เซนติเมตร ขนาด 10 x 10 x 20 เซนติเมตร และทำขั้วไฟฟ้าจากแผ่นสแตนเลส หนา 0.25 เซนติเมตร ขนาด 9.5 x 23 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เซลล์ไฟฟ้าและขั้วไฟฟ้าสแตนเลสสำหรับทดสอบระบบโอห์มมิก

5.2 เซตระบบการให้ความร้อนด้วยกระบวนการโอห์มมิก

เตรียมสารละลายน้ำเกลือ ความเข้มข้น 0.1% w/V ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นสารละลายนำไฟฟ้า บรรจุลงในเซลล์ไฟฟ้า ภายในเซลล์ไฟฟ้ามีขั้วไฟฟ้าสแตนเลส 2 ขั้ว ที่มีระยะห่าง 10 เซนติเมตร ขั้วไฟฟ้าทั้งสองเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับแรงดันไฟฟ้าได้ จากนั้นนำส้มแขก 300 กรัม ใส่ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1% w/V ในชุดอุปกรณ์ของการทดลอง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเซตระบบการให้ความร้อนด้วยกระบวนการโอห์มมิก

5.3 ศึกษาแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และระยะเวลาที่เหมาะสมของกระบวนการโอห์มมิกสำหรับส้มแขก

แรงดันไฟฟ้า เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อสภาพนำไฟฟ้าของส้มแขกในกระบวนการโอห์มมิก จากการศึกษางานวิจัย พบว่าสภาพนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของตัวกลาง เป็นผลมาจากการที่เชื่อมเซลล์และ



ผนังเซลล์เกิดความเปลี่ยนแปลงเนื่องจากไฟฟ้าและความร้อนภายในเซลล์ (Lee et al., 2012) ทำให้เซลล์มีสภาพยอมทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและเกิดรูพรุนที่ทำให้สารละลายและไอออนสามารถผ่านเข้าออกจากเซลล์ได้มากขึ้น (Kaur, Gul, & Singh, 2016) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ส่งผลต่ออุณหภูมิและค่าสภาพนำไฟฟ้าของเซลล์ส้มแขก รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ เพื่อที่จะทราบสภาวะที่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบแรงดันไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 25, 50, 75, 100 และ 125 โวลต์ ในช่วงอุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส และเวลาในการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 0-120 วินาที โดยทำการศึกษาดังกล่าวละ 3 ซ้ำ

5.4 การใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจดูเซลล์ส้มแขก

ก่อนและหลังกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ต้องทำการสังเกตสภาพเซลล์ส้มแขกทั้งที่ยังไม่ผ่านกระแสไฟฟ้าและผ่านกระแสไฟฟ้าที่แรงดันทั้ง 5 ระดับ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของเซลล์ก่อนและหลังผ่านกระแสไฟฟ้า โดยการเลื่อนเนื้อเยื่อส้มแขกให้บางแล้ววางบนแผ่นแก้วสไลด์ ปรับโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ พบว่าได้ภาพชัดเจนที่กำลังขยาย 40 เท่า

5.5 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายน้ำตาลซูโครสในหน่วยของสารบrikซ์

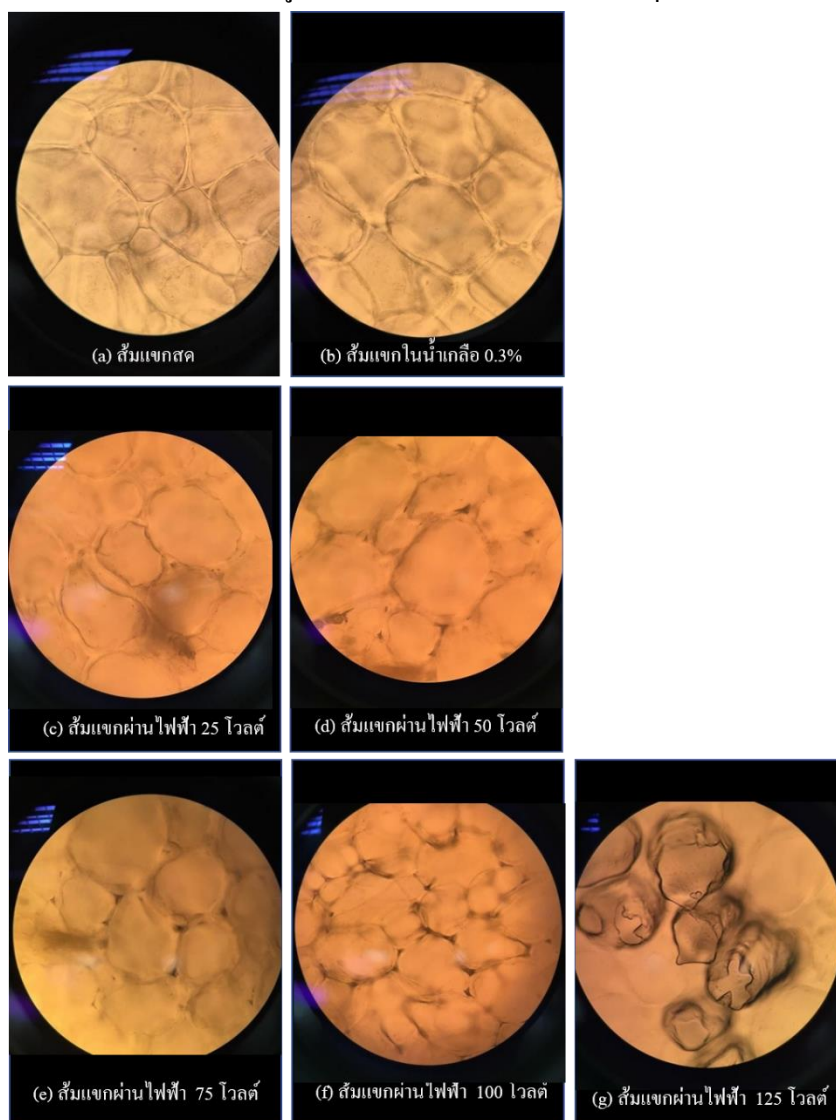
ก่อนทำการแช่ส้มจะต้องวัดความหวานของส้มแขก โดยใช้เครื่อง Refractometer เพื่อวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ซึ่งก็คือปริมาณน้ำตาลที่อยู่ในเนื้อส้มแขก เพื่อให้ทราบค่าน้ำตาลเริ่มต้นในเนื้อส้มแขกก่อนการแช่ และหลังจากกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกแล้ว นำชิ้นส้มแขกที่ผ่านแรงดันไฟฟ้าทั้ง 5 ระดับ มาแช่ลงใน สารละลายน้ำตาล เพื่อวัดปริมาณการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่เนื้อเยื่อของส้มแขก โดยเตรียมสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 องศาบrikซ์ มีวิธีการเตรียมคือ ชั่งสารละลาย 400, 500 และ 600 กรัม ตามลำดับ แล้วนำมาละลายจนได้สารละลายน้ำตาลปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ทุกความเข้มข้น ตรวจสอบอีกครั้งด้วยเครื่อง Refractometer และปรับความเข้มข้นด้วยน้ำกลั่นจนได้ความเข้มข้น 40, 50 และ 60 องศาบrikซ์ ตามต้องการ จากนั้นแช่ส้มแขกในสารละลายน้ำตาลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำส้มแขกมาล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อเอาน้ำตาลที่เคลือบอยู่ภายนอกออก นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำส้มแขก 25 กรัม ไปบดละเอียด กรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวเพื่อวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อส้มแขก โดยวิธีการหยดของเหลวที่ได้ลงบนบริเวณตรวจวัดของเครื่อง Refractometer ดังกล่าวละ 3 หยด



ผลการวิจัย

ผลของแรงดันไฟฟ้าต่อลักษณะของเซลล์ส้มแขก

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอห์มมิกต่อส้มแขกแช่แข็ง โดยการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าต่างกัน 5 ระดับ คือ 25, 50, 75, 100 และ 125 โวลต์ จากนั้นนำส้มแขกไปทำการส่องดูเนื้อเยื่อเซลล์ส้มแขกด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า พบว่าเซลล์เนื้อเยื่อส้มแขกมีการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ 125 โวลต์ พบว่าเซลล์ส้มแขกถูกทำลายและเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เซลล์ส้มแขกสด (a) เซลล์ส้มแขกในน้ำเกลือ 0.3%w/V (b) เซลล์ส้มแขกผ่านไฟฟ้า 25 โวลต์ (c) เซลล์ส้มแขกผ่านไฟฟ้า 50 โวลต์ (d) เซลล์ส้มแขกผ่านไฟฟ้า 75 โวลต์ (e) เซลล์ส้มแขกผ่านไฟฟ้า 100 โวลต์ (f) และเซลล์ส้มแขกผ่านไฟฟ้า 125 โวลต์ (g) จากกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 40 เท่า



ผลของระยะเวลาที่สัมผัสได้รับแรงดันไฟฟ้าต่อค่าสภาพนำไฟฟ้าของสัมผัส

ศึกษาโดยการแปรค่าแรงดันไฟฟ้า 5 ระดับ คือ 25, 50, 75, 100 และ 125 โวลต์ ในช่วงระยะเวลา 0-120 นาที แล้ววัดค่ากระแสไฟฟ้า (I) ที่ไหลผ่านตัวกลางสัมผัส จากนั้น นำค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ มาแปลงเป็นค่าสภาพนำไฟฟ้า ดังสมการ

$$\sigma = \frac{IL}{VA}$$

เมื่อ σ คือ สภาพนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็น S·m⁻¹

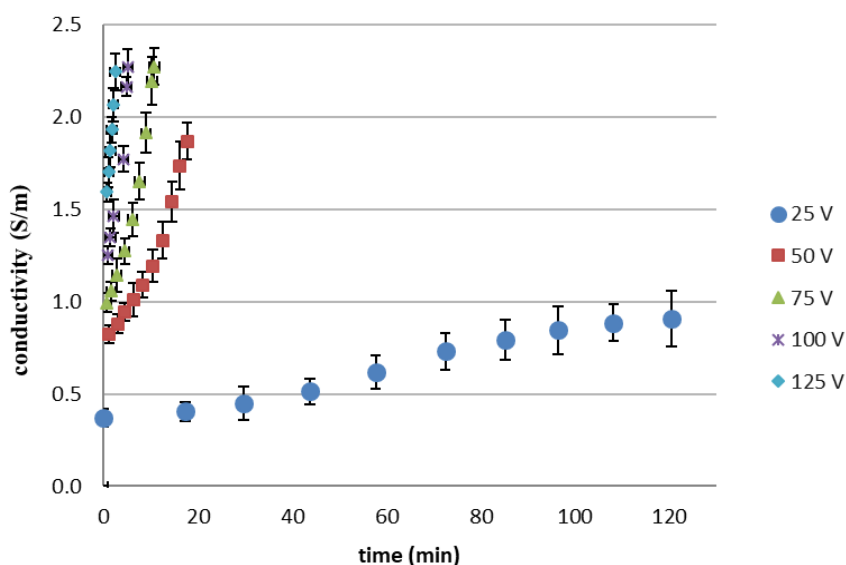
I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น A

V คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็น V

L คือ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า มีหน่วยเป็น m

A คือ พื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้า มีหน่วยเป็น m²

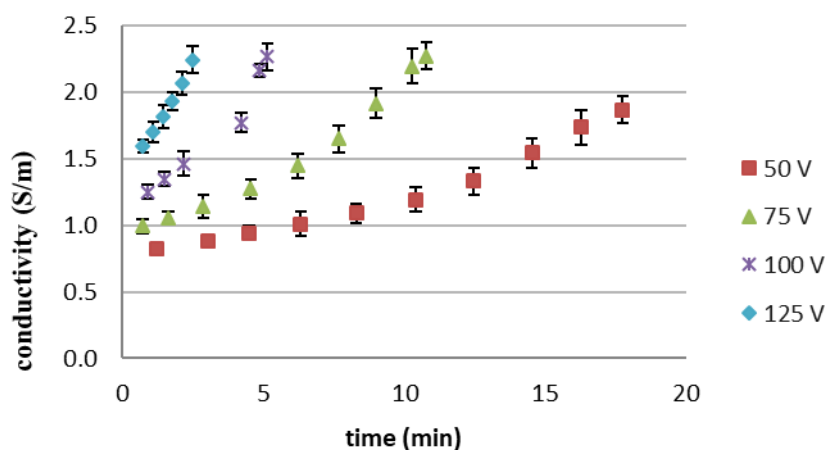
จากการศึกษาผลของระยะเวลาที่สัมผัสได้รับแรงดันไฟฟ้าต่อค่าสภาพนำไฟฟ้าของสัมผัส ได้ผลดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สัมผัสได้รับแรงดันไฟฟ้า (25, 50, 75, 100 และ 125 โวลต์) กับค่าสภาพนำไฟฟ้า



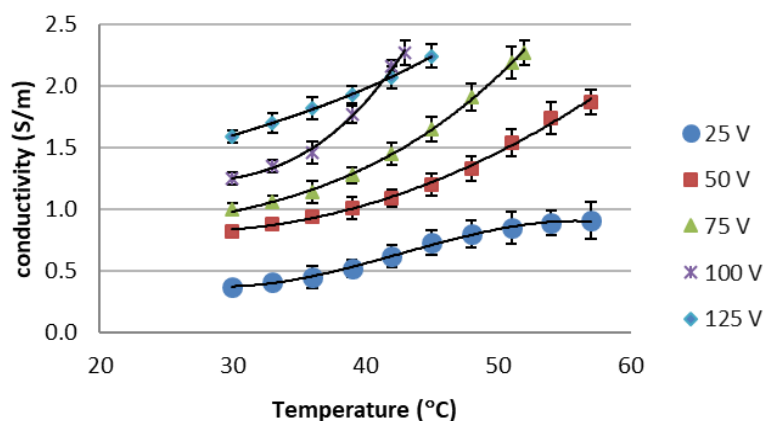
เพื่อให้สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงของสภาพนำไฟฟ้าในช่วง 50-125 โวลต์ ที่เกิดขึ้นใน 20 นาทีแรกได้ชัดเจนขึ้น จึงตัดค่าการทดลองที่ 25 โวลต์ ออก ดังภาพที่ 7 จากการทดลองพบว่า เมื่อสั้มแซกได้รับแรงดันไฟฟ้าเป็นเวลานานขึ้น จะทำให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าของสั้มแซกเพิ่มขึ้น และค่าสภาพนำไฟฟ้าแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้า



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สั้มแซกได้รับแรงดันไฟฟ้า กับค่าสภาพนำไฟฟ้า

ผลของอุณหภูมิต่อสภาพนำไฟฟ้า

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วง 30-60 องศาเซลเซียส โดยการแปรค่าแรงดันไฟฟ้า 5 ระดับ คือ 25, 50, 75, 100 และ 125 โวลต์ ได้ผลดังภาพที่ 8 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สภาพนำไฟฟ้าของตัวกลางมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสภาพนำไฟฟ้าแปรผันตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวกลาง

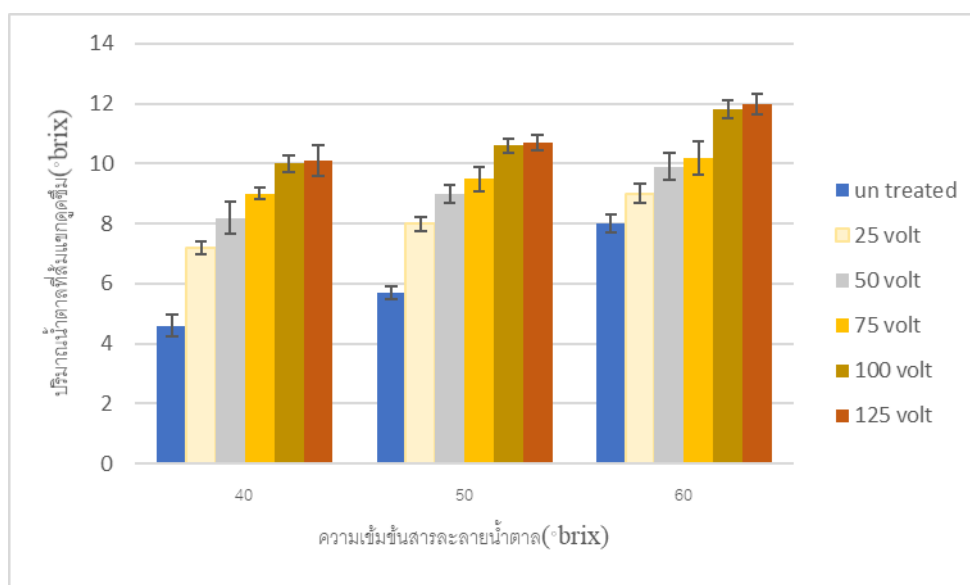


ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าสภาพนำไฟฟ้าของสั้มแซกที่ได้รับแรงดันไฟฟ้า 25, 50, 75, 100 และ 125 โวลต์



ผลการวัดการดูดซึมน้ำตาล

จากการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยเครื่อง Refractometer พบว่า ส้มแขกสดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 1.5 องศาบริกซ์ เมื่อนำส้มแขกที่ผ่านแรงดันไฟฟ้า 5 ระดับ คือ 25, 50, 75, 100 และ 125 โวลต์ มาแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 องศาบริกซ์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้หลังการแช่เพิ่มขึ้นที่ระดับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเดียวกัน ส้มแขกที่ผ่านแรงดันไฟฟ้าจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากกว่าส้มแขกที่ไม่ผ่านแรงดันไฟฟ้า ($p < 0.05$) และส้มแขกที่ผ่านแรงดันไฟฟ้า 125 โวลต์ และแช่สารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ มีการดูดซึมน้ำตาลซูโครสได้ดีที่สุด ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและปริมาณน้ำตาลที่ส้มแขกดูดซึม

อภิปรายผล

จากการศึกษาลักษณะของเซลล์ส้มแขกทั้งแบบที่ไม่ผ่านแรงดันไฟฟ้า และแบบผ่านแรงดันไฟฟ้าที่ระดับต่าง ๆ พบว่า เซลล์ส้มแขกที่ไม่ผ่านแรงดันไฟฟ้า และเซลล์ส้มแขกที่ผ่านแรงดันไฟฟ้า 25 โวลต์ พื้นผิวภายนอกเซลล์ยังคงปกติ แต่เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็น 50 75 และ 100 โวลต์ พบว่าเริ่มปรากฏรอยดำระหว่างเซลล์ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์และอาจมีสารภายในเซลล์ออกมาสู่ภายนอกบางส่วน และเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็น 125 โวลต์ ปรากฏว่าลักษณะภายนอกของเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงชัดเจน ผนังเซลล์บางส่วนเริ่มสลาย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษา



สภาพนำไฟฟ้าของเซลล์ เซลล์ที่ผ่านแรงดันไฟฟ้าต่ำ จะมีสภาพนำไฟฟ้าน้อย และสภาพนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และเมื่อศึกษาความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการโอห์มมิก พบว่าแรงดันไฟฟ้าแปรผันตรงกับอุณหภูมิและสภาพนำไฟฟ้าของเซลล์สัมผัส เนื่องจากความร้อนสูงที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสของโมเลกุลภายในเซลล์ทำให้เกิดแรงดันภายในเซลล์และเกิดรูพรุนขึ้นบนผนังเซลล์ ทำให้สภาพยอมทางไฟฟ้า (Electric permeability) เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Barros et al. (2021) และจากการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกใน 120 นาที พบว่า ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 25 โวลต์ อัตราการเพิ่มขึ้นของสภาพนำไฟฟ้าของเซลล์เป็นไปอย่างช้า ๆ บ่งบอกว่ามีอัตราการเกิดรูพรุนบนผนังเซลล์น้อย เมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้า 50 75 100 และ 125 โวลต์ ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของสภาพนำไฟฟ้าของเซลล์ภายในเวลา 20 นาที และ ที่ 125 โวลต์ อัตราการเพิ่มขึ้นของสภาพนำไฟฟ้ามีค่ามากที่สุด และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกแล้ว ได้นำสัมผัสมาทดสอบการดูดซึมน้ำตาล โดยผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า สัมผัสที่มีสภาพนำไฟฟ้าสูงจะดูดซึมน้ำตาลได้มากกว่าสัมผัสที่มีสภาพนำไฟฟ้าต่ำ และปริมาณน้ำตาลที่สัมผัสดูดซึมได้ แปรผันตรงกับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล และสัมผัสที่ผ่านแรงดันไฟฟ้า 100 และ 125 โวลต์ สามารถดูดซึมน้ำตาลได้ใกล้เคียงกัน

สรุป

งานวิจัยนี้ต้องการแก้ปัญหาให้เกษตรกรผู้แปรรูปสัมผัสแช่อิ่ม ที่มีปัญหาเกี่ยวกับระยะเวลาในการผลิตที่ต้องใช้เวลานาน มีต้นทุนสูง เนื่องจากสัมผัสมีรสที่เปรี้ยวจัดและเนื้อค่อนข้างแข็ง มีอัตราการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ช้า จึงได้มีการศึกษาและใช้การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกมาช่วยรูพรุนบนผนังเซลล์เพื่อเร่งอัตราการดูดซึมน้ำตาลให้มากขึ้น ในกระบวนการโอห์มมิกไม่สามารถสังเกตลักษณะรูพรุนที่เกิดขึ้นบนผนังเซลล์โดยตรงได้แบบ real time จึงต้องอาศัยการวัดสภาพนำไฟฟ้าของเซลล์เป็นตัวบ่งชี้การเกิดรูพรุน จากวัตถุประสงค์งานวิจัยเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอห์มมิกต่อสัมผัสแช่อิ่ม โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาพนำไฟฟ้าของเซลล์สัมผัส ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า ระยะเวลาที่ให้แรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิ พบว่า แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมได้แก่ 125 โวลต์ ระยะเวลา 2 นาที ซึ่งจะทำให้มีอุณหภูมิ 45 องศา และความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่สัมผัสสามารถดูดซึมได้มากที่สุด ใน 24 ชั่วโมง คือ 60 องศาบริกซ์



ข้อเสนอแนะ

1. การนำงานวิจัยนี้ไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม ต้องปรับเปลี่ยนขนาดของชุดอุปกรณ์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และเปลี่ยนแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้สามารถรับกระแสได้มากขึ้น ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถรับกระแสไฟฟ้าได้ 4 แอมแปร์
2. งานวิจัยต่อไป อาจเพิ่มการสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภค ว่าชื่นชอบความหวานระดับใด เพื่อจะได้มากำหนดควบคุมอัตราการผลิตซึมน้ำตาลที่เหมาะสม

รายการอ้างอิง (References)

- Barros, C.P., Pires, R.P., Guimaraes, J.T., Abud, Y.K., Almada, C.N., Pimentel, T.C., ... Cruz, A.G. (2021). Ohmic heating as a method of obtaining paraprobiotics: Impacts on cell structure and viability by flow cytometry. *Food Research International*, 140(2021), 110061.
- Community enterprise promotion division, Department of agricultural extension. (2020). *List of community enterprises / community enterprise network*. Retrieved December 8, 2020, from http://smce.doae.go.th/ProductCategory/SmceCategory.php?page_size=10&PAGE= 5557 & province_id=®ion_id=&hur_id=&key_word=&startPage=5556&endPage=5565.
- Cock, I.E., & Hart, C. (2016). An examination of the antimicrobial and anticancer properties of *Garcinia cambogia* fruit pericarp extracts. *BEMS Reports*, 2(1), 23-26.
- Kamalakkannan, G., Kulandasamy, T., Balakrishnan, M., & Kasthuri, R. (2015). Effect of Ohmic heating on the electrical conductivity, biochemical and rheological properties of papaya pulp. *Journal of Food Process Engineering*, 38(4), 405-413.
- Kaur, R., Gul, K., & Singh, A.K. (2016). Nutritional impact of ohmic heating on fruits and vegetables-A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1159000.
- Kumar, T. (2018). A Review on Ohmic Heating Technology: Principle, Applications and Scope. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 11(4), 679-687.
- Lateh, A., Saha, P., & Saniso, E. (2021). Thin-Layer Dehydration of Sliced *Garcinia* using a Solar Dryer. *Journal of Physics and General Science*, 5(1), 24-29.
- Lee, S.Y., Sagong, H.G., Ryu, S., & Kang, D.H. (2012). Effect of continuous ohmic heating to inactivate *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium and *Listeria monocytogenes* in orange juice and tomato juice. *Journal of Applied Microbiology*, 112, 723-731.



- Park, I.K., & Kang, D.H. (2013). Effect of Electroporation by Ohmic Heating for Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* in Buffered Peptone Water and Apple Juice. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(23), 7122-7129.
- Poojitha, P., & Athmaselvi, K.A. (2020). Changes in Physicochemical and Bioactive Profile of Garlic Pulp by High Voltage Electric Field. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 8(1), 131-143.
- Priyadarshini, A., Rayaguru, K., & Nayak, P.K. (2020). Influence of Ohmic heating on fruits and vegetables: A review. *Journal of Critical Reviews*, 7(19).
- Sofi'i, I., Sumarlan, S.H., Wignyantoc, & Susilo, B. (2019). Effect of Ohmic heating as a pretreatment method for biodiesel extraction from microalgae. *Jurnal Teknologi*, 81(3), 83-89.
- Sripradha, R., Sridhar, M.G., & Maithilikarpagaselvi, N. (2016). Antihyperlipidemic and antioxidant activities of the ethanolic extract of *Garcinia cambogia* on high fat diet-fed rats. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 13(1), 9-16.
- Tharachand, C., Selvaraj, C.I., & Abraham, Z. (2015). Comparative Evaluation of Anthelmintic and Antibacterial Activities in Leaves and Fruits of *Garcinia cambogia* (Gaertn.) Desr. and *Garcinia indica* (Dupetit-Thouars) Choisy. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 58(3), 379-386.