

ผลของพลังงานอินฟราเรดและเวลาที่ใช้ในการอบต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของถั่วแมคคาเดเมียอบ

Effect of Infrared Wattage and Treatment Duration on Physicochemical Properties and Sensory Attribute of Roasted Macadamia Nuts

แดนชัย เครื่องเงิน^{1,*}, อัสฎา เหมสุวรรณ¹, วิษณุ บัวเทศ², ศิริลดา ศรีกอก³

¹โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

²โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

³โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

Danchai Kreungngern^{1,*}, Atsada Hemsuwan¹, Witsanu Buathes², Sirilada Srikok³

¹Food Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

²Electrical Engineering Technology Program, Faculty of Industrial Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

³ Food Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology,

Thepsatri Rajabhat University, Lopburi 15000

บทคัดย่อ

แมคคาเดเมียเป็นพืชชนิดถั่วมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ไม่มีคลอเรสเตอรอล จึงช่วยลดไขมันในเลือดได้ดี นอกจากบริโภคแล้วยังสามารถสกัดเป็นน้ำมันที่ใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางที่ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นและความลื่นแก่ผิว การแปรรูปแมคคาเดเมียจะให้การทำให้แห้งเพื่อลดความชื้นทิ้งเปลือกก่อนหลัง

* Corresponding author : danchai.kpru@gmail.com

Received : 09/03/2022

Revised : 05/07/2022

Accepted : 19/07/2022

จากนั้นจะกะเทาะเปลือกออกแล้วนำเมล็ดมาแปรรูปโดยการคั่ว การทอด หรือการอบ ปัญหาที่สำคัญของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียคือการหืนและการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพลดลงจนไม่สามารถบริโภคได้ การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงอินฟราเรดซึ่งเป็นการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้เวลาสั้น คงคุณค่าทางโภชนาการ และต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยต่ำในการอบเมล็ดแมคคาเดเมีย โดยพัฒนาให้เป็นเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานอัตโนมัติทำให้การใช้งานสะดวกและผลิตได้มากขึ้น การศึกษานี้จะทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมคือพลังงานอินฟราเรดที่ 6,000 7,200 และ 8,000 วัตต์ และเวลาในการอบที่ 5 6 และ 7 นาที ในการอบเมล็ดแมคคาเดเมีย พบว่า ที่พลังงานอินฟราเรด 7,200 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที มีความชื้นร้อยละ 1.78 ค่า a_w เท่ากับ 0.35 ค่าสี L^* เท่ากับ 77.00 a^* เท่ากับ 1.46 b^* เท่ากับ 21.40 ค่าความเป็นกรด 2.99 มิลลิกรัมของ KOH ต่อกรัมของเมล็ดแมคคาเดเมียและการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้รับคะแนนความชอบลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมสูงสุด และจากการคำนวณต้นทุนทางด้านพลังงานของการผลิตการอบเมล็ดแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานพบว่าจะมีต้นทุนการผลิตจากค่าไฟฟ้า 0.85 บาทต่อกิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน

คำสำคัญ : แมคคาเดเมีย, อินฟราเรด, การหืน

Abstract

Macadamia nuts are highly nutritious nuts, especially with a high content of unsaturated fatty acids and low cholesterol. The function is useful of macadamia to reduce fat in the blood. In addition to being edible, it can also be extracted as an oil that is used as a cosmetic ingredient to increased the moisture and smoothness of the skin. The processing of kernels macadamias firstly involves drying to reduce moisture in the shell. The kernels processed are husks and shell removed and then roasting or frying or baking processing. The rancidity and browning reaction have deteriorated the qualities of the macadamia products to the extended shelf life and are unsuitable to consume. The infrared of electromagnetic waves technique was provides highly efficient heating, short time, maintains a nutritional value, and low unit energy cost to drying kernels macadamia. In this study, the infrared drying instrument was developed to be an automatic infrared conveyor, it was made more convenient to use and more productive. The infrared heating examined optimal conditions were investigated infrared powers of 6,000, 7,200, and 8,000 watts, and 5, 6, and 7 minutes of processed times. The optimal heating condition of kernels macadamia product by infrared technique was found at 7,200 watts of infrared wattage and 6 minutes during processing. That condition was found that the moisture content, a_w , L^* , a^* , b^* , and acid value were 1.78 %, 0.35, 77.00, 1.46, 21.40, and 2.99 mg of KOH/gram of kernels macadamia, respectively. In the optimal condition, the sensory attribute was had the highest appearance, odor, flavor, and overall acceptance score. In addition, the calculation of the energy cost of the optimal condition by infrared dryer was had 0.85 baht per kilogram kernels macadamia per 8 hours of work.

Keywords : Macadamia, Infrared, Rancidity

ที่มาและความสำคัญ

แมคคาเดเมีย (Macadamia Integrifolia) เป็นพืชชนิดถั่วมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ไม่มีคลอเรสเตอรอลจึงช่วยลดไขมันในเส้นเลือดได้ดี นอกจากบริโภคแล้วยังสามารถสกัดเป็นน้ำมันที่ใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางที่ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นและความลื่นแก่ผิว นอกจากนั้นกะลาของเมล็ดยังสามารถนำมาเผาเป็นถ่านช่วยดูดกลิ่นและจับอนุภาคลิเธียมได้ดี ในประเทศไทยแมคคาเดเมียปลูกได้ดีที่โครงการพัฒนาโดยตั้งอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง) โดยผลิตได้มากประมาณ 60 ตันต่อปี โดยสร้างมูลค่าสูงถึงปริมาณ 96,000,000 ล้านบาทต่อปี นอกจากนี้ยังสามารถปลูกได้ดีในพื้นที่ดอยมูเซอ จังหวัดตาก เขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และภูเรือจังหวัดเลย การแปรรูปแมคคาเดเมียหลังเก็บเกี่ยวและผ่านการกะเทาะกะลาออกแล้วให้นำมาคัดเลือกเอาเมล็ดพันธุ์ที่มีตำหนิออกนำเฉพาะเมล็ดที่มีคุณภาพดีมาอบหรือทอดโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 127-135 องศาเซลเซียส หรือใช้เวลาทอดประมาณ 12 - 15 นาที โดยอบแห้งจะอบจนความชื้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 1.5 - 2 เมล็ดแมคคาเดเมียที่มีเปลือกมีสีน้ำตาล คือเป็นเมล็ดที่สุกนานแล้ว ถ้าเมล็ดแมคคาเดเมียมีดำควรนำไปกะเทาะเปลือกออกแล้วนำไปอบแห้งภายใน 24 ชั่วโมง เพราะจะทำให้เกิดความร้อนทำให้เนื้อในมีคุณภาพไม่ดี [1]

ปัญหาของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบคือการเหม็นหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ถั่วแมคคาเดเมียอบแห้ง โดยความหืนเป็นหนึ่งในข้อบกพร่องด้านคุณภาพที่สำคัญของถั่วแมคคาเดเมียที่มีสาเหตุจาก การเกิดออกซิเดชันและการไฮโดรไลซิส [2] ซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นเมื่อน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ น้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนจะถูกออกซิไดส์ได้เร็วกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวโดยเฉพาะที่พันธะคู่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ ไม่ให้กลิ่น แต่สารประกอบนี้ไม่คงตัวจะสลายตัวให้สารประกอบชนิดอื่น เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน ที่ให้กลิ่นหืน ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อไขมันหรืออาหารสัมผัสกับอากาศ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นได้แม้อยู่ที่อุณหภูมิห้องและสามารถถูกเร่งโดยแสง ความร้อน โลหะหนัก โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้จะมีกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ เช่น มีความมันเยิ้ม มีรสชาติเปลี่ยน เกิดกลิ่นหืนและที่สำคัญจะมีผลทำให้ปริมาณวิตามินเอถูกทำลายและสูญเสียวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ได้ [1] นอกจากนั้นแล้วยังเกิดการเน่าเสียจากการเกิดรา คือ การเน่าเสียจากจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินขึ้นได้ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ.2529 เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนได้กำหนดไว้ว่าให้มีการปนเปื้อนสารอะฟลาทอกซินได้ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในผลิตภัณฑ์ถั่ว แมคคาเดเมียอบแห้ง สามารถเกิดราได้ง่ายทั้งในระหว่างการขนส่งจากไร่ถั่วแมคคาเดเมียมายังโรงงานผลิต และจากกระบวนการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐานซึ่งถั่วแมคคาเดเมียนั้นยังไม่ผ่านกระบวนการอบแห้งมีปริมาณค่าความชื้นสูงสามารถเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย [1]

ดังนั้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบแห้งมีคุณภาพดีไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และไม่เกิดการเสื่อมเสียโดยเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าว โดยปกติการอบแห้งแมคคาเดเมียจะใช้วิธีแบบลมร้อนโดยจากการศึกษาของ Buthelezi, et al. (2021) [2] พบว่าการอบแมคคาเดเมียด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที [2] จะให้ผลิตภัณฑ์เมล็ดแมคคาเดเมียอบที่มีสารต้านอนุมูลอิสระประเภทฟีนอลสูงอย่างมีนัยสำคัญ ได้รับการยอมรับทางคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส: กลิ่น รส และลักษณะโดยรวม มีโพลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) คาเปอร์ออกไซด์ (PV) และกรดไขมัน (FAs) ในระดับต่ำ เมื่อสิ้นสุดการจัดเก็บรักษาในสภาวะเร่งเป็นเวลา 70 วัน ซึ่งการอบโดยการใช้น้ำมันร้อนนี้

เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน ทำการควบคุมได้ง่ายและต้นทุนต่ำแต่จะใช้เวลาในการอบนาน อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูง การศึกษานี้จึงเสนอวิธีทางเลือกอีกวิธีหนึ่ง คือการใช้เทคนิควิธีการอบแห้งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงความถี่ที่เป็นอินฟราเรด (IR) เป็นเทคนิคการแปรรูปที่อาหารสามารถดูดซับพลังงานความร้อนของ IR ได้ดี ให้ความร้อนสม่ำเสมอ มีอุปกรณ์น้อย ใช้เวลาสั้น สูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมน้อย และที่สำคัญใช้พลังงานต่ำเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบธรรมดา[3] [4] และจุดที่สำคัญอินฟราเรดสามารถแผ่กระจายผ่านอากาศ, ถูกดูดซึมโดยอาหาร และถ่ายเทความร้อนไปยังอาหารโดยไม่ให้ความร้อนกับอากาศโดยรอบภายในห้องอบ [5] และจากการรายงานของ Yan, et al. (2020) [6] ที่รายงานว่า การให้ความร้อนโดยใช้อินฟราเรดสามารถคงคุณสมบัติของกลิ่นหอมของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี ส่วนในการออกแบบกระบวนการก็สามารถออกแบบโดยใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมซึ่งมีขนาดกะทัดรัด ง่ายต่อการ ควบคุม ทำงานอัตโนมัติ และปลอดภัย [5] ในขณะที่ระยะเวลาการแปรรูป การใช้พลังงาน และการใช้จ่ายต้นทุนต่ำ [7] ดังนั้นการแปรรูปแมคคาเดเมียด้วยเทคนิคอินฟราเรดจึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจ ทั้งในแง่ของต้นทุนพลังงาน การให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงมาก และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงที่คงสีและคุณค่าทางโภชนาการได้ดี

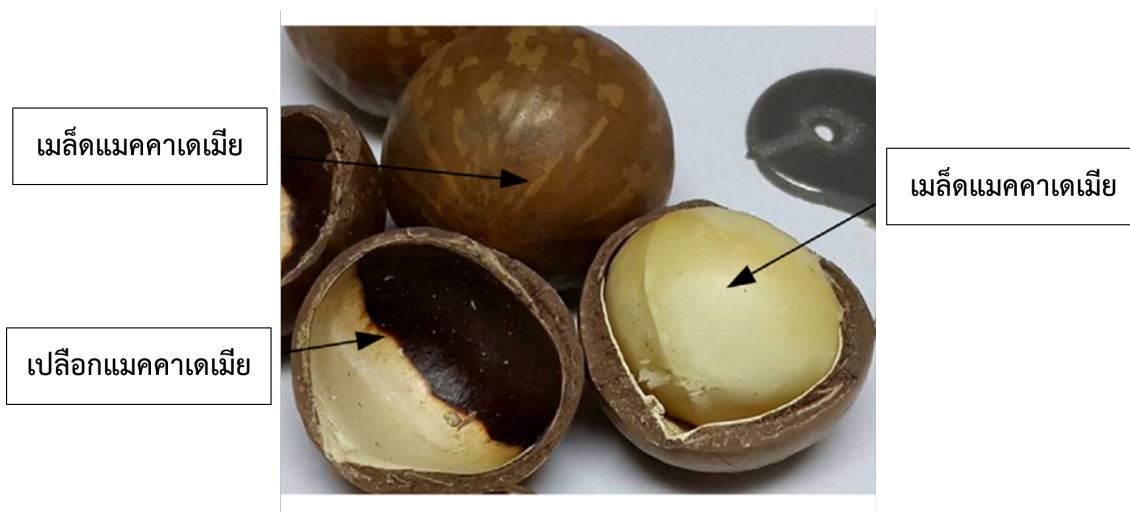
จากการวิเคราะห์ปัญหาและทางเลือกในการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอินฟราเรดทดแทนการอบแห้งแมคคาเดเมียข้างต้น ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้เครื่องอบร้อนอบแมคคาเดเมียแบบสายพานที่ผลิตขึ้นเพื่อหาวิธีการอบแมคคาเดเมียที่เหมาะสม โดยการศึกษาคุณภาพด้านเคมี กายภาพ ประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบที่ผลิตจากเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน และศึกษาต้นทุนของการผลิตเปรียบเทียบกับวิธีการอบแบบธรรมดา

วิธีการดำเนินการวิจัย

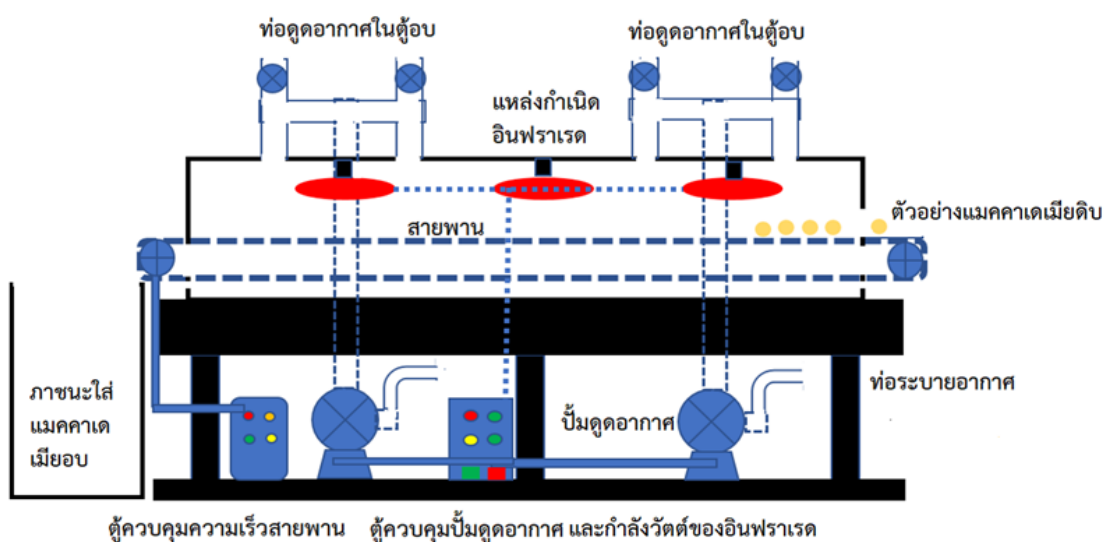
การศึกษาผลของพลังงานอินฟราเรดและเวลาที่ใช้ในการอบต่อคุณภาพด้านกายภาพ-เคมี และประสาทสัมผัสของถั่วแมคคาเดเมียอบครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัยดังรายละเอียดดังนี้

วัตถุดิบ

ในการศึกษานี้ใช้เมล็ดแมคคาเดเมียจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านเสีราษฎร์ เลขที่ 216 หมู่ที่ 6 ตำบลช่องแคบ อำเภอบพพระ จังหวัดตาก โดยใช้แมคคาเดเมียดิบและสดที่ผ่านการอบแห้งทั้งเปลือกด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 2 วัน โดยเก็บตัวอย่างทันทีหลังจากกะเทาะเปลือกนอกและเปลือกใน (ภาพที่ 1) ด้วยมือบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ที่ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จนกระทั่งทำการทดลองหาความชื้น a_w วัดค่าสี ปริมาณกรดทั้งหมด ค่าเปอร์ออกไซด์ ของแมคคาเดเมียสด จากนั้นหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน โดยใช้ความชื้น a_w วัดค่าสี ปริมาณกรดทั้งหมด ค่าเปอร์ออกไซด์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการเลือกสภาวะที่เหมาะสม



ภาพที่ 1: ส่วนประกอบของถั่วแมคคาเดเมีย
ที่มา: Pankaew et al. (2016)[7]



ภาพที่ 2: แผนผังกระบวนการอบเมล็ดแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพาน

วิธีการวิจัย

1) การหาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแมคคาเดเมียด้วยอินฟราเรดแบบสายพาน

1.1) สภาวะในการอบแมคคาเดเมีย

ทำการอบแมคคาเดเมียดิบและสดจำนวน 100 กรัม ด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน (ผลิตโดยบริษัท Dielectric Technology.co.,LTD, ประเทศไทย) ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังภาพที่ 1

โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ตามกำลังวัตต์ระหว่าง 6,000-8,400 วัตต์ และเวลาที่อบระหว่าง 5-7 นาที ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 1

1.2) การวิเคราะห์คุณภาพของแมคคาเดเมียอบ



ภาพที่ 3: เครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพาน

ตารางที่ 1: แสดงการทดลองในการอบแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน

สิ่งทดลองที่	พลังงานอินฟราเรด (วัตต์)	เวลาที่อบ (นาที)
1	6,000	5
2	6,000	6
3	6,000	7
4	7,200	5
5	7,200	6
6	7,200	7
7	8,400	5
8	8,400	6
9	8,400	7

เมื่อทำการอบแมคคาเดเมียจากสภาวะในตารางที่ 1 เสร็จแล้วนำแมคคาเดเมียที่อบด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานที่มอดให้ละเอียด แล้วทำการตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

- ค่าสี (Hunter Lab รุ่น color flex, U.S.A) ทำการวัดสีของตัวอย่างโดยวัดค่า L^* , a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดสีเป็นเครื่องมือที่ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานก่อนนำมาใช้งาน ทำการวัดตัวอย่าง 3 ครั้ง ณ ตำแหน่งที่ต่างกัน ข้อมูลที่ใช้รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด ค่าสี L^* , a^* และ b^* คือ สีมืด-สีสว่าง, สีเขียว-สีแดง และสีน้ำเงิน-สีเหลือง ตามลำดับ และทำการคำนวณค่าสีที่เปลี่ยนไปรวม จากสมการ

$$\text{ค่าสีที่เปลี่ยนแปลงจากเมล็ดแมคคาเดเมียสดรวม} = [(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2]^{1/2}$$

- การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยใช้วิธี AOAC (2012) [8]

- ค่า a_w ทำการวัดค่า Water activity โดยใช้เครื่องวัด a_w (AQUA LAB รุ่น Series 3 TE, U.S.A) โดยใส่ตัวอย่างที่ผ่านการบดแล้วในถ้วยสำหรับวัดค่า a_w ประมาณ 3 ส่วน 4 ของถ้วย จากนั้นทำการวัด 3 ซ้ำ ที่อุณหภูมิ 25

องศาเซลเซียส

- ค่าความเป็นกรด (Acid Value: AV) หาค่าความเป็นกรดของแมคคาเดเมียอบและบดทุกการทดลอง 3 ครั้ง โดยใช้วิธีการไทเทรตมาตรฐาน ตามวิธีของ AOAC (1999) [9]

- การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) หาปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์ของแมคคาเดเมียอบและบดทุกการทดลอง 3 ครั้งโดยวิธี IUPAC 2.501 (แก้ไขเพิ่มเติม), AOCS Cd 8b –90 (97) หรือ ISO 3961: 1998 [10]

1.3) การคัดเลือก

การคัดเลือกสภาวะการอบแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานโดยทำการเลือกจากค่าสี ความชื้นค่า a_w และปริมาณกรดไขมันอิสระ ที่ได้กล่าวมานั้นสามารถเลือกผลิตภัณฑ์จำนวน 4 สิ่งทดลอง ที่จะนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้เกณฑ์ในการเลือกผลิตภัณฑ์ดังนี้

- ค่าสี ผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องมีค่าสี L^* สูงกว่า 75 หรือแมคคาเดเมียอบจะต้องมีสีขาว มีสีแดงกับสีเหลืองน้อย โดยจะทำการตัดผลิตภัณฑ์ที่มีสีคล้ำออกและเหลือการทดลองที่ต้องการจำนวนไม่ต่ำกว่า 4 สิ่งทดลอง

- ปริมาณความชื้นและค่า a_w น้อยกว่า 0.4 โดยเลือกจากผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำ ซึ่งเป็นปัจจัยในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่า a_w เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำอิสระที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโต โดยจะทำการตัดผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นและค่า a_w สูงออกและเหลือการทดลองที่ต้องการจำนวนไม่ต่ำกว่า 4 สิ่งทดลอง

- ค่าความเป็นกรดไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่างเมล็ดแมคคาเดเมีย 1 กรัม

โดยจะคัดเลือกแมคคาเดเมียอบจำนวนไม่ต่ำกว่า 4 สิ่งทดลองเพื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส

2) การทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อใช้เกณฑ์ทางกายภาพ คือ ค่าสี ทางเคมี คือ ความชื้น a_w และค่าความเป็นกรด ที่เหมาะสมเลือก แมคคาเดเมียอบจำนวน 4 สูตร พร้อมทั้งใช้ตัวอย่างควบคุม คือ แมคคาเดเมียอบที่มีขายตามท้องตลาดมาเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ แล้วนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน โดยให้คะแนนในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ประเมินผลตามความชอบโดยใช้ 9-points Hedonic scale กำหนดให้ตัวเลข 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด

3) การวิเคราะห์ทางสถิติ

โดยการตรวจสอบคุณภาพของแมคคาเดเมียอบใช้แผนการทดลอง Completely randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลการทดสอบ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

ทดสอบทางประสาทสัมผัสของแมคคาเดเมียอบใช้แผนการทดลอง Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

4) การวิเคราะห์ค่าพลังงานในการใช้เครื่องอบแมคคาเดเมียด้วยตู้อบอินฟราเรดแบบสายพาน

โดยการคำนวณการใช้พลังงานของเครื่องอบแมคคาเดเมียด้วยตู้อบอินฟราเรดแบบสายพานต่อน้ำหนักของแมคคาเดเมียเป็นกิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน (Man-day) และการอบแมคคาเดเมียจะมีต้นทุนจากค่าไฟฟ้าที่บาทต่อกิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน โดยใช้สูตรในการคำนวณ [11]

ตารางที่ 2: ความชื้น และค่า a_w ของตัวอย่างแมคคาเดเมียที่ผ่านการอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน

การ ทดลองที่	พลังงาน อินฟราเรด (วัตต์)	เวลาในการอบ (นาท)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	ความชื้น (ร้อยละ)
1	เมล็ดแมคคาเดเมียสด		$0.51^a \pm 0.00$	$2.39^a \pm 0.04$
2	6,000	5	$0.34^b \pm 0.02$	$1.99^{ab} \pm 0.46$
3	6,000	6	$0.35^b \pm 0.00$	$1.82^{ab} \pm 0.09$
4	6,000	7	$0.36^b \pm 0.00$	$1.82^{ab} \pm 0.12$
5	7,200	5	$0.36^b \pm 0.00$	$1.78^{ab} \pm 0.08$
6	7,200	6	$0.35^b \pm 0.00$	$1.78^{ab} \pm 0.05$
7	7,200	7	$0.36^b \pm 0.00$	$1.66^b \pm 0.06$
8	8,400	5	$0.35^b \pm 0.00$	$1.97^{ab} \pm 0.13$
9	8,400	6	$0.37^b \pm 0.01$	$1.61^b \pm 0.11$
10	8,400	7	$0.36^b \pm 0.00$	$1.93^{ab} \pm 0.57$

หมายเหตุ: ทำการวัดและวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งของแต่ละการทดลอง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

พลังงานไฟฟ้า (ยูนิต หรือ KW-hour) = กำลังไฟฟ้า (KW) $\times$ เวลา (ชั่วโมง)

หรือ ถ้าคิดกำลังไฟฟ้าหน่วยเป็นวัตต์ (W) หารด้วย 1,000 จะได้

พลังงานไฟฟ้า (ยูนิต หรือ KW-hour) = กำลังไฟฟ้า (W) $\times$ เวลา (ชั่วโมง) / 1,000

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างแมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอบ แมคคาเดเมียด้วยอินฟราเรดแบบสายพาน มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) ปริมาณน้ำอิสระและความชื้น

นำตัวอย่างแมคคาเดเมียมาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี คือ ความชื้น ค่า a_w ได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 2 ดังนี้

Pankaew et al. (2016) [12] ได้รายงานไว้ว่า ถั่วแมคคาเดเมียสดหลังการเก็บเกี่ยวจะมีความชื้นสูงและมีแนวโน้มที่จะเสื่อมสภาพโดยอาจจะทำให้เกิดเชื้อราได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาจะต้องทำให้ถั่วมีความชื้นต่ำลงโดยวิธีการต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้วิธีการทอด การอบ ในรายงานการศึกษา ของ Wall & Gentry (2007) [13] ได้รายงานความชื้นของแมคคาเดเมียทั้งเปลือกอยู่ในช่วง 16-25 กรัมต่อ 100 กรัม ส่วนค่า a_w จะมากกว่า 0.8 ซึ่งในความชื้นและ a_w ของเมล็ดแมคคาเดเมียนี้นี้เป็นสภาวะที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ เอนไซม์สามารถทำงานได้ และ

ปฏิกิริยาสีน้ำตาลสามารถเกิดได้เร็ว และเมื่อทำการอบทั้งเปลือกด้วยโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 2 วัน จนเปลือกแห้งซึ่งแมคคาเดเมียทั้งเปลือกจะมีลักษณะแห้ง มีรอยแตก น้ำหนักเบาลง ซึ่ง Wall & Gentry (2007)[11] ได้รายงานว่าการตากแมคคาเดเมียทั้งเปลือกให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 เพื่อยับยั้งการสูญเสียคุณภาพระหว่างการจัดเก็บ หลังจากนั้นทำการกะเทาะเปลือกออกทั้งเปลือกนอกและเปลือกใน (ภาพที่ 1) นำมาหาความชื้นและค่า a_w โดยแนะนำว่าเมล็ดแมคคาเดเมียอบควรจะมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 1.5 และมีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.2–0.3 ซึ่งเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับความคงตัวของอาหารแห้งและ จากการวิจัยนี้จะได้ ความชื้นและค่า a_w ของเมล็ดแมคคาเดเมียจะเป็นร้อยละ 2.39 (ต่อน้ำหนักแห้ง) และ 0.51 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการอบแมคคาเดเมียด้วยอินฟราเรดแบบสายพานจะมีค่าความชื้นและ a_w สูงกว่าการอบด้วยโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 2 วัน ทั้งนี้เนื่องจากการอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานใช้เวลาอบน้อยกว่าและผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียที่ผลิตได้มีความชื้น และค่า a_w อยู่ในเกณฑ์ที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ประกอบกับคุณภาพด้านอื่นๆของผลิตภัณฑ์ เช่น ค่าสี ค่าความเป็นกรด ค่าความหืน และได้รับยอมรับทางการทดสอบทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับดีพอใช้ จึงใช้สภาวะนี้ในการอบแมคคาเดเมียได้

จากตารางที่ 2 ค่า a_w ของตัวอย่างแมคคาเดเมียสดจะลดลงประมาณร้อยละ 30 เมื่ออบด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพาน และผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบทุกการทดลอง (พลังงานอินฟราเรด 6,000 – 8,400 วัตต์ ด้วยเวลา 5 – 7 นาที) มีค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าช่วงของพลังงานอินฟราเรดและเวลาช่วงดังกล่าวแคบจนทำให้ไม่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความแตกต่างได้ ส่วนความชื้นตัวอย่างที่อบด้วยอินฟราเรดจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยภาพรวมจะสามารถลดความชื้นจะมีค่าน้อยกว่าแมคคาเดเมียสด ($p \leq 0.05$) และจะมีความชื้นลดลงได้ประมาณร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับแมคคาเดเมียสด โดยที่สภาวะพลังงานอินฟราเรด 8,400 วัตต์ ใช้เวลาอบ 6 นาทีมีความชื้นลดลงจากตัวอย่างแมคคาเดเมียสดมากที่สุด (มีความชื้นร้อยละ 1.61 น้ำหนักแห้ง หรือลดลงประมาณร้อยละ 30) ทั้งนี้ปริมาณความชื้น และค่าน้ำอิสระในตัวอย่างแมคคาเดเมียอบจะมีผลต่ออัตราการเสื่อมเสียของตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่มีความชื้น และค่าปริมาณอิสระต่ำจะเก็บไว้ได้นานกว่าเนื่องจากมีสภาวะอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะต่ำกว่าและในสภาวะนี้เอนไซม์ไลเปส และไลพอกซิจีเนสซึ่งเกี่ยวข้องกับการหืน[13] ดังนั้นผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถเก็บได้โดยไม่ทำให้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบมีคุณภาพที่ไม่พึงประสงค์

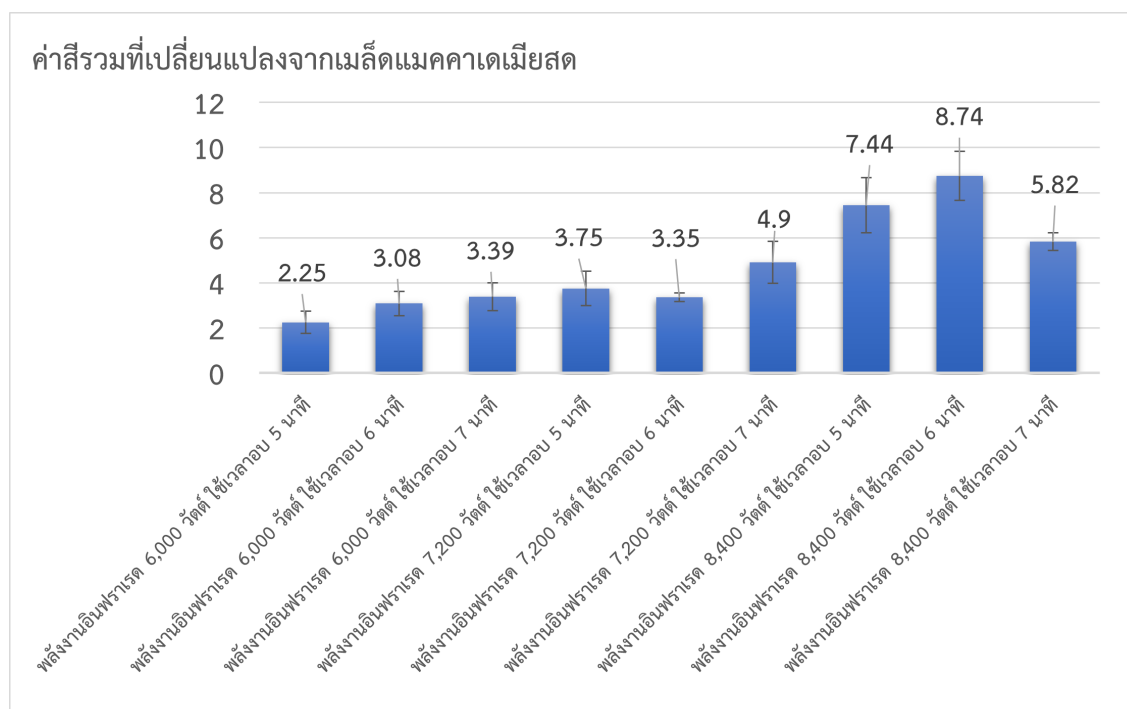
2) ค่าสี

จากการนำตัวอย่างควบคุมคือแมคคาเดเมียสด และตัวอย่างแมคคาเดเมียอบด้วยอินฟราเรดแบบสายพานจำนวน 9 การทดลองนำมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี พบว่าได้ผลการวัดดังตารางที่ 3 โดยค่าสีของตัวอย่างแมคคาเดเมียสด พบว่าผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานมีความเข้มของสีเพิ่มขึ้นโดยจะมีความสว่าง (L^*) ลดลง มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีเหลืองมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และพบว่า การอบด้วยเครื่องอินฟราเรดที่พลังงาน 6,000 – 8,400 วัตต์ ใช้เวลาในการอบ 5 – 7 นาที มีค่าความสว่าง (L^*) น้อยกว่าแมคคาเดเมียสด ตัวอย่างที่มีค่าความสว่างมากที่สุด คือ การอบด้วยอินฟราเรดที่พลังงาน 6,000 วัตต์ ที่ 6 นาที ส่วนค่าสีแดง (a^*) ของตัวอย่างแมคคาเดเมียที่อบด้วยอินฟราเรดทุกการทดลองตัวอย่างมีสีแดงเพิ่มมากขึ้น โดย Wall & Gentry (2007)[13] ที่ทำการศึกษากลูโคสของปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในแมคคาเดเมียมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียคั่วแห้งซึ่งพบว่า น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตสที่มีอยู่ในเมล็ดแมคคาเดเมียสดเมื่อทำการคั่วที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 3: ค่าสีของตัวอย่างแมคคาเดเมียสด และตัวอย่างแมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน

การ ทดลองที่	พลังงาน อินฟราเรด (วัตต์)	เวลาในการอบ (นาที)	L^*	a^*	b^*
1	เมล็ดแมคคาเดเมียสด		79.45 ^a ± 0.20	0.71 ^f ± 0.17	21.78 ^a ± 0.47
2	6,000	5	77.69 ^b ± 0.05	1.04 ^b ± 0.26	20.62 ^b ± 0.39
3	6,000	6	77.13 ^c ± 0.14	1.21 ^e ± 0.14	21.05 ^a ± 0.26
4	6,000	7	76.99 ^c ± 0.13	1.55 ^c ± 0.15	20.99 ^a ± 0.51
5	7,200	5	76.83 ^d ± 0.05	1.22 ^e ± 0.28	21.17 ^a ± 0.81
6	7,200	6	77.00 ^c ± 0.13	1.46 ^c ± 0.08	21.40 ^a ± 0.29
7	7,200	7	76.66 ^e ± 0.13	1.23 ^d ± 0.08	20.46 ^b ± 0.72
8	8,400	5	75.92 ^g ± 0.17	2.26 ^a ± 0.20	21.88 ^a ± 0.73
9	8,400	6	75.43 ^h ± 0.181	1.86 ^b ± 0.15	21.71 ^a ± 0.19
10	8,400	7	76.15 ^f ± 0.07	1.35 ^c ± 0.11	21.19 ^a ± 0.24

หมายเหตุ: ทำการวัดและวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งของแต่ละการทดลอง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

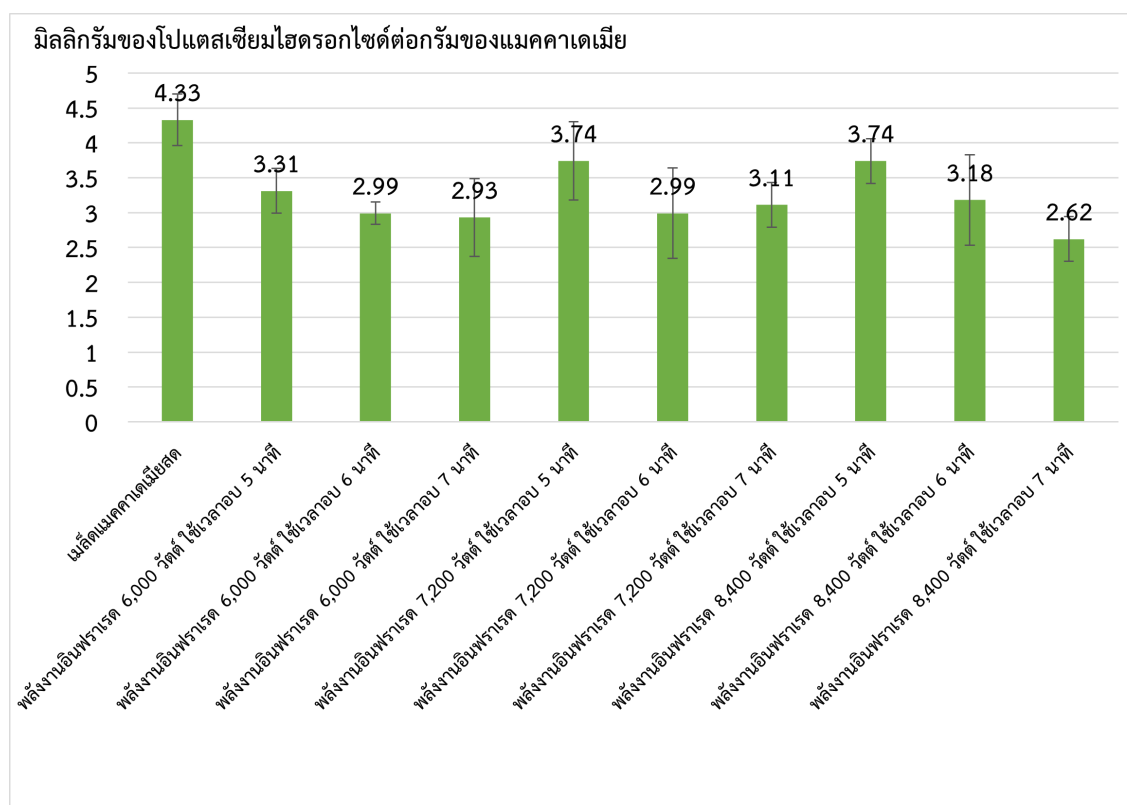


ภาพที่ 4: ค่าสีของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับ เมล็ดแมคคาเดเมียสด

ทำให้เกิดปฏิกิริยาน้ำตาลในระหว่างการทำแห้งและระหว่างคั่วอย่างใดก็ตามการทำแห้งแมคคาเดเมียจะเป็นปฏิกิริยาน้ำตาลที่เป็นกระบวนการไฮโดรไลซิสที่จะทำให้ลดปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสและจะทำให้มีน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นดังนั้นสีของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียภายในเมล็ดแห้งจึงเข้มกว่าเมล็ดสดเล็กน้อย โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Wu et al. (2014)[14] ที่ได้ทำการศึกษารอบแห้งแครอทด้วยรังสีอินฟราเรดซึ่งพบว่าการเปลี่ยนสีแครอทอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ คือ ความร้อนและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งจะไปทำลายแคโรทีนอยด์ทำให้สีเปลี่ยนไปเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยไม่อาศัยเอนไซม์หรือการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในชิ้นแครอทซึ่งเกิดจากความร้อนและในชิ้นแครอทมีความชื้นลดลงและสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Zhu & Pan (2009)[15] ที่ได้ทำการศึกษารอบแห้งแอปเปิ้ลแผ่น ซึ่งพบว่า การเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิ้ลแผ่นอาจเป็นเหตุผลที่สำคัญสำหรับการเปลี่ยนแปลงสี โดยในช่วงระยะเวลาการอบที่เพิ่มขึ้น จะมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ของค่า L^* และเมื่อความเข้มของรังสีอินฟราเรดสูงขึ้นจะทำให้แอปเปิ้ลแผ่นมีค่า L^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อทำการคำนวณค่าสีรวมที่เปลี่ยนแปลงไปจากแมคคาเดเมียสดดังภาพที่ 4 พบว่าที่การอบที่พลังงานอินฟราเรด 6000 วัตต์จะมีค่าสีรวมที่เปลี่ยนแปลงไปต่ำกว่าที่พลังงานอินฟราเรด 7200 และ 8,400 วัตต์ และเมื่อเพิ่มเวลาในการอบให้มากขึ้นค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่ามากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ค่าสีที่เปลี่ยนแปลงรวมนี้จะบ่งบอกถึงสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบเปลี่ยนแปลงไปจากแมคคาเดเมียสดเท่านั้น ไม่สามารถระบุได้ถึงถึงการเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* และ b^* แต่สามารถระบุได้ว่าการอบตัวอย่างแมคคาเดเมียในสภาวะที่มีพลังงานสูงจะทำให้สีของแมคคาเดเมียเปลี่ยนไปจากแมคคาเดเมียสดมากขึ้น และจากผลการวิจัยที่ใช้เครื่องอินฟราเรดแบบสายพานอบมีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) ของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียลดลงเมื่อใช้พลังงานของอินฟราเรดเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าพลังงานของอินฟราเรดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสว่างของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียลดลงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์ขึ้นเนื่องจากมีความร้อนจากอินฟราเรด และในชั้นเมล็ดแมคคาเดเมียมีความชื้นลดลง ประกอบกับการให้พลังงานอินฟราเรดดังกล่าวไม่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดสซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาในผลิตภัณฑ์ที่มีสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลคือ น้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนในเมล็ดแมคคาเดเมียได้อย่างสมบูรณ์จึงอาจจะเอนไซม์ PPO เหลืออยู่จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลได้เพิ่มเติมจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่อาศัยเอนไซม์ซึ่งสอดคล้องและใช้เหตุผลเดียวกับการศึกษาของ Zhu & Pan (2009) [15] ได้

3) ค่าเปอร์ออกไซด์และค่าความเป็นกรด

ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value : PV) เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง ได้โดยเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของอาหาร และจะทำให้มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียลดลง โดยในการวิจัยนี้ตรวจไม่พบค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่มีปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานซึ่งปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชันดังกล่าวโดยปกติจะเกิดขึ้นเมื่อลิพิดในผลิตภัณฑ์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในระหว่างการรักษาผลิตภัณฑ์ ส่วนค่าความเป็นกรด (Acid Value : AV) นั้นเป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมันในแมคคาเดเมียโดยเป็นค่าที่บ่งชี้ว่าไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบหลักในไขมันและน้ำมันถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมีเอนไซม์ที่ชื่อว่าไลเปส และความร้อนของเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะได้ผลิตผลคือกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid :



ภาพที่ 5: ค่าความเป็นกรดของตัวอย่างแมคคาเดเมียที่ผ่านการอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานเมื่อเทียบกับเมล็ดแมคคาเดเมียสด

FFA) ซึ่งเป็นกรดไขมันทำให้ผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 5

จากกราฟในภาพที่ 5 พบว่าเมล็ดแมคคาเดเมียสดจะมีค่าความเป็นกรดสูงสุด ส่วนผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียที่ผ่านการอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานจะมีค่าลดลง โดยเมื่อเทียบระหว่างการอบที่พลังงานอินฟราเรด พบว่าแนวโน้มเมื่อใช้พลังงานอินฟราเรดเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกรดจะเพิ่มขึ้นเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อนดังนั้นเมื่อเมล็ดแมคคาเดเมียได้รับพลังงานมากขึ้นทำให้ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นดังกล่าว ส่วนเมื่อระยะเวลาในการอบมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระดับพลังงานอินฟราเรดเท่ากันจะมีค่าความเป็นกรดลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเวลาที่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจนเพียงพอที่จะทำให้ลายเอนไซม์ไลเปสได้ ดังนั้นเอนไซม์ไลเปสจะถูกทำลายทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมีเอนไซม์ที่ชื่อว่าไลเปสได้ค่าความเป็นกรดจึงลดลง อย่างไรก็ตามอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบควรมีค่าความเป็นกรดไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่างเมล็ดแมคคาเดเมีย 1 กรัม ตามมาตรฐาน Codex Standards for Fats and Oils from Vegetable Sources (CODEX) [16] สอดคล้องกับรายงานของ Ding et al. (2015)[17] ที่รายงานว่ากระบวนการให้ความร้อนแบบอินฟราเรดของข้าวหยาบและข้าวกล้องที่ 60 องศาเซลเซียส ตามด้วยการทำให้เย็นลงตามธรรมชาติเป็นเวลา 4 ชั่วโมงส่งผลให้เอนไซม์ไลเปสหยุดทำงานอย่างมีประสิทธิภาพตลอด 12 เดือนของการเก็บรักษา และจากรายงานของ Yilmaz (2016) ที่รายงานการให้ความร้อนรำข้าวด้วยกระบวนการอินฟราเรด ที่ 700 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที พบว่า กรดไขมันอิสระ (ที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดค่าความเป็นกรด) เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ หลังจากเก็บรักษา 60 วัน ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระของตัวอย่างควบคุมหรือรำข้าวสด (รำข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน) ปริมาณกรดไขมันอิสระจะ

สูงกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนโดยอินฟราเรด จากการรายงานของ Irakli et al. (2018) : Kathiravan et al. (2007) : Yilmaz (2016) [3][4][7] ที่การให้ความร้อนด้วยอินฟราเรดสามารถยับยั้งการทำงานของไลเปสและไลพอกซีจีเนสได้อย่างมีประสิทธิภาพและชะลอการเกิดกลิ่นหืนจากไฮโดรไลติกส่งผลให้ค่ากรดไขมันอิสระหรือค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้เครื่องอบแบบอินฟราเรดที่ใช้ในการทำวิจัยที่พลังงานอินฟราเรดตั้งแต่ 6,000 ถึง 8,400 วัตต์ จะมีผลลัพธ์แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของวิธีการให้ความร้อนโดยการใช้เครื่องอินฟราเรดในการควบคุมการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดโดยเครื่องอินฟราเรดจะไปทำลายเอนไซม์ไลเปสที่สามารถย่อยกรดไขมันเป็นกรดไขมันอิสระซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการให้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพด้วยพลังงานของเครื่องอบอินฟราเรด สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในการทำให้อาหารไขมันในแมคคาเดเมียกลายเป็นกรดไขมันอิสระที่ทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียได้ [18] [19] และเนื่องจากตรวจไม่พบค่าเพอร์ออกไซด์ในแมคคาเดเมียสดและผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานจึงไม่ได้แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ในผลการวิจัย โดยสาเหตุที่ไม่สามารถตรวจพบค่าเพอร์ออกไซด์ได้เนื่องจากแมคคาเดเมียสดและผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบนี้ยังสดและวิเคราะห์หลังจากอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานทันทีทำให้ผลิตภัณฑ์ยังไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้เกิดความหืนได้ นอกจากนี้การให้ความร้อนอาจไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องส่งผลให้ระดับเพอร์ออกไซด์แมคคาเดเมียลดลงจนไม่สามารถตรวจพบได้

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ตัวอย่างแมคคาเดเมียที่อบด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานด้านกายภาพ และเคมี พบว่า การอบแมคคาเดเมียที่ใช้พลังงานอินฟราเรดสูง คือ 8,400 วัตต์ และใช้เวลานาน (7 นาที) จะทำให้ได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียที่พึงประสงค์กล่าวคือมีค่าความสว่าง ตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีจากตัวอย่างแมคคาเดเมียสดมากนัก มีค่าความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์ในตัวอย่างต่ำ มีอัตราการเสื่อมเสียต่ำ ทำให้สามารถเก็บตัวอย่างไว้ได้นาน และเชื้อจุลินทรีย์เจริญได้ต่ำ ซึ่งจากการวิจัยพบว่า การอบแมคคาเดเมียที่พลังงาน 8,400 วัตต์ โดยใช้เวลาในการอบ 7 นาที จะได้ตัวอย่างที่ดีที่สุดสำหรับการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้คุณภาพและทางเคมี แต่อย่างไรก็ตามตัวอย่างดังกล่าวอาจจะไม่ดีที่สุดในแง่ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภครวม ทั้งนี้จะต้องนำตัวอย่างที่ได้จากการวิจัยที่ดีที่สุดและรองลงมาจำนวน 4 ลำดับ ไปทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อเป็นการเปรียบเทียบความชอบด้านต่างๆ และทำการสรุปสภาวะที่ดีที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ต่อไป

จากการใช้เกณฑ์ทางกายภาพ คือ ค่าสี ทางเคมี คือ ความชื้น a_w และค่าความเป็นกรด ที่เหมาะสมเลือกแมคคาเดเมียจำนวน 4 สูตร พร้อมทั้งใช้ตัวอย่างควบคุม คือ แมคคาเดเมียอบที่มีขายในร้านอะเมซอนมาเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ แล้วนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน โดยให้คะแนนในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ประเมินผลตามความชอบโดยใช้ 9-points Hedonic scale กำหนดให้ตัวเลข 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด โดยมีการทดลองที่เลือกมาทดสอบทางประสาทสัมผัส 4 ตัวอย่าง คือ

- 1) พลังงานอินฟราเรด 7,200 วัตต์ เวลา 6 นาที
- 2) พลังงานอินฟราเรด 8,400 เวลา 5 นาที
- 3) พลังงานอินฟราเรด 8,400 เวลา 6 นาที
- 4) พลังงานอินฟราเรด 8,400 เวลา 7 นาที

ตารางที่ 4: การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของแมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน

การทดลอง	พลังงานและเวลาในการอบอบด้วยเครื่องอินฟราเรด	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบรวม
1	ตัวอย่างควบคุม	$7.15^b \pm 1.04$	$7.05^c \pm 1.05$	$6.90^b \pm 1.07$	$6.70^b \pm 1.38$	$7.10^b \pm 1.15$
2	7,200 วัตต์ เวลา 6 นาที	$7.75^a \pm 0.97$	$7.60^{ab} \pm 0.68$	$7.75^a \pm 0.72$	$8.20^a \pm 0.89$	$8.10^a \pm 0.79$
3	8,400 วัตต์ เวลา 5 นาที	$7.80^a \pm 0.62$	$7.85^a \pm 0.81$	$7.80^a \pm 0.69$	$7.95^a \pm 0.88$	$7.85^a \pm 0.93$
4	8,400 วัตต์ เวลา 6 นาที	$7.50^{ab} \pm 0.95$	$7.85^a \pm 0.83$	$7.80^a \pm 0.83$	$7.60^a \pm 1.23$	$7.80^a \pm 1.01$
5	8,400 วัตต์ เวลา 7 นาที	$7.55^{ab} \pm 0.83$	$7.25^{bc} \pm 0.91$	$7.20^b \pm 0.76$	$7.70^a \pm 0.97$	$7.25^b \pm 0.85$

หมายเหตุ:

- ทำการทดสอบโดยผู้ทดสอบชิม 30 คน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งของแต่ละสภาวะของการทดลอง อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ตัวอย่างควบคุม คือ แมคคาเดเมียอบที่มีขายในร้านอะเมซอน

จากตาราง 4 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนน ด้านลักษณะปรากฏ ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนแมคคาเดเมียอบที่ 8,400 (วัตต์) เวลา 5 นาที มากที่สุด รองลงมาเป็น 7,200 (วัตต์) เวลา 6 นาที ด้านสี ทดสอบชิมให้คะแนน แมคคาเดเมียอบที่ 8,400 (วัตต์) เวลา 6 นาที มากที่สุด รองลงมาเป็น 8,400 (วัตต์) เวลา 5 นาที ด้านกลิ่น ทดสอบชิมให้คะแนน แมคคาเดเมียอบที่ 8,400 (วัตต์) เวลา 6 นาที มากที่สุด รองลงมาเป็น 8,400 (วัตต์) เวลา 5 นาที ด้านรสชาติ ทดสอบชิมให้คะแนนแมคคาเดเมียอบที่ 7,200 (วัตต์) เวลา 6 นาที มากที่สุด รองลงมาเป็น 8,400 (วัตต์) เวลา 5 นาที ด้านความชอบรวม ทดสอบชิมให้คะแนนแมคคาเดเมียอบที่ 7,200 (วัตต์) เวลา 6 นาที มากที่สุด รองลงมาเป็น 8,400 (วัตต์) เวลา 5 นาที

ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดในการอบแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพาน คือ การอบที่พลังงานอินฟราเรด 7,200 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที โดยได้รับคะแนนความชอบลักษณะปรากฏ กลิ่นรสชาติ และความชอบรวมสูงสุด

4) การวิเคราะห์ค่าพลังงานในการใช้เครื่องอบแมคคาเดเมียด้วยตู้อบอินฟราเรดแบบสายพาน

การหาอัตราการผลิต และค่าไฟฟ้าของเครื่องอบแมคคาเดเมียด้วยตู้อบอินฟราเรดแบบสายพานอัตโนมัติ ได้ดังนี้

- แมคคาเดเมียที่ทดสอบมี 0.3 กิโลกรัม วางบนสายพานได้ระยะ 30 เซนติเมตร ใช้เวลา 1 รอบในการอบ 6.00 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบที่ถูกต้องตามคุณสมบัติที่กำหนด

- ระยะห้องอบ 1 ช่วง ยาว 400 เซนติเมตร

ดังนั้น 30 เซนติเมตร สามารถอบแก้วได้ 0.3 กิโลกรัม

สายพานของเครื่องยาว 150 เซนติเมตร

สามารถอบแก้วได้ = $0.3 \times 400 / 30$ กิโลกรัม

ดังนั้นจะใช้เวลา 6.00 นาที จะได้แก้วทั้งหมด 4.0 กิโลกรัม

- ถ้าทำงานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง (480 นาที)

ถ้าใช้เวลา 6.00 นาที จะได้แก้วทั้งหมด 4.0 กิโลกรัม

ถ้าใช้เวลา 480 นาที จะได้แก้วทั้งหมด = $4.0 \text{ กิโลกรัม} \times 480 \text{ นาที} / 6.0 \text{ นาที}$

ดังนั้น จะสามารถอบแมคคาเดเมียได้ = $320 \text{ กิโลกรัม} / 8 \text{ ชั่วโมง (Man-day)}$

- การคำนวณค่าไฟฟ้า 8 ชั่วโมง (เมื่อคิดเวลาในการทำงานของเครื่อง 6 ชั่วโมงเนื่องจากต้องใช้เวลาในระหว่างการบรรจุตัวอย่าง และพักเครื่อง ประมาณ 2 ชั่วโมง)

ถ้า 6 นาที ใช้กำลังไฟฟ้า จำนวน 7200 วัตต์

ถ้าใช้ 60×8 นาที ใช้กำลังไฟฟ้า จำนวน $7200 \times (60 \times 8)$ วัตต์/6

= $576.0 \text{ ยูนิท} / 8 \text{ ชั่วโมง (การใช้ไฟฟ้า 72 ยูนิท จะคิดยูนิทละ 3.2405 บาท)}$

= $233.3 \text{ บาท} / 8 \text{ ชั่วโมง (Man-day)}$

ดังนั้นเครื่องอบแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานอัตโนมัติจำนวน 274 กิโลกรัม จะใช้ค่าไฟฟ้า 233.3 บาท ต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน (Man-day) หรือการอบแมคคาเดเมียจะมีต้นทุนจากค่าไฟฟ้า 0.85 บาทต่อกิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน

สรุปผลการวิจัย

พลังงานอินฟราเรด และเวลาที่ใช้ในการอบแมคคาเดเมีย มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยคุณภาพของแมคคาเดเมียจะมี ค่าสีแดง (a^*) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) ลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มพลังงานและเวลาในการอบซึ่งต่างจากค่าความสว่าง (L^*) ที่มีค่าลดลง ตามพลังงานอินฟราเรด และเวลาในการอบที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พลังงานอินฟราเรดและเวลาในการอบที่เพิ่มขึ้น ยังมีผลทำให้ปริมาณความชื้น, ค่า a_w และค่าความเป็นกรดในแมคคาเดเมียลดลง โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานขนาด 30×400 เซนติเมตร นี้ คือ พลังงานอินฟราเรด 7,200 วัตต์ ใช้เวลาในการอบ 6 นาที เพราะสามารถลดปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 2.99 และเมื่อเทียบกับแมคคาเดเมียสด (แมคคาเดเมียสดมีค่าความเป็นกรด เท่ากับ 4.33 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่างเมล็ดแมคคาเดเมีย 1 กรัม และแมคคาเดเมียอบที่พลังงานอินฟราเรด 7,200 วัตต์ ใช้เวลาในการอบ 6 นาที มีค่าความเป็นกรด เท่ากับ 2.99 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่างเมล็ดแมคคาเดเมีย 1 กรัม) โดยที่สภาวะนี้มีความชื้นร้อยละ 1.78 ค่า a_w 0.35 มีค่าความสว่าง (L^*) 77.00 ค่าสีแดง 1.46 ค่าสีเหลือง 21.40 และมีค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากแมคคาเดเมียสด 3.35 และได้รับคะแนนจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 30 คน สูงที่สุด และการอบแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานอัตโนมัติมีต้นทุนจากค่าไฟฟ้า 0.85 บาทต่อกิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช)

เอกสารอ้างอิง

- [1] กุลชา สิวสงวน. (2558). การประยุกต์ใช้เครื่องจุ่มกึ่งอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์กลิ่นหืนของแมคคาเดเมียอบแห้ง. ปรินญาตกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [2] Buthelezi, N.M.D., Tesfay, S.Z. & Magwaza, L.S.(2021). Influence of roasting on antioxidants, fatty acids, sensory properties and oxidative stability of macadamia nuts. *Scientia Horticulturae*, 278, 109850.
- [3] Irakli, M., Kleisaris, F., Mygdalia, A. & Katsantonis, D. (2018). Stabilization of rice bran and its effect on bioactive compounds content, antioxidant activity, and storage stability during infrared radiation heating. *Journal of Cereal Science* 80, 135-142.
- [4] Kathiravan, K., Kaur, K.H., Jun, S., Joseph, I. & Ali, D. (2007). Infrared heating in food process: an overview. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety* 7, 2-13.
- [5] Sakai, N., & Mao, W. (2006). Infrared Heating. In Da-Wen and Sun (Eds.), *Thermal food processing*. USA: Taylor and Francis Group.
- [6] Yan, W., Liu, Q., Wang, Y., Tao, T., Liu, B., Liu, J., & Ding, C. (2020). Inhibition of Lipid and Aroma Deterioration in Rice Bran by Infrared Heating. *Food and Bioprocess Technology*, 13, 1677–1687.. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02503-2>.
- [7] Yilmaz, N. (2016). Middle infrared stabilization of individual rice bran milling fractions. *Food Chemistry* 190, 179–185.
- [8] AOAC (2012). Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis* (19th ed.) Washington DC, USA.
- [9] AOAC. (1999). Association of Official Analytical Chemists. *Official method of analysis* (16th ed.). Washington, DC, USA.
- [10] AOCS (2004). American Oil Chemists' Society. *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society* Champaign, USA.

- [11] ข้อมูลและข้อกำหนดของหน่วยงานราชการ. (2559 มิถุนายน 29). การคำนวณค่าไฟฟ้า. สืบค้น 3 กรกฎาคม 2565. จาก <https://www.solarhub.co.th/solar-information/solar-provision/354-electrical-estimate>
- [12] Pankaew, P., Janjai, S., Nilnont, W., Phusapao, C. & Bala, B.K. (2016). Moisture desorption isotherm, diffusivity and finite element simulation of drying of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*). *Food and Bioproducts Processing*, 100, 16–24.
- [13] Wall, M.M. & Gentry, T.S. (2007). Carbohydrate composition and color development during drying and roasting of macadamia nuts (*Macadamia integrifolia*). *LWT*, 40, 587–593.
- [14] Wu, B., Pan, Z., Qu, W., Wang, J. and Ma, H. (2014). Effect of simultaneous infrared dry-blanching and dehydration on quality characteristics of carrot slices. *Food Science and Technology*, 57, 90-98.
- [15] Zhu, Y. and Pan, Z. (2009). Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating. *Journal of Food Engineering*, 90, 441–452.
- [16] Codex Alimentarius. (2001). CODEX STANDARD FOR NAMED VEGETABLE OILS CX-STAN 210 – 1999. Volume 8.
- [17] Ding, C., Khir, R., Pan, Z., & Zhao, L. (2015). Improvement in Shelf Life of Rough and Brown Rice Using Infrared Radiation Heating. *Food and Bioprocess Technology* 8:1149-1159.
- [18] Shaker, M.A., Amany, M.B., Mahmoud, A.M.A. (2013). Production of low acidity rice bran oil by heating process. *Journal of Food Science and Technology*, 1, 13–18.
- [19] Dhingra, D. and Chopra, S. (2014). Ohmic heating system for stabilization of rice bran. *Agricultural Engineering Today*, 38, 1–6.