

ผลของระดับอุณหภูมิอบแห้งต่อการอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

ปิยบุตร อินัน¹ ญัฐพงศ์ สมพันธ์¹ ศิริชัย วิเวก¹ สมหญิง พงศ์พิมล² และ ภูมิใจ สอาดโฉม^{1*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

²คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹41/1 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก 63000

²123 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

รับบทความ 13 พฤษภาคม 2565 แก้ไขบทความ 6 มกราคม 2566 ตอบรับบทความ 13 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกระเจี๊ยบเขียว หาพลังงานไฟฟ้าและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ออบแห้ง และหาสมบัติทางกายภาพด้านสีของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้ง โดยแผ่นกระเจี๊ยบเขียวขนาด 30x30 (กว้างxยาว) เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ถูกอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิอบแห้ง 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส จนความชื้นของกระเจี๊ยบเขียวต่ำกว่าร้อยละ 10 มาตรฐานเปียก ผลการทดลองพบว่า กระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่ากระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ การอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีพลังงานไฟฟ้าและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่าการอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) พลังงานไฟฟ้าและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ออบแห้งกระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) นอกจากนี้พบว่า ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีค่าความสว่าง (ค่า L^*) และค่าสีเขียว (ค่า $-a^*$) น้อยกว่าผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าสีเหลือง (ค่า b^*) น้อยกว่าผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามค่าสีเหลือง (ค่า b^*) ของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กับผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีคุณภาพด้านสีดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : การอบแห้ง; กระเจี๊ยบเขียว; เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ; รังสีอินฟราเรดไกล

Effect of Drying Temperature Level on Vacuum Drying of Okra Combined with Far-infrared Radiation

Piyabud Innu¹ Nattapong Somfan¹ Sirichai Vivek¹ Somying Pongpimol²
and Poomjai Sa-adchom^{1*}

¹Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

²Faculty of Architecture, Khon Kaen University

¹41/1 Paholayothin Road, Mai Ngam, Muang Tak, Tak, 63000

²123 Mittraphap Road, Nai Muang, Muang Khon Kaen, Khon Kaen, 40002

Received 13 May 2022; Revised 6 January 2023; Accepted 13 February 2023

Abstract

This research aimed to study the effect of infrared radiation assisted vacuum drying on the change of moisture content of okra and to determine the electrical energy and specific energy consumption used for drying. The physical property in terms of the color of dried okra powder was examined. Okra sheets with a size of 30x30 (width x length) cm and a thickness of 5 mm were dried under an absolute pressure of the drying chamber of 7 kPa and the drying temperatures of 70, 80, and 90°C until the moisture content of the okra was lower than 10% wet basis. The experimental results showed that dried okra at high temperatures could reduce moisture faster than that at low temperatures. Drying okra at the temperature of 70°C had a significantly higher the electrical energy and specific energy consumption than that of 80 and 90°C ($P \leq 0.05$). The electrical energy and specific energy consumption used for drying okra at 80 and 90°C were not significantly different ($P > 0.05$). In addition, okra powder dried at high temperatures had significantly lower lightness (L^* value) and greenness ($-a^*$ value) than that at low temperatures ($P \leq 0.05$). Okra powder dried at the temperature of 70°C had significantly lower yellowness (b^* value) than that of 90°C ($P \leq 0.05$). However, the yellowness (b^* value) of okra powder dried at the temperature of 80°C and okra powder dried at the temperatures of 70 and 90°C were not significantly different ($P > 0.05$). Therefore, okra powder dried at an absolute pressure of the drying chamber of 7 kPa and the drying temperature of 70°C had the best color quality compared to that of 80 and 90°C.

Keywords : Drying; Far-infrared Radiation; Okra; Vacuum Dryer

** Corresponding Author. Tel.: +668 1727 5771, E-mail Address: poomjai.s@gmail.com*

1. บทนำ

กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชผักพื้นบ้านที่คนไทยนิยมบริโภค และเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียว 3,797 ไร่ ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียวรวม 4,883 ตัน และมีราคาขายกระเจี๊ยบเขียว 15 บาทต่อกิโลกรัม [1] กระเจี๊ยบเขียวมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีแร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ ได้แก่ แคลเซียม เหล็กแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียม วิตามินเอ วิตามินบี และวิตามินซี เป็นต้น รวมทั้งมีกลูตาไรโอนซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยสร้างสารซ่อมแซมเซลล์ และขจัดสารพิษที่เกิดในร่างกาย นอกจากนี้กระเจี๊ยบเขียวมีสรรพคุณต่าง ๆ ได้แก่ ช่วยบำรุงสมอง รักษาโรคความดันโลหิต บรรเทาอาการไข้หวัด ช่วยป้องกันหลอดเลือดตีตัน และบรรเทาอาการโรคกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบ เป็นต้น [2] อย่างไรก็ตามบางฤดูกาลผลผลิตกระเจี๊ยบเขียวมีมากเกินความต้องการของตลาด ทำให้กระเจี๊ยบเขียวเหลือจากการจำหน่ายและเกิดการเน่าเสียซึ่งเป็นการสูญเสียทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการแปรรูปกระเจี๊ยบเขียวให้เป็นกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ และช่วยเพิ่มมูลค่าของกระเจี๊ยบเขียว

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่รักษาคุณภาพลดความสูญเสีย ยืดอายุการเก็บรักษาสภาพ และทำให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีมูลค่าเพิ่มขึ้น โดยในปัจจุบันการอบแห้งส่วนใหญ่นิยมอบแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสามารถติดตั้งได้ง่ายและให้ความร้อนสม่ำเสมอ แต่มีปัญหาที่พบคือ ใช้ระยะเวลาอบแห้งนาน และผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้มีคุณภาพด้านกลิ่นรส สี และเนื้อสัมผัสด้อยลง [3], [4] ดังนั้นการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลสามารถช่วยแก้ปัญหาในส่วนนี้ได้ โดยการอบแห้งแบบสุญญากาศเป็นวิธีการทำให้น้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์มีจุดเดือดต่ำและระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำ ช่วยลดพลังงานที่ใช้

อบแห้ง [5] ช่วยป้องกันการสลายตัวของวิตามิน และลดการสูญเสียสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้านกลิ่นรส [6] ทั้งนี้มีการนำรังสีอินฟราเรดไกลมาเป็นแหล่งให้ความร้อนในการอบแห้งแบบสุญญากาศเนื่องจากรังสีอินฟราเรดไกลสามารถทะลุผ่านเข้าสู่เนื้อผลิตภัณฑ์ ทำให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์เกิดการสั่นและเกิดความร้อน น้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์จึงแพร่ไปยังผิวผลิตภัณฑ์และระเหยออกไปได้เร็ว [7], [8] กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวทำให้ลดความชื้นของผิวและเนื้อผลิตภัณฑ์ได้พร้อม ๆ กัน ส่งผลให้ผิวผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเหี่ยวแห้ง และคงสมบัติของผลิตภัณฑ์บางอย่างได้ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง [9] จากข้อดีดังกล่าวในปัจจุบันจึงนิยมอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ได้แก่ กระชายดำ [10] รากงาดำ [10] ขมิ้น [11] ข้าวฮางอก [12] ใบชา [13] เพชรสังฆาต [14] เห็ดหอม [15] ดอกบัว [16] ชিং [17] ใบมะกรูด [18] และข้าว [18] ซึ่งพบว่า ไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าควรศึกษาการอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล แล้วแปรรูปกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งให้เป็นกระเจี๊ยบเขียวผง ซึ่งเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่น่าสนใจสำหรับผู้บริโภค

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกระเจี๊ยบเขียวระหว่างการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล วิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ระหว่างการอบแห้ง และวิเคราะห์สมบัติด้านสีของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้ง

2. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

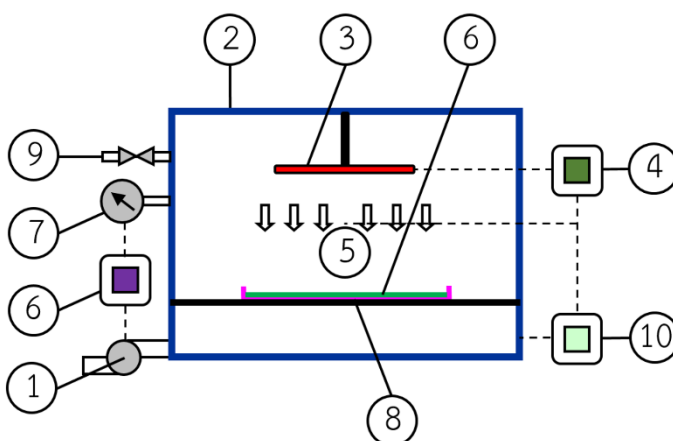
2.1 วัตถุดิบ

2.1.1 กระเจี๊ยบเขียว พันธุ์แม่โจ้ 49

2.2 เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลแสดงดังรูปที่ 1 การทำงานของเครื่องอบแห้งนี้เริ่มจากปั๊มสุญญากาศแบบโรตารี ยี่ห้อ Woosung รุ่น MPV-6 ขนาดกำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ (หมายเลข 1) ดูดอากาศออกจากห้องอบแห้งซึ่งมีขนาด 50x35x35 (กว้างxยาวxสูง) เซนติเมตร (หมายเลข 2) โดยแหล่งให้ความร้อนแก่อากาศในห้องอบแห้งนี้คือ หลอดรังสีอินฟราเรดไกลยี่ห้อ Infrapara รุ่น AW-2-500 ขนาดกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ จำนวน 1 หลอด (หมายเลข 3) ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านบนเหนือผลิตภัณฑ์อบแห้ง 10 เซนติเมตร อุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้งถูกควบคุมด้วยเครื่อง

ควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดียี่ห้อ Toho รุ่น TTM-004-PA (หมายเลข 4) ตำแหน่งที่ควบคุมอุณหภูมิอากาศอยู่กลางห้องอบแห้งและอยู่เหนือผลิตภัณฑ์อบแห้ง 5 เซนติเมตร โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (หมายเลข 5) เป็นตัววัดอุณหภูมิ และใช้อุปกรณ์วัดความดันยี่ห้อ Sunx รุ่น DP-100 (หมายเลข 6) ควบคุมความดันภายในห้องอบแห้งซึ่งต่อกับมาตรวัดความดัน (หมายเลข 7) นอกจากนี้ยังมีภาชนะขนาด 30x30 เซนติเมตร (หมายเลข 8) สำหรับวางผลิตภัณฑ์อบแห้ง ทั้งนี้เครื่องอบแห้งได้หุ้มฉนวนเซรามิกไฟเบอร์มีความหนา 12.5 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอก มีวาล์วปรับความดัน (หมายเลข 9) และมิเตอร์วัดไฟฟ้ายี่ห้อ Dai-ichi รุ่น DD28 (หมายเลข 10) ติดตั้งอยู่ด้วย



(1) ปั๊มสุญญากาศ (2) ห้องอบแห้ง (3) หลอดรังสีอินฟราเรดไกล (4) เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดี (5) เทอร์โมคัปเปิล (6) เครื่องควบคุมความดัน (7) มาตรวัดความดัน (8) ภาชนะสำหรับวางผลิตภัณฑ์ (9) วาล์วปรับความดัน และ (10) มิเตอร์ไฟฟ้า

รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การเตรียมกระเจี๊ยบเขียว

ซื้อกระเจี๊ยบเขียว พันธุ์แม่โจ้ 49 ที่มีอายุ 45-50 วัน จากตลาดสดเทศบาล อ.เมือง จ.ตาก แล้วคัดแยกขนาดกระเจี๊ยบเขียวให้มีความยาวประมาณ 13-14 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 เซนติเมตร

จากนั้นนำกระเจี๊ยบเขียว 500 กรัม มาล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด แล้วนำไปลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวล ที่มีอุณหภูมิ 98 ± 2 องศาเซลเซียส จำนวน 2 ลิตร นาน 3 นาที และทำให้เย็นทันทีโดยแช่น้ำเย็น (อุณหภูมิ 13 ± 2 องศาเซลเซียส) จำนวน 2 ลิตร นาน 1 นาที แล้วนำขึ้นแล้วพัก

ให้สะอาด น้ำ ทั้งนี้การลวกช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีเขียวในผัก โดยการลวกขัดขวางกลไกการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ไปเป็นฟีโอไฟติน (Pheophytin) ทำให้สีผักสดใสนั่น ส่วนการเติมโซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง) ในน้ำที่ลวก เพื่อทำให้โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) ไปรวมตัวกับเพกทิน (Pectin) ในเซลล์พืช ซึ่งช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส (Texture) ทำให้ผักมีเนื้อแน่น แข็ง และกรอบ [19]

จากนั้นหั่นกระเจี๊ยบเขียวที่ผ่านการลวกแล้วให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วบดสับให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสับยี่ห้อ Philips รุ่น HR1393 นาน 1 นาที และเทกระเจี๊ยบเขียวที่บดสับแล้วลงบนภาชนะถาดสี่เหลี่ยมที่รองด้วยแผ่นเพลอนขนาด 30x30 เซนติเมตร แล้วเกลี่ยให้เป็นแผ่นบาง ๆ เสมอกัน ใช้ความหนาของแผ่นกระเจี๊ยบเขียวที่ 5 มิลลิเมตร)

2.3.2 วิธีการอบแห้ง

อบแห้งแผ่นกระเจี๊ยบเขียวขนาด 30x30 (กว้างxยาว) เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสกาล (ความดันสัมบูรณ์นี้เป็นความดันสัมบูรณ์ที่ต่ำสุดที่เครื่องอบแห้งนี้สามารถทำได้) และอุณหภูมิอบแห้งที่ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิอบแห้งช่วงนี้เหมาะสำหรับอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวตามงานวิจัยของ N. Jorntapha and A. Soponapornnara [20] โดยอุณหภูมิอบแห้งแบ่งเป็น 3 ค่า เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ) จนความชื้นของกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งต่ำกว่าร้อยละ 10 มาตรฐานเปียก [21] ทั้งนี้ในแต่ละอุณหภูมิอบแห้งทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

2.3.3 การหาความชื้นของกระเจี๊ยบเขียว

การหามวลแห้งของกระเจี๊ยบเขียวทำได้โดยนำกระเจี๊ยบเขียวไปอบในตู้อบแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนมวลคงที่ [22] โดยชั่งมวลก่อนและหลังการอบแห้ง แล้วนำค่ามวลที่ได้

ไปคำนวณหาความชื้นของกระเจี๊ยบเขียวที่เวลาใด ๆ ได้ดังสมการ

$$M = \left(\frac{W - D}{W} \right) \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่

M คือ ความชื้นของกระเจี๊ยบเขียวที่เวลาใด ๆ (ร้อยละมาตรฐานเปียก)

W คือ มวลของกระเจี๊ยบเขียวที่เวลาใด ๆ (กรัม)

D คือ มวลแห้งของกระเจี๊ยบเขียว (กรัม)

ทั้งนี้ในแต่ละการทดลอง ความชื้นของกระเจี๊ยบเขียวถูกวัด 3 ซ้ำ

2.4 การหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อบแห้งกระเจี๊ยบเขียว

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้อบแห้งกระเจี๊ยบเขียววัดด้วยมิเตอร์ไฟฟ้ายี่ห้อ Dai-ichi รุ่น DD28 ในหน่วยกิโลวัตต์·ชั่วโมง ทั้งนี้ในแต่ละการทดลอง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้อบแห้งกระเจี๊ยบเขียวถูกวัด 3 ซ้ำ

2.5 การหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้อบแห้งกระเจี๊ยบเขียว

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้อบแห้งกระเจี๊ยบเขียว คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อบแห้งกระเจี๊ยบเขียวต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากกระเจี๊ยบเขียวอบแห้ง โดยหาจากสมการ [23]

$$SEC = \frac{E_{elec}}{M_w} \quad (2)$$

โดยที่

SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้อบแห้งกระเจี๊ยบเขียว (กิโลวัตต์·ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)

E_{elec} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้อบแห้งกระเจี๊ยบเขียว (กิโลวัตต์·ชั่วโมง)

M_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากกระเจี๊ยบเขียวอบแห้ง (กิโลกรัม)

ทั้งนี้ในแต่ละการทดลอง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ออบแห้งกระเจี๊ยบเขียวถูกวัด 3 ชั่วโมง

2.6 การทดสอบคุณภาพด้านสีของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้ง

กระเจี๊ยบเขียวอบแห้งถูกบดให้ละเอียดเป็นผงด้วยเครื่องบดอาหารยี่ห้อ Spring Green Evolution รุ่น PG500 ขนาด 1,600 วัตต์ นาน 1 นาที แล้วจึงร่อนผ่านรูดะแกรงขนาด 60 เมช (ขนาดรูดะแกรงช่องละ 0.25×0.25 (กว้างxยาว) มิลลิเมตร) คุณภาพด้านสีของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งวัดด้วยเครื่องวัดสีอาหารยี่ห้อ Minolta รุ่น CR-10 ใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่าสีของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งในรูปแบบ $L^* a^*$ และ b^* โดยค่า L^* แสดงค่าความสว่าง $+a^*$ แสดงค่าสีแดง $-a^*$ แสดงค่าสีเขียว $+b^*$ แสดงค่าสีเหลือง และ $-b^*$ แสดงค่าสีน้ำเงิน ทั้งนี้ในแต่ละการทดลอง ค่าสีของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งถูกวัด 3 ชั่วโมง

2.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

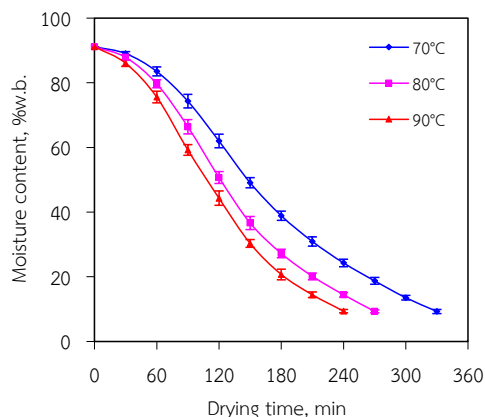
ความชื้นของกระเจี๊ยบเขียววิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการหาค่าเฉลี่ย ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ออบแห้งกระเจี๊ยบเขียว ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ออบแห้งกระเจี๊ยบเขียว ค่าสีของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้ง วิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกระเจี๊ยบเขียว

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกระเจี๊ยบเขียวระหว่างการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

เมื่ออบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิอบแห้ง 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 2 พบว่ากระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่ากระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปสู่ผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น น้ำในผลิตภัณฑ์จึงระเหยออกได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสกาล กระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้ง 330 270 และ 240 นาที ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ S. Sakaew et al. [11] และ N. Keeratiyadathanapat et al. [12] โดยพบว่า ที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้งเดียวกัน ระยะเวลาอบแห้งสั้นลงเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกระเจี๊ยบเขียวระหว่างการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เมื่ออบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิอบแห้ง 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส

3.2 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ออบแห้งกระเจี๊ยบเขียว

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ออบแห้งกระเจี๊ยบเขียวแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เมื่ออบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสกาล และ

อุณหภูมิอบแห้ง 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ (หน่วยกิโลวัตต์·ชั่วโมง) มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งนานกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส เท่ากับ 60 และ 90 นาที ตามลำดับ และพบว่า พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้อบแห้ง (หน่วยกิโลวัตต์·ชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งใกล้เคียงกัน โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งนานกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เท่ากับ 30 นาที ทั้งนี้ที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสคาล กระเจียบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้เท่ากับ 2.54 ± 0.06 2.27 ± 0.07 และ 2.25 ± 0.05 กิโลวัตต์·ชั่วโมง ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ยังพบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นทำให้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ต่อชั่วโมง (หน่วยวัตต์) มีค่ามากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้พลังงานไฟฟ้าถ่ายเทความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรดไกลไปยังอากาศภายในห้องอบแห้งที่มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสคาล กระเจียบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ต่อชั่วโมงเท่ากับ 461.21 ± 11.11 504.44 ± 16.02 และ 561.67 ± 12.58 วัตต์ ตามลำดับ

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้อบแห้งกระเจียบเขียว

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้อบแห้งกระเจียบเขียวแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เมื่ออบแห้งที่ความดัน 7 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิอบแห้ง 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ยมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ U. Teeboonma and S. Jongjam [9] และ S. Soros et al. [10] โดยพบว่า ที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้งเดียวกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้อบแห้งมีค่ามากขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิอบแห้งลง

อย่างไรก็ตามตารางที่ 2 พบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ยที่ใช้อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2) ทั้งนี้ที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสคาล การอบแห้งกระเจียบเขียวที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 5.62 ± 0.14 5.03 ± 0.16 และ 4.98 ± 0.11 กิโลวัตต์·ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 1 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้อบแห้งกระเจี๊ยบเขียวแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	เวลาอบแห้ง (นาท)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์·ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์·ชั่วโมง)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อ ชั่วโมง (วัตต์)	ค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ต่อชั่วโมง (วัตต์)
70	1	330	2.55	2.54 ± 0.06^a	463.64	461.21 ± 11.11^c
	2		2.47		449.09	
	3		2.59		470.91	
80	1	270	2.21	2.27 ± 0.07^b	491.11	504.44 ± 16.02^b
	2		2.35		522.22	
	3		2.25		500.00	
90	1	240	2.20	2.25 ± 0.05^b	550.00	561.67 ± 12.58^a
	2		2.24		560.00	
	3		2.30		575.00	

หมายเหตุ: อักขระต่างกันในกลุ่มเดียวกันให้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ที่ใช้อบแห้งกระเจี๊ยบเขียวแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	เวลาอบแห้ง (นาท)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์·ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำที่ระเหย (กรัม)	SEC (กิโลวัตต์·ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)	ค่าเฉลี่ยของ SEC (กิโลวัตต์·ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)
70	1	330	2.55	451.36	5.65	5.62 ± 0.14^a
	2		2.47	451.68	5.47	
	3		2.59	450.98	5.74	
80	1	270	2.21	451.10	4.90	5.03 ± 0.16^b
	2		2.35	451.35	5.21	
	3		2.25	451.59	4.98	
90	1	240	2.20	451.35	4.87	4.98 ± 0.11^b
	2		2.24	451.56	4.96	
	3		2.30	450.98	5.10	

หมายเหตุ: อักขระต่างกันในกลุ่มเดียวกันให้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.4 คุณภาพด้านสีของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้ง

ผลการทดสอบคุณภาพด้านสีของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งซึ่งแสดงเป็นค่า L^* , a^* และ b^* แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีค่าความสว่าง (ค่า L^*) และค่าสีเขียว (ค่า $-a^*$) น้อยกว่าผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (Maillard browning reaction) มากกว่า

การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ [24] ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ P. Sa-adchom et al. [25] และ R. Yamsuan et al. [26] โดยพบว่าผลิตภัณฑ์อบแห้งมีสีเข้มหรือคล้ำขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าสีเหลือง (ค่า b^*) น้อยกว่าผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามค่าสีเหลือง (ค่า b^*) ของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กับผง

กระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้กระเจี๊ยบเขียวสดมีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 22.13 ± 1.12 -29.05 ± 0.65 และ 16.62 ± 1.24 ตามลำดับ กระเจี๊ยบเขียวหลังการลวกมีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 27.52 ± 1.25 -34.49 ± 0.54 และ 13.98 ± 1.06 ตามลำดับ และกระเจี๊ยบเขียวก่อนการอบแห้งมีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 51.66 ± 1.19 -22.17 ± 0.48 และ 30.37 ± 1.21 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ยังแสดงผลการเปรียบเทียบคุณภาพด้านสีของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส กับผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด (ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ (Solar drying) และอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)) พบว่า ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าสีเขียว (ค่า $-a^*$) มากกว่าผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่าง (ค่า L^*) มากกว่าผง

กระเจี๊ยบเขียวอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) อย่างไรก็ตามค่าความสว่าง (ค่า L^*) ของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้ค่าสีเหลือง (ค่า b^*) ของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส กับผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์และอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีคุณภาพด้านสีดีกว่าผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด (ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์และอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) เนื่องจากการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลเป็นกระบวนการลดความดันในขณะอบแห้ง ทำให้น้ำในอาหารระเหยที่อุณหภูมิต่ำ และช่วยลดการสูญเสียสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้านสี [6]

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณภาพด้านสี (ค่า L^* a^* และ b^*) ของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้ง

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิอบแห้ง	L^*	a^*	b^*
ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล	70 องศาเซลเซียส	48.61 ± 1.03^a	-17.39 ± 0.53^e	24.28 ± 1.17^b
	80 องศาเซลเซียส	46.14 ± 0.92^b	-15.28 ± 0.64^d	25.50 ± 1.11^{ab}
	90 องศาเซลเซียส	42.65 ± 1.14^c	-9.98 ± 0.56^b	26.60 ± 1.05^a
ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด (อบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ (Solar drying))	-	44.45 ± 1.08^{bc}	-8.70 ± 0.61^a	23.46 ± 1.14^b
ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด (อบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying))	-	48.30 ± 1.16^a	-12.83 ± 0.58^c	24.78 ± 1.21^{ab}

หมายเหตุ: อักขระต่างกันในกลุ่มเดียวกันให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. สรุป

การอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวแบบสุญญากาศ ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิอบแห้ง 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่า กระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่ากระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ การอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีพลังงานไฟฟ้าและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่าการอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีค่าความสว่าง (ค่า L^*) และค่าสีเขียว (ค่า $-a^*$) น้อยกว่าผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสคาล คือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากได้ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่มีคุณภาพด้านสีดีที่สุด และมีพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้เท่ากับ 2.54 ± 0.06 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับการอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งมีพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้เท่ากับ 2.27 ± 0.07 และ 2.25 ± 0.05 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพด้านสีของผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส กับผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด (ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์และอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) พบว่า ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าสีเขียว (ค่า $-a^*$) มากกว่าผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์และอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่าง (ค่า L^*) มากกว่าผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ผงกระเจี๊ยบเขียวอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ของห้องอบแห้ง 7 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้ง 330 นาที มีคุณภาพด้านสีที่ดี และสามารถผลิตเพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร ตำบลไม้จาม อำเภอมะนัง จังหวัดตาก ที่ได้ให้ความร่วมมือทำงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics, *Okra*, 1st ed. Bangkok: Office of Agricultural Economics, 2020.
- [2] P. Jitjaroenrungruang, "Development of polysaccharide from okra for cosmetic products," Independent study, Dept. Cosmetic Sci., Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand, 2015.
- [3] S. Trakultaweeapat, "Study on dried basil leaf with low temperature and relative humidity," M.S. thesis, Dept. Energy Tech., King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 2017.
- [4] S. Saksuwan, "Product development of dried mango without sugar added using combined microwave and hot air drying technique," M.Eng. thesis, Dept. Energy Tech., King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 2017.
- [5] P. Sa-adchom and T. Swasdissevi, "Pork slices drying using a combined vacuum and far-infrared radiation technique," *Industrial*

- Technology Lampang Rajabhat University Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 83-97, Jan. 2014.
- [6] C. Rattanamongkol, "Drying kinetics of vacuum far-infrared drying of mango," M.Eng. thesis, Dept. Food Eng., Maejo University, Chiang Mai, Thailand, 2018.
- [7] P. Kongpootha, U. Tapai and P. Sa-adchom, "Effect of drying temperatures on charcoal briquettes drying using a combined solar energy and far-Infrared radiation dryer, and a far- infrared radiation dryer," *RMUTP Research Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 77-93, Mar. 2016.
- [8] W. Pumpha, V. Khon-ngam, S. Labuawong, P. Arwat and P. Sa-adchom, "Production of roasted chicken in jar using heat transfers from far-infrared ray," *RMUTP Research Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 85-97, Mar. 2020.
- [9] U. Teeboonma and S. Jongjam, "Ginger drying using infrared-vacuum technique," *Burapha Science Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 76-86, Jul. 2010.
- [10] S. Soros, P. Toomthong, S. Suayklang and N. Keeratiyadathanapat, "Infrared-vacuum drying machine," Research report, Dept. Agricultural Machinery, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin, Thailand, 2013.
- [11] S. Sakaew, P. Toomthong and T. Homchampa, "Drying of herbal using infrared-vacuum," Research report, Dept. Electrical Tech., Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin, Thailand, 2014.
- [12] N. Keeratiyadathanapat, A. Leetrakool and S. Srina, "Hang-rice drying by Thai jasmine rice 105 using infrared-vacuum," Research report, Dept. Mechanical Eng., Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin, Thailand, 2015.
- [13] P. Praneetpolkrang and P. Leekun, "Khlu leave tea drying using infrared-vacuum technique," Research report, Dept. Industrials Tech., Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, Thailand, 2016.
- [14] S. Thanimkarn, "Drying of *Cissus quadrangularis* Linn. using vibration assisted infrared drying under vacuum conditions," Ph.D. dissertation, Dept. Agricultural Eng., King Mongkut's Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 2019.
- [15] K. Witinantakit, N. Uengkimbuan and S. Rungsawang, "Mathematical modeling of shiitake mushroom drying using infrared-vacuum technique," *SWU Engineering Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 1-13, Sep. 2019.
- [16] W. Manangan and K. Witinantakit, "Water lily drying using pulsed vacuum-infrared combined with silica sand embedding," *Kasem Bundit Engineering Journal*, vol. 10, no. 3, pp. 84-98, Sep. 2020.
- [17] K. Witinantakit, W. Manantaphong, J. Sitranon and E. Boonthum, "The drying kinetic of ginger slices using pulsed vacuum dryer," *Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 21-31, Jan. 2021.

- [18] S. Jaekhom, K. Witinantakit and E. Boonthum, “ Herb drying using vacuum combined infrared radiation and hot air,” *Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 32-43, Jan. 2021.
- [19] C. Chucherd and N. Limtiyayothin, “ The seasoned star gooseberry baked sheet product,” Special project, Dept. Food Services Industry, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, Thailand, 2016.
- [20] N. Jorntapha and A. Sozonaumpornnara, “Production of crispy okra sheet by hot air oven dryer,” B.Sc. special project, Dept. Food Sci. & Tech., Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, Thailand, 2015.
- [21] W. Saengthongpinit, S. Thakham, P. Theptubtim and P. Fuengfu, “ Development of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) and water spinach (*Ipomoea aquatica* Var. *reptans*) sheet as a healthy snack,” in *Proceeding of the 7th NPRU National Academic Conference*, Nakhon Pathom, 2015, pp. 771-780.
- [22] AOAC, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 19th ed. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, 2019.
- [23] A. Panyayuen, J. Lek-ong, K. Kunsuwan and P. Sa-adchom, “ The study of suitable drying time and physical characteristic of pork slices dried using microwave followed by hot air,” *RMUTP Research Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 63-77, Jan. 2019.
- [24] P. Sa-adchom, T. Swasdisewi, T. Thomthong, P. Samuttharin and S. soponronnarit, “Drying of ground fish slices using superheated steam,” *RMUTP Research Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 74-86, Mar. 2013.
- [25] P. Sa-adchom, P. Supavititpatana and T. Supavititpatana, “ Effect of drying temperature on foam-mat tamarind drying using far-infrared radiation,” in *Proceeding of the 18th TSAE National Conference and the 10th TSAE International Conference*, Bangkok, 2015, pp. 277-282.
- [26] R. Yamsuan, K. Ruttarattanamongkol and R. Assavarachan, “Drying modelling and influence of temperature on physicochemical properties of soft dried pickled ginger,” *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, vol. 24, no. 1, pp. 47-57, Mar. 2018.