

อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการอบแห้งขมิ้นชันโดยใช้เทคนิคสุญญากาศ EFFECT OF TEMPERATURE ON TURMERIC DRYING USING VACUUM TECHNIQUE

วีรนุช บูรณะ^{1*}, เอกภูมิ บุญธรรม², วิริยา นิตยธีรานนท์³,

จิรวัดน์ สิตรานนท์¹, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์¹

Weeranuch Boorana^{1*}, Eakpoom Boonthum², Viriya Nitteranon³,

Jirawat Sitranon¹, Kittisak Witinantakit¹

¹สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

¹School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,

Sriracha, Chonburi, Thailand, 20110

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

³Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,

Sriracha, Chonburi, Thailand, 20110

*Corresponding author e-mail: weeranuch.boo@rmutto.ac.th

วันที่เข้ารับ 26 พฤศจิกายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ 22 มีนาคม 2567

วันที่ตอบรับบทความ 27 มีนาคม 2567

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งขมิ้นชันและคุณภาพของขมิ้นชันหลังการอบแห้ง โดยอบแห้งขมิ้นชันด้วยเทคนิคผสมผสานอินฟราเรดร่วมกับสุญญากาศที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa และอุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 °C จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อการลดความชื้นของขมิ้นชัน ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง โดยการอบแห้งขมิ้นชันที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 627.2% d.b. จนมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 11.80 %d.b. ที่อุณหภูมิต่ำที่ 70 °C จะใช้เวลาอบแห้งน้อยที่สุด 180 min และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด 1.7 MJ/g_{water evaporated} สำหรับด้านคุณภาพพบว่า เมื่ออุณหภูมิต่ำที่สูงขึ้นขมิ้นชันจะมีค่าความสว่างและสีแดงเพิ่มขึ้น แต่สีเหลืองมีค่าลดลง และที่อุณหภูมิต่ำที่ 50 °C จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมน้อยที่สุด ส่วนปริมาณน้ำอิสระมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทุกการทดลอง นอกจากนี้ที่อุณหภูมิต่ำที่ 60 °C ขมิ้นชันมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (IC₅₀=0.82 mg/ml) และปริมาณฟีนอลิกรวมทั้งหมดสูงสุด 155.83 mgGAE/g

คำสำคัญ: การอบแห้ง, ขมิ้นชัน, สุญญากาศ, อุณหภูมิ

Abstract

The objective of this research is to study the drying kinetics and qualities of dried turmeric. Turmeric was dried by combining infrared and vacuum at an absolute pressure of 10 kPa and at temperatures of 40, 50, 60, and 70 °C, respectively. Turmeric had an initial moisture content of 627.2 %d.b. and a final moisture content of 11.80 %d.b. The increase in the drying temperature resulted in a decrease in drying time and specific energy consumption. At a drying temperature of 70 °C, the shortest drying time was 180 minutes, and the lowest specific energy consumption was 1.7 MJ/g water evaporated. In terms of qualities, increasing the drying temperature resulted in the lightness and redness increasing while the yellowness decreased. At a drying temperature of 50 °C, the entire color difference was minimal. However, the water activity was within the standard criteria in all experiments. Moreover, at a drying temperature of 60 °C, dried turmeric had the highest antioxidant ($IC_{50}=0.82$ mg/mL) and the highest total phenolic content of 155.83 mg GAE/g.

Keywords: Drying, Turmeric, Vacuum, Temperature

1. บทนำ

ขมิ้นหรือขมิ้นชัน มีชื่อสามัญ Turmeric ชื่อวิทยาศาสตร์ *Curcuma longa* linn. จัดอยู่ในวงศ์ขิง Zingiberaceae ขมิ้นชันมีประโยชน์ต่อสุขภาพมาก ส่วนใหญ่ปลูกในเขตร้อนและภูมิภาคกึ่งเขตร้อนของโลก (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดสุรินทร์, 2563) ขมิ้นชันถือเป็น 1 ในพืชสมุนไพรเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีความนิยมทั้งในและต่างประเทศ ในแถบเอเชียใต้และตะวันออกเฉียงใต้ เช่น เนปาล อินเดีย บังคลาเทศ ศรีลังกา และอินโดนีเซีย ส่วนใหญ่ใช้เป็นยารักษาโรคและใช้ในการประกอบอาหารตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (ชัชวาล, 2558) ขมิ้นชันมีคุณสมบัติที่ทางการแพทย์ใช้ในการรักษาโรค เช่น โรคกระเพาะอาหาร สมานแผลต่างๆ และยังช่วยให้ร่างกายมีความแข็งแรงมีภูมิคุ้มกันต้านทานโรคไม่ให้อายุเจ็บป่วยได้ง่าย และยังเป็นสารแต่งสี สารปรุงแต่งรส และสารกันบูดในอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้ยังพบว่าขมิ้นชันมีฤทธิ์ต่อเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์เอ ในการป้องกันไม่ให้เชื้อเข้าเซลล์ ยับยั้งการแบ่งตัวของเชื้อไวรัส และช่วยยับยั้งการหลั่งสารอักเสบ ในส่วนของการศึกษาในหนูทดลองพบว่าขมิ้นชันช่วยลดการอักเสบของปอดที่ติดเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์เอ และช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกัน ทั้งนี้จากการจำลองภาพสามมิติในคอมพิวเตอร์ พบว่าสารสำคัญของขมิ้นชัน และ Dimethoxy curcumin สามารถแย่งจับกับตำแหน่งของไวรัสที่จะเข้าสู่เซลล์ปอด และตำแหน่งที่มีผลยับยั้งการแบ่งตัวของไวรัสได้ (สุภาภรณ์ และคณะ, 2563)

ไขมันชั้นมีอายุในการปลูก 9-12 เดือน จึงจะทำการเก็บเกี่ยวนำมาแปรรูปเพื่อเก็บรักษาคุณภาพไว้ให้ใช้ได้นาน ด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้ เช่น การทำแห้ง การสกัดเอาสารสกัด และการกลั่นน้ำมันหอมระเหย โดยการทำแห้งนั้นทำได้หลายวิธีการ เช่น การตากแดดธรรมชาติ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมอินฟราเรด เป็นต้น (ปาริชาติ และคณะ, 2564)

ข้อดีของการอบด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมอินฟราเรดสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นลง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่ำกว่าการอบแห้งด้วยวิธีอื่นๆ และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสีที่คงความสดได้มากที่สุด และนอกจากนี้การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่ให้ความร้อนอย่างรวดเร็วและแผ่รังสีอย่างสม่ำเสมอทำให้ได้อัตราการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นเพราะว่ารังสีอินฟราเรดสามารถทะลุทะลวงเข้าไปยังภายในเนื้อของวัสดุ ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอน้ำและแพร่ออกไปยังผิวของวัสดุได้ง่ายและผิวของวัสดุยังคงสภาพเดิม (วรวิมล และกิตติศักดิ์, 2563) และ ญัฐพล (2560) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งไขมันชั้นด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมอินฟราเรด พบว่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและกำลังของอินฟราเรด โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิและกำลังอินฟราเรดสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น

จากข้อได้เปรียบที่กล่าวมานี้จึงมีแนวคิดที่จะอบแห้งไขมันชั้นด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมอินฟราเรด เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งไขมันและสมบัติของไขมันชั้นหลังอบแห้งซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของไขมันให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

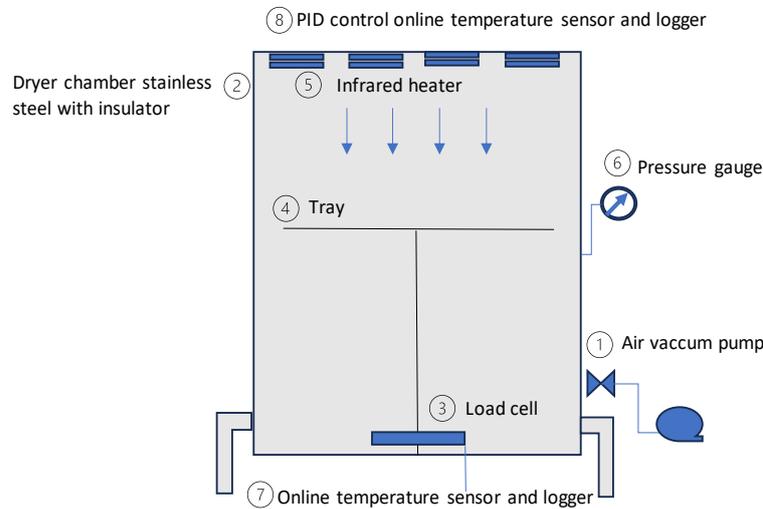
2.1 เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งไขมันชั้นด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมอินฟราเรด

2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพของไขมันชั้นหลังการอบแห้ง ได้แก่ สี ปริมาณน้ำอิสระ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกรวม

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

วัสดุทดลองคือไขมันชั้นพันธุ์ด้วง อายุเก็บเกี่ยว 9-15 เดือน จากแหล่งเพาะปลูกโซนภาคเหนือ ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa และอุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 °C โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานหรือวิธีการทดลองดังนี้

3.1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด

เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดระดับห้องปฏิบัติการ ดังภาพที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

1. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ยี่ห้อ Busch รุ่น PB 0008 B ขนาดมอเตอร์ 0.35 kW ทำความดันสุญญากาศสมบูรณ์ได้ถึง 0.2 kPa
2. ตู้อบแห้งสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm และความสูง 60 cm
3. อุปกรณ์ตรวจวัดน้ำหนัก (Load cell) ขนาด 5 kg ความละเอียดของค่าแรงดันเอาต์พุต 1 mV/V ค่าความแม่นยำ Overall precision ร้อยละ 0.02 ของค่าเต็มสเกล
4. ตะแกรงรองวางวัสดุ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 cm
5. หลอดอินฟราเรด ยี่ห้อ Infrapara รุ่น A-1-220 ขนาด 250 W จำนวน 4 หลอด
6. มาตรวัดความดันสุญญากาศแบบ digital ยี่ห้อ Panasonic รุ่น DP-100 อ่านค่าได้ละเอียด -100 kPa ถึง 100 kPa
7. เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ Graphtec midi logger รุ่น GL200 ค่าความแม่นยำร้อยละ ± 0.01 ของค่าเต็มสเกล
8. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบ PID ความละเอียด ± 0.01 °C ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ช่วงวัดอุณหภูมิ -200 °C ถึง 1250 °C ค่าความผิดพลาด -0.05 °C ถึง 0.04 °C

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 นำขมิ้นชันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 mm ล้างทำความสะอาดและแช่ในคลอรีนความเข้มข้น 5 ppm เป็นเวลา 10 min เพื่อฆ่าเชื้อโรคและยับยั้งการเกิดเชื้อรา พักไว้ให้แห้งประมาณ 15-20 min

3.2.2 หั่นขมิ้นชันตามขวางความหนาประมาณ 5 mm แล้วนำมาวางเรียงบนตะแกรงกลมไม่ให้ขมิ้นชันซ้อนกัน ให้ขมิ้นชันมีน้ำหนักประมาณ 200 g

3.2.3 นำถาดที่วางขมิ้นชันเข้าเครื่องอบสูญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและอุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 °C ที่ความดันสมบูรณ์ 10 kPa คงที่ จากนั้นทำการบันทึกน้ำหนักของขมิ้นชัน ทุกๆ 15 min โดยใช้ Load cell ในการบันทึกค่า เมื่อได้ความชื้นสุดท้ายตามที่กำหนด ก็ปิดเครื่องอบแห้งแล้วบันทึกน้ำหนักหลังการอบแห้ง ทำซ้ำในแต่ละเงื่อนไข 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.3 ความชื้นของขมิ้นชัน หาได้โดยนำขมิ้นชันไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 hr (AOAC, 2000) เพื่อหาน้ำหนักแห้งของขมิ้นชันแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้น ดังสมการที่ (1)

$$M_d = \frac{w - d}{d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%d.b.)

w คือ น้ำหนักของขมิ้นชันสด (g)

d คือ น้ำหนักขมิ้นชันแห้ง (g)

อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นต่อหน่วยเวลา ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2) (Su *et al.*, 2020)

$$DR = \frac{M_t - M_{t+1}}{\Delta t} \quad (2)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง ($g_{\text{water}}/g_{\text{dry solids min}}$)

M_t คือ ปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ ($g_{\text{water}}/g_{\text{dry}}$)

Δt คือ ความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (min)



3.4 การทดสอบคุณภาพด้านสี ทดสอบสีแบบ $L^* a^* b^*$ โดยใช้แสง Day light ที่ 6,500 K ในการวัดสี ด้วยเครื่องมือวัดสี Portable colorimeter รุ่น NH300 ยี่ห้อ 3 nh จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำสีผลิตภัณฑ์ก่อนการอบแห้งและหลังจากอบแห้งมาเปรียบเทียบกับ เพื่อดูว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งที่สภาวะใดมีค่า ΔE น้อยที่สุด ซึ่งจะถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีใกล้เคียงกับไขมันชั้นก่อนอบแห้งมากที่สุด ดังสมการที่ (3)

$$\Delta E = [(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2]^{1/2} \quad (3)$$

เมื่อ ΔE	คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม
L^*_1, L^*_2	คือ ค่าความสว่างของไขมันชั้นก่อนอบและหลังอบแห้ง
a^*_1, a^*_2	คือ ค่าความเป็นสีแดง หรือเขียว ของไขมันชั้นก่อนอบและหลังอบแห้ง
b^*_1, b^*_2	คือ ค่าความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน ของไขมันชั้นก่อนอบและหลังอบแห้ง

3.5 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) คือ อัตราส่วนระหว่างความดันไอของน้ำในวัสดุต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ หากมีมากจะทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ในวัสดุนั้น ๆ การลดปริมาณน้ำอิสระให้มีค่าน้อยกว่า 0.6 จะช่วยยืดอายุการเก็บของวัสดุได้ สามารถวัดปริมาณน้ำอิสระได้โดยใช้เครื่อง Pre aqua lab water activity analyzer ทำการวัดโดยหั่นวัสดุเป็นชิ้นเล็กๆ เอาเข้าเครื่อง รอจนแสดงค่าปริมาณน้ำอิสระแล้วบันทึกผลการทดลอง โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอบแห้ง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$SEC = 3.6 \left(\frac{E_{infrared} + E_{vacuum}}{m_w} \right) \quad (4)$$

เมื่อ SEC	คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/g)
$E_{infrared}$	คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับหลอดอินฟราเรด (kWh)
E_{vacuum}	คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับปั๊มสุญญากาศ (kWh)
m_w	คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อวัสดุ (g)

3.7 สารสกัดของขมิ้นชัน โดยนำขมิ้นชันมาบดเป็นผงด้วยเครื่องปั่นแล้วกรองด้วยตะแกรงละเอียด จะได้ขมิ้นชันบดผงแล้วจึงนำไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 5 g ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำตาลละลายเอทานอล 10 ml นำไปแช่ในอ่างสงคลื่นความถี่สูงด้วยความถี่ 40% เป็นเวลา 15 min จากนั้นทิ้งไว้ 24 hr แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงโดยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง 10,000 rpm เป็นเวลา 10 min ที่อุณหภูมิ 25 °C (วัชรนนท์ และคณะ, 2563)

3.8 สารต้านอนุมูลอิสระ (Sonkaew *et al.*, 2012) การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH assay DPPH หรือ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl มีสถานะเป็นอนุมูลอิสระ (DPPH) ที่มีความคงตัวโดยสภาพธรรมชาติ เมื่อ DPPH อยู่ในรูปสารละลายใน absolute ethanol จะมีสีม่วงและเมื่อทำปฏิกิริยากับสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะทำให้สีม่วงของสารละลาย DPPH จางลงจนเป็นสีเหลืองอ่อนและไม่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 nm จากนั้นบ่มตัวอย่างที่ต้องการทดสอบที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 1 mg/ml ละลายในสารละลาย DPPH ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 min วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 nm ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อนำไปคำนวณความเข้มข้นที่ยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ 50% (IC₅₀) โดยเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งจากสารละลายมาตรฐานแกลลิก และหาค่า IC₅₀ ซึ่งค่า IC₅₀ มาจากคำว่า 50% Inhibition of DPPH คือ ค่าความเข้มข้นที่สารนั้นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระที่ 50% ดังสมการที่ (5) (แพรวพรรณ และคณะ, 2564) ถ้า IC₅₀ มีค่าน้อยแสดงว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง แต่ถ้า IC₅₀ มีค่ามากแสดงว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำ

$$\% \text{ Inhibition of DPPH} = (1 - (A_{\text{simple}} / A_{\text{control}})) \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ % inhibition of DPPH คือ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (%)

A_{simple} คือ ค่าการดูดกลืนแสงสารละลายตัวอย่าง

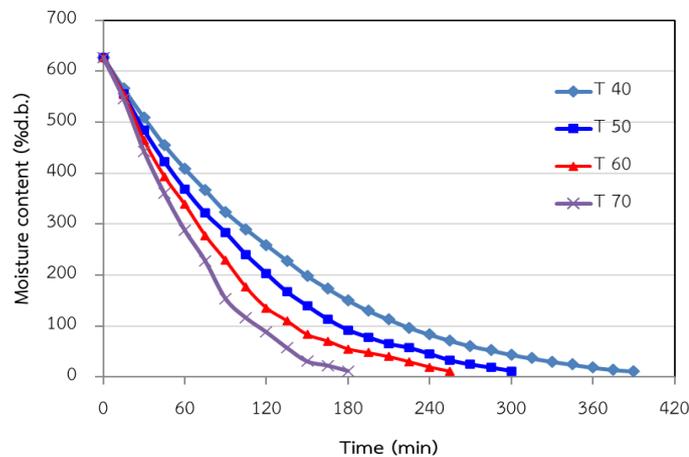
A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH

3.9 การหาปริมาณฟีนอลิกรวม (Total phenolic content) (Vieira &, Lemos-Senna, 2020) ด้วยวิธี Folin-Ciocalten colorimetric โดยใช้กรดแกลลิกเป็นมาตรฐาน ใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 nm นำไปสร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.025 0.05 0.1 และ 0.2 mg/l ตามลำดับ แล้วนำไปหาปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสกัดของขมิ้นชันที่อุณหภูมิต่างๆ (แพรวพรรณ และคณะ, 2564)

4. ผลการวิจัย

4.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

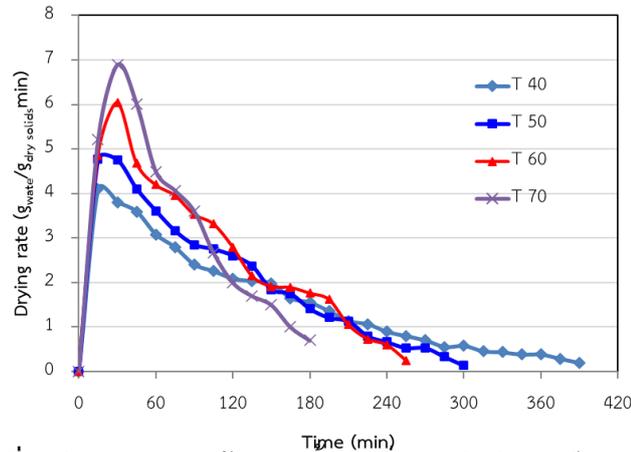
การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศ ร่วมกับอินฟราเรดที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 °C โดยขมิ้นชันมีน้ำหนักเริ่มต้นในการอบแห้ง 200 g ความชื้นเริ่มต้น 627.2 %d.b. บันทึกน้ำหนักทุกๆ 15 min จนกระทั่งน้ำหนักของขมิ้นชันไม่มีการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยความดันสัมบูรณ์ 10 kPa

จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของขมิ้นชันมีการลดลงที่ต่างกัน โดยในช่วงสองชั่วโมงแรกความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะค่อยลดลงจนสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น น้ำจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุแล้วระเหยออกจากวัสดุได้เร็วขึ้นส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง ดังภาพที่ 2 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงความชื้นมาตรฐานเทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งสอดคล้องกับการอบแห้งซึ่งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดของ อำไพศักดิ์ และศักชัย (2553) ซึ่งพบว่าอัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาอบแห้ง โดยความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง จึงเกิดการถ่ายเทความชื้นออกจากเนื้อผลิตภัณฑ์สู่ห้องอบอย่างรวดเร็ว และหลังจากนั้นความชื้นจะค่อยๆ ลดลงจนคงที่ และจากผลการทดลองดังกล่าวจะสอดคล้องกับภาพที่ 3 ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C จะใช้เวลาอบแห้งน้อยที่สุดคือ 180 min ซึ่งสอดคล้องกับการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมอินฟราเรดของ ณัฐพล (2560) พบว่า

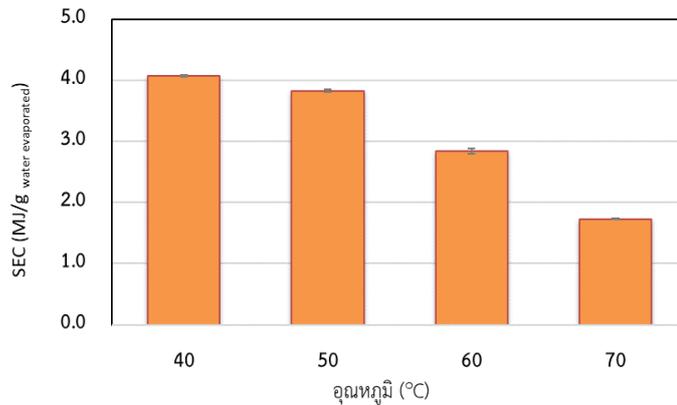
อัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กัอุณหภูมิและกำลังของอินฟราเรด โดยที่การอบแห้งที่อุณหภูมิและกำลังอินฟราเรดสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3 อัตราการอบแห้งของขมิ้นชันที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa

4.2 ความสิ้นเปลืองของพลังงานจำเพาะในการอบแห้งขมิ้นชัน

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด พบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิตั้งแต่ 40 °C ถึง 70 °C เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 390 300 225 และ 180 min ตามลำดับ และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 4.1 3.8 2.8 และ 1.7 MJ/g_{water evaporated} ตามลำดับ ดังภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิตั้งแต่ 40 °C ถึง 70 °C ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น และน้ำระเหยออกจากวัสดุได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยลง สอดคล้องกับการศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมอินฟราเรดของ ณัฐพล (2560) พบว่า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มกำลังอินฟราเรด แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อน ขณะที่การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการอบแห้งอื่น ๆ



ภาพที่ 4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งไขมันชั้นด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด

4.3 คุณภาพสีและปริมาณน้ำอิสระ

จากการทดลองพบว่าปริมาณน้ำอิสระที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ ไม่เกิน 0.6 ดังตารางที่ 1 ซึ่งเชื่อว่าไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (ดวงกมล และคณะ, 2548) และ การทดสอบสีด้วยเครื่องวัดสี Portable colorimeter รุ่น NH300 ยี่ห้อ 3nh โดยทำการตรวจวัดค่าความสว่างและมีด L* ค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว a* และค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาล b* ของไขมันชั้นก่อนและหลังอบแห้งดังภาพที่ 5 และตารางที่ 1 พบว่าอุณหภูมิและเวลาส่งผลต่อคุณภาพสีของไขมันดังนี้

จากผลการทดลองพบว่าค่าความสว่าง (L*) ของไขมันสด มีค่า 51.84 เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ค่าความสว่างเพิ่มสูงขึ้น สูงที่สุดคือ 62.39 และค่อยๆ ลดลงเป็น 57.47 55.27 และ 54.38 ที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 °C ตามลำดับ แสดงว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าความสว่างยิ่งอุณหภูมิในการอบแห้งสูงค่าความสว่างจะลดลง ส่วนค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลืองของไขมันชั้นสดมีค่าเท่ากับ 34.51 และ 53.68 ตามลำดับ เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ค่าสีแดงลดลงเป็น 25.96 24.65 23.45 และ 22.78 และค่าสีเหลืองลดลงเป็น 52.92 47.13 43.54 และ 43.24 ที่อุณหภูมิต่างกัน 40 50 60 และ 70 °C ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อคุณภาพสีของไขมันชั้นทำให้ไขมันมีสีคล้ำขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา จลนพลศาสตร์และคุณภาพชั้นกล้วยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดของ ณัฐภัค และกิตติศักดิ์ (2564) ที่พบว่าการใช้ระยะเวลาอบแห้งที่นานขึ้นมีผลทำให้ชั้นกล้วยมีสีคล้ำขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลชนิดที่เกิดจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับค่าความแตกต่างของสีโดยรวมของไขมันชั้นเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่ามากที่สุดคือ 14.92 และความแตกต่างของค่าสีนี้ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งเป็น 50 °C ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดคือ 12.62 ดังตารางที่ 1



ก) ขมิ้นชันสด



ข) อุณหภูมิ 40 °C



ค) อุณหภูมิ 50 °C



ง) อุณหภูมิ 60 °C



จ) อุณหภูมิ 70 °C

ภาพที่ 5 คุณภาพสีของขมิ้นชันหลังจากอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด

ตารางที่ 1 คุณภาพสีและปริมาณน้ำอิสระที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ

เงื่อนไขการทดลอง	ความชื้น (%d.b.)	ค่าสี				ปริมาณน้ำอิสระ (a _w)
		L*	a*	b*	ΔE	
ขมิ้นสด	-	51.84±1.51 ^d	34.51±1.14 ^a	53.68±2.44 ^a	N/A	N/A
40 °C	11.20	62.39±3.75 ^a	25.96±1.73 ^b	52.92±2.70 ^a	14.92±0.57 ^a	0.60±0.01 ^c
50 °C	11.90	57.47±4.00 ^b	24.65±2.08 ^{bc}	47.13±4.60 ^b	12.62±0.45 ^b	0.52±0.03 ^b
60 °C	11.20	55.27±3.35 ^{bc}	23.45±1.72 ^{cd}	43.54±3.30 ^c	13.02±0.58 ^{ab}	0.35±0.05 ^a
70 °C	11.80	54.38±4.68 ^{cd}	22.78±1.74 ^d	43.24±3.26 ^c	13.74±0.66 ^{ab}	0.46±0.01 ^b

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

4.4 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารฟีนอลิกรวมทั้งหมด

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผลการทดลองดังตารางที่ 2 พบว่าที่ไขมันชั้นที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศร่วมกับอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 60 °C มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ($IC_{50}=0.82$ mg/ml) ซึ่งมีค่า IC_{50} น้อยที่สุดแสดงว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงและคงสภาพของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นมีผลต่อค่า IC_{50} ที่เพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 40 และ 50 °C คือ 1.00 และ 1.11 mg/ml ตามลำดับ และมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงกว่า 50 °C และจากการทดสอบหาปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric ซึ่งใช้กรดแกลลิกเป็นมาตรฐาน พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในไขมันชั้นที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 °C มีปริมาณสารฟีนอลิกรวมสูงที่สุด 155.83 mgGAE/g แสดงว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศร่วมกับอินฟราเรดที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลต่อการลดลงของสารฟีนอลิก ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Wanyo *et al.* (2011) ที่พบว่าการอบแห้งใบหม่อนด้วยอินฟราเรด อุณหภูมิอบแห้งส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิก และจากการศึกษาของ ชมพูนุช และคณะ (2560) สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังจากให้ความร้อน เนื่องจากความร้อนไปทำลายผนังเซลล์ของพืช แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C สารฟีนอลิกมีค่าลดลง อาจเป็นเพราะอุณหภูมิอบแห้งที่สูงเกินไปส่งผลให้ฟีนอลิกสลายตัว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shiyu *et al.* (2023) ที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นสารประกอบฟีนอลิกจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญหรือลดลงเล็กน้อยอาจเป็นเพราะการย่อยสลายของเซลล์

ตารางที่ 2 IC_{50} และปริมาณสารฟีนอลิกรวมทั้งหมดของสารสกัดไขมัน ที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	IC_{50} (mg/ml)	ปริมาณฟีนอลิกรวม (mgGAE/g)
40	1.00 ± 0.03^b	129.47 ± 1.16^b
50	1.11 ± 0.03^b	119.32 ± 0.49^a
60	0.82 ± 0.01^a	155.83 ± 2.39^c
70	1.08 ± 0.02^b	125.44 ± 1.92^{ab}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการอบแห้งไขมันชั้นหั่นแว่นหนาประมาณ 5 mm ด้วยเทคนิคอุณหภูมิอากาศร่วมกับอินฟราเรดที่ความดันสัมบูรณ์คงที่ 10 kPa และอุณหภูมิอบแห้ง 40 50 60 และ 70 °C พบว่าอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งไขมันชั้น โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งอัตราการ

อบแห้งก็เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งลดลง นอกจากนี้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นยังส่งผลต่อคุณภาพสีโดยค่าความสว่าง สีแดง และสีเหลืองจะมีค่าลดลง แต่ค่าความสว่างหลังอบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองจะมีค่ามากกว่าขมิ้นชันสด ซึ่งค่าความแตกต่างของสีโดยรวมจะมีน้อยที่สุดที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C ส่วนปริมาณน้ำอิสระมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือไม่เกิน 0.6 ทุกเงื่อนไขการทดลอง

เมื่อพิจารณาด้านคุณภาพของขมิ้นชันหลังอบแห้งสรุปได้ว่าการอบแห้งขมิ้นชันโดยใช้เทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่ความดันสัมบูรณ์คงที่ 10 kPa อุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมคือ 60 °C เนื่องจากมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมไม่สูงมากคือ 12.62 มีค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ($IC_{50}=0.82$ mg/ml) และปริมาณสารฟีนอลิกรวมสูงที่สุด 155.83 mgGAE/g

จากผลการทดลองที่กล่าวมาสามารถใช้เป็นแนวทางในการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด เพื่อลดเวลาและสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งโดยที่ผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันหลังอบแห้งมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งขมิ้นชันระดับอุตสาหกรรมได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- ชมพูนุช อุทัยรัตน์, เอกรัตน์ ศรีสุข และกล่าวขวัญ ศรีสุข. (2560). ผลของสภาวะต่างๆ ของการอบแห้งและการสกัดต่อปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผลปอกะบิด. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 22(1), 151-165.
- ชัชวาล ช่างทำ. (2558). คุณประโยชน์และฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายของสมุนไพรขมิ้นชัน. 94 ว. *วิทย. เทคโนโลยี. หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, 1(2). 94-109.
- ณัฐพล กระจำง. (2560). การอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมอินฟราเรด. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- ณัฐภาค อิมเอิบ และกิตติศักดิ์ วิจิรัตน์กิตต์. (2564). การศึกษาจลนพลศาสตร์และคุณภาพขึ้นกล้วยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 16(3), 24-36.

- ดวงกมล แก้วพิมพา, นิตารัตน์ ตามสมัคร และสุรัตน์ สุขต่อ. (2548). **การปฏิบัติเบื้องต้นในการลดความชื้นของเห็ดหอมด้วยสารละลายเกลือแกงเพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด.** (ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ปาริชาติ ราชมณี, สุธิดา พิทักษ์วินัย, วาณิช นิลนนท์, และวุฒิไกร บัวแก้ว. (2564). **จลนพลศาสตร์การอบแห้งขมิ้นชันแบบชั้นบางด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 17(2), 1686-1689.**
- แพรวพรรณ บุญนวม, นุรมา กาแบ, รัยมี หะยิมะสาและ, วิทวัส หมาดอี, ปิยะนุช สุวรรณรัตน์ และ กุสุมาลย์ น้อยผา. (2564). **การศึกษาสารพฤษเคมีเบื้องต้น ปริมาณฟีนอลิก และสารฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกระชายขาว เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สบูู่กระชาย. วารสารวิจัยและพัฒนาระบบสุขภาพ, 14(3), 152-165.**
- วรวิภา มาณงาม และกิตติศักดิ์ วิธินันท์กิตต์. (2563). **การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์และอินฟราเรดร่วมกับการฝังในซิลิกาทราย. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 10(3), 84-98.**
- วัชรนนท์ แก้วยัง, กฤตนน วงศ์มิตรวาทิ และโฆษะ โฆษิตวรวิภา. (2563). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์มาร์กหน้าจากสารสกัดธรรมชาติขมิ้นชัน. (โครงการวิจัยทางเภสัชศาสตร์). มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.**
- สุภาภรณ์ ปิติพร, ผกากรอง ขวัญข้าว, อาสาฬหา เซาว์เจริญ, ณัชชา เต็งเต็มวงศ์, เบญจวรรณ หมายมั่นจันทิมา สุวรรณ และฐานิตา บุญเชิด. (2563). **อาหารสมุนไพรเสริมภูมิคุ้มกัน ในภาวะที่มีการระบาดของโควิด-19.** ค้นจาก https://www4.fisheries.go.th/local/file_announce/202107211106511_announce.pdf
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสุรินทร์. (2563). **ขมิ้น สรรพคุณและประโยชน์ของขมิ้นชัน.** ค้นจาก https://www.opsmoac.go.th/surin-local_wisdom-preview-422891791843
- อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และศักดิ์ชัย จงจำ. (2553). **การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 15(2), 76-86.**
- AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). (2000). **Official Methods of Analysis. At the Association of Official Analytical Chemists (17th ed).** Maryland: Gaithersburg.
- Su, D., Lv, W., Wang, Y., Wang, L., & Li, D. (2020). Influence of microwave hot-air flow rolling dry-blanching on microstructure, water migration and quality of pleurotus eryngii during hot-air drying. **Food Control, 114.**



- Shiyu, Z., Bo W., Weiqiao, L., & Yiran, W. (2023). Antioxidant activities of curcumin and ascorbyl dipalmitate nanoparticles and their activities after incorporation into cellulose-based packaging films. **Journal of food chemistry**. 404(23), 134741.
- Sonkaew, P., Sane, A., & Suppakul, P. (2012). Antioxidant activities of curcumin and ascorbyl dipalmitate nanoparticles and their activities after incorporation into cellulose-based packaging films. **Journal of agricultural and food chemistry**. 60(21), 5388-5399.
- Vieira, E.S., & Lemos-Senna, E. (2020). Application of a new validated HPLC-PDA method for simultaneous determination of curcumin and melatonin in hyaluronic acid-coated nanoemulsions. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. 31(3), 467-475.
- Wanyo, P., Siriamornpun, S. & Meeso, N., (2011). Improvement of quality and antioxidant properties of dried mulberry leaves with combined far-infrared radiation and air convection in Thai tea process. **Food and Bioproducts Processing**. 89, 22-30.