



การพัฒนากระบวนการผลิตใบหม่อนแห้งซึ่งดื่มด้วยการอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมลมร้อน Development of Production Process of Dried Mulberry Leaf for Infusion Using a Combined Infrared and Hot Air Drying

สุทธิดา กันวะนา¹ หยาดฝน ทนงการกิจ^{1*} และ ปรีญ คงกระพัน²
Suttida Kunvana¹, Yardfon Tanongkankit^{1*} and Parin Khongkrapan²

¹ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Faculty of Engineering and Argo-Industry, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290. Thailand

² School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290. Thailand

*Corresponding Author, e-mail: yardfon@mju.ac.th

(Received: Apr 11, 2020; Revised: Jul 19, 2020; Accepted: Jan 29, 2021)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ในส่วนแรกทำการศึกษาผลของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70°C ต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของใบหม่อนแห้ง ในส่วนที่สองทำการศึกษาผลของการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่กำลัง 250 500 และ 750 วัตต์ ร่วมลมร้อนต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของใบหม่อนแห้ง จากนั้นในส่วนที่สามทำการศึกษาความสัมพันธ์ของพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง โดยผลการศึกษาในส่วนที่ 1 พบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของใบหม่อนแห้งมีค่าดีที่สุด ดังนั้นการศึกษาส่วนที่ 2 คือ การอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมลมร้อนจะทำการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนไว้ที่ 50°C โดยผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งที่กำลังอินฟราเรด 750 วัตต์ร่วมลมร้อนอุณหภูมิ 50°C ส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและค่าสีของใบหม่อนแห้งมีค่าใกล้เคียงกับใบหม่อนสดมากที่สุด นอกจากนี้ผลการทดลองส่วนที่สามพบว่า การอบแห้งอินฟราเรดร่วมลมร้อนมีค่าความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่กำลัง 750 วัตต์ ร่วมลมร้อนอุณหภูมิ 50°C เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ : การอบแห้ง จลนพลศาสตร์ พลังงานจำเพาะ สารต้านอนุมูลอิสระ อินฟราเรด

Abstract

The study was divided into three parts. In the first part, the effect of hot air drying temperatures at 50, 60 and 70°C on drying kinetics, physical and chemical properties of the dried samples were investigated. In the second part, the effect of the infrared drying at powers of 250, 500 and 750 W combined with hot air drying on drying kinetics, physical and chemical properties of the dried samples were performed. In the third part, the study focused on determination of the specific energy consumption used for drying at various drying conditions. The results of the first study showed that hot air drying at 50°C exhibited the highest total phenolic content and antioxidant activity of the dried mulberry leaves. Therefore, in the second part, the study was conducted by infrared drying at 250, 500 and 750 W combined with hot air drying at the controlled temperature of 50°C. When considering the physical and chemical properties of the dried mulberry leaves, it was found that drying at the infrared power of 750 W combined with hot air at 50°C provided the most similar total flavonoid content, antioxidant activity and color values to the fresh mulberry leaves. Moreover, the results in the third part showed that the combined infrared and hot air drying exhibited lower specific energy consumption than hot air drying.

Overall results, it therefore could be concluded that the infrared drying at 750 W combined with hot air drying at 50°C was the most suitable condition.

Keywords: Antioxidants, Drying, Infrared, Kinetics, Specific energy

บทนำ

หม่อนเป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกกันมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในอดีตใบหม่อนถูกนำไปใช้เลี้ยงไหมเป็นหลัก แต่ในปัจจุบันมีการนำใบหม่อนมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารเสริมมากขึ้น เช่น ทำเป็นเครื่องดื่มเพื่อบำรุงสุขภาพในรูปแบบของผงชงดื่ม เนื่องจากใบหม่อนมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ (Limsettho, 2014, p. 47) ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง โรคภูมิแพ้ และโรคโลหิตจาง (Booranasuksakul *et al.*, 2019, pp. 237-242) โดยทั่วไปกระบวนการผลิตใบหม่อนผง เริ่มจากการนำใบหม่อนสดมาล้างแดดเป็นเวลายาวนาน 1 วันหรืออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70-80°C เป็นเวลา 7-8 ชั่วโมง จนมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10 ฐานเปียก ซึ่งความชื้นที่ลดลงทำให้จุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์มีการเจริญเติบโตช้าจึงเป็นการช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์ จากนั้นบดใบหม่อนแห้งเป็นผงและบรรจุใส่ถุงชาเพื่อจำหน่าย แต่อย่างไรก็ตามการลดความชื้นใบหม่อนด้วยวิธีเหล่านี้จะใช้เวลาและส่งผลให้สารต้านอนุมูลอิสระสลายตัวไปเนื่องจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำให้มีต้นทุนด้านพลังงานและแรงงานที่สูง ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการนำรังสีอินฟราเรด (IR) มาประยุกต์ใช้เพื่อลดเวลาในการอบแห้งและรักษาคุณภาพของผลผลิตให้ใกล้เคียงกับของสด เนื่องจาก IR สามารถทะลุผ่านเนื้อวัสดุทำให้โมเลกุลของน้ำสั่นและเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วจึงลดเวลาในการอบแห้งลง โดยยังคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ (Tirawanichakul *et al.*, 2013, pp. 311-314) ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้ IR ในการอบแห้งสามารถลดเวลาและพลังงานในกระบวนการผลิตได้ เช่น Tirawanichakul *et al.* (2013, pp. 311-314) ได้ทำการศึกษารอบแห้งใบบวบกับด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50-70°C และ IR ที่กำลัง 500-1500 วัตต์ พบว่าการอบแห้งใบบวบด้วย IR มีอัตราการอบแห้งสูงกว่า ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยที่คะแนนการยอมรับโดยรวมจากการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของใบบวบที่อบแห้งด้วยลมร้อนและ IR มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ Posri *et al.* (2016, pp. 325-334) ได้ทำการศึกษารอบแห้งสาหร่ายเตาด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วม IR ที่อุณหภูมิผิวสาหร่าย 60-80°C พบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับ IR มีอัตราการอบแห้งสูงกว่า แต่มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยที่ค่าสีของสาหร่ายเตาที่อบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับ IR ใกล้เคียงกับค่าสีของสาหร่ายเตาสดมากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการลดความชื้นเป็นกระบวนการทางความร้อนซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อัตราการอบแห้ง เวลาการอบแห้ง และพลังงานที่ใช้ในการผลิตยังขึ้นอยู่กับแหล่งความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนั้นการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิการอบแห้งและวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70°C ต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของใบหม่อน
2. เพื่อศึกษาผลของการอบแห้งด้วยอินฟราเรด (IR) ที่กำลัง 250 500 และ 750 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสม (จากผลการทดลองในส่วนที่ 1) ต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของใบหม่อน
3. เพื่อศึกษาหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

นำใบหม่อนสด พันธุ์ริรัมย์ ที่มีความอ่อนแก่ปานกลาง โดยพิจารณาจากค่าสีของใบหม่อนสดที่มีค่า L^* เท่ากับ 42.95 ± 2.56 ค่า a^* เท่ากับ -8.46 ± 0.49 และค่า b^* เท่ากับ 24.70 ± 0.83 จากศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ จังหวัดเชียงใหม่ มาล้างด้วยน้ำให้สะอาด และตัดให้มีขนาด 1×4 เซนติเมตร

2. การศึกษาการอบแห้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษาสามารถใช้แหล่งพลังงานความร้อนได้ 2 แหล่ง คือลมร้อนจากขดลวดไฟฟ้าและจากหลอดรังสีอินฟราเรด (IR) โดยประกอบด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน (Binder, รุ่น FD 115, เยอรมัน) ขนาด 55×55×38.5 เซนติเมตร ภายในห้องอบแห้งมีหลอด IR กำลัง 250 วัตต์ จำนวน 3 หลอด โดยมีระยะห่างระหว่างหลอดกับวัสดุเท่ากับ 15 เซนติเมตร ความเร็วลมในระหว่างการอบแห้งถูกควบคุมให้มีค่าเท่ากับ 1 เมตร/วินาที

ในการศึกษาการอบแห้งใบหม่อนด้วยลมร้อน นำใบหม่อนที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างจำนวน 200 กรัม เกลี่ยให้ทั่วถาด แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70°C โดยใช้แหล่งความร้อนเป็นขดลวดไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ในระหว่างการอบแห้ง จะทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปหาความชื้นที่เวลาต่างๆ จนกระทั่งความชื้นของตัวอย่างคงที่น้อยกว่าร้อยละ 10 ฐานเปียก แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาเวลาในการอบแห้งซึ่งพิจารณาจากเวลาที่ใช้ออบแห้งจนกระทั่งใบหม่อนมีค่าความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 8.81±1.02 8.29±1.12 และ 7.08±1.10 ฐานเปียก ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70°C ตามลำดับ ซึ่งกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) สำหรับใบหม่อนแห้งผงขงคิม หมายเลข มผช.30/2558 จากนั้นทำการอบแห้งใบหม่อนตามเวลาอบแห้งที่ได้ในแต่ละอุณหภูมิ และในส่วนของการศึกษาการอบแห้งใบหม่อนด้วยอินฟราเรด (IR) รวมลมร้อนนั้น นำใบหม่อนที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างจำนวน 200 กรัม เกลี่ยให้ทั่วถาด แล้วไปอบแห้งด้วย IR ที่กำลัง 250 500 และ 750 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งได้จากผลการศึกษาในข้อที่ 3 ในระหว่างการอบจะทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปหาความชื้นที่เวลาต่าง ๆ จนกระทั่งความชื้นคงที่ที่น้อยกว่าร้อยละ 10 ฐานเปียก จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อหาเวลาอบแห้งซึ่งพิจารณาจากเวลาที่ใช้ออบแห้งจนกระทั่งความชื้นใบหม่อนมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.59±0.35 7.29±0.38 และ 7.09±0.40 ฐานเปียก ที่กำลัง 250 500 และ 750 วัตต์ ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการอบแห้งใบหม่อนตามเวลาอบแห้งที่ได้ในแต่ละกำลัง IR และตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองวิธีจะถูกเก็บไปบดละเอียดด้วยเครื่องบด (Spring green evolution, รุ่น PG 500, ไต้หวัน) และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช และนำตัวอย่างไปเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดสนิทไว้ที่อุณหภูมิ 4°C จนกระทั่งนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี

3. การวิเคราะห์ค่าความชื้นและอัตราการอบแห้ง

การวิเคราะห์ความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (2000) โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1-2 กรัม ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบเพื่อไล่ความชื้นออก แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าความชื้นคงที่ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหลังอบแห้ง บันทึกผล และคำนวณความชื้นตามสมการที่ (1)

$$M_{w.b.} = (W-d)/W \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ $M_{w.b.}$ คือ ความชื้นฐานเปียก (ร้อยละ), W คือ มวลเปียกของวัสดุ (กรัม) และ d คือ มวลแห้งของวัสดุ (กรัม) การวิเคราะห์อัตราการอบแห้งเฉลี่ย ($DR_{เฉลี่ย}$) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$DR_{เฉลี่ย} = (M_i - M_0)/t \quad (2)$$

เมื่อ $DR_{เฉลี่ย}$ คือ อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (กรัมน้ำที่ระเหย/นาฬิกา) M_0 คือ มวลของวัสดุที่เวลาการอบแห้ง (กรัม) M_i คือ มวลของวัสดุที่เวลาเริ่มต้น (กรัม) และ t คือ เวลาในการอบแห้ง (นาฬิกา)

4. การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w)

นำใบหม่อนอบแห้งในแต่ละสภาวะการทดลอง จำนวน 3 กรัม ใส่ในเครื่อง a_w meter (Aqua Lab รุ่น Series 3TE, สหรัฐอเมริกา) จากนั้นเครื่องจะแสดงผลบนหน้าจอพร้อมบันทึกค่า

5. การวิเคราะห์ค่าสี

ทำการวิเคราะห์สีของใบหม่อนด้วยเครื่องวัดสี (Hunter lab รุ่น Mini Scan XE Plus, สหรัฐอเมริกา) ด้วยระบบ CIE ซึ่งแสดงผลในเทอมของค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดงและสีเขียว ($+a^*$, $-a^*$) และค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน ($+b^*$, $-b^*$) และค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (3)$$

เมื่อ L^* , a^* และ b^* คือ ค่าพารามิเตอร์สีของใบหม่อนแห้ง และ L_0^* , a_0^* และ b_0^* คือ ค่าพารามิเตอร์สีของใบหม่อนสด

6. การสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่าง 5 กรัม ผสมกับเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 75 ปริมาณ 50 มล. ด้วยเครื่องกวนสารละลาย (IKA รุ่น C-MAG HS, เยอรมัน) 30 นาที จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่ 6,000 รอบต่อนาที (Gemmy รุ่น PLC-012E, ไต้หวัน) เป็นเวลา 10 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 เก็บส่วนใสใส่ขวดที่อุณหภูมิ -10°C จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

7. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Sawaengkhot *et al.* (2018, pp. 359-362) โดยนำสารสกัดตัวอย่าง 0.1 มล. ผสมกับสารละลาย Na_2CO_3 ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร 2 มล. จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ลงไป 0.1 มล. ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Thermo Scientific รุ่น Genesys30, สหรัฐอเมริกา) ที่ 750 นาโนเมตร คำนวณค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก และรายงานผลเป็น กรัม GAE/กรัมตัวอย่างแห้ง

8. การวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ตามวิธีที่ดัดแปลงของ Wanyo *et al.* (2011, pp. 22-30) โดยนำสารสกัดตัวอย่าง 0.5 มล. ผสมกับน้ำกลั่น 2.25 มล. และ NaNO_2 ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาณ 0.15 มล. และตั้งทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นปิเปต $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาณ 0.3 มล. ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 5 นาที หลังจากนั้นเติม NaOH ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณ 1 มล. และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ 510 นาโนเมตร คำนวณค่าปริมาณฟลาโวนอยด์เทียบกับกราฟมาตรฐานเคอซีตินและรายงานผลเป็น กรัม QE/กรัมตัวอย่างแห้ง

9. การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระตามวิธีการที่ดัดแปลงของ Prohmhirangul (2008, pp. 101-108) โดยปิเปตสารสกัดตัวอย่างปริมาณ 0.1 มล. ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 2.9 มล. เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที พร้อมกับตัวอย่างควบคุม (Control) ซึ่งเป็นสารละลาย DPPH ที่ไม่มีตัวอย่างสารสกัด จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร และรายงานผลเป็นค่า %Inhibition ซึ่งคำนวณตามสมการที่ (4)

$$\% \text{ Inhibition} = (A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบ และ A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

10. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง (Specific energy consumption, SEC)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (5) (Saniso *et al.*, 2012, pp. 142-149)

$$SEC = (P_e \times 3600) / (W_i - W_f) \quad (5)$$

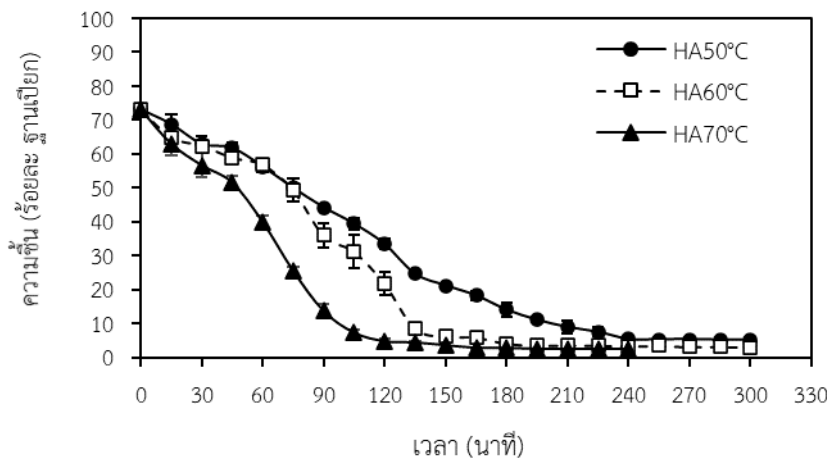
เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (กิโลจูล/กรัมน้ำระเหย), W_i คือ มวลใบหม่อนก่อนอบแห้ง (กรัม), W_f คือ มวลใบหม่อนหลังอบแห้ง (กรัม) และ P_e คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง), 3600 คือ จำนวนวินาทีใน 1 ชั่วโมง

11. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS 17.0 (SPSS Inc., สหรัฐอเมริกา) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ซึ่งพิจารณาค่าที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาการอบแห้งใบหม่อนด้วยลมร้อน



ภาพที่ 1 ความชื้นของใบหม่อนในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน (HA) ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70°C

ภาพที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นและเวลาในการอบแห้งของใบหม่อนด้วยลมร้อน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการอบแห้งใบหม่อนจะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นลดลงเมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น โดยช่วงแรกความชื้นของตัวอย่างจะเกิดการลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ และคงที่ในช่วงท้ายไปจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่า เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นความชื้นในใบหม่อนจะลดลงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างลมร้อนและวัสดุก็เพิ่มมากขึ้นและความแตกต่างของความดันไอน้ำในเซลล์วัสดุก็สูงขึ้นตาม ส่งผลให้การแพร่ของมวลไอน้ำออกจากวัสดุมาสู่ลมร้อนได้เร็ว อัตราการอบแห้งเฉลี่ยจึงสูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 1.84 ± 0.32 2.24 ± 0.29 และ 2.81 ± 0.25 กรัม น้ำที่ระเหย/นาที ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70°C ตามลำดับ (Nadee *et al.*, 2012, pp. 86-94) ในส่วนของการหาเวลาในการอบแห้งนั้นจะพิจารณาจากเวลาที่ความชื้นของใบหม่อนมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 ฐานเปียก โดยผลการทดลองพบว่าการอบแห้งใบหม่อนที่ 50 60 และ 70°C ใช้เวลาเท่ากับ 210 135 และ 105 นาที ซึ่งตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ ร้อยละ 8.81 8.29 และ 7.08 ฐานเปียก ตามลำดับ

ในส่วนของผลของสมบัติทางกายภาพซึ่งได้แก่ ค่า a_w และสีของใบหม่อนแสดงในตารางที่ 1 พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C ส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระในใบหม่อนมีน้อยที่สุด ในขณะที่ใบหม่อนที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C มีปริมาณน้ำอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาค่า a_w ในผลิตภัณฑ์ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.54-0.43 นั้น ถือว่ามีค่าที่ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นไปตาม มพข. สำหรับอาหารแห้ง ในส่วนของผลการทดลองค่าสีของใบหม่อนแห้งนั้น พบว่าอุณหภูมิอบแห้งไม่ส่งผลต่อค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้คลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวสลายตัว โดยความร้อนที่สูงขึ้นจะทำให้อะตอมแมกนีเซียมไอออนหลุดออกจากคลอโรฟิลล์และเปลี่ยนไปเป็นฟิโอฟิตินได้มากขึ้น (Gaur *et al.*, 2007, pp. 853-865) ดังนั้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C แสดงค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) มากที่สุด จึงบ่งบอกถึงอัตราการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในปริมาณต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C และเมื่อพิจารณาจากค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของใบหม่อนอบแห้งเมื่อเทียบกับใบหม่อนสดพบว่า สีใบหม่อนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C มีความแตกต่างจากใบหม่อนสดมากที่สุด ในขณะที่ความแตกต่างของสีใบหม่อนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของใบหม่อนสดและใบหม่อนที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน (HA) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตัวอย่าง	a_w	ค่าสี			
		L^*	a^*	b^*	ΔE
ใบสด	0.92±0.01 ^a	42.95±2.56 ^a	-8.46±0.49 ^a	24.70±0.83 ^a	-
HA50°C	0.54±0.04 ^b	38.06±2.71 ^b	-7.59±0.10 ^b	21.90±1.09 ^b	5.98±1.11 ^a
HA60°C	0.50±0.03 ^b	36.51±1.81 ^b	-7.28±0.25 ^b	21.79±1.24 ^b	7.30±0.65 ^a
HA70°C	0.43±0.02 ^c	35.04±1.10 ^b	-6.33±0.72 ^c	20.98±1.52 ^b	9.25±0.60 ^b

หมายเหตุ ^{abc} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ในตารางที่ 2 แสดงผลปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH ของใบหม่อนสดและใบหม่อนที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลองพบว่า ค่าพารามิเตอร์ทั้งสามของใบหม่อนสดในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่างานวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมาของ Wanyo *et al.* (2011, pp. 22-30) และ Methaakkharadecha & Srisopa (2020, pp. 230-242) ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการที่แหล่งเพาะปลูกของใบหม่อนแตกต่างกันจึงส่งผลให้ปริมาณสารสำคัญแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ใบหม่อนที่ผ่านการอบแห้งทุกอุณหภูมิจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าใบหม่อนสด โดยใบหม่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C มีค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เนื่องจากสารฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์สามารถสลายตัวได้ด้วยความร้อน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้เกิดการสลายตัวของสารฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์มากขึ้นและส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nachaisin *et al.* (2015, pp. 59-66) ที่รายงานว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลทำให้สารต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทั้งสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของใบหม่อนที่อบแห้งด้วยลมร้อน พบว่าใบหม่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C มีค่าสีใกล้เคียงกับใบหม่อนสด และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C นั้น ใช้เวลานานถึง 210 นาที ซึ่งการอบแห้งที่ยาวนานส่งผลให้ต้นทุนการใช้พลังงานและแรงงานที่สูงขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตจึงได้นำอินฟราเรดที่กำลังต่าง ๆ มาร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นแหล่งความร้อนในการอบแห้งใบหม่อน

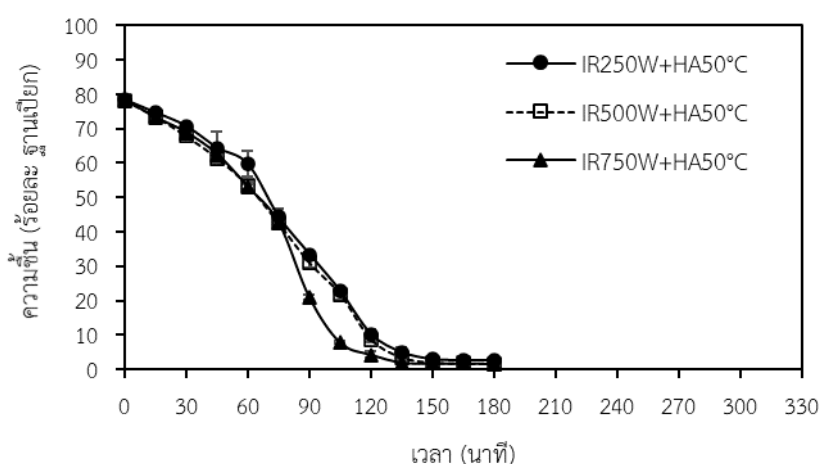
ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของใบหม่อนสดและใบหม่อนที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน (HA) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (กรัม GAE/กรัมตัวอย่างแห้ง)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (กรัม QE/กรัมตัวอย่างแห้ง)	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition)
ใบสด	0.89±0.10 ^a	0.51±0.06 ^a	96.09±0.56 ^a
HA50°C	0.62±0.01 ^b	0.33±0.02 ^b	81.08±4.35 ^b
HA60°C	0.45±0.06 ^c	0.30±0.04 ^b	70.77±3.65 ^c
HA70°C	0.36±0.04 ^c	0.20±0.01 ^c	64.37±2.37 ^d

หมายเหตุ ^{abc} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

2. การศึกษาการอบแห้งใบหม่อนด้วยอินฟราเรด (IR) ร่วมลมร้อน

ผลการศึกษาการอบแห้งใบหม่อนที่กำลัง IR ต่าง ๆ ร่วมลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C ต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในใบหม่อนแสดงในภาพที่ 2 พบว่า พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของใบหม่อนในระหว่างการอบแห้งด้วย IR ร่วมลมร้อนมีลักษณะคล้ายกับการอบแห้งด้วยลมร้อนคือ การอบแห้งที่กำลัง IR สูงขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งเฉลี่ยสูงขึ้นและเมื่อระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้นความชื้นจะลดลง โดยอัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่กำลัง IR เท่ากับ 250 500 และ 750 วัตต์ ร่วมกับลมร้อน 50°C เท่ากับ 3.36±0.31 3.44±0.11 และ 3.53±0.13 กรัม/น้ำระเหย/นาฬิกา ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 128 123 และ 106 นาที ที่ความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างเท่ากับ ร้อยละ 7.59 7.29 และ 7.09 ฐานเปียก ตามลำดับ



ภาพที่ 2 ความเข้มข้นของไบโหม่อนในระหว่างการอบแห้งด้วยอินฟราเรด (IR) ที่กำลังต่าง ๆ ร่วมลมร้อน (HA) ที่อุณหภูมิ 50°C

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่าค่า a_w ในไบโหม่อนหลังการอบแห้งด้วย IR ร่วมลมร้อนมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.40-0.36 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นไปตาม มผช. โดยผลจากการศึกษาพบว่ากำลัง IR ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่า a_w อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ค่าสีของไบโหม่อนที่อบแห้งด้วย IR ร่วมลมร้อนที่กำลังต่าง ๆ มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การอบแห้งที่กำลัง IR เท่ากับ 500 และ 750 วัตต์ ส่งผลให้ค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับ 250 วัตต์และไบโหม่อนสด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการพิจารณาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของไบโหม่อนอบแห้งด้วย IR ร่วมลมร้อนที่กำลังต่าง ๆ รวมทั้งไบโหม่อนที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 50 °C เทียบกับไบโหม่อนสดพบว่าค่าความแตกต่างของสีของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของไบโหม่อนสด ไบโหม่อนที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่ 50°C และอินฟราเรดร่วมลมร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

ตัวอย่าง	a_w	ค่าสี			
		L^*	a^*	b^*	ΔE
ใบสด	0.92±0.01 ^a	42.95±2.56 ^a	-8.46±0.49 ^a	24.70±0.83 ^a	-
HA50°C	0.54±0.04 ^b	38.06±2.71 ^{ab}	-7.59±0.10 ^b	21.90±1.09 ^b	5.98±1.11 ^a
IR250W+HA50°C	0.40±0.08 ^c	37.79±0.73 ^b	-8.36±0.15 ^a	23.20±0.47 ^b	5.53±2.03 ^a
IR500W+HA50°C	0.37±0.03 ^c	37.76±0.10 ^b	-7.43±0.04 ^b	23.05±0.10 ^b	5.77±1.85 ^a
IR750W+HA50°C	0.36±0.04 ^c	37.58±0.07 ^b	-7.52±0.26 ^b	23.06±0.26 ^b	5.87±2.03 ^a

หมายเหตุ ^{abc} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$); HA คือ การอบแห้งด้วยลมร้อน; IR คือ การอบแห้งด้วยอินฟราเรด

ตารางที่ 4 สมบัติทางเคมีของไบโหม่อนสด ไบโหม่อนที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่ 50 °C และอินฟราเรดร่วมลมร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (กรัม GAE/กรัมตัวอย่างแห้ง)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (กรัม QE/กรัมตัวอย่างแห้ง)	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition)
ใบสด	0.89±0.10 ^a	0.51±0.06 ^a	96.09±0.56 ^a
HA50°C	0.62±0.01 ^c	0.33±0.02 ^d	81.08±4.35 ^c
IR250W+HA50°C	0.71±0.02 ^b	0.36±0.01 ^c	86.69±0.62 ^b
IR500W+HA50°C	0.72±0.01 ^b	0.44±0.03 ^b	88.73±0.94 ^b
IR750W+HA50°C	0.73±0.02 ^b	0.45±0.02 ^{ab}	93.52±0.69 ^a

หมายเหตุ^{abc} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$); HA คือ การอบแห้งด้วยลมร้อน; IR คือ การอบแห้งด้วยอินฟราเรด

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระของใบหม่อนที่ผ่านการอบแห้งด้วย IR ร่วมลมร้อน ซึ่งแสดงในตารางที่ 4 พบว่าวิธีดังกล่าวส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในใบหม่อนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับใบหม่อนสด แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วย IR ที่กำลัง 750 วัตต์ร่วมลมร้อน 50°C ไม่ส่งผลให้มีปริมาณฟลาโวนอยด์และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกับในใบหม่อนสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วยสภาวะนี้ สั้นกว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่กำลัง 250 และ 500 วัตต์ร่วมลมร้อน 50°C จึงส่งผลให้เกิดการสลายตัวของฟลาโวนอยด์และการลดลงของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee *et al.* (2003, pp. 4400-4403) ที่รายงานว่า การอบแห้งข้าวเปลือกด้วย IR ร่วมลมร้อนไม่ส่งผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในใบหม่อนที่ผ่านการอบแห้งด้วย IR ที่กำลังต่าง ๆ ร่วมลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C กับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เพียงอย่างเดียวพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียวส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ทั้งสามมีค่าน้อยกว่าการอบแห้ง IR ร่วมลมร้อนในทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่า IR ร่วมลมร้อน ทำให้สารสำคัญในใบหม่อนเกิดการสลายตัวจากความร้อนได้มากกว่า ดังนั้นปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจึงมีค่าน้อยกว่า

3. การศึกษาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ที่ใช้ในการอบแห้ง

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) พิจารณาจากพลังงานที่ให้กับพัดลม ขดลวดความร้อน และหลอด IR ซึ่งแสดงในตารางที่ 5 จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C มีค่า SEC สูงที่สุด เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งมากที่สุด ในขณะที่การอบแห้งที่กำลัง IR เท่ากับ 250 วัตต์ร่วมกับลมร้อน 50°C มีค่า SEC น้อยที่สุด ทั้งนี้ถึงแม้ว่าเวลาการอบแห้งด้วยสภาวะนี้จะนานกว่าเวลาการอบแห้งด้วยกำลัง IR เท่ากับ 500 และ 750 วัตต์ ร่วมลมร้อน 50°C แต่การเพิ่มกำลัง IR ส่งผลต่อการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีค่า SEC สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nadee *et al.* (2012, pp. 86-94) ที่ศึกษาการอบแห้งใบเตยด้วย IR ที่กำลัง 500 และ 1000 วัตต์ ด้วยอุณหภูมิอบแห้ง 44.5-64.6°C ได้รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น ค่า SEC จะลดลง แต่เมื่อเพิ่มกำลังของ IR ขึ้นส่งผลให้ค่า SEC เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งใบหม่อนที่สภาวะต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (กิโลจูล/กรัมของน้ำที่ระเหย)
HA50°C	17.66±0.40 ^d
HA60°C	15.07±0.34 ^c
HA70°C	14.98±0.57 ^c
IR250W+HA50°C	8.63±0.58 ^a
IR500W+HA50°C	10.32±0.67 ^b
IR750W+HA50°C	11.08±0.83 ^b

หมายเหตุ^{abc} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$); HA คือ การอบแห้งลมร้อน; IR คือ การอบแห้งอินฟราเรด

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการอบแห้งใบหม่อนด้วย IR ร่วมกับลมร้อนพบว่า การอบแห้งด้วยกำลัง IR เท่ากับ 750 วัตต์ร่วมกับลมร้อน 50°C ส่งผลให้ใบหม่อนมีค่าสีใกล้เคียงกับใบหม่อนสดมากกว่าชุดการทดลองอื่น รวมถึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ดังนั้นจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตใบหม่อนแห้งชงดื่ม โดยมีค่า SEC เท่ากับ 11.08±0.83 กิโลจูล/กรัมของน้ำที่ระเหยซึ่งมีค่าน้อยกว่าการอบแห้งใบหม่อนด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (17thed.). Virginia: The Association of Official Analytical Chemists.
- Booranasuksakul, U., Singhato, A., Rueangsri, N. & Prasertsri, P. (2019). Effects of Mulberry (*Morus alba*) Leaf Tea on Blood Glucose and Satiety in Healthy Subjects. *Srinagarind Medical Journal*, 34(3), 237-242. (in Thai)
- Gaur, S., Shivhare, U.S., Sarkar, B.C. & Ahmed, J. (2007). Thermal Chlorophyll Degradation Kinetics of Mint Leaves Puree. *International Journal of Food Properties*, 10(4), 853-865.
- Lee, S. C., Kim, J. H., Jeong, S. M., Kim, D. R., Ha, J. U., Nam, K. C., et al. (2003). Effect of Far-Infrared Irradiation on the Antioxidant Activity of Extracts from Rice Hulls. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 40, 4400-4403.
- Limsettho, N. (2014). *Antioxidant Activities Assay in Mixture of Tea Leaves (Camellia sinensis Ktze.), Mulberry Leaves (Morus alba L.) and Horse Radish Leaves (Moringa oleifera Lam.)*. Research Report. Songkhla Rajabhat University. (in Thai)
- Methaakkharadecha, N. & Srisopa, A. (2020). Phenolic Contents and Antioxidant Activities of Mulberry Leaf Tea and Water Soluble Mulberry Leaf Tea Powder. *Thai Journal of Science and Technology*, 9(2), 230-242. (in Thai)
- Nachaisin, M., Pisadu, S., Laimsingkhon, S. & Khampui, K. (2015). Quantity of Antioxidant on the Moroheiya Leaves (*Corchorus capsularis* Linn.) Undergoing Hot-air Drying Process. *Journal of Research for Development Social and Community*, 1(5), 59-66.
- Nadee, A., Tirawanichakul, Y. & Tirawanichakul, S. (2012). Drying Kinetics of Pandanus Leaf by Infrared Radiation Combine Hot Air and Hot Air. *Burapha Science Journal*, 17(2), 86-94. (in Thai)
- Prohmhirangul, P. (2008). Evaluation of Antioxidant Activity in Thai Herbal Beverages and Wines. *Maharat Nakhon Ratchasima Hospital Medical Bulletin*, 32(2), 101-108. (in Thai)
- Posri, N., Jaturonglumlert, S., Nitatwichit, C. & Varith, J. (2016). Combined convective and infrared radiation drying kinetics of *Spirogyra* sp. *The 40th National Graduate Research Conference*, October 20-21, 2016. Songkla: Prince of Songkla University. (in Thai)
- Saniso, E., Saudi, F. & Hanafee, R. (2012). Moisture Diffusivity Coefficient Specific Energy Consumption and Specific Moisture Extraction Rate of Betel Nut Drying Using Combined Thermal Energy. *Burapha Science Journal*, 17(1), 142-149. (in Thai)
- Sawaengkhhot, W., Prommakoo, A., Savedboworn, W. & Pattayakorn, K. (2018). Determination of Phenolic Compound and Antioxidant Activity in Leaves of 2 Mulberry (*Morus alba* L.) Cultivars. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(1), 359-362. (in Thai)
- Tirawanichakul, S., Chanchiew, S. & Tirawanichakul, Y. (2013). Pennywort Drying Using Infrared Radiation: Drying Kinetics, Energy Consumption and Quality Aspect. *Khon Kaen Research Journal*, 18(2), 311-324. (in Thai)
- 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(1), 22-30.