

## ผลของการไล่ความชื้นด้วยกรรมวิธีสุญญากาศต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของ น้ำผึ้งชันโรงสายพันธุ์อิตามา

### Effects of Vacuum Dehydration on the Physicochemical Properties of Itama Stingless Bee Honey

รอมลี เจดอเลาะ<sup>1\*</sup>, อิมรอน มีชัย<sup>2</sup> และ อาบีดิน ดะแซสาเมา<sup>3</sup>

Romalee Cheadoloh<sup>1</sup>, Imron Meechai<sup>2</sup> and Abedeen Dasaesamoh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ประเทศไทย

<sup>2</sup>สาขาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ประเทศไทย

<sup>3</sup>สาขาวิชาฟิสิกส์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ประเทศไทย

<sup>1\*</sup>Program in Food Science and Technology, Faculty of Science, Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Thailand

<sup>2</sup>Program in Applied Chemistry, Faculty of Science, Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Thailand

<sup>3</sup>Program in Industrial Physics, Faculty of Science, Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Thailand

Received: 5 February 2026, Received in revised form: 26 May 2026, Accepted: 1 June 2026

Available online: 11 June 2026

#### บทคัดย่อ

**วัตถุประสงค์และที่มา:** ปัจจุบันน้ำผึ้งชันโรงได้รับความนิยมในฐานะผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ทางชีวภาพ อย่างไรก็ตามน้ำผึ้งชันโรงมีความชื้นสูง ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพและการเกิดการหมัก การไล่ความชื้นจึงเป็นกระบวนการสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษา วิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมอาจส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และสารสำคัญทางชีวภาพ ขณะที่การไล่ความชื้นแบบสุญญากาศซึ่งใช้อุณหภูมิต่ำ มีศักยภาพในการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการไล่ความชื้นด้วยกรรมวิธีสุญญากาศในระยะเวลาต่างกันต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำผึ้งชันโรง

**วิธีดำเนินการวิจัย:** การศึกษานี้ใช้น้ำผึ้งชันโรงสดจากผึ้งสายพันธุ์อิตามา (*Heterotrigona itama*) ที่เก็บจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนชันโรงบ้านไพรวัน อำเภอตากใบ จังหวัดนราธิวาส ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนทดลองนำตัวอย่างกรองด้วยผ้าขาวบางมาเชื้อและแบ่งเป็น 5 ชุดการทดลอง จากนั้นไล่ความชื้นด้วยเครื่องดูดสุญญากาศที่ความดัน -0.8 บาร์ อุณหภูมิ  $30 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง โดยประเมินสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer และค่าสีระบบ CIE Lab\* ด้วยเครื่อง Chroma Meter ส่วนสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความชื้นด้วยวิธี AOAC (2000) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid: TSS) ด้วยรีแฟรกโตมิเตอร์และค่าพีเอชด้วยเครื่องวัดแบบปากกา นอกจากนี้ยังวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยการหาปริมาณฟีนอลิกรวม ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และปริมาณฟลาโวนอยด์รวมด้วยวิธี Aluminum chloride colorimetric รวมถึงวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโดยหาน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS น้ำตาลรวมด้วย

วิธี Anthrone และน้ำตาลแต่ละชนิด ได้แก่ ฟรุคโทส กลูโคส และมอลโทส ด้วยเครื่อง HPLC ข้อมูลทั้งหมดแสดงเป็นค่าเฉลี่ยพร้อมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อใช้สรุปผลและกำหนดสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการไล่ความชื้นในน้ำผึ้งชันโรงต่อไป

**ผลการวิจัย:** การศึกษาผลของระยะเวลาในการไล่ความชื้นด้วยเครื่องดูดสุญญากาศต่อสมบัติของน้ำผึ้งชันโรงสดอีกตาม่าสามารถแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าระยะเวลาในการไล่ความชื้นมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำผึ้งชันโรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเฉพาะค่าความหนืดซึ่งเพิ่มขึ้นจาก  $372 \pm 2.00$  cP ที่ระยะเวลา 0 ชั่วโมง เป็น  $529.46 \pm 14.49$  และ  $532.90 \pm 45.81$  cP ที่ระยะเวลา 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งความหนืดและความเข้มข้นของเหลวในน้ำผึ้งชันโรงที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำลดลง เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านค่าสีของน้ำผึ้งชันโรง พบว่าค่า  $L^*$  ลดลงจาก  $69.05 \pm 3.24$  เป็น  $58.33 \pm 1.93$  ขณะที่ค่า  $b^*$  ลดลงจาก  $34.29 \pm 0.59$  เป็น  $22.63 \pm 0.99$  ซึ่งน้ำผึ้งชันโรงมีสีเข้มขึ้นและความเป็นสีเหลืองลดลงตามระยะเวลาในการไล่ความชื้น ส่วนค่า  $a^*$  (สีเขียว) เพิ่มขึ้นจาก  $-3.02 \pm 0.23$  เป็น  $-0.56 \pm 0.26$  สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบรงควัตถุในระบบสีของผลิตภัณฑ์ สำหรับสมบัติทางเคมีของน้ำผึ้งชันโรง พบว่าปริมาณความชื้นลดลงจากร้อยละ  $12.38 \pm 0.23$  เป็นร้อยละ  $11.29 \pm 0.23$  ในขณะที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มจาก  $68.73 \pm 0.25$  เป็น  $70.77 \pm 1.40$  องศาบริกซ์ และค่าพีเอชลดลงจาก  $3.13 \pm 0.06$  เป็น  $2.80 \pm 0.02$  แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มเป็นกรดมากขึ้นระหว่างกระบวนการทดลอง ด้านสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ปริมาณฟีนอลิกรวมเพิ่มขึ้นจาก  $484.60 \pm 0.10$  เป็น  $505.90 \pm 0.14$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม ฟลาโวนอยด์รวมเพิ่มจาก  $17.84 \pm 0.04$  เป็น  $18.05 \pm 0.03$  มิลลิกรัมสมมูลเคอซีทินต่อ 100 กรัม และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มจากร้อยละ  $90.15 \pm 0.01$  เป็นร้อยละ  $91.16 \pm 0.14$  เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ขณะที่องค์ประกอบน้ำตาลแสดงให้เห็นว่าน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งลดลงเล็กน้อย จากร้อยละ  $30.79 \pm 0.01$  เป็น  $30.51 \pm 0.03$  ในขณะที่น้ำตาลรวมเพิ่มจากร้อยละ  $55.30 \pm 0.03$  เป็น  $56.58 \pm 0.01$  โดยฟรุคโทสเพิ่มจากร้อยละ  $9.73 \pm 0.01$  เป็น  $11.41 \pm 0.04$  และกลูโคสเพิ่มจากร้อยละ  $12.98 \pm 0.01$  เป็น  $14.30 \pm 0.01$  ขณะที่มอลโทสลดลงจากร้อยละ  $32.78 \pm 0.01$  เป็นประมาณร้อยละ 30.20–30.48 ซึ่งสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างคาร์โบไฮเดรตจากผลของการลดน้ำในน้ำผึ้งชันโรง

**สรุปผลการวิจัย:** การไล่ความชื้นด้วยกรรมวิธีสุญญากาศสามารถลดปริมาณความชื้นของน้ำผึ้งชันโรงได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง ความดันที่ -0.8 บาร์ อีกทั้งยังรักษากลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลเชิงบวกต่อคุณภาพ รวมถึงช่วยลดขั้นตอนของการหมักและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งชันโรงได้

**คำสำคัญ:** น้ำผึ้งชันโรงสายพันธุ์อีกตาม่า; ไล่ความชื้น; เครื่องดูดสุญญากาศ; สมบัติทางกายภาพและเคมี; สารต้านอนุมูลอิสระ

### Abstract

**Background and Objective:** At present, stingless bee honey has gained considerable attention as a product with high nutritional value and bioactive properties. However, its high moisture content remains a major limitation, affecting product quality and promoting fermentation. Therefore, moisture reduction is an essential process for extending shelf life and maintaining the quality of stingless bee honey. Conventional heat-based dehydration methods may adversely affect the physical and chemical properties as well as important bioactive compounds. In contrast, vacuum dehydration, which operates at low temperatures, has greater potential to preserve the quality and functional components of stingless bee honey. This study aimed to investigate the effects of vacuum dehydration at different processing times on the physical and chemical properties of stingless bee honey.

**Methodology:** This study used fresh stingless bee honey from the *Itama* species (*Heterotrigona itama*), collected from the Ban Phraiwan Stingless Bee Community Enterprise, Tak Bai District, Narathiwat Province, Thailand, in February 2025. The samples were stored at 4 °C prior to analysis. Before the experiment, the honey was filtered through sterilized muslin cloth and divided into five experimental groups. Moisture reduction was then performed using a vacuum system at a pressure of - 0.8 bar and a temperature of  $30 \pm 1$  °C for 0, 1, 2, 3, and 4 h, respectively. The physical properties of the samples were evaluated, including viscosity using a Brookfield Viscometer and color values in the CIE Lab\* system using a Chroma Meter. The chemical properties were determined by measuring moisture content using the AOAC (2000) method, total soluble solids using a refractometer, and pH using a digital pen-type pH meter. In addition, antioxidant properties were evaluated by determining total phenolic content using the Folin–Ciocalteu method, free radical scavenging activity using the DPPH assay, and total flavonoid content using the aluminum chloride colorimetric method. Sugar content was also analyzed by determining reducing sugars using the DNS method, total sugars using the anthrone method, and individual sugars, including fructose, glucose, and maltose, using HPLC. All data were expressed as mean  $\pm$  standard deviation and statistically analyzed using one-way analysis of variance (One-way ANOVA) based on a Completely Randomized Design (CRD). Differences among means were determined using Duncan's Multiple Range Test at a significance level of 0.05, in order to draw conclusions and identify the optimal conditions for the moisture reduction process of stingless bee honey.

**Results:** The study on the effects of vacuum moisture reduction time on fresh *Itama* stingless bee honey demonstrated that processing time significantly affected the physical, chemical, and bioactive properties of the honey ( $p < 0.05$ ). In particular, viscosity increased from  $372 \pm 2.00$  cP at 0 h to  $529.46 \pm 14.49$  and  $532.90 \pm 45.81$  cP at 3 and 4 h, respectively, indicating increased concentration and thickness of the honey as moisture content decreased. Regarding color properties, the  $L^*$  value decreased from  $69.05 \pm 3.24$  to  $58.33 \pm 1.93$ ,

while the  $b^*$  value decreased from  $34.29 \pm 0.59$  to  $22.63 \pm 0.99$ , indicating that the honey became darker and less yellow with increasing moisture reduction time. In addition, the  $a^*$  value increased from  $-3.02 \pm 0.23$  to  $-0.56 \pm 0.26$ , reflecting changes in pigment composition within the honey color system. For chemical properties, moisture content decreased from  $12.38 \pm 0.23\%$  to  $11.29 \pm 0.23\%$ , whereas total soluble solids increased from  $68.73 \pm 0.25$  to  $70.77 \pm 1.40$  °Brix. The pH value decreased from  $3.13 \pm 0.06$  to  $2.80 \pm 0.02$ , indicating increased acidity during processing. In terms of antioxidant properties, total phenolic content increased from  $484.60 \pm 0.10$  to  $505.90 \pm 0.14$  mg GAE/100 g, total flavonoid content increased from  $17.84 \pm 0.04$  to  $18.05 \pm 0.03$  mg QE/100 g, and antioxidant activity increased from  $90.15 \pm 0.01\%$  to  $91.16 \pm 0.14\%$  with increasing processing time. The sugar composition showed that reducing sugars slightly decreased from  $30.79 \pm 0.01\%$  to  $30.51 \pm 0.03\%$ , whereas total sugars increased from  $55.30 \pm 0.03\%$  to  $56.58 \pm 0.01\%$ . Fructose increased from  $9.73 \pm 0.01\%$  to  $11.41 \pm 0.04\%$ , and glucose increased from  $12.98 \pm 0.01\%$  to  $14.30 \pm 0.01\%$ , while maltose decreased from  $32.78 \pm 0.01\%$  to approximately 30.20–30.48%. These results reflect changes in carbohydrate composition associated with moisture reduction in stingless bee honey.

**Conclusions:** Vacuum-based moisture reduction effectively reduced the moisture content of stingless bee honey after 4 h at a pressure of - 0.8 bar. In addition, this method was able to preserve antioxidant compounds and phenolic substances, which are important factors contributing to product quality. Furthermore, it helped reduce fermentation and extend the shelf life of stingless bee honey products.

**Keywords:** stingless bee honey (*Heterotrigona itama*); moisture reduction; vacuum dehydration; physical and chemical properties; antioxidant activity

\*Corresponding author. E-mail: romalee.c@yru.ac.th

## Introduction

การควบคุมคุณภาพของน้ำผึ้งชันโรงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยและการยอมรับของผู้บริโภค น้ำผึ้งชันโรง (stingless bee honey) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย และตอนบนของประเทศมาเลเซีย โดยเฉพาะสายพันธุ์อิตามา (Itama; *Heterotrigona itama*) ซึ่งให้ผลผลิตสูงและมีรสชาติหวานอมเปรี้ยวแตกต่างจากสายพันธุ์ขนเงิน (*Tetragonula pagdeni* Schwarz) รวมถึงน้ำผึ้งจากผึ้งโพรง (*Apis mellifera*) ทั้งในด้านสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการ (Biluca et al., 2016; Quezada-Euán et al., 2018) โดยทั่วไป น้ำผึ้งชันโรงมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 15-35 สูงกว่าน้ำผึ้งโพรง ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร น้ำผึ้งชันโรง มกษ. 8005-2567 กำหนดน้ำผึ้งชันโรงที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้นปริมาณความชื้นไม่เกินกว่า ร้อยละ 35 และน้ำผึ้ง

ชั้นโรงที่ผ่านกระบวนการลดความชื้น ความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 25 (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2024) ส่วนน้ำผึ้งจากผึ้งโพรงมีความชื้นเพียงร้อยละ 17-20 ความชื้นในระดับสูงนี้ทำให้เกิดปัญหาการหมักในระหว่างการเก็บรักษาและการจำหน่าย อาจทำให้เกิดการสร้างแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์ จนขวดพลาสติกบวม หรือแม้กระทั่งขวดแตก ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค ความชื้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพ ความคงทน และอายุการเก็บรักษาของน้ำผึ้ง เนื่องจากเชื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ (Shamsudin *et al.*, 2019; Sousa *et al.*, 2016)

การไล่ความชื้นในน้ำผึ้งชั้นโรงจึงเป็นขั้นตอนสำคัญของการแปรรูปและการเก็บรักษา วิธีดั้งเดิมมักอาศัยการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน ซึ่งส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมี เช่น การเปลี่ยนแปลงสี การเร่งปฏิกิริยาเคมี การสูญเสียสารอาหาร วิตามิน สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพบางชนิด (Salgueiro *et al.*, 2014) และสารประกอบฟิวแรน (5-Hydroxymethylfurfural; HMF) กระบวนการแปรรูปน้ำผึ้งชั้นโรงมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำผึ้งชั้นโรงจึงมีความสำคัญต่อการเลือก วิธีที่เหมาะสมในการรักษาคุณภาพของสารสำคัญและคุณค่าทางโภชนาการ การให้ความร้อนอาจเพิ่มปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกได้บางส่วนจากการสลายพันธะกับสารอื่น แต่ก็อาจทำลายสารที่ไม่ทนความร้อนในเวลาเดียวกัน (Escriche *et al.*, 2014) ในทางตรงกันข้ามการไล่ความชื้นด้วยกรรมวิธีสุญญากาศ (vacuum dehydration) เนื่องจากสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ ช่วยรักษาคุณภาพและสารสำคัญของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า (Halim *et al.*, 2021) หลักการของวิธีนี้คือ การลดความดันอากาศ ทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลงและเกิดการระเหยที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ ปัจจุบันมีการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ผลไม้และน้ำผลไม้ สามารถรักษาโภชนาการและสมบัติทางประสาทสัมผัสได้ดีกว่าการอบแห้งด้วยความร้อน (Ciurzyńska & Lenart, 2011) อย่างไรก็ตาม การไล่ความชื้นของน้ำผึ้งชั้นโรงด้วยวิธีสุญญากาศโดยไม่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลานานกว่า 1 ชั่วโมง อาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากการใช้ระยะเวลาที่ยาวนานอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีและคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ รวมถึงอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการผลิต หากระบบสุญญากาศหรือภาชนะบรรจุไม่สามารถควบคุมสภาวะได้อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำผึ้งชั้นโรง ทั้งในด้านสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และน้ำตาลต่าง ๆ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อคุณประโยชน์ทางสุขภาพ เช่น ฤทธิ์ต้านการอักเสบต้านจุลชีพ และต้านอนุมูลอิสระ (Gupta *et al.*, 2024)

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการไล่ความชื้นด้วยกรรมวิธีสุญญากาศในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำผึ้งชั้นโรง เพื่อกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการไล่ความชื้นซึ่งสามารถรักษาคุณภาพทางโภชนาการและสารสำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของท้องถิ่นในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนใต้ต่อไป

## Methodology

### 1. วัตถุดิบ

น้ำผึ้งชันโรงที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นน้ำผึ้งจากผึ้งชันโรงสายพันธุ์พื้นเมือง อีตาม่า (Itama) ซึ่งเก็บจากสถานประกอบการในพื้นที่ตำบลไพรวัน อำเภอตากใบ จังหวัดนราธิวาส ภาคใต้ของประเทศไทย ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 โดยเป็นช่วงฤดูแล้งที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว หลังการเก็บเกี่ยวบรรจุขวดพลาสติกเก็บในถังโฟมที่มีน้ำแข็งรักษาความเย็นในการขนย้ายแล้ว น้ำผึ้งถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และนำมาใช้ในการทดลองภายใน 1 สัปดาห์

### 2. การเตรียมตัวอย่างและการดูดน้ำด้วยกรรมวิธีสุญญากาศ

นำน้ำผึ้งชันโรงกรองผ่านผ้าขาวบางที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน เพื่อขจัดเศษขี้ผึ้งและสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ จากนั้นแบ่งเป็น 5 ชุดการทดลอง ไล่ความชื้นด้วยเครื่องดูดความชื้นแบบสุญญากาศ (Vacuum dehydrator, รุ่น VD-53, Eyela, ญี่ปุ่น) เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ เพื่อประเมินระยะเวลาที่เหมาะสมในการลดความชื้นภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยช่วงเวลาดังกล่าวครอบคลุมตั้งแต่สภาวะเริ่มต้นจนถึงระยะเวลาที่คาดว่าจะสามารถลดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากเกินไป การดูดน้ำด้วยกรรมวิธีสุญญากาศดำเนินการในหม้อสุตเทนเลส ขนาดความจุ 1 ลิตร ที่ความดัน -0.8 บาร์ (ตรวจวัดด้วย Vacuum gauge, Ashcroft, สหรัฐอเมริกา) ภายใต้อุณหภูมิห้อง  $30 \pm 1$  องศาเซลเซียส (วัดระหว่างการใช้สุญญากาศ) โดยบรรจุน้ำผึ้งในขวดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความลึก 10 เซนติเมตร ปริมาตรบรรจุ 100 กรัมต่อขวด (Figure 1) นำขวดแก้วเปิดฝาเข้าในหม้อ เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด ปิดการทำงานของเครื่องและนำใส่ในโถดูดความชื้น (desiccator) ก่อนนำไปวิเคราะห์แต่ละการทดลองดำเนินการใน 3 ซ้ำ (triplicates) และทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีทั้งหมดภายใน 24 ชั่วโมงหลังการไล่ความชื้นเสร็จสิ้น



Figure 1 Application of a vacuum dehydrator for moisture removal in stingless bee honey

### 3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

#### 3.1 ความหนืด (Viscosity)

นำน้ำผึ้งชันโรงที่ผ่านการไล่ความชื้นที่ระยะเวลาต่าง ๆ ปริมาณ 300 มิลลิลิตร วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer รุ่น DV1 (AMETEK Brookfield, สหรัฐอเมริกา) ใช้ spindle No. 2 ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ  $25 \pm 0.1$  องศาเซลเซียส ในขณะที่วัดจะคนตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่เป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้ได้ค่าความหนืดที่เสถียร อ่านค่าความหนืดจากจอแสดงผลเมื่อค่าคงที่แล้ว บันทึกเป็นหน่วย centipoise (cP) ล้างและเช็ดทำความสะอาด spindle ระหว่างการทดลองแต่ละครั้ง

#### 3.2 ค่าสี (Color values)

วัดค่าสีในระบบ CIE Lab\* ด้วยเครื่อง Konica Minolta Chroma Meter รุ่น CR-400 (Minolta, ญี่ปุ่น) ที่มีมาตรฐานแสง D65 และมุมมองผู้สังเกตการณ์ 10 องศา ก่อนการวัดได้ทำการปรับเทียบมาตรฐานเครื่องมือด้วยแผ่นสีขาวมาตรฐาน ( $L^* = 97.10$ ,  $a^* = -0.17$ ,  $b^* = 1.67$ ) ใส่ตัวอย่างน้ำผึ้งชันโรงในถ้วยแก้วใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความสูง 2 เซนติเมตร ให้เต็มถ้วยวางเครื่องมือวัดบนผิวหน้าตัวอย่าง อ่านค่า  $L^*$  (ความสว่าง 0-100)  $a^*$  (ความเป็นสีแดง-เขียว) และ  $b^*$  (ความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน) วัดแต่ละตัวอย่าง 3 จุด รอบๆ กึ่งกลางและหาค่าเฉลี่ย

### 4. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

#### 4.1 ความชื้น (Moisture content)

การวิเคราะห์ความชื้นของน้ำผึ้งชันโรงดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (2000) นำถ้วยอบไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วนำออกมาพักในโถดูดความชื้นจนเย็นและชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกน้ำหนักถ้วยอบเปล่า ก่อนชั่งน้ำผึ้งชันโรงประมาณ 2-3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอบและชั่งน้ำหนักรวม แล้วนำถ้วยอบที่มีตัวอย่างเข้าอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ  $105 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาการอบจึงนำถ้วยอบออกมาพักในโถดูดความชื้นจนเย็นก่อนทำการชั่งน้ำหนักซ้ำ และทำการอบและชั่งน้ำหนักซ้ำจนกว่าน้ำหนักจะไม่เปลี่ยนแปลง (น้ำหนักคงที่) จากนั้นคำนวณปริมาณความชื้นเป็นร้อยละโดยน้ำหนักบนฐานน้ำหนักเปียก ทั้งนี้การวิเคราะห์ทำอย่างน้อย 2-3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยพร้อมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid: TSS)

วัดค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดด้วยเครื่อง Digital Refractometer รุ่น PAL-2 (ATAGO, ญี่ปุ่น) ที่อุณหภูมิ  $28 \pm 0.5$  องศาเซลเซียส โดยให้ตัวอย่างน้ำผึ้งชันโรง เทียบมาตรฐานเครื่องมือด้วยน้ำกลั่น (0.00 องศาบริกซ์) หยดตัวอย่างน้ำผึ้งชันโรงประมาณ 2-3 หยด ลงบนแผ่นกระจกของเครื่อง ปิดฝาครอบให้แน่น อ่านค่าจากจอแสดงผลเป็นหน่วย องศาบริกซ์ทำความสะอาดแผ่นกระจกด้วยน้ำกลั่นและเช็ดแห้งระหว่างตัวอย่างด้วยกระดาษทิชชูแบบละเอียด

#### 4.3 ค่าพีเอช (pH)

วัดค่าพีเอช ด้วยเครื่องวัดค่ากรด-ด่าง แบบปากกา Pocket pH Tester รุ่น ID 1000 (INDEX) โดยให้ตัวอย่างน้ำผึ้งชันโรง สอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4.01, 6.86 และ 9.18 กดปุ่ม CAL บนเครื่องวัดค้างไว้ประมาณ 2-3 วินาที และจุ่มลงในสารละลายบัฟเฟอร์ค่าถัดไป ทำซ้ำเพื่อสอบเทียบค่าที่เหลือ จากนั้น

ทำการรุ่มหัววัดอิเล็กโทรดลงในน้ำผึ้งชันโรง รอให้ค่าคงที่ประมาณ 2 นาที อ่านค่าพีเอชบันทึกผลและล้างหัววัดอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นระหว่างตัวอย่าง

### 5. การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

#### 5.1 สารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic compounds)

วิเคราะห์ตามวิธี Folin-Ciocalteu method (Singleton & Rossi, 1965) โดยเจือจางตัวอย่างน้ำผึ้งชันโรง 1 กรัม ในเมทานอลร้อยละ 80 ให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร กรองผ่าน Whatman No. 1 filter paper ปีเปตส่วนใส 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 7.9 มิลลิลิตร เติม Folin-Ciocalteu reagent 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปลอ่ยไว้ 6 นาที เติมโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและปลอ่ยไว้ในที่มืด 90 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น Lambda 25 (PerkinElmer, สหรัฐอเมริกา) ใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) ความเข้มข้น 0-500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารมาตรฐาน สร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curve) แสดงผลเป็นมิลลิกรัมกรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัมของน้ำผึ้งชันโรง

#### 5.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants)

วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay (Brand-Williams *et al.*, 1995) โดยเตรียมสารละลาย DPPH 0.1 มิลลิตรโมล ในเมทานอล เก็บในขวดสีชาปิดมิดชิดในตู้เย็น เจือจางตัวอย่างน้ำผึ้งชันโรง 1 กรัม ในเมทานอล ร้อยละ 80 ให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร กรองผ่าน แผ่นกรองแบบเข็มฉีดยาขนาด 0.45 ไมโครเมตร ปีเปตส่วนใส 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH 3.9 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองสีชา ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าแบบวอร์เท็กซ์ (vortex mixer) เป็นเวลา 10 วินาที ปลอ่ยไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ใช้เมทานอลเป็น blank และสารละลาย DPPH เป็นชุดควบคุม คำนวณร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH จากสูตร

$$\text{ร้อยละการยับยั้ง} = [(A_0 - A_1)/A_0] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $A_0$  คือค่า absorbance ของชุดควบคุม และ  $A_1$  คือค่า absorbance ของตัวอย่าง

#### 5.3 ฟลาโวนอยด์รวม (Total flavonoid content)

วิเคราะห์ด้วยวิธี Aluminum chloride colorimetric โดยเจือจางตัวอย่างน้ำผึ้งชันโรง น้ำหนัก 1 กรัม ในเมทานอล ร้อยละ 80 ให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 1 ปีเปตส่วนใส 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ ( $AlCl_3$  reagent) ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ขนาด 1 มิลลิลิตร เจือจางด้วยเอทานอลให้ได้สารปริมาณ 25 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 40 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร นำค่าที่ได้เทียบกับกราฟของสารละลายมาตรฐาน quercetin (สารมาตรฐานเปรียบเทียบ) และคำนวณปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมในรูปมิลลิกรัมสมมูลสารมาตรฐานเปรียบเทียบ

## 6. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล

### 6.1 น้ำตาลรีดิวซิง (Reducing sugars)

วิเคราะห์ด้วยวิธี DNS method (Miller, 1959) โดยเจือจางตัวอย่างน้ำผึ้ง 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปิเปต 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม DNS reagent (3,5-dinitrosalicylic acid) 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที ปลอ่ยให้เย็นลงในน้ำแข็ง เติมน้ำกลั่น 8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ใช้น้ำตาลกลูโคส ความเข้มข้น 0-1,000 มิลลิลิตรต่อลิตร เป็นสารมาตรฐาน สร้างกราฟมาตรฐาน แสดงผลเป็นร้อยละ มิลลิกรัมกลูโคสมวล

6.2 น้ำตาลรวม (Total sugars)

วิเคราะห์ ด้วยวิธีแวนธโรน (Anthrone method) (Hodge & Hofreiter, 1962) โดยเจือจางตัวอย่างน้ำฝิ่งชั้นรอง น้ำหนัก 0.01 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปิเปต 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่วางในน้ำแข็ง เติมสารรีเอเจนต์แวนธโรน (anthrone reagent) (ร้อยละ 0.2 แวนธโรนในกรดซัลฟูริกเข้มข้น) 5 มิลลิลิตร อย่างช้าๆ ขณะเขย่า นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ปล่อยให้เย็นลงในน้ำแข็ง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร ใช้น้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 0-100 มิลลิลิตรต่อลิตร เป็นสารมาตรฐาน สร้างกราฟมาตรฐาน แสดงผลเป็นร้อยละมิลลิกรัมกลูโคสมุมล

### 6.3 น้ำตาลแต่ละชนิด (Individual sugars)

วิเคราะห์ ฟรุกโทส, กลูโคส และ มอลโทส ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) รุ่น LC-20AD (Shimadzu, ญี่ปุ่น) ระบบประกอบด้วย quaternary pump, autosampler, column oven และ refractive index detector (RID) ใช้ column Aminex HPX-87C (300 × 7.8 mm, Bio-Rad, สหรัฐอเมริกา) อุณหภูมิ column 85 องศาเซลเซียส mobile phase เป็นน้ำกลั่น HPLC grade อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรฉีด 20 ไมโครลิตร เตรียมตัวอย่างโดยเจือจางน้ำผึ้ง 1:100 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ตัวกรองแบบโซลิ่งซ์ ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร เตรียมมาตรฐานฟรุกโทส, กลูโคส และ มอลโทส (Sigma-Aldrich, เยอรมนี) ความเข้มข้น 0.1-10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สร้างกราฟมาตรฐาน วิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบเวลาเก็บกัก (retention time) และพื้นที่ใต้กราฟ

## 7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยแสดงผลข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean  $\pm$  standard deviation) วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance; One-way ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS version 26.0 และเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

## Results

ผลของระยะเวลาในการไถ่ความชื้นด้วยเครื่องดูดสูญญากาศต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำผึ้งชันโรงอิตาม่า

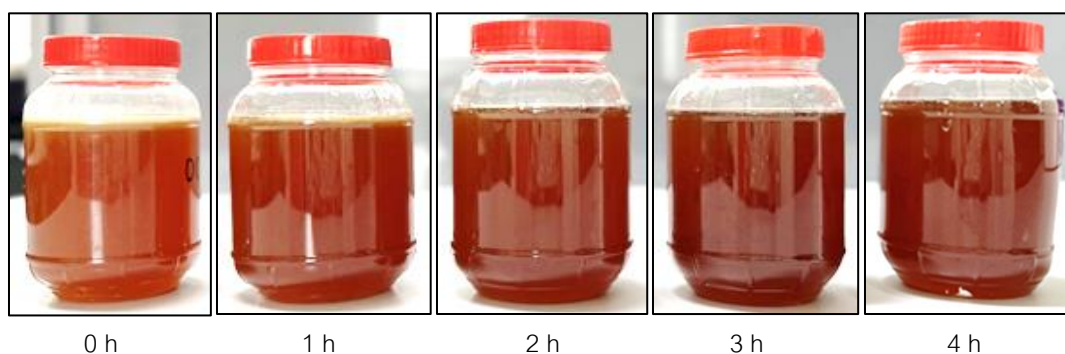
ระยะเวลาในการไล่ความชื้นด้วยเครื่องดูดสูญญากาศของน้ำผึ้งชันโรง ที่ระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่า ความหนืดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) แนวโน้มของความหนืดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาไล่ความชื้น

จาก  $372 \pm 2.00$  cP (0 ชั่วโมง) เป็น  $407 \pm 33.29$  cP,  $472.33 \pm 9.29$  cP,  $529.46 \pm 14.49$  cP, และ  $532.90 \pm 45.81$  cP ตามลำดับ (Table 1) ส่วนค่าสีของน้ำผึ้งชันโรงการวิเคราะห์ในระบบ CIE Lab\* พบว่า ค่า  $L^*$  (ความสว่าง) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จาก  $69.05 \pm 3.24$  เป็น  $58.33 \pm 1.93$  ภายหลังการไล่ความชื้นนาน 4 ชั่วโมง แสดงน้ำผึ้งชันโรงมีสีคล้ำมากขึ้น ส่วนการวัดค่า  $a^*$  (แดง-เขียว) น้ำผึ้งชันโรงออกทางสีเขียวจากการเก็บแหล่งอาหารของน้ำผึ้งชันโรง ขณะที่ค่า  $b^*$  (เหลือง-น้ำเงิน) แฉวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการไล่ความชื้น จาก  $34.29 \pm 0.59$  (0 ชั่วโมง) เป็น  $22.63 \pm 0.99$  (4 ชั่วโมง) ตามลำดับ ซึ่งน้ำผึ้งชันโรงมีสีคล้ำเพิ่มขึ้นและความเป็นสีเหลืองลดลง (Figure 2)

**Table 1** Physical properties of stingless bee honey after moisture removal by vacuum dehydration process

| Physical properties | Moisture reduction time (hours) |                    |                     |                      |                      |
|---------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|                     | 0                               | 1                  | 2                   | 3                    | 4                    |
| Viscosity (cP)      | $372 \pm 2.00^d$                | $407 \pm 33.29^c$  | $472.33 \pm 9.29^b$ | $529.46 \pm 14.49^a$ | $532.90 \pm 45.81^a$ |
| $L^*$               | $69.05 \pm 3.24^a$              | $64.20 \pm 2.10^b$ | $63.80 \pm 2.15^b$  | $62.45 \pm 1.85^b$   | $58.33 \pm 1.93^c$   |
| $a^*$               | $-3.02 \pm 0.23^c$              | $-2.05 \pm 0.35^b$ | $-1.85 \pm 0.42^b$  | $-1.90 \pm 0.38^b$   | $-0.56 \pm 0.26^a$   |
| $b^*$               | $34.29 \pm 0.59^a$              | $30.15 \pm 2.05^b$ | $29.80 \pm 1.95^b$  | $28.45 \pm 1.85^b$   | $22.63 \pm 0.99^c$   |

Note: All values are presented as mean  $\pm$  standard deviation (n = 3). Mean values followed by different superscript letters within the same row are significantly different at  $p < 0.05$  according to Duncan's multiple range test



**Figure 2** Color characteristics of stingless bee honey subjected to moisture removal using a vacuum drying process

ผลของระยะเวลาในการไล่ความชื้นด้วยเครื่องดูดสุญญากาศต่อสมบัติทางเคมีของน้ำผึ้งชันโรงอีตาม่า

เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำผึ้งชันโรงที่ผ่านการไล่ความชื้นที่ระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาในการไล่ความชื้นมีผลต่อปริมาณความชื้นลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (0 ชั่วโมง) มีค่าร้อยละ  $12.38 \pm 0.23$  และลดลงเป็น ร้อยละ  $11.85 \pm 0.18$ ,  $11.58 \pm 0.42$ ,  $11.36 \pm 0.21$  และ  $11.29 \pm 0.23$  ที่ระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น จาก  $68.73 \pm 0.25$

องศาบริกซ์ (0 ชั่วโมง) เป็น  $69.30 \pm 0.40$ ,  $69.60 \pm 0.26$ ,  $70.50 \pm 0.96$  , และ  $70.77 \pm 1.40$  องศาบริกซ์ ที่ระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนค่าพีเอช มีแนวโน้มมีลดลง ตามระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง คือ  $3.13 \pm 0.06$  จะลดลง เป็น  $2.80 \pm 0.02$  ตามลำดับ (Table 2)

**Table 2** Chemical properties of stingless bee honey after moisture removal by vacuum dehydration process

| Chemical properties  | Duration of moisture reduction (hours) |                       |                    |                       |                    |
|----------------------|----------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
|                      | 0                                      | 1                     | 2                  | 3                     | 4                  |
| Moisture content (%) | $12.38 \pm 0.23^a$                     | $11.85 \pm 0.18^b$    | $11.58 \pm 0.42^c$ | $11.36 \pm 0.21^d$    | $11.29 \pm 0.23^e$ |
| TSS (° brix)         | $68.73 \pm 0.25^c$                     | $69.30 \pm 0.40^{bc}$ | $69.60 \pm 0.26^b$ | $70.50 \pm 0.96^{ab}$ | $70.77 \pm 1.40^a$ |
| pH                   | $3.13 \pm 0.06^a$                      | $3.03 \pm 0.06^b$     | $2.93 \pm 0.01^c$  | $2.90 \pm 0.01^c$     | $2.80 \pm 0.02^d$  |

Note: All values are presented as mean  $\pm$  standard deviation (n = 3). Mean values followed by different superscript letters within the same row are significantly different at  $p < 0.05$  according to Duncan's multiple range test TSS = total soluble solid

#### ผลของระยะเวลาในการไล่ความชื้นด้วยเครื่องดูดสุญญากาศต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

การไล่ความชื้นด้วยเครื่องดูดสุญญากาศที่ระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่า สารประกอบฟีนอลิกรวมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัย (p<0.05) จากค่าเริ่มต้น  $484.60 \pm 0.10$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม เพิ่มเป็นสูงสุดที่  $505.90 \pm 0.14$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง เช่นเดียวกันกับปริมาณฟลาโวนอยด์รวม แอนโธไซยานินเพิ่มขึ้น จาก  $17.84 \pm 0.04$  มิลลิกรัมสมมูลเคอซีทินต่อ 100 กรัม เป็นสูงสุดที่  $18.05 \pm 0.03$  มิลลิกรัมสมมูลเคอซีทินต่อ 100 กรัม ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อมีการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) จากค่าเริ่มต้นร้อยละ  $90.15 \pm 0.01$  เพิ่มเป็นสูงสุดที่ร้อยละ  $91.16 \pm 0.14$  ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง (Table 3)

#### ผลของระยะเวลาในการไล่ความชื้นด้วยเครื่องดูดสุญญากาศต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบน้ำตาล

การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบน้ำตาลภายในน้ำผึ้งชันโรงหลังจากการไล่ความชื้นด้วยเครื่องดูดสุญญากาศที่ระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่ง มีแนวโน้มลดลงจากระยะเวลาที่ 0 ชั่วโมง จากร้อยละ  $30.79 \pm 0.01$ เป็นประมาณ ร้อยละ  $30.57 \pm 0.03$ ,  $30.55 \pm 0.03$ ,  $30.50 \pm 0.05$ ,  $30.51 \pm 0.03$  ที่ระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ (p<0.05) ขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ไล่ความชื้น จาก  $55.30 \pm 0.03$  ที่ระยะเวลา 0 ชั่วโมง เป็นร้อยละ  $56.58 \pm 0.01$  ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง (p<0.05) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิด พบว่า น้ำตาลฟรุกโทส เพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ  $9.73 \pm 0.01$  เป็น ร้อยละ  $11.41 \pm 0.04$  ที่ 4 ชั่วโมง (p<0.05) เช่นเดียวกันกับปริมาณน้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้นจากร้อยละ  $12.98 \pm 0.01$  เป็น ร้อยละ  $14.30 \pm 0.01$  ที่ 4 ชั่วโมง (p<0.05) ในขณะที่ปริมาณมอลโทสมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยลดลงจากร้อยละ  $32.78 \pm 0.01$  เหลืออยู่ในช่วงร้อยละ 30.20–30.48 ตามลำดับ (p<0.05) (Table 4)

**Table 3** Antioxidant of stingless bee honey after moisture removal by vacuum dehydration process

| Chemical properties                   | Duration of moisture reduction (hours) |                            |                            |                            |                            |
|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                       | 0                                      | 1                          | 2                          | 3                          | 4                          |
| Total phenolic content (mg GAE/100 g) | 484.60 ± 0.10 <sup>e</sup>             | 494.01 ± 0.18 <sup>c</sup> | 489.98 ± 0.24 <sup>d</sup> | 495.54 ± 0.13 <sup>b</sup> | 505.90 ± 0.14 <sup>a</sup> |
| Antioxidant activity (%)              | 90.15 ± 0.01 <sup>e</sup>              | 90.62 ± 0.03 <sup>d</sup>  | 90.86 ± 0.01 <sup>c</sup>  | 91.12 ± 0.03 <sup>b</sup>  | 91.16 ± 0.14 <sup>a</sup>  |
| Flavonoid content (mg QE/100 g)       | 17.84 ± 0.04 <sup>d</sup>              | 17.93 ± 0.01 <sup>c</sup>  | 17.95 ± 0.07 <sup>c</sup>  | 18.03 ± 0.02 <sup>b</sup>  | 18.05 ± 0.03 <sup>a</sup>  |

Note: All values are presented as mean ± standard deviation (n = 3). Mean values followed by different superscript letters within the same row are significantly different at p < 0.05 according to Duncan's multiple range test

**Table 4** Sugar composition of stingless bee honey subjected to vacuum dehydration

| sugar              | Duration of moisture reduction (hours) |                           |                            |                            |                           |
|--------------------|----------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                    | 0                                      | 1                         | 2                          | 3                          | 4                         |
| Reducing sugar (%) | 30.79 ± 0.01 <sup>a</sup>              | 30.57 ± 0.03 <sup>b</sup> | 30.55 ± 0.03 <sup>b</sup>  | 30.50 ± 0.05 <sup>b</sup>  | 30.51 ± 0.03 <sup>b</sup> |
| Total sugar (%)    | 55.30 ± 0.03 <sup>d</sup>              | 55.36 ± 0.01 <sup>c</sup> | 55.48 ± 0.02 <sup>b</sup>  | 55.49 ± 0.03 <sup>b</sup>  | 56.58 ± 0.01 <sup>a</sup> |
| Fructose (%)       | 9.73 ± 0.01 <sup>d</sup>               | 10.35 ± 0.05 <sup>c</sup> | 10.50 ± 0.02 <sup>b</sup>  | 10.52 ± 0.03 <sup>b</sup>  | 11.41 ± 0.04 <sup>a</sup> |
| Glucose (%)        | 12.98 ± 0.01 <sup>c</sup>              | 14.15 ± 0.10 <sup>b</sup> | 14.20 ± 0.08 <sup>b</sup>  | 14.25 ± 0.05 <sup>ab</sup> | 14.30 ± 0.01 <sup>a</sup> |
| Maltose (%)        | 32.78 ± 0.01 <sup>a</sup>              | 30.48 ± 0.01 <sup>b</sup> | 30.35 ± 0.10 <sup>bc</sup> | 30.20 ± 0.15 <sup>c</sup>  | 30.25 ± 0.12 <sup>c</sup> |

Note: All values are presented as mean ± standard deviation (n = 3). Mean values followed by different superscript letters within the same row are significantly different at p < 0.05 according to Duncan's multiple range test

## Discussion

การไล่ความชื้นด้วยเครื่องดูดสุญญากาศที่ระยะเวลา 0-4 ชั่วโมง ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำผึ้งชันโรง โดยพบว่าค่าความหนืดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการไล่ความชื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณความชื้นลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารที่ละลายในน้ำผึ้งชันโรงเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ความหนืดของน้ำผึ้งชันโรงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งน้ำผึ้งชันโรงประกอบด้วยน้ำตาลโดยเฉพาะกลูโคสและฟรุกโตสยังก่อให้เกิดความหนืด (De-Melo *et al.*, 2018) ทำให้ความเข้มข้นของ สารที่ละลายในน้ำเพิ่มสูงขึ้น และลดบทบาทของน้ำในฐานะตัวทำให้โครงสร้างอ่อนตัว (plasticizer) ส่งผลให้โครงสร้าง ของระบบมีความ

หนาแน่นและต้านทานการไหลมากขึ้น และช่วยในการลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ด้วย (Lullah-Deh *et al.*, 2018) เมื่อพิจารณาลักษณะสีของน้ำฝั้ชันโรง การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำฝั้ระหว่างการคูดน้ำอาจเกิดจากการชันตัวของเม็ดสีธรรมชาติของแคโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ (Ciappini *et al.*, 2013) และ ควิโนอยด์ ทำให้น้ำฝั้ชันโรงมีสีคล้ำขึ้น (Yan *et al.*, 2022)

เมื่อพิจารณาผลของการไล่ความชื้นต่อสมบัติทางเคมีของน้ำฝั้ชันโรง โดยที่ปริมาณความชื้นที่ลดลงเป็นไปตามระยะเวลาในการไล่ความชื้นที่เพิ่มขึ้น การไล่น้ำแบบสุญญากาศสามารถไล่ความชื้นในน้ำฝั้ชันโรงออกจากผลิตภัณฑ์อาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Samoticha *et al.*, 2017) ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำฝั้ (Muhammad *et al.*, 2023) ความเข้มข้นของสารที่ละลายน้ำ (ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล) จะเพิ่มขึ้น (Bogdanov *et al.*, 2004) ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดเช่นเดียวกัน ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับน้ำฝั้คุณภาพดี ซึ่งควรมีค่าไม่น้อยกว่า 65 องศาบริกซ์ ตามมาตรฐานสากล (Codex Alimentarius, 2001; Muhammad *et al.*, 2023)

เมื่อน้ำฝั้ชันโรงผ่านการไล่ความชื้นที่ระยะเวลานานขึ้น การระเหยของน้ำออกจากน้ำฝั้ชันโรงทำให้ความเข้มข้นของสารกลุ่มต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นจากการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกจากการจับกับสารอื่น ๆ ในระหว่างกระบวนการไล่ความชื้น เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน รวมถึงการเกิดสารเมลานอยดินจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (Piljac-Zegarac *et al.*, 2009) รวมทั้งเกิดสารประกอบฟีนอลิกใหม่จากปฏิกิริยาเอนไซม์ที่ยังคงมีฤทธิ์อยู่ในน้ำฝั้ เอนไซม์ที่สำคัญรวมถึงเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (peroxidase polyphenol oxidase) และ เอนไซม์ฟีนอลเลส (phenolase) ซึ่งสามารถแปลงสารประกอบฟีนอลโพรพานอยด์ เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพสูงขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการไล่ความชื้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้ โดยไม่สูงเกินไปจนทำให้เอนไซม์เสียสภาพ (Bertoncelj *et al.*, 2007) หากมีการไล่ความชื้นภายใต้สภาวะที่ควบคุมออกซิเจนสามารถรักษาและรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์อาหารได้ (Khalil *et al.*, 2010) เมื่อมีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำฝั้ชันโรงพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระช่วยลดความเป็นอนุมูลอิสระของ DPPH ส่งผลให้ DPPH มีความเสถียรมากขึ้น นอกจากสารประกอบฟีนอลิกแล้ว น้ำฝั้ชันโรงยังมีสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่น ๆ รวมถึงวิตามินอี ฟลาโวนอยด์ และเอนไซม์ต่างๆ เช่น เอนไซม์ แคตาเลส (catalase) และ เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (glucose oxidase) สารเหล่านี้ทำงานร่วมกันในลักษณะผลเสริมฤทธิ์ (synergistic effect) เพื่อให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay สามารถสะท้อนฤทธิ์รวมของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดได้ดี การไล่น้ำแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิต่ำ (30 องศาเซลเซียส) มีข้อได้เปรียบสำคัญในการรักษาสารต้านอนุมูลอิสระที่ไวต่อความร้อน วิตามินซี ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ มีความเสถียรภาพดีขึ้นในสภาวะอุณหภูมิต่ำและสุญญากาศ (Chua *et al.*, 2012) การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานสามารถทำลายสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำฝั้ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Turkmen *et al.*, 2006)

การวิเคราะห์กลุ่มน้ำตาลในน้ำฝั้ชันโรงที่ผ่านการไล่ความชื้นที่ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดแตกต่างกัน จากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำตาลเชิงซ้อนเป็น น้ำตาลเชิงเดี่ยว โดยเฉพาะการแตกตัวของ มอลโทส เป็นกลูโคส การมีอยู่ของเอนไซม์ เอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ( $\alpha$ -glucosidase) และ

เอนไซม์บีตาฟรุกโตฟูราโนซิเดส ( $\beta$ -fructofuranosidase) ในน้ำผึ้งชันโรงสามารถเร่งปฏิกิริยาการย่อยน้ำตาลเหล่านี้ น้ำผึ้งชันโรงมีกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเมแทบอลิซึมของน้ำตาล ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบน้ำตาลในน้ำผึ้ง แตกต่างจากน้ำผึ้งผึ้งโพรง โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการไล่ความชื้น (30 องศาเซลเซียส) อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้ ทำให้เกิดการย่อยน้ำตาลอย่างช้าๆ แต่ต่อเนื่อง (Vit *et al.*, 2013) การเพิ่มขึ้นของ fructose และ glucose ซึ่งเป็น monosaccharides มีผลดีต่อคุณภาพของน้ำผึ้งชันโรง ส่วนน้ำตาล maltose เป็นน้ำตาลที่มีความไม่เสถียรมากที่สุดในน้ำผึ้งชันโรงเมื่อเทียบกับ ฟรุกโทส และ กลูโคส โดยเฉพาะในสภาวะที่มีความร้อนและความชื้น (Silva *et al.*, 2013)

## Conclusions

การศึกษานี้ได้ประเมินประสิทธิภาพของการไล่ความชื้นในน้ำผึ้งชันโรงด้วยเทคโนโลยีสุญญากาศ สามารถไล่ความชื้นให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร น้ำผึ้งชันโรง มกษ. 8005-2567 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเงื่อนไขการไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความดัน -0.8 บาร์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ช่วยให้น้ำผึ้งมีค่าความชื้นลดลงจาก ร้อยละ 12.38 เหลือ ร้อยละ 11.29 ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานความชื้นของน้ำผึ้งชันโรงที่กำหนดให้ค่าไม่เกินร้อยละ 20-25 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งชันโรง ซึ่งเหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บรักษา และทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สะท้อนถึงความเข้มข้นของน้ำผึ้งชันโรงที่สูงขึ้น ขณะเดียวกันยังพบว่าสารประกอบฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระ และฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะในช่วงเวลา 4 ชั่วโมง อีกทั้งค่าพีเอช ของน้ำผึ้งมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนองค์ประกอบน้ำตาลหลัก ได้แก่ ฟรุกโทส และ กลูโคส ยังคงเสถียรภาพดี แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในสัดส่วนของมอลโทส และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแปรรูปแบบดั้งเดิม การใช้สุญญากาศช่วยลดผลกระทบจากความร้อนต่อคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่า จึงถือเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการแปรรูปน้ำผึ้งชันโรง แม้ว่ากระบวนการไล่ความชื้นด้วยสุญญากาศในการศึกษานี้จะใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง ค่อนข้างนาน ซึ่งในระดับอุตสาหกรรมสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้โดยการปรับขนาดระบบการไล่ความชื้น การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส และการใช้ปั๊มสุญญากาศที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งคาดว่าจะช่วยลดระยะเวลาในการผลิตต่อหน่วยได้ ทั้งนี้ แม้ต้นทุนเริ่มต้นของเครื่องจักรสุญญากาศจะสูงกว่าวิธีดั้งเดิม แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูงและมีแนวโน้มตอบสนองความต้องการของตลาดสุขภาพและผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง จึงอาจมีศักยภาพในการต่อยอดสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ในอนาคต เพื่อเพิ่มมูลค่าและสร้างความแตกต่างให้กับผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งชันโรง ตอบสนองตลาดสุขภาพที่เติบโตขึ้น และช่วยยกระดับผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นให้ก้าวสู่มาตรฐานได้อย่างยั่งยืน

## Acknowledgments

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประเภททุนสนับสนุนงานพื้นฐาน (Fundamental Fund: FF) ปีงบประมาณ 2568 มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

## References

- AOAC. (2000). *Official methods of analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International.
- Bertoncelj, J., Doberšek, U., Jamnik, M., & Golob, T. (2007). Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry*, 105(2), 822-828.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.060>
- Biluca, F. C., Braghini, F., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Physicochemical profiles, minerals and bioactive compounds of stingless bee honey (Meliponinae). *Journal of Food Composition and Analysis*, 50, 61- 69. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.007>
- Bogdanov, S., Ruoff, K., & Oddo, L. P. (2004). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: A review. *Apidologie*, 35(Suppl. 1), S4-S17. <https://doi.org/10.1051/apido:2004047>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.  
[https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Chua, L. S., Rahaman, N. L. A., Adnan, N. A., & Eddie Tan, T. T. (2012). Antioxidant activity of three honey samples in relation with their biochemical components. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2013, Article ID 313798. <https://doi.org/10.1155/2013/313798>
- Ciappini, M. C., Gatti, M. B., & Di Vito, M. V. (2013). Color as an indicator of flavonoids content in honey. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 19, 59-63.
- Ciurzyńska, A., & Lenart, A. (2011). Freeze-drying - application in food processing and biotechnology - a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 61(3), 165-171.  
<https://doi.org/10.2478/v10222-011-0017-5>
- Codex Alimentarius. (2001). *Codex standard for honey. Codex Stan 12-1981*. FAO/WHO Food Standards Programme.

- De-Melo, A. A. M., de Almeida-Muradian, L. B., Sancho, M. T., & Pascual-Maté, A. (2018). Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. *Journal of Apicultural Research*, 57(1), 5–37.  
<https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1338444>
- Escriche, I., Kadar, M., Juan-Borrás, M., & Domenech, E. (2014). Suitability of antioxidant capacity, flavonoids and phenolic acids for floral authentication of honey. Impact of industrial thermal treatment. *Food Chemistry*, 142, 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.033>
- Halim, N. F., Basrawi, M. F., Azman, N. A. M., Sulaiman, S. A., & Razak, S. B. A. (2021). The effect of temperature on low temperature vacuum drying with induced nucleate boiling for stingless bees honey. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1078(1), 012018.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1078/1/012018>
- Hodge, J. E., & Hofreiter, B. T. (1962). *In Methods in carbohydrate chemistry* (pp. 420-421). Academic Press.
- Gupta, B., Devi, K. P., Chanu, P. S., Jadav, S., C.S., V., & Gupta, S. (2024). Nutritional Composition of Honey: Implications for Human Health and Disease Prevention. *Agriculture Archives*, 3(3), 1–5.  
<https://doi.org/10.51470/agri.2024.3.3.01>
- Khalil, M. I., Sulaiman, S. A., & Gan, S. H. (2010). High 5-hydroxymethylfurfural concentrations are found in Malaysian honey samples stored for more than one year. *Food and Chemical Toxicology*, 48(8-9), 2388-2392. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.05.076>
- Lullah-Deh, J. A., Khan, M. E., & Eneji, I. S. (2018). Physicochemical characteristics of honey samples from Mambilla Plateau, *Nigeria*. 2(1), 7. <https://doi.org/10.11648/J.JB.20180201.12>
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Muhammad, M. A. A., Amir, A., & Abdul Razak, A. R. (2023). *Heterotrigona itama* kelulut honey dehydration process to prolong shelf life. In *Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Manufacturing and Materials Engineering* (pp. 131–137). [https://doi.org/10.1007/978-981-19-9509-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-19-9509-5_18)

- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2024). *Agricultural Commodity Standard: Stingless Bee Honey (TAS 8005-2024)*. *Royal Thai Government Gazette*, 141(Special Section 300 D), 3–16. (in Thai)
- Piljac-Žegarac, J., Stipčević, T., & Belščak, A. (2009). Antioxidant properties and phenolic content of different floral origin honeys. *Journal of ApiProduct and ApiMedical Science*, 1(2), 43-50.  
<https://doi.org/10.3896/IBRA.4.01.2.04>
- Quezada-Euán, J. J. G., Nates-Parra, G., Maués, M. M., Roubik, D. W., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2018). The economic and cultural values of stingless bees (Hymenoptera: Meliponini) among ethnic groups of tropical America. *Sociobiology*, 65(4), 534-557. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i4.3447>
- Salgueiro, F. B., Lira, A. F., Rumjanek, V. M., & Castro, R. N. (2014). Phenolic composition and antioxidant properties of Brazilian honeys. *Química Nova*, 37(5), 821–826.  
<https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140132>
- Samoticha, J., Wojdyło, A., & Lech, K. (2017). The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 484-489. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.073>
- Shamsudin, S., Selamat, J., Sanny, M., Abd Razak, S. B., Jambari, N. N., Mian, Z., & Khatib, A. (2019). A comparative characterization of physicochemical and bioactive properties of processed *Heterotrigona itama* honey from different origins and classification by chemometric analysis. *Molecules*, 24(21), 3898. <https://doi.org/10.3390/molecules24213898>
- Silva, T. M. S., dos Santos, F. P., Evangelista-Rodrigues, A., da Silva, E. M. S., da Silva, G. S., de Novais, J. S., Santos, F. de A. R., & Camara, C. A. (2013). Phenolic compounds, melissopalynological, physicochemical analysis and antioxidant activity of jandaira (*Melipona subnitida*) honey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 29(1), 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.09.006>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.  
<https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>

- Sousa, J. M. B., de Souza, E. L., Marques, G., de Toledo Benassi, M., Gullón, B., Pintado, M. M., & Magnani, M. (2016). Sugar profile, physicochemical and sensory aspects of monofloral honeys produced by different stingless bee species in Brazilian semi-arid region. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 645-651. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.058>
- Turkmen, N., Sari, F., Poyrazoglu, E. S., & Velioglu, Y. S. (2006). Effects of prolonged heating on antioxidant activity and colour of honey. *Food Chemistry*, 95(4), 653-657. [doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.004](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.004)
- Vit, P., Pedro, S. R. M., & Roubik, D. (Eds.). (2013). *Pot-honey: A legacy of stingless bees*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4960-7>
- Yan, S., Wang, X., Wang, W., Peng, W., Wang, K., Huang, J., Wu, L., Tian, W. L., & Xue, X. (2022). Identification of Pigmented Substances in Black Honey from *Leucosceptrum canum*: Novel Quinonoids Contribute to Honey Color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(11), 3521–3528. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07885>