ผลของการให้ความร้อนทางอ้อมต่อคุณภาพบางประการของน้ำผึ้งดอกลำไย

Effect of Indirect Heating Treatment on Some Qualities of Longan-Flower Honey

พิทยา ใจคำ*

Pittaya Chaikham*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

Division of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

Received : 29 March 2018

Accepted : 9 July 2018

Published online : 17 July 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการให้ความร้อนทางอ้อมต่อคุณภาพด้านเคมีกายภาพ ปริมาณสารสำคัญ (กรดแอสคอร์บิก สารฟีนอลทั้งหมด และฟลาโวนอยด์ทั้งหมด) และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH, FRAP และ $ABTS^{+}$) ของน้ำผึ้งดอกลำไย เปรียบเทียบกับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนทางอ้อมมีสีที่สว่างกว่าน้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ซึ่งบ่งชี้ได้จากค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ในขณะที่ปริมาณความชื้น และสารไฮดรอกซีเมททิลเฟอร์ฟิวรัลมีค่าต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด ($P \leq 0.05$) จากผลการวิเคราะห์ค่าไดแอสเทสในตัวอย่างพบว่า น้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี ที่สภาวะเดียวกันมีค่าไดแอสเทสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) นอกจากนั้นยังพบว่า น้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนทางอ้อมยังคงมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก สารฟีนอลทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และประสิทธิภาพการยับยั้งอนุมูลอิสระคงเหลือสูงกว่าน้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนโดยตรง โดยสารฟีนอลทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และประสิทธิภาพการยับยั้งอนุมูลอิสระจะมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ตามอุณหภูมิ และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าน้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนทางอ้อมที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ประสิทธิภาพการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH, กิจกรรมการจับ $ABTS^{+}$ และค่า FRAP สูงที่สุด โดยมีค่าประมาณ 83.60 mg GAE/100 g, 30.68 mg QE/100 g, ร้อยละ 40.35, 14.20 mM Trolox/100 g และ 17.03 mM Fe(II)/100 g ตามลำดับ จากงานวิจัยนี้อาจกล่าวได้ว่า การให้ความร้อนทางอ้อมสามารถปรับปรุงคุณภาพด้านเคมีกายภาพและคุณสมบัติของน้ำผึ้งได้ดีกว่าการแปรรูปโดยการให้ความร้อนโดยตรง

คำสำคัญ : น้ำผึ้งดอกลำไย, การให้ความร้อนทางอ้อม, ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล, การต้านอนุมูลอิสระ

***Corresponding author. E-mail** : pittaya.chaikham@gmail.com

Abstract

This research was purposed to investigate the effects of indirect heating treatment on physicochemical qualities, bioactive components (ascorbic acid, total phenols and total flavonoids) and antioxidant properties (DPPH, FRAP and $ABTS^+$ assays) of longan-flower honey, as compared with conventional heating. The results showed that the visual of indirect heating treated honey was significant brighter than conventionally treated samples ($P \leq 0.05$), in particular heating at 75°C, which was indicated by the browning index; whereas the lowest contents of moisture and hydroxymethylfurfural were apparently observed ($P \leq 0.05$). Both indirectly- and directly-heated samples with the same conditions displayed similar in diastase number ($P > 0.05$). Moreover, it was found that honeys treated with indirect heating process were shown to have the significant higher ($P \leq 0.05$) in the residual levels of ascorbic acid, total phenols, total flavonoids and antioxidant capacities than the directly-heated samples. Total phenols, total flavonoids and antioxidant capacities apparently increased ($P \leq 0.05$) when the temperatures and holding-times rose. The indirect heated honey at 75°C for 60 min showed the highest levels of total phenols, total flavonoids, DPPH radical inhibition, $ABTS^+$ scavenging activity and FRAP value with 83.60 mg GAE/100 g, 30.68 mg QE/100 g, 40.35%, 14.20 mM Trolox/100 g and 17.03 mM Fe(II)/100 g, respectively. This research suggests that indirect heating treatment could potentially improve the physicochemical qualities and properties of honey when compared with direct heating process.

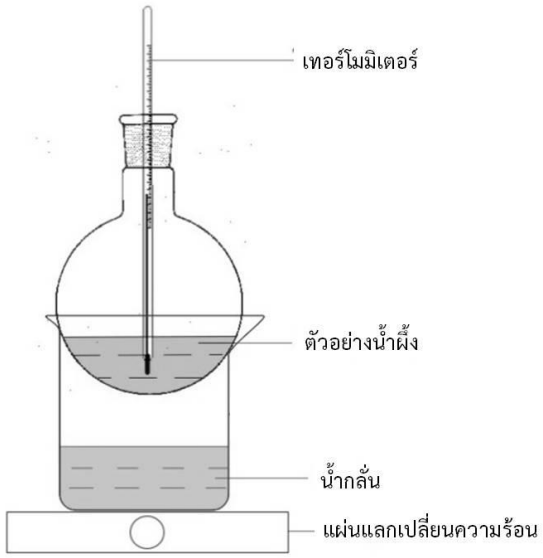
Keywords : longan-flower honey, indirect heating treatment, browning reaction, antioxidant

บทนำ

น้ำผึ้ง คือ น้ำหวานที่ผึ้งเก็บมาจากต่อมน้ำหวานของดอกไม้หรือต้นไม้ และผ่านกระบวนการย่อยภายในตัวผึ้งแล้วคายออกมาเก็บไว้ในหลอดรวงผึ้ง จากนั้นจะมีกระบวนการระเหยน้ำเกิดขึ้นโดยผึ้งจะช่วยกันกระพือปีกเพื่อไล่ความชื้นจนกระทั่งน้ำผึ้งมีความชื้นน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมกับการเก็บรักษา น้ำผึ้งมีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำตาลสูงถึงประมาณ 79 เปอร์เซ็นต์ มีรสเปรี้ยวเล็กน้อย โดยกรดที่พบมากที่สุด คือ กรดกลูโคนิก นอกจากนั้นในน้ำผึ้งยังอุดมไปด้วยวิตามิน และแร่ธาตุที่สำคัญอีกหลายชนิด ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดของเกสรดอกไม้ในน้ำผึ้ง (Khan *et al*., 2018) ลักษณะของน้ำผึ้งที่ดีจะต้องมีลักษณะเป็นของเหลวข้นเป็นเนื้อเดียวกัน ปราศจากสิ่งแปลกปลอม มีสีตามธรรมชาติตั้งแต่สีเหลืองอ่อนถึงสีน้ำตาล มีกลิ่นรสตามธรรมชาติปราศจากกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ และไม่มีกลิ่นบูดเปรี้ยวหรือมีฟองที่เกิดจากการหมักของจุลินทรีย์ (Australian Honey Bee Industry Council, 2018) น้ำผึ้งเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive components) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบพอลีฟีนอล และสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้น้ำผึ้งยังมีเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (glucose oxidase) และคะตะเลส (catalase) ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียหลายชนิด (Wilczynska, 2014; Fauzi and Farid, 2015) ดังนั้นการบริโภคอาหารหรือผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เช่น น้ำผึ้ง ซึ่งมีสารสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และมีองค์ประกอบสำคัญที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรค จึงเป็นการเพิ่มความเข้มแข็งให้กับร่างกาย และเป็นการเสริมความสามารถให้กับกลไกของร่างกายในการปกป้องเซลล์ ตลอดจนเป็นการช่วยลดการเกิดโรคจากการติดเชื้อแบคทีเรียก่อโรคชนิดต่าง ๆ ได้

น้ำผึ้งประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด ได้แก่ ฟรุคโตส กลูโคส และเลวูโลส โดยมีปริมาณฟรุคโตสมากกว่ากลูโคสเล็กน้อย ปริมาณและชนิดของน้ำตาลถือว่าเป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งในการบ่งบอกคุณภาพของน้ำผึ้ง ในการแปรรูปน้ำผึ้งนั้นจะต้องมีการนำน้ำผึ้งมาให้ความร้อนก่อนบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ เพื่อป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล และทำลายจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งยีสต์ และแบคทีเรียก่อโรคชนิดต่าง ๆ ทำให้อายุการเก็บรักษาของน้ำผึ้งยาวนานขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการแปรรูปน้ำผึ้งด้วยความร้อนแบบดั้งเดิมนั้นจะทำให้น้ำผึ้งมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากมีสารประกอบที่ให้สีน้ำตาลเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งทำให้น้ำผึ้งที่ได้ไม่มีคุณภาพ และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการสูญเสียสารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก สารกลุ่มฟีนอล และฟลาโวนอยด์ (Chua *et al*., 2014; Chaikham *et al*., 2016)

การแปรรูปน้ำผึ้งด้วยเทคนิคใหม่ อาทิเช่น การให้ความร้อนทางอ้อม (indirect heating) ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแก่อาหารโดยไม่มีการสัมผัสกับแหล่งให้ความร้อนโดยตรง แต่เป็นการให้ความร้อนโดยอาศัยคุณสมบัติการพาความร้อนของไอน้ำ ซึ่งการแปรรูปด้วยวิธีนี้อาจจะช่วยลดการเกิดสารประกอบที่ให้สีน้ำตาล และลดการสูญเสียสารสำคัญชนิดต่าง ๆ ได้ นอกจากนั้นอาจจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น ความหนืด และคุณค่าของอาหารได้ด้วย (Akhmazillah *et al*., 2013) อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาการแปรรูปน้ำผึ้งด้วยการให้ความร้อนทางอ้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลการให้ความร้อนทางอ้อมต่อคุณภาพด้านเคมีกายภาพ ปริมาณสารสำคัญ (กรดแอสคอร์บิก สารประกอบฟีนอล และฟลาโวนอยด์) และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH, FRAP และ $ABTS^{+}$) ของน้ำผึ้งดอกลำไย เปรียบเทียบกับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (การให้ความร้อนโดยตรง)



ภาพที่ 1 การให้ความร้อนทางอ้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างน้ำผึ้ง

น้ำผึ้งดอกลำไยถูกเก็บในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 จากฟาร์มผึ้งในสวนลำไย (นอกฤดู) อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน โดยนำน้ำผึ้งที่เก็บเกี่ยวได้ไปผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน 2 วิธี คือ การให้ความร้อนโดยตรง และการให้ความร้อนทางอ้อม (ดังภาพที่ 1) โดยใช้ขวดก้นกลมสีชา ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างทั้ง 2 วิธี ที่อุณหภูมิ 50 และ 75 องศาเซลเซียส (เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการละลายผลึกน้ำตาลในน้ำผึ้ง) เป็นระยะเวลา 20, 40 และ 60 นาที หลังจากให้ความร้อนแล้วนำตัวอย่างไปแช่ในอ่างน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิน้ำผึ้งจนเหลือประมาณ 25 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าสี ได้แก่ ค่า *L* (ค่าความสว่าง) ค่า *a** (ค่าความเป็นสีแดง-เขียว) และค่า *b** (ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน) ด้วยเครื่อง Miniscan XP plus Colorimeter (Hunter Lab, USA) นำค่าสีที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning index, BI) โดยใช้สมการที่ (1) (Ferrari *et al*., 2010)

$$BI = 100 \times (x - 0.31)/0.172, \text{ เมื่อ } x = (a^* + 1.75L)/(5.645L + a^* - 3.012b^*) \quad \text{-------- (1)}$$

วิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงเพื่อบ่งชี้การเกิดรงควัตถุหรือสารที่ให้สีน้ำตาลในน้ำผึ้งตามวิธีของ Turkmen *et al*. (2006) โดยนำตัวอย่าง 1 กรัม ผสมให้เข้ากันกับน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Rotina 46 R, Hettich, Germany) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที นำสารละลายใสด้านบนมาผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 1 จากนั้นนำสารละลายที่ผ่านการกรองมาทำการเจือจางจนได้ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดเท่ากับ 4 องศาบริกซ์ (ºBrix) ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (UV WINLAB spectrophotometer, Perkin Elmer, USA)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

นำตัวอย่างน้ำผึ้งมาทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 1 ต่อ 3 ก่อนนำมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter (PH100, Extech, USA) และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง Refractometer (ATAGO™ Digital Hand-Held Pocket Refractometer, PAL-RI, Fisher Scientific, USA) สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของตัวอย่างน้ำผึ้งทำได้โดยการคำนวณเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวอย่างก่อน และหลังการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างคงที่ ในการวิเคราะห์คุณภาพเหล่านี้ทำการเตรียม และวิเคราะห์ตัวอย่างตามวิธีของ AOAC (2000)

นอกจากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณสารไฮดรอกซีเมททิลเฟอร์ฟิวรัล (hydroxymethylfurfural, HMF) ในตัวอย่าง ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC; CL-10 ADVP, Shimadzu, Japan) และหาค่าไดแอสเทส (Diastase number) ด้วยเครื่อง UV WINLAB Spectrophotometer (Perkin Elmer, USA) ตามวิธีของ Chaikham *et al*. (2016)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญ และประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิก ด้วยเครื่อง HPLC วิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (total phenols) และสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoids) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ตามวิธีของ Chaikham and Apichartsrangkoon (2012) รวมทั้งวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี DPPH, FRAP และ $ABTS^{+}$ โดยทำการสกัด และวิเคราะห์ตัวอย่างตามวิธีของ Chaikham *et al*. (2016) และ Wilczynska (2017)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองนี้ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี Ducan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (SPSS Inc., USA)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ค่าสี และค่าการดูดกลืนแสงของน้ำผึ้ง

ค่าสี และค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำผึ้งดอกลำไยที่ผ่านการแปรรูปโดยการให้ความร้อนโดยตรง (วิธีดั้งเดิม) และการให้ความร้อนทางอ้อมที่อุณหภูมิ (50 และ 75 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (20, 40 และ 60 นาที) แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 1 จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความร้อนทั้ง 1 วิธี มีผลต่อค่าสี *L*, *a**, *b** และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (BI) รวมทั้งค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ค่าความสว่าง (*L*) ของตัวอย่างจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิ และระยะเวลาในการแปรรูปเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม จะเห็นได้ชัดว่าในตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนทางอ้อมจะมีค่าความสว่างสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่สภาวะการให้ความร้อนเดียวกัน ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (*a**) และค่าความเป็นสีเหลือง (*b**) ของตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามอุณหภูมิ และระยะเวลาในการแปรรูปที่เพิ่มขึ้น โดยค่าสีดังกล่าวมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับค่าสี *L* และลักษณะปรากฏของตัวอย่างน้ำผึ้ง ค่าสี *L* ที่ลดลง และการเพิ่มขึ้นของค่าสี *a** และ *b** ในตัวอย่างนั้น แสดงว่าน้ำผึ้งมีสีเข้มมากขึ้นหลังจากผ่านการให้ความร้อน ผลการทดลองดังกล่าวเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารที่ให้สีน้ำตาลในตัวอย่าง จากการวิเคราะห์หาค่า BI ในตัวอย่างพบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมจะมีค่า BI สูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนทางอ้อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยจะเห็นผลชัดเจนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที แต่อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ($AU_{420\ nm}$) พบว่า ปริมาณรงควัตถุที่ให้สีน้ำตาลในตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อผ่านการแปรรูปที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม แต่ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ค่าดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) นอกจากนั้นยังพบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปทั้ง 2 วิธี ที่สภาวะในการแปรรูปเดียวกันมีค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) น้ำผึ้งที่มีค่าความสว่างต่ำลงจากการแปรรูปด้วยความร้อนจะมีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าตัวอย่างมีปริมาณสารที่ให้สีน้ำตาลเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีความข้นของสีน้ำผึ้งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สารที่ให้สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในตัวอย่างในระหว่างการแปรรูปด้วยความร้อนเกิดจาก

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี และค่าการดูดกลืนแสงของน้ำผึ้งดอกลำไยที่ผ่านการแปรรูปโดยการให้ความร้อนโดยตรง และการให้ความร้อนทางอ้อม

การแปรรูป	อุณหภูมิ (ºC)	เวลา (นาที)	ค่าสี				ค่าการดูดกลืนแสง ($AU_{420\ nm}$)
			L	*a**	*b**	BI	
ชุดควบคุม (น้ำผึ้งสด)	-	-	66.91±0.96^{a}	3.43±0.06^{g}	31.86±0.94^{h}	66.54±2.53^{j}	0.075±0.003^{c}
การให้ความร้อนโดยตรง	50	20	64.71±0.71^{b}	3.93±0.05^{d}	35.00±0.64^{fg}	78.05±2.48^{gh}	0.076±0.001^{c}
		40	62.36±0.62^{c}	3.95±0.05^{d}	36.75±0.80^{de}	87.86±2.83^{e}	0.076±0.005^{bc}
		60	60.39±0.23^{e}	4.14±0.04^{c}	38.06±0.60^{cd}	96.90±2.35^{c}	0.077±0.004^{bc}
	75	20	63.01±0.17^{c}	3.95±0.05^{d}	35.63±0.38^{e}	82.95±1.50^{f}	0.080±0.002^{ab}
		40	59.94±0.59^{ef}	4.22±0.16^{bc}	38.65±0.36^{bc}	100.30±2.77^{b}	0.082±0.003^{ab}
		60	57.94±0.58^{g}	4.57±0.15^{a}	40.15±0.22^{a}	112.18±2.68^{a}	0.085±0.003^{a}
การให้ความร้อนทางอ้อม	50	20	64.93±0.54^{b}	3.73±0.07^{f}	34.26±0.59^{g}	75.27±1.78^{h}	0.075±0.002^{c}
		40	63.00±0.14^{c}	3.89±0.03^{e}	35.89±0.53^{e}	83.71±1.56^{ef}	0.077±0.004^{bc}
		60	61.24±0.34^{d}	4.02±0.05^{d}	37.44±0.59^{d}	92.61±2.65^{d}	0.078±0.004^{ab}
	75	20	63.41±0.38^{c}	3.83±0.06^{ef}	35.05±0.11^{f}	80.28±0.64^{g}	0.081±0.005^{ab}
		40	60.96±0.13^{d}	4.18±0.05^{c}	37.36±0.30^{d}	93.15±0.95^{d}	0.083±0.002^{ab}
		60	59.11±0.34^{f}	4.31±0.05^{b}	39.02±0.21^{b}	103.96±1.59^{b}	0.084±0.002^{a}

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- BI คือ ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง (non-enzymatic browning reaction) หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด ปฏิกิริยาดังกล่าวดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ง่ายในน้ำผึ้งที่มีความเป็นกรด และมีปริมาณความชื้นสูง สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเกิดจากการควบแน่นของน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนอิสระที่ละลายอยู่ในน้ำผึ้ง (Chaikham *et al*., 2016; Fauzi and Farid, 2015)

คุณภาพด้านเคมีของน้ำผึ้ง

ค่า pH เป็นค่าที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ใช้บ่งชี้ความคงตัวของน้ำผึ้ง ซึ่งมีผลต่ออายุการเก็บรักษา น้ำผึ้งที่มีค่า pH สูง อาจทำให้เกิดการหมักโดยจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาขึ้นได้ (Liza *et al*., 2013) จากตารางที่ 2 พบว่า ค่า pH ของตัวอย่างชุดควบคุม และตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนทั้ง 2 วิธี มีค่าอยู่ในช่วง 3.44-3.59 ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงมาตรฐานของน้ำผึ้งที่ผลิตเพื่อจำหน่ายในประเทศออสเตรเลีย โดยกำหนดไว้ว่าน้ำผึ้งที่พึงประสงค์จะต้องมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.3-6.1 (Australian Honey Bee Industry Council, 2018) เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่า pH จากวิธีการ และสภาวะในการผลิตที่แตกต่างกันพบว่า น้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธีดั้งเดิมมีอัตราการลดลงของค่า pH สูงกว่าน้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนทางอ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแปรรูปที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส การลดลงของค่า pH ในตัวอย่างน้ำผึ้งในขณะที่ให้ความร้อน เกิดจากการปลดปล่อยของกรดอินทรีย์ที่อยู่ในเกสรดอกไม้ในน้ำผึ้งออกมา น้ำผึ้งที่มีค่า pH ประมาณ 3.5 ยังมีคุณสมบัติในการต้านแบคทีเรียก่อโรคหลายชนิดอีกด้วย อาทิเช่น *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* (Fauzi and Farid, 2015; Almasaudi *et al*., 2017; Ramos *et al*., 2018) ดังนั้นน้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนในงานวิจัยนี้จึงมีสภาวะความเป็นกรดที่เพียงพอในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ได้

ความชื้นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ใช้บ่งชี้คุณภาพของน้ำผึ้ง เนื่องจากปริมาณน้ำในน้ำผึ้งมีผลกระทบต่อการแปรรูป และการเก็บรักษาน้ำผึ้ง โดยปริมาณความชื้นในน้ำผึ้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัย ได้แก่ พันธุ์ผึ้ง ช่วงวงจรชีวิตของผึ้ง แหล่งผลิตน้ำผึ้ง ฤดูกาลเก็บเกี่ยว และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น (Ramos *et al*., 2018) จากการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในตัวอย่างน้ำผึ้ง (ตารางที่ 2) พบว่า ปริมาณความชื้นในตัวอย่างทั้งหมดมีค่าอยู่ในระหว่างร้อยละ 15.15 ถึง 19.12 โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณดังกล่าวอยู่ในช่วงมาตรฐานของน้ำผึ้งที่ผลิตเพื่อจำหน่ายในประเทศออสเตรเลีย โดยกำหนดไว้ว่าน้ำผึ้งจะต้องมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 14-20 (Australian Honey Bee Industry Council, 2018) ปริมาณความชื้นในตัวอย่างทั้งหมดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนทางอ้อมที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส แสดงว่าการให้ความร้อนแบบทางอ้อมมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม จึงทำให้ไอน้ำระเหยออกไปมากกว่า น้ำผึ้งที่มีปริมาณความชื้นต่ำจะเกิดการหมักโดยจุลินทรีย์ช้าลง (Chaikham *et al*., 2016) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการให้ความร้อนทางอ้อมมีข้อดีในการลดผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำผึ้งซึ่งเกิดจากกระบวนการหมักในระหว่างการเก็บรักษาได้

น้ำผึ้งโดยทั่วไปจะมีความเข้มข้นของน้ำตาลอยู่ระหว่าง 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งส่วนมากจะเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ได้แก่ ฟรุคโตส และกลูโคส นอกจากนั้นยังประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลคู่ และน้ำตาลชนิดอื่น ๆ เช่น มอลโตส ซูโครส เมเลซิโทส เป็นต้น (Doğan, 2011) โดยปริมาณของน้ำตาลในน้ำผึ้งสามารถแสดงค่าเป็นปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่า ตัวอย่างน้ำผึ้งชุดควบคุม และตัวอย่างที่ผ่านให้การความร้อนทั้ง 2 วิธี มีปริมาณ TSS อยู่ระหว่าง 70.19 ถึง 72.00 องศาบริกซ์ ปริมาณ TSS ในตัวอย่างที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนทั้ง 2 วิธี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม ซึ่งพบว่าเวลาในการให้ความร้อนไม่มีผลต่อปริมาณ TSS ของตัวอย่าง

ในขณะที่การให้ความร้อนทางอ้อมแก่ตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 2) จากงานวิจัยของ Anupama *et al.* (2003) พบว่า ตัวอย่างน้ำผึ้งชนิดเดียวกันที่มีปริมาณความชื้นสูงจะมีค่า TSS ต่ำตามไปด้วย โดยค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์เชิงลบ (negative correlation) ซึ่งกันและกัน

ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนกับหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาล ปฏิกิริยานี้ให้สารผลิตภัณฑ์มากมายหลายชนิด แต่สารผลิตภัณฑ์หนึ่งที่เกิดขึ้น คือ สารไฮดรอกซีเมททิลเฟอร์ฟิวรัล (hydroxymethylfurfural, HMF) เนื่องจากสาร HMF เป็นสารพิษชนิดหนึ่ง (สารก่อมะเร็ง) และสารชนิดนี้ยังทำให้น้ำผึ้งมีสีดำคล้ำด้วย โดยปริมาณของ HMF ถูกใช้ในการกำหนดคุณภาพของน้ำผึ้งทั้งในประเทศ และต่างประเทศ (Kuntatkumpol *et al.*, 2011) จากการวิเคราะห์หาปริมาณ HMF ในตัวอย่างน้ำผึ้ง (ตารางที่ 2) พบว่า ตัวอย่างมีผ่านการแปรรูปทุกภาวะมีปริมาณ HMF มากกว่าตัวอย่างชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยที่สภาวะในการแปรรูปเดียวกันน้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนโดยตรงจะมีปริมาณ HMF มากกว่าน้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนทางอ้อม โดยจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความร้อน ผลการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับค่า BI ในตัวอย่าง จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าตัวอย่างทั้งหมดมีปริมาณ HMF อยู่ในช่วง 6.53-9.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปโดยการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี มีปริมาณ HMF ต่ำกว่ามาตรฐานตามของ Australian Honey Bee Industry Council (2018) โดยระบุว่าน้ำผึ้งจะต้องมีปริมาณ HMF ไม่เกิน 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานของ Kuntatkumpol *et al.* (2011) ซึ่งพบว่า ปริมาณของ HMF ในน้ำผึ้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ (40, 60, 80 และ 100 องศาเซลเซียส) เวลาที่ใช้ในการแปรรูป (20, 40, 60, 80 100 และ 120 นาที) และระยะเวลาในการเก็บรักษา (1, 2, 3, 4, 5, 6, 12 และ 24 เดือน) เพิ่มมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณ HMF ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะทำให้น้ำผึ้งมีสีเข้มมากขึ้น Fennema (1996) ได้อธิบายว่า น้ำตาลรีดิวซ์ทั้งคีโตส และแอลโดสจะรวมกับหมู่อะมิโนได้เป็นสารไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นสารอิมีน (imine) จากนั้นจะมีการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นสารแอลโดสเอมีน (aldoseamine) หรือคีโตสเอมีน (ketoseamine) และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนเกิดอนุพันธ์ของสารประกอบฟูแรน (furan) ถ้าน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดปฏิกิริยาเป็นน้ำตาลเฮกโซส อนุพันธ์ของฟูแรนที่ได้คือ สารประกอบ HMF นั่นเอง โดยสารดังกล่าวจะให้สีน้ำตาล และไม่ละลายน้ำ นอกจากนั้นจากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในตัวอย่างไม่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ HMF และค่า BI เนื่องจากตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น และเป็นเวลานานย่อมเกิดการระเหยของน้ำมากขึ้นจึงทำให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง ส่วนปริมาณ HMF และค่า BI นั้นมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากสารสี และค่าสีดังกล่าวมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับอุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน

เอนไซม์ที่สำคัญที่พบในน้ำผึ้ง คือ เอนไซม์ไดแอสเทส (อะไมเลส) โดยเอนไซม์ชนิดนี้จะทำหน้าที่ในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าในน้ำต้อยของดอกไม้ (nectar) ที่ถูกนำมาผลิตเป็นน้ำผึ้งจะไม่มีองค์ประกอบของแป้งอยู่เลย แต่ค่าของเอนไซม์นี้จำเป็นต้องตรวจวัดเพราะเป็นค่ามาตรฐานที่สำคัญค่าหนึ่งของน้ำผึ้ง เนื่องจากเอนไซม์นี้จะสูญเสียสภาพไปเมื่อถูกความร้อน ดังนั้นเมื่อน้ำผึ้งที่มีความชื้นสูงไปอบหรือไล่ความชื้นด้วยความร้อน ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ชนิดนี้จะมีค่าลดลง (Chaikham *et al.*, 2016) จากตารางที่ 2 พบว่า น้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี มีค่าไดแอสเทสมีค่าเท่ากับ 10.13-14.31 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในตัวอย่างน้ำผึ้งชุดควบคุม (16.04) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าไดแอสเทสมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ($P \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อ

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเคมีของของน้ำผึ้งดอกลำไยที่ผ่านการแปรรูปโดยการให้ความร้อนโดยตรง และการให้ความร้อนทางอ้อม

การแปรรูป	อุณหภูมิ (ºC)	เวลา (นาที)	pH	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	TSS (องศาบริกซ์)	HMF (mg/kg)	ค่าไดแอสเทส (Diastase no.)
ชุดควบคุม (น้ำผึ้งสด)	-	-	3.59±0.04^{a}	19.12±0.11^{a}	70.19±0.13^{g}	6.53±0.12^{g}	16.04±0.42^{a}
การให้ความร้อนโดยตรง	50	20	3.52±0.02^{bc}	18.65±0.13^{b}	70.27±0.18^{fg}	6.83±0.09^{f}	14.22±0.13^{b}
		40	3.50±0.02^{bc}	18.09±0.09^{c}	70.25±0.10^{g}	7.09±0.21^{ef}	13.57±0.25^{c}
		60	3.47±0.03^{cd}	17.48±0.07^{d}	70.39±0.07^{fg}	7.13±0.03^{e}	12.96±0.27^{d}
	75	20	3.47±0.01^{d}	18.03±0.15^{c}	70.40±0.10^{fg}	7.62±0.07^{d}	13.05±0.16^{d}
		40	3.45±0.02^{d}	16.95±0.20^{f}	70.63±0.05^{d}	8.89±0.09^{b}	10.84±0.23^{e}
		60	3.44±0.05^{d}	16.17±0.18^{g}	71.05±0.09^{c}	9.16±0.17^{a}	10.13±0.20^{f}
การให้ความร้อนทางอ้อม	50	20	3.54±0.03^{ab}	18.41±0.15^{b}	70.20±0.13^{g}	6.60±0.11^{g}	14.31±0.18^{b}
		40	3.51±0.03^{bc}	18.11±0.11^{c}	70.48±0.11^{ef}	6.67±0.23^{fg}	13.54±0.14^{c}
		60	3.50±0.02^{bc}	17.20±0.05^{e}	70.51±0.03^{e}	7.05±0.20^{ef}	12.90±0.21^{d}
	75	20	3.51±0.05^{abc}	17.63±0.13^{d}	71.03±0.07^{c}	7.04±0.15^{ef}	12.95±0.10^{d}
		40	3.48±0.04^{bcd}	16.02±0.10^{g}	71.75±0.16^{b}	7.21±0.08^{e}	11.01±0.30^{e}
		60	3.49±0.02^{bc}	15.15±0.09^{h}	72.00±0.08^{a}	8.03±013^{c}	10.25±0.22^{f}

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- TSS คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด และ HMF คือ สารไฮดรอกซีเมททิลเฟอร์ฟิวรัล

เปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี พบว่า ที่สภาวะในการให้ความร้อนเดียวกัน ตัวอย่างน้ำผึ้งมีค่าไดแอสเทสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ตามมาตรฐานของ Australian Honey Bee Industry Council (2018) ได้ระบุว่าน้ำผึ้งจะต้องมีค่าไดแอสเทสไม่ต่ำกว่า 3 แสดงว่าน้ำผึ้งที่ผ่านการแปรรูปในงานวิจัยนี้มีมาตรฐาน และยังคงมีความสดของน้ำผึ้งอยู่

ปริมาณสารสำคัญ และกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำผึ้ง

กรดแอสคอร์บิกเป็นวิตามินที่พบในน้ำผึ้งจากดอกไม้หลายชนิด โดยปริมาณที่พบในน้ำผึ้งจะแตกต่างกันตามแหล่งที่มาของน้ำผึ้งหรือชนิดของดอกไม้ Khan *et al. (*2018) รายงานว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่พบในน้ำผึ้งทั่วไปจะพบอยู่ระหว่าง 13.89 ถึง 27.32 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม จากการวิเคราะห์หากรดแอสคอร์บิกในน้ำผึ้งดอกลำไยทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 3) พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในตัวอย่างจะมีค่าลดลงเมื่อผ่านการให้ความร้อน และมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี ที่สภาวะเดียวกัน พบว่า การให้ความร้อนแบบดั้งเดิมจะมีผลต่อการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิกในตัวอย่างน้ำผึ้งมากกว่าการให้ความร้อนทางอ้อม และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กรดแอสคอร์บิกเป็นวิตามินที่มีความเสถียรค่อนข้างต่ำภายใต้อุณหภูมิสูง โดยปกติการให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในน้ำผึ้งลดลงไปถึง 80 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ แสง ออกซิเจน และปริมาณสารประกอบไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ก็ส่งผลต่อการลดลงของกรดแอสคอร์บิกเช่นกัน (Chaikham *et al*., 2016)

จากตารางที่ 3 ยังพบว่า ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด (total phenols) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoids) และกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH, FRAP และ $ABTS^{+}$) ของตัวอย่างน้ำผึ้งเมื่อผ่านการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผึ้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน นอกจากนั้นยังพบว่า การให้ความร้อนแบบดั้งเดิมจะมีส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารสำคัญ และกิจกรรมในต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวต่ำกว่าการให้ความร้อนทางอ้อม และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และยังพบว่า การให้ความร้อนทางอ้อมที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ตัวอย่างจะมีปริมาณสารสำคัญ และกิจกรรมในต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารสำคัญ และกิจกรรมในต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างน้ำผึ้งในขณะที่ให้ความร้อน สามารถเกิดขึ้นจากการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่อยู่ในเกสรดอกไม้ในน้ำผึ้งออกมา (Chaikham *et al*., 2016) จากรายงานของ Patras *et al*. (2009) พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการสกัดของสารบางชนิด ได้แก่ กรดฟีนอลิก แอนโทไซยานิน กรดอะมิโน และโปรตีน แต่อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ Chaikham *et al.* (2016) พบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ทำให้เกิดการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณสารประกอบฟีนอล และฟลาโวนอยด์ในน้ำผึ้งดอกไม้ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำผึ้งดอกลำไย ดอกลิ้นจี่ และดอกไม้ป่า ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง (non-enzymatic oxidation) ของสารกลุ่มดังกล่าวไปเป็นสารควิโนน (quinones) ในระหว่างการให้ความร้อน (Patras *et al*., 2009) ผลการทดลองในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานของ Chaikham *et al*. (2015) ซึ่งพบว่า การให้ความร้อนแก่น้ำผึ้งโดยการต้มที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส (1 - 5 นาที) ทำให้ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และค่า FRAP ในตัวอย่างมีค่าสูงขึ้นตาม

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำผึ้งดอกลำไยที่ผ่านการแปรรูปโดยการให้ความร้อนโดยตรงและการให้ความร้อนทางอ้อม

การแปรรูป	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ปริมาณสารสำคัญ			กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ		
			กรดแอสคอร์บิก (mg/100 g)	Total phenols (mg GAE/100 g)	Total flavonoids (mg QE/100 g)	DPPH (ร้อยละ)	FRAP (mM Fe(II)/100 g)	$ABTS^+$ (mM Trolox/100 g)
ชุดควบคุม (น้ำผึ้งสด)	-	-	16.48±0.07^{a}	69.23±1.28^{e}	21.92±1.16^{f}	34.12±1.84^{d}	14.50±0.85^{cd}	11.63±0.15^{d}
การให้ความร้อนโดยตรง	50	20	15.13±0.12^{c}	70.13±2.09^{de}	22.04±0.47^{f}	35.13±3.02^{cd}	14.12±0.41^{d}	11.80±0.74^{d}
		40	14.55±0.15^{e}	72.60±1.05^{d}	23.15±0.91^{e}	36.85±1.47^{cd}	14.46±0.68^{cd}	12.11±1.02^{cd}
		60	14.20±0.05^{f}	75.24±0.96^{c}	23.86±1.44^{de}	37.70±2.60^{b}	14.90±0.75^{cd}	12.58±0.83^{bc}
	75	20	14.03±0.21^{g}	75.43±2.17^{c}	25.61±1.23^{cd}	36.58±2.13^{cd}	14.83±0.77^{cd}	11.97±0.19^{d}
		40	13.58±0.09^{h}	76.19±1.63^{c}	27.29±0.60^{bc}	37.61±0.98^{c}	14.97±0.10^{c}	12.04±0.46^{cd}
		60	12.41±0.18^{j}	80.87±1.88^{ab}	27.70±0.91^{b}	38.03±1.42^{bc}	15.62±0.46^{ab}	13.15±0.82^{ab}
การให้ความร้อนทางอ้อม	50	20	15.50±0.15^{b}	71.92±1.42^{de}	21.90±1.45^{f}	35.46±3.15^{cd}	14.20±0.80^{cd}	12.26±1.04^{c}
		40	14.86±0.11^{d}	75.62±0.97^{c}	23.45±1.07^{de}	36.82±1.11^{cd}	14.87±0.45^{cd}	12.91±0.25^{b}
		60	14.41±0.20^{e}	80.07±0.85^{b}	24.04±0.75^{de}	38.04±1.46^{bc}	15.21±0.41^{bc}	13.11±0.87^{ab}
	75	20	14.50±0.15^{e}	77.65±2.43^{c}	26.00±1.33^{bc}	37.97±2.16^{bc}	15.03±1.04^{bc}	13.04±1.00^{ab}
		40	14.09±0.04^{g}	80.91±1.60^{ab}	28.31±2.05^{ab}	39.11±0.59^{ab}	16.95±1.19^{a}	13.26±0.44^{ab}
		60	13.28±0.13^{i}	83.60±1.89^{a}	30.68±1.80^{a}	40.35±1.31^{a}	17.03±1.02^{a}	14.20±0.71^{a}

หมายเหตุ : - ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันพบว่า การต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ปริมาณสารสำคัญและกิจกรรมในต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวกลับมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่า น้ำผึ้งดอกลำไยที่ผ่านการให้ความร้อนทางอ้อมมีสีที่สว่างกว่าน้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนโดยตรง เช่นเดียวกับปริมาณสารสำคัญ และกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH, FRAP และ $ABTS^{+}$) ซึ่งพบว่าน้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนทางอ้อมยังคงมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก สารฟีนอลทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และประสิทธิภาพการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงกว่าน้ำผึ้งที่ผ่านการให้ความร้อนโดยตรง โดยปริมาณของสารประกอบสำคัญดังกล่าว (ยกเว้นกรดแอสคอร์บิก) และค่ากิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระจะมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิ และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ชัดว่า การให้ความร้อนทางอ้อมแก่น้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากตัวอย่างมีปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงที่สุด ดังนั้น การแปรรูปด้วยความร้อนแบบทางอ้อมอาจจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำผึ้งในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Akhmazillah, M.F.N., Farid, M.M. & Silva, F.V.M. (2013). High pressure processing (HPP) of honey for the improvement of nutritional value. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *20*, 59-63.

Almasaudi, S.B., Al-Nahari, A.A.M., Abd El-Ghany, E.S.M., Barbour, E., Al Muhayawi, S.M., Al-Jaouni, S., Azhar, E., Qari, M., Qari, Y.A. & Harakeh, S. (2017). Antimicrobial effect of different types of honey on *Staphylococcus aureus*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *24*, 1255-1261.

Anupama, D., Bhat, K.K. & Sapna, V.K. (2003). Sensory and physico-chemical properties of commercial samples of honey. *Food Research International, 36*,183-191.

AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, D.C., USA: AOAC.

Australian Honey Bee Council. (2018). *Proposed Australian Honey Standard, ABN: 63 939 614 424*. [Online] .Retrieved March 10, 2018, from https://honeybee.org.au/

Chaikham, P. & Apichartsrangkoon, A. (2012). Comparison of dynamic viscoelastic and physicochemical properties of pressurised and pasteurised longan juices with xanthan addition. *Food Chemistry*, *134*, 2194-2200.

Chaikham, P., Kemsawasd, V. & Apichartsrangkoon, A. (2016). Effects of conventional and ultrasound treatments on physicochemical properties and antioxidant capacity of floral honeys from Northern Thailand. *Food Bioscience*, *15*, 19-26.

Chua, L.S., Adnan, N.A., Abdul-Rahaman, N.L. & Sarmidi, M.R. (2014). Effect of thermal treatment on the biochemical composition of tropical honey samples. *International Food Research Journal*, *21*, 773-778.

Doğan, M. (2011). Rheological behaviour and physicochemical properties of kefir with honey. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, *6*, 327-332.

Fauzi, N.A. & Farid, M.M. (2015). High-pressure processing of Manuka honey: brown pigment formation, improvement of antibacterial activity and hydroxymethylfurfural content. *International Journal of Food Science and Technology*, *50*, 178-185.

Fennema, O.R. (1996). *Food chemistry*, 3rd ed. New York: Marcel Dekker.

Ferrari, G., Maresca, P. & Ciccarone, R. (2010). The application of high hydrostatic pressure for the stabilization of functional foods: Pomegranate juice. *Journal of Food Engineering*, *100*, 245-253.

Khan, S.U., Anjum, S.I., Rahman, K., Ansari, M.J., Khan, W.U., Kamal, S., Khattak, B., Muhammad, A. & Ullah Khan, H. (2018). Honey: Single food stuff comprises many drugs. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *25*, 320-325.

Kuntatkumpol, A., Muangthai, P. & Jittangprasert, P. (2011). Study of 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde from Maillard reaction in honey. *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, *3*, 47-58. (in Thai)

Liza, A.N., Suan, C.L., Roji, S.M. & Aziz, R. (2013). Physicochemical and radical scavenging activities of honey samples from Malaysia. *Agricultural Sciences*, *4*, 46-51.

Patras, A., Brunton, N.P., Da Pieve, S. & Butler, F. (2009). Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *10,* 308-313.

Ramos, O.Y., Salomón, V., Libonatti, C., Cepeda, R., Maldonado, L. & Basualdo, M. (2018). Effect of botanical and physicochemical composition of Argentinean honeys on the inhibitory action against food pathogens. *LWT-Food Science and Technology*, *87*, 457-463.

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*, 653-657.

Wilczynska, A. (2014). Effect of filtration on colour, antioxidant activity and total phenolics of honey. *LWT-Food Science and Technology*, *57*, 767-774.