

# การละลายผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันโดยวิธีอัลตราซาวด์กำลังสูง

## Melting of crystallized sunflower honey by high power ultrasonic method

Rojjarej Nunta and Pilairuk Intipunya\*

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการละลายผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันโดยวิธีอัลตราซาวด์กำลังสูง โดยศึกษาการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ที่ระดับกำลัง 26, 32.5, 39, 45.5 และ 52 วัตต์ พบว่าเมื่อเพิ่มระดับกำลังขึ้น อุณหภูมิของน้ำผึ้งเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ระยะเวลาในการละลายผลึกลดลง ซึ่งกำลังคลื่นที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าสี ค่าความสว่างและปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอรูฟิวรัลของน้ำผึ้งเพิ่มขึ้น ขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และกิจกรรมของเอนไซม์ไดแอสเทสลดลง จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการละลายผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันคือ ที่ระดับกำลัง 52 วัตต์ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการละลายผลึก 1 ชั่วโมง เนื่องจากใช้ระยะเวลาที่สั้นที่สุดและสามารถรักษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและเอนไซม์ไดแอสเทสได้สูงที่สุด มีการเพิ่มของปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอรูฟิวรัลน้อยที่สุด และน้ำผึ้งที่ผ่านการละลายผลึกแล้ว พบว่ามีค่าความสว่าง (L) สูงที่สุด มีค่า a และ b ต่ำที่สุด ดังนั้นการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ที่สภาวะนี้ จึงสามารถรักษาคุณภาพของน้ำผึ้งได้ใกล้เคียงกับก่อนการละลายมากที่สุด

**คำสำคัญ:** น้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึก, คลื่นอัลตราซาวด์กำลังสูง, การละลายผลึกน้ำผึ้ง

### Abstract

This research was aimed at determining the optimum condition for melting of crystallized sunflower honey using high power ultrasonic at 26, 32.5, 39, 45.5 and 52 W. It was found that temperature in honey was increased and melting time was reduced with increasing power. By increasing the power, the color and hydroxymethylfurfural was increased but antioxidant and enzyme diastase content was reduced. The optimum melting condition was at 52 W and 1 hour melting time. At this condition, the melted honey had the highest residual antioxidant activity and enzyme diastase content with lower increasing level of hydroxymethylfurfural content. The melted honey had the highest level of brightness (L) and had the lowest a and b values. High power ultrasonic process at the optimum condition could maintain quality of the sunflower honey in a similar manner as natural honey.

**Keywords:** crystallized sunflower honey, high power ultrasonic, melting of crystallized honey

Division of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University,  
Chiang Mai 50100, Thailand

\* Corresponding author. Tel/Fax: +66 5394 8246 E-mail: pilairuk@chiangmai.ac.th

## 1. บทนำ

การบริโภคน้ำผึ้งดอกทานตะวันภายในประเทศนั้นมีประมาณ 2-3 ตันต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550) น้ำผึ้งเป็นน้ำหวานจากดอกไม้ที่ผึ้งดูดมาเก็บรวมไว้ในรังผึ้งซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันไปตามชนิดของดอกไม้และแหล่งที่ผึ้งไปดูดน้ำหวานมา น้ำผึ้งที่ได้จากดอกไม้บางชนิด เช่น ดอกทานตะวัน ดอกยางพารา และดอกลิ้นจี่ เมื่อเก็บรักษาเอาไว้ระยะหนึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นทั้งทางกายภาพและเคมี เช่น น้ำผึ้งจะมีกลิ่นและรสชาติที่เปลี่ยนไป มีสีเข้ม ชุ่ม และเกิดการตกผลึก โดยเฉพาะน้ำผึ้งดอกทานตะวันพบว่าตกผลึกได้เร็วกว่าน้ำผึ้งชนิดอื่น ปัจจัยที่มีผลต่อการตกผลึกของน้ำผึ้ง ได้แก่ ปริมาณกลูโคส ความชื้น ส่วนประกอบอื่นๆ และสภาวะการเก็บรักษา การที่น้ำผึ้งดอกทานตะวันตกผลึกได้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากน้ำผึ้งดอกทานตะวันมีสัดส่วนฟรักโทสต่อกลูโคสต่ำกว่าน้ำผึ้งดอกลำไยและน้ำผึ้งดอกสาบเสือจึงเกิดการตกผลึกได้เร็ว (ธนากร และจิตติธัน, 2551) ผลึกที่เกิดขึ้นเป็นของแข็งจึงเกิดการแยกชั้นขึ้นในน้ำผึ้ง และส่งผลให้ส่วนที่เป็นของเหลวมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นทำให้เสี่ยงต่อการเสื่อมเสียจากการเจริญของจุลินทรีย์ (Gleiter et al., 2006) นอกจากนี้ น้ำผึ้งที่ตกผลึกจะกลายเป็นก้อนแข็งติดอยู่กับภาชนะที่บรรจุ ส่งผลให้เกิดความลำบากในการบรรจุเพื่อจำหน่ายแบบปลีกของผู้ประกอบการ รวมทั้งยังทำให้ผู้บริโภคเข้าใจว่าเป็นน้ำผึ้งเทียมหรือน้ำผึ้งเสื่อมคุณภาพ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550) ผู้ประกอบการจึงได้แก้ไขปัญหาดังกล่าว ด้วยการนำน้ำผึ้งที่ตกผลึกไปหลอมละลายโดยนำไปวางผึ้งแดด หรือจุ่มในน้ำร้อน ซึ่งทั้งสองวิธีใช้เวลานานในการละลายผลึกจนหมด และส่งผลกระทบต่อให้น้ำผึ้งเกิดการเสื่อมเสียด้านคุณภาพสี กลิ่น รส (ธนากร และจิตติธัน, 2551) ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการใช้คลื่นอัลตราซาวด์กำลังสูงในการละลายผลึกของน้ำผึ้งดอกทานตะวัน เพื่อลดระยะเวลาการละลายผลึก น้ำผึ้งและลดการเสื่อมคุณภาพของน้ำผึ้ง พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี ของน้ำผึ้งที่ผ่านการละลายผลึกแล้ว

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้มี 2 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์สมบัติของน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ตกผลึกเริ่มต้น และการละลายผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์กำลังสูง โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.1 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ตกผลึก

นำน้ำผึ้งดอกทานตะวันซึ่งมีปริมาณการตกผลึก 3 ใน 4 ของภาชนะบรรจุ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร คนจนกระทั่งส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวผสมเข้ากัน จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพของน้ำผึ้งก่อนนำไปละลายผลึก โดยวิเคราะห์ ค่าสี (Hunter Lab) ความหนืด รูปทรงของผลึก (โดยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 40 เท่า) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (AOAC, 2000) ค่า pH ปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2000) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกลูโคสและฟรักโทส (AOAC, 2000) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging activity และวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) (Ferreiral et al.,

2009) กิจกรรมของเอนไซม์ไทแอสเทส (AOAC, 2000) และปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอรัฟิวรัล (AOAC, 2000)

## 2.2 การละลายผลึกน้ำผึ้งโดยการใช้อัลตราซาวด์กำลังสูง

นำน้ำผึ้งดอกทานตะวันตากผลึกซึ่งมีปริมาณการตกผลึก 3 ใน 4 ของภาชนะบรรจุ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร คนจนกระทั่งส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวผสมเข้ากัน วัดอุณหภูมิเริ่มต้น ละลายผลึกโดยใช้อัลตราซาวด์กำลังสูงความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยแปรระดับกำลัง 5 ระดับ คือ 26, 32.5, 39, 45.5 และ 52 วัตต์ สังเกตการละลายของผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 40 เท่า) บันทึกเวลาทั้งหมดที่ใช้ละลายผลึก ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design : CRD) จากนั้นนำน้ำผึ้งที่ผ่านการละลายผลึกแล้วไปวิเคราะห์ สมบัติทางเคมีและกายภาพ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 หาสมภาวะที่เหมาะสมในการละลายผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวัน โดยพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่าสี ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ กิจกรรมของเอนไซม์ไทแอสเทส และปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอรัฟิวรัล นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ไพโรจน์, 2535)

## 3. ผลและวิจารณ์

### 3.1 สมบัติของน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ตกผลึก

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำผึ้งดอกทานตะวันตากผลึกเริ่มต้น (Table 1) พบว่า น้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ตกผลึกมีค่าความสว่าง (L) เท่ากับ 69.33 และมีค่า a เท่ากับ 2.61 โดย a ที่มีค่าเป็นบวก แสดงว่ามีสีค่อนข้างแดง ส่วนค่า b ของตัวอย่างน้ำผึ้งดอกทานตะวันตากผลึก เท่ากับ 29.08 โดย b ที่มีค่าเป็นบวก แสดงว่ามีสีค่อนข้างเหลือง ดังนั้นน้ำผึ้งดอกทานตะวันตากผลึกมีโทนสีออกสีเหลืองแดงหรือเหลืองส้ม ค่าความหนืดของน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ตกผลึก มีค่าความหนืดเท่ากับ 22.3 Pa s โดยลักษณะผลึกของน้ำผึ้งดอกทานตะวัน นั้นพบว่าผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันจะมีลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิต มีทั้ง 5 และ 6 เหลี่ยม แสดงดัง Fig. 1 (a) โดยผลึกที่มีขนาดใหญ่จะเกิดจากการซ้อนทับและรวมกลุ่มกันของผลึกรูปทรงเรขาคณิตเหล่านี้ แสดงดัง Fig. 1 (b)

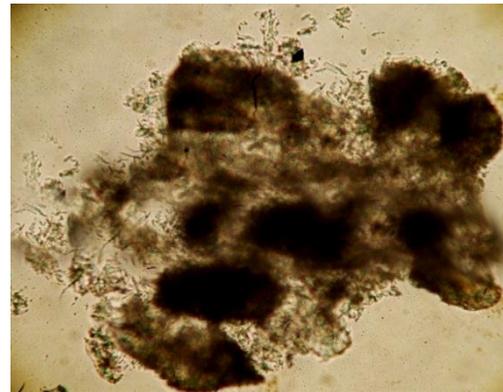
เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำผึ้งดอกทานตะวันตากผลึกเริ่มต้น (Table 2) พบว่าน้ำผึ้งดอกทานตะวันตากผลึกมีความชื้น (ฐานเปียก) ร้อยละ 19.29 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด คือไม่เกินร้อยละ 21 (Codex Alimentarius Commission, 2001) และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 80.71 โดยคิดเป็นปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำร้อยละ 77.85 และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ( $a_w$ ) เท่ากับ 0.60 ค่าระดับความเป็นกรดเบส (pH level) ของน้ำผึ้งดอกทานตะวันตากผลึก เท่ากับ 3.65 ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำผึ้ง คือ 3.2-4.5 (Codex Alimentarius Commission, 2001)

**Table 1.** Physical properties of crystallized sunflower honey.

Sample	L	a	b	Viscosity (Pa s)
Crystallized sunflower honey	69.33 ±0.14	2.61±0.07	29.08 ±0.22	22.3 ±0.10



(a)



(b)

**Figure 1.** The appearances of crystallized sunflower honey at the beginning observed using microscope (a) zoom at 40x and (b) zoom at 4x.

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่พบในน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกลูกเท่ากับร้อยละ 77.15 คิดเป็นน้ำตาลรีดิทซ์ ร้อยละ 73.49 ปริมาณน้ำตาลที่พบสูงที่สุดคือกลูโคส ร้อยละ 40.73 รองลงมาคือฟรักโทส ร้อยละ 35.08 โดยสัดส่วนปริมาณฟรักโทสต่อกลูโคสเท่ากับ 1.16 และมีสัดส่วนกลูโคสต่อปริมาณน้ำเท่ากับ 2.1 โดยปริมาณน้ำที่พบในตัวอย่างน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกลูกเริ่มต้นคือร้อยละ 19.29 ซึ่งถ้าหากพบว่าน้ำผึ้งมีอัตราส่วนฟรักโทสต่อกลูโคส น้อยกว่า 1.14 และมีอัตราส่วนกลูโคสต่อปริมาณน้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 2.1 จะส่งผลให้น้ำผึ้งตกผลึกได้ง่าย (White, 1974) ส่วนปริมาณซูโครสที่พบเท่ากับ ร้อยละ 0.68 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำผึ้งคือไม่เกินร้อยละ 5 (Codex Alimentarius Commission, 2001)

เมื่อวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ตกผลึกด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity พบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 54.93 และเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กและสารประกอบ เฟอร์ริไซยาไนด์ที่ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปเฟอร์รัสที่เพิ่มขึ้น (Ferreira et al., 2009) พบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 88.75 ปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟิวรัลที่พบในตัวอย่างน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกลูกเริ่มต้นเท่ากับ 5.37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่อยู่ในระดับมาตรฐาน โดยในมาตรฐานของ Codex ระบุว่าน้ำผึ้งจะมีปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟิวรัลได้ไม่เกิน 60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือไม่เกิน 40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามมาตรฐานของ U.S. Department of Agriculture (Bogdanov et al., 2001) และการวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไดแอสเทส พบว่าน้ำผึ้งดอกทานตะวันตกลูกเริ่มต้นมี

กิจกรรมของเอนไซม์ไดเอสเทส เท่ากับ 13.17 Gothe-Scale ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำผึ้งที่ระบุคือไม่น้อยกว่า 3 Gothe-Scale (Codex Alimentarius Commission, 2001) ดังนั้นน้ำผึ้งดอกทานตะวัน ที่นำมาศึกษาจึงมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ถึงแม้ว่าจะเกิดการตกผลึกแล้วก็ตาม เมื่อนำน้ำผึ้งเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกผลึก พบว่าน้ำผึ้งมีส่วนที่เป็นของแข็งคิดเป็นร้อยละ 40-45 ของน้ำหนักทั้งหมด

**Table 2.** Chemical properties of crystallized sunflower honey.

Chemical properties	Quantity
1. Moisture content (%)	19.29 ±0.14
2. Total solid (%)	80.71 ±0.14
3. Total soluble solid (%)	77.85 ±0.92
4. Water activity ( $a_w$ )	0.60 ±0.03
5. pH level	3.50 ±0.05
6. Total sugar (%)	77.15 ±0.16
7. Reducing sugar (%)	73.49 ±1.74
8. Fructose (%)	35.08 ±0.75
9. Glucose (%)	40.73 ±0.53
10. Sucrose (%)	0.68 ±0.01
11. Maltose (%)	0.65 ±0.06
12. Antioxidant Activity (%) by DPPH radical scavenging activity	77.04 ±0.86
13. Antioxidant Activity (%) by Ferric reducing antioxidant power (FRAP)	96.05 ±0.06
14. Hydroxymethylfurfural (mg/kg)	5.37 ±0.11
15. Diastase activity (Goth-Scale)	13.170.27

### 3.2 การละลายผลึกน้ำผึ้งโดยการใช้คลื่นอัลตราซาวด์กำลังสูง

จากการละลายผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันโดยการใช้คลื่นอัลตราซาวด์กำลังสูง ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ระดับกำลัง 26, 32.5, 39, 45.5 และ 52 วัตต์ พบว่าเมื่อระดับกำลังเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของน้ำผึ้งจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากกำลังที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิด แคปพิเทชันได้มากขึ้น เป็นผลให้อุณหภูมิของน้ำผึ้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และส่งผลให้ระยะเวลาในการละลายผลึกลดลง (Sala et al., 1995) ดังแสดงใน Table 3 ปรากฏการณ์แคปพิเทชันหมายถึงกระบวนการที่ของเหลวถูกบีบอัด (compress) และคลายตัว (stretch) ซ้ำไปซ้ำมาจำนวนหลายพันรอบต่อวินาที เมื่อได้รับคลื่นเสียงอัลตราซาวด์ และทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแตกออกในที่สุด ซึ่งในสภาวะที่ฟองอากาศแตกนั้นพบว่าทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 5,000 เคลวิน และความดันสูงถึง 2,000 บรรยากาศ (Sala et al., 1995)

**Table 3.** Final times and temperatures of melting crystallized sunflower honey using high power ultrasonic.

Power (Watt)	Time (Hour)	Temperature (°C)	
		Beginning	Final
26.0	3.0	25.0 ±1.0	69.5 ±1.5
32.5	2.5	25.0 ±1.0	72.0 ±1.0
39.0	2.0	25.0 ±1.0	75.0 ±2.0
45.5	1.5	25.0 ±1.0	78.5 ±1.5
52.0	1.0	25.0 ±1.0	82.5 ±2.5

จาก Table 3 พบว่าเมื่อละลายผลึกน้ำผึ้งด้วยคลื่นอัลตราซาวด์ที่ระดับกำลัง 26 วัตต์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผลึกน้ำผึ้งจึงละลายหมด และเมื่อเพิ่มระดับกำลังขึ้นเป็น 32.5, 39, 45.5 และ 52 วัตต์ พบว่าเวลาที่ใช้ในการละลายผลึกลดลงเท่ากับ 2.5, 2, 1.5 และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Miles et al. (1999) ซึ่งศึกษาการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในการละลายอาหารแช่แข็ง พบว่าเมื่อระดับความเข้มของคลื่นอัลตราซาวด์เพิ่มขึ้น อัตราเร็วในการละลายของผลึกน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของการเกิดแคปพิเทชันนั่นเอง

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ผ่านการละลายผลึกโดยการใช้คลื่นอัลตราซาวด์กำลังสูง ค่าสีของน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ไม่ผ่านการละลายผลึก (Control) และน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ผ่านการละลายผลึกโดยการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ระดับกำลังต่างกัน พบว่าค่าสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผ่านการละลายผลึกแล้วจะมีค่าความสว่าง (L) ลดลง การที่ค่าความสว่างลดลงนี้ เป็นผลจากการที่ผลึกกลูโคสในน้ำผึ้งเกิดการละลาย เนื่องจากผลึกกลูโคสที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะเป็นสีเหลืองออกขาวขุ่น และมีสมบัติในการกระจายแสงหรือสะท้อนแสงได้ เมื่อวัดค่าความสว่างด้วยเครื่องวัดสีผลึกจะสะท้อนแสงจากเครื่องวัดสี จึงได้ค่าความสว่างที่สูง ดังนั้นเมื่อผลึกน้ำตาลเหล่านี้ถูกละลายจึงส่งผลให้ค่าความสว่างลดลง (ชินธุธา, 2550) นอกจากปริมาณผลึกกลูโคสแล้วยังมีสาเหตุอื่นๆ เช่น การเกิดปฏิกิริยาการเมลไลเซชันของฟรุกโทส (fructose caramelization reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแบบ non-enzymatic browning ที่เกิดกับน้ำตาลโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และส่งผลให้เกิดตรงควัตถุสีน้ำตาลขึ้น (Vaikousi et al., 2009) ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าสีของน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ผ่านการละลายผลึกแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ผ่านการละลายผลึกโดยการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ ที่กำลัง 52 วัตต์ มีค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (b) สูงที่สุด เท่ากับ 52.52 และ 53.74 ตามลำดับ และมีค่าสีแดง (a) เท่ากับ -1.44

ความหนืดของน้ำผึ้งจะแปรผันตามปริมาณของแข็งในน้ำผึ้ง เมื่อมีของแข็งมากย่อมมีแรงต้านทางการไหลมาก ส่งผลให้มีค่าความหนืดมาก (The National Honey Board, 2009) ดังนั้นน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ประกอบด้วยผลึกกลูโคสจำนวนมากจึงมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำผึ้งที่ผ่านการละลายผลึก

แล้ว ส่วนปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ( $a_w$ ) และค่าระดับความเป็นกรดเบส (pH level) พบว่าทุกตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

**Table 4.** Antioxidant activity, hydroxymethylfurfural content and diastase activity of melting crystallized sunflower honey using high power ultrasonic.

Power <sup>1/</sup> (Watt)	Antioxidant activity			
	DPPH radical scavenging activity (%)	Ferric reducing antioxidant power (%)	Hydroxymethylfurfural (mg/kg)	diastase activity (Gothe-Scale)
Control	77.04 <sup>a</sup> ±0.86	96.05 <sup>ab</sup> ±0.06	5.37 <sup>c</sup> ±0.11	13.17 <sup>a</sup> ±0.27
26.0	72.27 <sup>c</sup> ±2.20	95.65 <sup>b</sup> ±0.23	7.39 <sup>a</sup> ±1.18	11.43 <sup>b</sup> ±0.16
32.5	70.25 <sup>c</sup> ±1.45	95.63 <sup>b</sup> ±0.04	8.18 <sup>a</sup> ±0.46	10.50 <sup>c</sup> ±0.28
39.0	75.24 <sup>b</sup> ±0.86	96.12 <sup>a</sup> ±0.72	8.05 <sup>a</sup> ±0.25	9.98 <sup>d</sup> ±0.28
45.5	75.41 <sup>b</sup> ±0.45	96.20 <sup>a</sup> ±0.74	7.74 <sup>a</sup> ±0.40	9.59 <sup>d</sup> ±0.23
52.0	75.65 <sup>b</sup> ±1.35	96.08 <sup>ab</sup> ±1.66	6.30 <sup>b</sup> ±1.12	10.53 <sup>c</sup> ±0.28

Note: <sup>1/</sup> The different alphabets in each row indicated the significant statistical difference ( $p \leq 0.05$ )

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity และวิธี Ferric reducing antioxidant power พบว่าเมื่อใช้คลื่นอัลตราซาวด์ที่ระดับกำลังสูงขึ้น น้ำผึ้งมีกิจกรรมการต้านอนุมูลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงใน Table 4 เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระนั้นมีความไวต่อความร้อน จึงเกิดการเสียสภาพได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง โดยอัตราการเสื่อมสภาพของสารต้านอนุมูลอิสระจะขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน (Herbach et al., 2006) โดยการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในช่วง 45.5-52 วัตต์ นั้นมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าช่วง 26-39 วัตต์ เนื่องจากการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในกำลังที่สูง ใช้ระยะเวลาในการละลายผลึกเร็วกว่า ดังนั้นน้ำผึ้งจึงสัมผัสกับความร้อนในระยะเวลาที่สั้นกว่า

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอรัล พบว่าน้ำผึ้งที่ผ่านการละลายผลึกโดยการใช้คลื่นอัลตราซาวด์กำลังสูงทุกตัวอย่าง มีปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอรัลเพิ่มสูงกว่าน้ำผึ้งปกติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในช่วง 26-52 วัตต์ อุณหภูมิของน้ำผึ้งจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 68-85 องศาเซลเซียส ซึ่งไฮดรอกซีเมทิลเฟอรัลเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของกลูโคสและฟรักโทสในสภาวะที่เป็นกรด (Feather et al., 1982) โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งให้เกิดปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอรัลเพิ่มสูงขึ้น (Tosi et al., 2007) จากการศึกษาวิจัยนี้ พบว่าการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ที่กำลัง 52 วัตต์ มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอรัลน้อยที่สุด และอยู่ในระดับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งคือไม่เกิน 60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามมาตรฐานของ

Codex หรือ ไม่เกิน 40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามมาตรฐานของ USDA และมอก. (Bogdanav et al., 2001; มอก., 2526)

นอกจากนั้นพบว่า น้ำผึ้งที่ผ่านการละลายผลึกแล้วจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ไดแอสเทสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์ไดแอสเทสมักถูกใช้เป็นตัวชี้เพื่อบ่งชี้คุณภาพของน้ำผึ้ง เนื่องจากไดแอสเทสเป็นเอนไซม์ที่พบในน้ำผึ้ง และมักเสื่อมสลายเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง หรือเก็บรักษาเป็นเวลานาน (Cheftel et al., 1989) โดยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งควรมีกิจกรรมของเอนไซม์ ไดแอสเทสไม่น้อยกว่า 8 Gothe Scale (Codex, 1998) จากผลการทดลองพบว่า การใช้คลื่นอัลตราซาวด์กำลัง 52 วัตต์ ระยะเวลาในการละลายสั้นเพียง 1 ชั่วโมง (Table 3) ส่งผลให้เอนไซม์ไดแอสเทสถูกทำลายน้อยลง โดยพบกิจกรรมของเอนไซม์ไดแอสเทส 10.53 Gothe Scale ซึ่งอยู่ในระดับที่มาตรฐานกำหนด ในการทดลองนี้การใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในช่วงกำลัง 26-52 วัตต์ อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่าง 68-85 องศาเซลเซียส ดังนั้นการใช้ความร้อนสูงแต่ระยะเวลาที่สั้นจะช่วยคงคุณภาพของเอนไซม์ไดแอสเทสได้ (Gonnet et al., 1964)

#### 14 สรุป

การใช้คลื่นอัลตราซาวด์ที่ระดับกำลังสูง สามารถลดระยะเวลาในการละลายผลึกกลูโคสและมีผลให้น้ำผึ้งสัมผัสกับความร้อนในระยะเวลาที่สั้น จึงสามารถลดการสูญเสียของสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำผึ้งได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการใช้คลื่นอัลตราซาวด์เพื่อละลายผลึกน้ำผึ้ง คือ ที่ระดับกำลัง 52 วัตต์ ซึ่งสามารถรักษาสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมของเอนไซม์ไดแอสเทสได้สูง ทำให้ปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอรัลมีเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ที่ระดับกำลังอื่นๆ และอยู่ในระดับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์น้ำผึ้ง รวมทั้งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในด้านอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เช่น ค่าความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าความเป็นกรดต่างของน้ำผึ้ง และยังส่งผลดีต่อลักษณะปรากฏ โดยน้ำผึ้งที่ผ่านการละลายผลึกแล้วจะมีค่าความหนืดลดลงอยู่ในรูปของเหลวใส และมีสีเหลืองสว่างมากขึ้น

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตรและบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยนี้

#### เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2550. น้ำผึ้งตกผลึก [ออนไลน์]. URL (<http://saraburi.doae.go.th/chaloemphrakiat/struct/honey.htm>) (วันที่ค้นข้อมูล: 10 มกราคม 2552)

ขนิษฐา ศรีนวล. 2550. พฤติกรรมการตกผลึกของน้ำผึ้งไทยและผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- ชนากร ทะริยะ และจิตติธัน อาษากิจ. 2551. การศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกของน้ำผึ้งไทย. รายงาน  
 วิชาโครงการปัญหาพิเศษ, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร  
 คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535. การวางแผนและการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และ  
 เทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- มอก. 2526. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำผึ้ง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์  
 อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.
- AOAC. 2000. Official method of analysis of AOAC international: The Association of Official  
 Analytical Chemists, 17<sup>th</sup>. Washington D.C.
- Bogdanov, S., Lullmann, C., Mossel, B.L., D'Arcy, B.R., Russmann, H., Vorwohl, G., Oddo, L.,  
 Sabatini, A.G., Marcazzan, G.L., Piro, R., Flamini, C., Morlot, M., Lheretier, J., Borneck,  
 R., Marioleas, P., Tsigouri, A., Kerkvliet, J., Ortiz, A., Ivanov, T., Vit, P., Martin, P., and  
 von der Ohe, W. 2001. Honey quality and international regulatory standards: review by  
 international honey commission. *Bee world*. 80(2): 61-69.
- Cheftel, J.C., Cuq, J.L. and Lorient, D. 1989. Proteinas alimentarias in proteinas alimentarias-  
 bioquimica, propiedades (pp.37-47). Acribia, Zaragoza, Espana.
- Codex Alimentarius Commission. 2001. Codex stand for honey [online]. URL  
 (<http://www.fao.org/docrep/woo76E/woo76E29.htm>) (accessed: February 20, 2009).
- Feather, M. S., Harris, D. W., and Nichols, S. B. 1982. Routes of conversion of d-xilose,  
 hexouronics acids and L-ascorbic acid to 2-furaldehyde. *Journal of Organic Chemistry*.  
 37: 1600–1606.
- Ferreiral, C.F.R.I., Aires, E., Barreira, J.C.M. and Estevinho, L.M. 2009. Antioxidant activity of  
 portuguese honey samples: Different contributions of the entire honey and phenolic  
 extract. *Food Chemistry*. 114: 1438-1443.
- Gleiter, R.A., Horn. H. and Isengard. H.D. 2006. Influence of type and state of crystallization  
 on the water activity of honey. *Food Chemistry*. 96: 441-445.
- Gonnet, M., Lavie, P. and Louveaux, J. 1964. La pasteurization des mines. *Annales Abeilles*.  
 7: 81-102.
- Herbach, K. M., Stintzing, F. C. and Carle, R. 2006. Betalain stability and degradation  
 structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science*. 71: 41-50.
- Miles, C.A., Morley, M.J. and Rendell, M. 1999. High power ultrasonic thawing of frozen foods.  
*Journal of Food Engineering*. 39: 151-159.
- Sala, F. J., J. Burgos, S. Condon, P. Lopez and J. Raso. 1995. Effect of heat and ultrasound  
 on microorganism and enzymes. In G. W. Gould. (Ed.). *New Methods of Food  
 Preservation* (pp. 176-204). Glasgow, Blackie Academic and Professional.

The National honey board [online]. URL (<http://www.honey.com/download/crystallization.pdf>) (accessed: January 11, 2009).

Tosi, E., Martinet, R., Oetega, M., Lucero, H. and Re, E. 2007. Honey diastase activity modified by heating. *Journal of Food Chemistry*. 106: 883-887.

Vaikousi, H., Konstantinos, K. and Costas, G.B. 2009. Kinetic modeling of non-enzymatic browning in honey and diluted honey systems subjected to isothermal and dynamic heating protocols. *Journal of Food Engineering*. 95: 541-550.

White, J. W. Jr. 1974. Beekeeping: honey and honey product. In M.S. Peterson. (Ed.). *Encyclopedia of Food Technology* (pp.103-108). The AVI Publishing Company, Westport, Connecticut.