ว.วิทย. มข. 41(4) 1008-1018 (2556) KKU Sci. J. 41(4) 1008-1018 (2013)

การใช้กากมะเฟืองผงเพื่อเป็นแหล่งของสารแอนตี้ออกซิแดนท์ในน้ำสลัด

Utilization of Star Fruit Pomace Powder as Antioxidants Source in Salad Dressing

ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน[1]

บทคัดย่อ

กากมะเฟืองเป็นแหล่งของสารแอนตี้ออกซิแดนท์จากธรรมชาติที่ดีที่สามารถใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำสลัด การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกากมะเฟืองผงเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี กายภาพของกากมะเฟืองที่ระยะการสุกต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ 1) Dark Green (DG) 2) Light Green (LG) 3) Color Break (CB) และ 4) Ripe (R) ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการทำแห้งกากมะเฟืองโดยใช้ตู้อบลมร้อน ไมโครเวฟ และตากแดด ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการเติมกากมะเฟืองผงเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาน้ำสลัดที่ร้อยละ 0-3 โดยน้ำหนัก การทดลองพบว่ามะเฟืองระยะที่ 3-CB เป็นระยะที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสุดโดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 138.40 mg Gallic acid/100 g FW ปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 21.6 mg/100 g ปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์เท่ากับ 126.00 mol AEAC/g FW สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งผงมะเฟือง คือตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ทำให้กากมะเฟืองผงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 7239.56 mg Gallic acid/100 g FW ปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 6.2 mg/100 g ปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์เท่ากับ 136.21 mol AEAC/g FW และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เท่ากับร้อยละ 0.42 การเติมผงมะเฟืองในน้ำสลัดในปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณฟีนอลทั้งหมด ปริมาณวิตามินซีและปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์สูงขึ้นตามไปด้วย โดยปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการเติมในน้ำสลัดคือร้อยละ 3 สามารถลดการหืน ลดปริมาณจุลินทรีย์และเพิ่มปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์ในน้ำสลัด การศึกษานี้อาจกล่าวได้ว่าผงมะเฟืองสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ

[1]โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

E-mail: porrarath@hotmail.com

ABSTRACT

Salad dressing was fortified by dried star fruit pomace which is a good source of natural antioxidant. The purpose of this study was to determine an optimal condition of SFP drying as for maximum nutritional value. The research methodology has divided into 3 step 1) determining the physico-chemical properties star fruit at 4 ripening stages: dark green (DG), light green (LG), color break (CB), and ripe (R) 2) studying drying conditions (hot air, microwave, and sun drying) and 3) studying dried star fruit pomace powder adding in salad dressing (0-3% w/w). The CB-stages of star fruit showed the highest bioactive compounds: total phenolic content of 2985 mg Gallic acid/100 g FW, vitamin C of 21.6 mg/100 g, antioxidant activity of126.00 mol AEAC/g FW. Hot air drying at 50 °C for 180 min showed the best drying condition. The SFP powder contained total phenolic content of 7239.56 mg Gallic acid/100 g FW, vitamin C of 6.2 mg/100 g, antioxidant activity of 136.21 mol AEAC/g FW and water activity of 0.42. Salad dressing added with star fruit pomace powder contained high levels of total phenolic content, vitamin C and antioxidant activity. An optimum concentration of star fruit pomace powder was equal to 3% which retard rancidity, inhibit microorganism growth and increase antioxidant activity of salad dressing. This study demonstrated that star fruit powder may be used as a functional food ingredient for promoting health.

คำสำคัญ: กากมะเฟืองผง แอนตี้ออกซิแดนท์ น้ำสลัด

Keywords: Star fruit pomace powder, Antioxidant, Salad dressing

บทนำ

มะเฟืองเป็นไม้ผลที่มีทรงพุ่มขนาดกลาง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Averrhoa carambola* L. มะเฟืองเจริญเติบโตได้ดีในเขตที่มีความชื้นสูง จึงพบการปลูกในประเทศแถบเอเชีย (Lim et al, 2007) ในประเทศไทยมีการปลูกมะเฟืองตามบ้าน เนื่องจากเป็นไม้มงคล ผลมะเฟืองมีลักษณะยาวรีเป็นฟันเฟืองขึ้นเป็นสัน 4-5 พู เมื่อผ่าตามขวางจะเป็นรูปทรงดาวจึงเรียกว่า star fruit ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อสุกจะมีสีเหลืองอมเขียวและฉ่ำน้ำ การบริโภคมะเฟืองนิยมรับประทานทั้งในรูปผลสด คั้นเป็นน้ำผลไม้ และใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร เช่น แหนมเนือง สลัด แยม เป็นต้น ในประเทศไทยมะเฟืองยังเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมน้อย อาจเนื่องจากรสชาติที่เปรี้ยวอมฝาดและยังมีผลไม้หลายชนิดให้เลือกบริโภคแต่ในตลาดต่างประเทศ เช่น ยุโรป อเมริกา มะเฟืองยังเป็นพืชที่ตลาดต้องการ ซึ่งประเทศมาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน จะเป็นผู้ผลิตมะเฟืองเพื่อส่งไปขายยังตลาดยุโรปและอเมริกา มะเฟืองจึงเป็นผลไม้อีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการคัดเลือกพันธุ์ที่ดีเพื่อส่งเสริมการปลูกสำหรับการส่งออกในตลาดต่างประเทศ (สามารถ, 2553)

ผลมะเฟืองมีสรรพคุณทางยา ในการแก้ร้อนใน ดับกระหาย ลดความร้อนจากร่างกาย ช่วยให้นอน

หลับได้ง่าย ผลมะเฟือง 100 กรัม ให้พลังงาน 128 kJ (31 kcal) ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 6.73 กรัม น้ำตาล 3.98 กรัม ใยอาหาร 2.8 กรัม ไขมัน 0.33 กรัม โปรตีน 1.04 กรัม วิตามินบี 5 (pantothenic acid) 0.39 มิลลิกรัม วิตามินบี 9 (folic acid) 12 ไมโครกรัม วิตามินซี 34.4 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 12 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 133 มิลลิกรัม และสังกะสี 0.12 มิลลิกรัม (USDA nutrition database, 2010) จากผลการวิจัยของ Leong and Shui (2002) พบว่ามะเฟืองเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยวิตามินซี (ascorbic acid) กรดแกลิก-อิพิคาร์ทิชิน (gallic acid –epicatechin) และสารประกอบฟีนอล ในรูปของโพรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) มะเฟืองจึงเป็นผลไม้ที่มีสมบัติที่ดีในการต้านออกซิเดชัน

สำหรับกากที่เหลือจากการผลิตน้ำมะเฟือง Shui and Leong (2006) รายงานว่าเป็นแหล่งที่ดีของการผลิตวัตถุปรุงแต่งอาหารที่มีหน้าที่เฉพาะ (functional ingredients) และเป็นแหล่งโภชนเภสัชสารที่มีฤทธิ์แอนตี้ออกซิแดนท์ (antioxidant nutraceuticals) โดยพบว่าในกากมะเฟืองที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธี freeze dried 1 กรัม มีสารฟีนอลอยู่ 33.2±3.6 mg gallic acid equivalent (GAE)/g และมีฤทธิ์แอนติ้ออกซิเดนท์รวมเท่ากับ 3490±310 mg L-ascorbic acid equivalent antioxidant capacity (AEAC) โดยสารสกัดจากกากมะเฟืองที่ได้สามารถต้านการเกิดปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืน (oxidative rancidity) ในน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 110 องศาเซลเซียสได้ ดังนั้นกากของมะเฟืองที่เหลือจึงน่าจะนำมาผลิตเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ที่ได้จากธรรมชาติ เพื่อทดแทนการใช้สารแอนตี้ออกซิแดนท์สังเคราะห์ เช่น butylated hydroxyl anisole (BHA) butylated hydrotoluene (BHT) และ tert-butylhydroquine (TBHQ) ซึ่งมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการใช้สารแอนตี้ออกซิแดนท์สังเคราะห์ (Kaur and Kapoor, 2001)

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษากากที่เหลือจากการคั้นน้ำ นำมาผลิตเป็นแหล่งของโภชนเภสัชสารที่มีฤทธิ์แอนตี้ออกซิแดนท์ โดยศึกษาระยะการสุกของมะเฟืองที่เหมาะสม ศึกษาวิธีการในการทำแห้งกากมะเฟือง และนำกากมะเฟืองมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาน้ำสลัด เพื่อลดการเกิดกลิ่นหืน ลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาระยะการสุกของมะเฟืองต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

แยกมะเฟืองตามความแก่อ่อน ตามวิธีของ Mitcham and McDonald (1991) ได้เป็น 4 ระยะ (รูปที่ 1)

1) dark green (DG) คือ มะเฟืองมีสีเขียวเข้มทั้งหมด
2) light green (LG) คือ มะเฟืองที่มีสีเขียว และเริ่มมีสีเหลืองอ่อนที่ขอบพู
3) color break (CB) คือ มะเฟืองที่มีสีเหลืองเป็นส่วนใหญ่และเริ่มมีสีส้มที่ขอบพู
4) ripe (R) คือ มะเฟืองที่มีผิวทั้งหมดเป็นสีเหลือง หรือส้มอมเหลือง

นำผลมะเฟืองมาสกัดน้ำออกด้วยเครื่องคั้นแยก (รุ่น SANTOS บริษัท C.L food) กากคำนวณร้อยละของกากที่ได้ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีกายภาพและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของกากมะเฟือง ได้แก่ วิตามินซี สารฟีนอลทั้งหมดและปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์

รูปที่ 1 การแบ่งระยะการสุกของผลมะเฟือง 4 ระยะ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของน้ำสลัด

วัตถุดิบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
น้ำตาลทราย	27.46
น้ำมันถั่วเหลือง	51.17
ไข่แดง	9.90
น้ำส้มสายชู	8.70
เกลือ	2.77

2. ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการทำแห้งกากมะเฟือง

นำกากมะเฟืองที่คัดเลือกได้ข้อ 1 ที่มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสุด มาศึกษาสภาวะการอบแห้งกากมะเฟือง โดยใช้ 1) ตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dried) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 2) ไมโครเวฟที่กำลังไฟ 960 วัตต์ 3) ตากแดด ทุกสภาวะทำแห้งจนได้ค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 แล้วนำไปลดขนาดด้วยเครื่องปั่นของแห้ง (Phillip blender) นำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 Mesh บรรจุถุงอลูมิเนียมฟลอยด์ปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำไปตรวจคุณภาพ

3. ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการเติมกากมะเฟืองที่อบแห้งในน้ำสลัด

3.1 การเตรียมน้ำสลัด

ส่วนผสมแสดงในตารางที่ 1 นำน้ำตาลทรายละลายผสมกับน้ำส้มสายชู และเกลือ ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องตีผสมเอนกประสงค์ (Kitchen Aid) หลังจากนั้นค่อย ๆ เทน้ำมันพืชสลับกับไข่แดงช้า ๆ พร้อมกับตีผสมจนเข้ากัน เป็นเวลา 5 นาที

3.2 การเติมกากมะเฟือง

การเติมกากมะเฟืองจะเติมไปพร้อมส่วนผสมในสูตรการทำน้ำสลัดโดยละลายพร้อมกับน้ำตาลทรายและเกลือที่ร้อยละ 0 1 2 และ 3 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด โดยน้ำสลัดที่ผ่านการเติมกากมะเฟืองเก็บรักษาไว้ที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตรวจสอบคุณภาพ 0-14 วัน

4. การตรวจสอบคุณภาพ

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด วิธี Folin–Ciocalteu assay (Iqbal et al., 2008)

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีทั้งหมด (AOAC, 1997)

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณแอนตี้ออกซิแดนท์ โดยวิธี assessment of ascorbic acid equivalent

antioxidant capacity (AEAC) $ABTS^{+}$ method (Thaipong et al., 2006)

4.4 วัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัด pH-meter

4.5 วัดค่า total soluble solid โดยใช้ hand refractometer

4.6 วัดค่าสี *L* a* b** Chroma (C) *and Hue (°h)* โดยใช้เครื่องวัดสี Mini Scan EZ ของ Hunter Lab

4.7 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์โดยวิธี AOAC (2000) วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ตามมาตรฐานน้ำสลัด (มผช. 672/2547) ได้แก่ จุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง ซาโมเนลลา (กรณีมีไข่ไก่เป็นส่วนประกอบ) ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม สเตปฟิโลค็อกคัส ออเรียส ต้องไม่พบในตัวอย่าง 1 กรัม เอสเทอริเชีย โคไล โดยวิธีเอ็มพีเอ็นต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

5. แผนการทดลองและสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ค่าความแปรปรวนของข้อมูล เมื่อค่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) วิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสถิติ SPSS version 11.5

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การคัดเลือกระยะการสุกของมะเฟือง

มะเฟืองแบ่งระยะการสุกได้ 4 ระยะ ดังแสดงในรูปที่ 1

จากตารางที่ 2 ผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีกายภาพของน้ำมะเฟืองที่ระยะการสุกต่าง ๆ พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรด ค่าอัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรดอินทรีย์ (sugar to acid ratio) ค่า pH และร้อยละของกาก ทั้ง 4 ระยะ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะการสุกมากขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีปริมาณมากขึ้น กรดมีปริมาณลดลงส่งผลให้ค่า pH สูงขึ้น เพราะระหว่างกระบวนการหายใจในขั้นการสุกของผลไม้มีการใช้กรดอินทรีย์ไปในวัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) และเกิดการออกซิเดชันของกรดอินทรีย์ทำให้ได้พลังงานที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของเซลล์ (Oke and Paliyath, 2006) นอกจากนี้กรดอินทรีย์บางส่วนเปลี่ยนรูปไปเป็นน้ำตาลซูโครส ดังนั้นปริมาณกรดอินทรีย์ โดยเฉพาะกรดซิตริก กรดมาลิก และกรดคิวนิกจึงมีปริมาณลดลงส่งผลให้รสเปรี้ยวลดลงและในระหว่างที่กรดอินทรีย์มีปริมาณลดลงเป็นช่วงเดียวกับที่ปริมาณน้ำตาลในผลเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าอัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรดอินทรีย์มีแนวโน้มสูงขึ้น ร้อยละของกากพบว่าเมื่อมะเฟืองสุกมากขึ้นร้อยละของน้ำคั้นที่ได้สูงขึ้นเพราะสารประกอบเพคตินที่ผนังเซลล์ของผลจากรูปที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนรูปไปเป็นเพคตินที่ละลายน้ำจึงทำให้ความแน่นเนื้อของผลลดลงจึงคั้นน้ำมะเฟืองออกมาได้มากและกากที่เหลือน้อยลง (Chin et al.,1999)

จากตารางที่ 3 พบว่าปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดของมะเฟืองอยู่ในช่วง 116–138 mg Gallic acid/100 g fresh weight สอดคล้องกับ Lim et al. (2007) รายงานว่ามะเฟืองมีสารฟีนอลทั้งหมด 131 mg/100g fresh fruit ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลในมะเฟืองพบว่ามีสูงกว่าพืชในตระกูลส้มที่พบเพียง 75±10 mg/100 g ปริมาณวิตามินซีพบว่าอยู่ในช่วง 10.0-21.6 mg/100 g คิดเป็นร้อยละ 12.5-27.0 ของความต้องการต่อวัน จากการรายงานของ

USDA (2010) ที่พบว่ามะเฟืองสดมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 34.4 mg/100g คิดเป็นร้อยละ 41.0 ของความต้องการต่อวัน

Shui and Leong (2004) รายงานว่ามะเฟืองเป็นแหล่งที่มีปริมาณแอนตี้ออกซิแดนท์สูงโดยอยู่ในรูปของวิตามินซี (ascorbic acid) กรดแกลลิก-อิพิคาร์ทิชิล (gallic acid–epicatechin) และสารประกอบฟีนอล ในรูปของโพรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) Lim et al. (2007) พบว่ามะเฟืองมีฤทธิ์เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ที่มีปริมาณมากกว่าที่พบในส้ม โดยจัดอยู่ในกลุ่มของ primary antioxidant คือมีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระที่จะเกิดขึ้น

เนื่องจากปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดและวิตามินซีมีประสิทธิภาพเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ ทำให้สารแอนตี้ออกซิ-แดนท์ของมะเฟืองทั้ง 4 ระยะมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะการสุกมากขึ้น ปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มมากขึ้น แต่ในระยะที่ 4 พบปริมาณวิตามินซีและปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์ลดลง อาจเกิดเนื่องจากเนื้อเยื่อของมะเฟืองระยะที่ 4-Ripe มีความอ่อนตัวมากและพบการฉีกขาดของเนื้อเยื่อ Chin et al. (1999) กล่าวว่า มะเฟืองในระยะที่แก่จัดจะพบการทำงานของเอนไซม์ในกลุ่ม hydrolase เช่น glycosidase, α-arabinosidase, α-galactosidase, และ mannosidase มีผลให้ผนังเซลล์ของมะเฟืองอ่อนตัวลง ทำให้เอนไซม์ ascorbic dehydrogenase สัมผัสกับซับสเตรทเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซีทำให้มีการสูญเสียวิตามินซีเร็วขึ้น นอกจากนี้เนื้อเยื่อของพืชมีเอนไซม์ออกซิเดสซึ่งสามารถออกซิไดส์วิตามินซีไปเป็นสารอื่นจึงส่งผลให้ปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์ลดลง (Oke and Paliyath, 2006)

จากการศึกษาพบว่าระยะที่ 3-Color Break มีปริมาณวิตามินซีและสารฟีนอลทั้งหมดสูง ส่งผลให้ฤทธิ์การเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์สูงตามไปด้วย เพราะวิตามินซีมีส่วนช่วยในการทำลายอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ออกซิเดชั่นจึงเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ที่ดีอีกชนิดหนึ่ง ผลการศึกษาสอดคล้องกับการวิจัยของ Lim and Lee (2013) ที่พบว่ามะเฟืองในระยะผลสุกมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากกว่าผลดิบ โดยในระยะผลสุกมีปริมาณสารฟีนอลเท่ากับ 98.19 g TAE/100g FW, สารฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 33.31 g CAE/100g FW วิตามินซีเท่ากับ 1.56 g AAE/100g FW และสารแอนตี้ออกซิแดนท์ที่วัดด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 1.41 M FEA/100g FW นอกจากนี้ยังพบว่ากากมะเฟืองมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ สูงกว่าที่พบในเนื้อมะเฟือง

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีกายภาพของมะเฟืองที่ระยะการสุกต่าง ๆ

ระยะการสุก	องค์ประกอบทางเคมีกายภาพ				
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	อัตราส่วนของน้ำตาล*ต่อกรด	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ร้อยละของกาก
DG	$5.66^{c}\pm0.19$	$0.810^{a}\pm0.018$	$6.987^{d}\pm0.037$	$1.656^{d}\pm0.01$	$19.53^{a}\pm0.00$
LG	$5.86^{c}\pm0.17$	$0.754^{b}\pm0.015$	$7.772^{c}\pm0.013$	$1.853^{c}\pm0.01$	$17.59^{b}\pm0.01$
CB	$6.84^{b}\pm0.13$	$0.635^{c}\pm0.007$	$10.771^{b}\pm0.045$	$2.100^{b}\pm0.00$	$17.78^{c}\pm0.02$
R	$7.68^{a}\pm0.33$	$0.328^{d}\pm0.003$	$23.416^{a}\pm0.655$	$2.980^{a}\pm0.00$	$14.71^{d}\pm0.04$

หมายเหตุ: *น้ำตาล หมายถึงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

$^{a, b, c}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) Values (Means±S.D.), n = 3

ตารางที่ 3 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของมะเฟืองที่ระยะการสุกต่าง ๆ

ระยะการสุก	ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ		
	สารฟีนอลทั้งหมด^{ns} (mg Gallic acid/100 g fresh weight)	วิตามินซี (mg/100g)	แอนตี้ออกซิแดนท์ (mol AEAC/fresh weight)
DG	116.866±2.007	10.0±0.000^{c}	121.666±2.516^{b}
LG	122.633±3.514	16.6±0.028^{b}	113.333±3.785^{c}
CB	138.400±1.376	21.6±0.028^{a}	126.000±2.645^{a}
R	126.266±5.676	16.6±0.028^{b}	123.000±0.000^{b}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), Values (Means ± SD) n = 3

2. การทำแห้งกากมะเฟือง

การทำแห้งกากมะเฟืองเพื่อให้ได้ค่า a_w ต่ำกว่า 0.60 พบว่า การใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลา180 นาที ไมโครเวฟกำลังไฟ 960 วัตต์ ใช้เวลา 300 วินาที การตากแดด (อุณหภูมิเฉลี่ย 45-55 องศาเซลเซียส) ใช้เวลา 300 นาที ทำให้ได้ค่า a_w เท่ากับ 0.42 0.52 และ 0.43 ตามลำดับ

ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี และปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์ของกากมะเฟืองที่สภาวะการอบแห้งต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4 พบว่า ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดและปริมาณแอนตี้ออกซิแดนท์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณวิตามินซีมีความแตกต่างอย่างมีไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

โดยที่สภาวะการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุดคือ 7239.56 mg Gallic acid/100 g fresh weight เมื่อปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดสูงส่งผลให้สารแอนตี้ออกซิแดนท์สูงตามไปด้วย Zuzana (2012) ศึกษาผลของการเพิ่มอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ของสารฟีนอล พบว่า gallic, gentistic, protocatechuic และ caffeic acids ยังคงมีประสิทธิภาพเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ แม้ว่าอุณหภูมิสูงถึง 150 องศาเซลเซียส และในกากมะเฟืองมีสาร gallic acid ในปริมาณสูง (Leong and Shui, 2002) สารแอนตี้ออกซิแดนท์ดังกล่าวทนต่ออุณหภูมิสูงจึงไม่ลดประสิทธิภาพลงเมื่อผ่านการให้ความร้อนในขั้นตอนการทำแห้ง สำหรับปริมาณวิตามินซีมีค่าต่ำลงเมื่อผ่านการอบแห้ง เนื่องจากวิตามินซีสลายตัวได้ง่ายโดยแสงสว่างและความร้อน (ศิริวรรณ, 2550)

ตารางที่ 4 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (สารฟีนอลทั้งหมด วิตามินซีและปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์) ของมะเฟืองที่สภาวะการทำแห้งต่าง ๆ

สภาวะการทำแห้ง	ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ		
	สารฟีนอลทั้งหมด (mg Gallic acid/100 g fresh weight)	วิตามินซี (mg/100g)^{ns}	แอนตี้ออกซิแดนท์ (mol AEAC/fresh weight)
ตู้อบลมร้อน	7239.56^{a}±69.56	6.08±0.00	136.21^{a}±7.93
ไมโครเวฟ	7206.23^{a}±78.30	6.56±0.00	120.73^{c}±2.29
ตากแดด	3156.95^{b}±37.64	7.31±0.00	127.16^{b}±3.29

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), Values (means±SD) n = 3

ตารางที่ 5 ค่าสี *L* a* b** C และ ^{o}h ของกากมะเฟืองอบแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ

สภาวะการอบแห้ง	ค่าสี				
	*L**	*a**	*b**	C	^{o}h
ตู้อบลมร้อน	$70.46^{a}\pm1.02$	$4.60^{c}\pm0.50$	$22.33^{b}\pm0.51$	$21.35^{b}\pm1.23$	$77.77^{a}\pm0.80$
ไมโครเวฟ	$58.40^{b}\pm2.31$	$12.10^{a}\pm0.26$	$18.91^{c}\pm0.56$	$20.60^{c}\pm2.20$	$56.69^{c}\pm0.11$
ตากแดด	$48.64^{c}\pm1.42$	$10.51^{b}\pm0.55$	$27.64^{a}\pm2.64$	$23.77^{a}\pm7.93$	$66.29^{b}\pm3.98$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$), Values (means±SD) n = 3

รูปที่ 2 กากมะเฟืองที่สภาวะการอบแห้งต่าง ๆ หลังผ่านการลดขนาด

จากตารางที่ 5 การวัดค่าสีของกากมะเฟืองอบแห้งในสภาวะต่าง ๆ คือ การทำแห้งโดยตู้อบลมร้อน ไมโครเวฟ และตากแดด พบว่า ค่าสี *L* a* b** C และ ^{o}h ของการอบแห้งทั้ง 3 สภาวะ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) คือ กากมะเฟืองที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นสีเหลืองอ่อน มีความสว่าง เนื่องจากการใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำจะสามารถรักษาสีของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ (รูปที่ 2) การทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟกากมะเฟืองจะมีสีเหลืองและไหม้ด้านนอก ส่วนด้านในยังมีสีเหลืองอยู่และการทำแห้งโดยการตากแดดกากมะเฟืองจะมีสีน้ำตาลเนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนเป็นเวลานานกว่าวิธีการอื่นๆ และอาจมีกิจกรรมของเอนไซม์กลุ่มของ polyphenol oxidase และอาจเกิดปฏิกิริยา Maillard reaction ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล ดังนั้นวิธีการทำกากมะเฟืองที่เหมาะสม คือ การใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ทำให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ สูงสุด

3. การเติมกากมะเฟืองผงในน้ำสลัด

การเติมกากมะเฟืองผงในน้ำสลัดแสดงผลการทดลองในตารางที่ 6 พบว่า เมื่อเติมผงมะเฟืองในอัตราส่วนที่แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี ปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์ และค่า TBA มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี ปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์ มีค่าสูงขึ้นเมื่อเติมกากมะเฟืองอบแห้งผงในปริมาณมากขึ้น เพราะกากมะเฟืองเป็นแหล่งของสารดังกล่าว

เมื่อเวลาการเก็บรักษามากขึ้นพบว่าปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลง คาดว่าเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมันในน้ำสลัดซึ่งสอดคล้องกับค่า TBA ที่เพิ่มขึ้นหลังจาก 7 วันของการเก็บรักษา ตัวอย่างที่เติมสารสกัดมะเฟืองให้ค่า

TBA ที่ต่ำกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้เติมสารสกัดจากกากมะเฟือง การเติมร้อยละ 2 และร้อยละ 3 ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การเติมกากมะเฟืองในน้ำสลัดช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมัน คาดว่าในมะเฟืองมีสารออกฤทธิ์เป็นสารต้านการออกซิเดชันของไขมัน ได้แก่ สารฟีนอลทั้งหมด วิตามินซี สอดคล้องกับการวิจัยของ Shui and Leong (2006) ที่รายงานว่ากากมะเฟืองมีคุณสมบัติเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ที่ช่วยยืดการเหม็นหืนในน้ำมันถั่วเหลืองที่ให้ความร้อนที่ 110 องศาเซลเซียส

ผลการตรวจสอบคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของน้ำสลัดที่เติมกากมะเฟืองอบแห้งผงร้อยละ 0-3 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 7 พบว่า การเติมกากมะเฟืองช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำสลัดได้ โดยที่ระดับร้อยละ 3 สามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด *Salmonella* sp., *E.coli* , *Staphyloccus aureus* และยีสต์ รา ได้ดีกว่าสภาวะอื่น ๆ แต่เนื่องจากในน้ำสลัดมีส่วนผสมของไข่แดงดิบและไม่ผ่านการให้ความร้อนจึงตรวจพบเชื้อ *Salmonella sp.* ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาจึงไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค Nanasombat et al., (2012) ทดสอบสารสกัดมะเฟืองต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อยีสต์ สอดคล้องกับการศึกษานี้ที่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อ *Salmonella* sp. เมื่อเข้าสู่วันที่ 14 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 6 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำสลัดที่เติมผงมะเฟืองร้อยละ 0-3 ต่อระยะเวลาการเก็บรักษา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วัน	ร้อยละของผงมะเฟือง	ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ			
		สารฟีนอลทั้งหมด (mg Gallic acid/100 g fresh weight)	วิตามินซี (mg/100g)	สารแอนตี้ออกซิแดนท์ (mol AEAC/fresh weight)	ค่า TBA (mg/kg)
0	0	$125.40^{d}\pm0.90$	$8.04^{d}\pm0.00$	$45.02^{b}\pm3.37$	$0.00^{ns}\pm0.00$
	1	$138.21^{c}\pm1.75$	$15.36^{c}\pm0.00$	$50.02^{b}\pm4.36$	$0.00^{ns}\pm0.00$
	2	$189.65^{b}\pm0.70$	$18.90^{b}\pm0.00$	$65.97^{a}\pm4.36$	$0.00^{ns}\pm0.00$
	3	$229.94^{a}\pm0.76$	$38.11^{a}\pm0.00$	$66.45^{a}\pm13.19$	$0.00^{ns}\pm0.00$
7	0	$120.34^{d}\pm0.03$	$7.34^{c}\pm0.01$	$13.88^{b}\pm0.41$	$0.16^{a}\pm0.01$
	1	$133.56^{c}\pm0.12$	$24.78^{b}\pm0.02$	$23.16^{c}\pm2.29$	$0.13^{a}\pm0.02$
	2	$187.13^{b}\pm0.09$	$25.11^{b}\pm0.02$	$26.64^{b}\pm0.82$	$0.03^{b}\pm0.00$
	3	$210.40^{a}\pm0.12$	$36.43^{a}\pm0.01$	$29.90^{a}\pm1.23$	$0.04^{b}\pm0.01$
14	0	$118.40^{d}\pm0.14$	$6.12^{c}\pm0.01$	$24.83^{c}\pm2.57$	$0.33^{a}\pm0.00$
	1	$140.12^{c}\pm0.31$	$15.45^{b}\pm0.01$	$25.04^{c}\pm0.71$	$0.21^{b}\pm0.00$
	2	$191.88^{b}\pm0.99$	$16.34^{b}\pm0.01$	$26.51^{b}\pm1.07$	$0.10^{c}\pm0.01$
	3	$220.11^{a}\pm0.96$	$22.34^{a}\pm0.02$	$29.40^{a}\pm2.57$	$0.11^{c}\pm0.02$

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), Values (means±SD) n = 3

ตารางที่ 7 การตรวจคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของน้ำสลัดที่เติมผงมะเฟืองร้อยละ 0-3 ต่อระยะเวลาการเก็บรักษา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วัน	ร้อยละของผงมะเฟือง	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์				
		จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	*Salmonella* sp. /25 g	*Stapphylococcus aureus*/g	*E.coli* (MPN/g)	ยีสต์-รา (CFU/g)
0	0	26	ไม่พบ	ไม่พบ	<3	<10
	1	21	ไม่พบ	ไม่พบ	<3	<10
	2	28	ไม่พบ	ไม่พบ	<3	<10
	3	24	ไม่พบ	ไม่พบ	<3	<10
7	0	1.53×10^{3}	ไม่พบ	ไม่พบ	<3	<10
	1	1.27×10^{3}	ไม่พบ	ไม่พบ	<3	<10
	2	1.04×10^{3}	ไม่พบ	ไม่พบ	<3	<10
	3	3.10×10^{2}	ไม่พบ	ไม่พบ	<3	<10
14	0	1.72×10^{3}	19	4.8×10^{3}	<3	33×10^{3}
	1	1.54×10^{3}	14	2.6×10^{3}	<3	9×10^{3}
	2	1.45×10^{3}	11	4.1×10^{3}	<3	3×10^{3}
	3	4.22×10^{2}	5	1.3×10^{3}	<3	2×10^{3}

สรุปผลการวิจัย

การสุกของมะเฟืองแบ่งได้เป็น 4 ระยะ คือ ระยะที่ 1-dark green, ระยะที่ 2-light green, ระยะที่ 3-color break และ ระยะที่ 4-ripe ซึ่งเมื่อระยะการสุกมากขึ้น ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด และปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์มีแนวโน้มสูงขึ้นและสูงสุดที่ระยะที่ 3 เมื่อเข้าสู่ระยะที่ 4 จะพบการเน่าเสียจึงทำให้ได้ค่าต่าง ๆ ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพลดลง โดยมะเฟืองระยะที่ 3 มีปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด ปริมาณวิตามินซีและปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์โดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 138.40 mg Gallic acid/100 g FW, 21.6 mg/100g, 126.0 mol AEAC/g FW ตามลำดับ และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เท่ากับ 6.84 ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 0.63 อัตราส่วนน้ำตาลต่อกรดเท่ากับ 10.77 และร้อยละของกาก เท่ากับ 17.78

การเปรียบเทียบสภาวะการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ไมโครเวฟ และการตากแดด พบว่าการใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ทำให้ได้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสุด โดยปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 7,239.56 mg Gallic acid/100 g FW ปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 6.08 mg/100 g ปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์ เท่ากับ 136.21 mol AEAC/g FW และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ร้อยละ 0.42

การเติมกากมะเฟืองในน้ำสลัดที่ร้อยละ 0-3 พบว่า ทำให้น้ำสลัดที่ได้มีปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี และปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนท์สูงขึ้นตามสัดส่วนของกากมะเฟืองที่เพิ่มขึ้นการเติมกากมะเฟืองในน้ำสลัดช่วยลดค่า TBA ของไขมัน แต่เมื่อเข้าสู่วันที่ 14 ตรวจพบการเจริญของเชื้อ *Salmonella* sp., *Stapphylococcus aureus* และยีสต์ราทำให้ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค

จึงสรุปได้ว่าการเติมกากมะเฟืองที่ร้อยละ 3 จะทำให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำสลัด

สูงขึ้น และน้ำสลัดมีอายุการเก็บรักษา 7 วันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เอกสารอ้างอิง

ศิริวรรณ สุทธจิตต. (2550). วิตามิน.พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. The Knowledge Center. หน้า 365-370.

สามารถ จิตนาวสาร. (2553). มะเฟือง. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. [ออนไลน์ http://www.tistr.or.th] [27 พฤศจิกายน 2553]

AOAC. (1997). Office method of analysis., 16th. Ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.

AOAC (2000). Official methods of analysis., 17th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland.

Chin, L.H., Ali, Z.M. and Lazan, H. (1999). Cell wall modifications, degrading enzymes and softening of Carambola fruit during ripening. Journal of Experimental Botany 50 767–775.

Iqbal, S., Haleem, S., Akhtar, M., Zia–ul–Haq, M. and Akber, J. (2008). Efficiency of pomegranate peel extracts in stabilization of sunflower oil under accelerated condition. Journal of Food Research International 41: 194-200.

Kaur, C. and Kapoor, H.C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables-the millennium's health. International Journal of Food Science &Technology 36(7): 703-725.

Leong, L.P., and Shui, G. (2002). An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. Food Chemistry 76: 69–75.

Lim, Y.Y., Lim, T.T., and Tee, J.J. (2007). Antioxidant properties of tropical fruits: A comparable study. Food Chemistry 103(3): 1003-1008.

Lim, S,L. and Lee, S.T. (2013). In vitro Antioxidant capacities of Star fruit (*Averrhoa carambola*), an underutilized tropical fruit. Research Journal of Biology 3(1): 21-24.

Mitcham, E.J. and McDonald, R.E. (1991). Characterization of the ripening of carambola *(Averrhoa carambola L.)* fruit. Proceeding of the Florida State Horticultural Society 104: 104-108.

Nanasombat, S., Khanha, K., Phan-im, J. Jitaied, J., Wannasomboon, S., Patradisakorn, S. and Wongsil, A. (2012). Antimicrobial and antioxidant activities of Thai local fruit extracts: Application of a selected fruit extract, *Phyllanthus emblica* Linn. As a natural preservative in raw ground pork during refrigerated storage. TOJSAT. 2(1): 1-7.

Oke, M. and Paliyath, G. (2006). Biochemistry of fruit processing. *In* Food biochemistry & food processing. Hui, Y.H. (Ed). Oxford: Blackwell publishing.

Shui, G., and Leong, L. (2006). Residue from star fruit as valuable source for functional food ingredients and antioxidant nutraceuticals. Journal of Food chemistry 97: 277-284.

Sripanidkulchai, B., Tattawasart, U., Laupattarakasem, P. and Wongpanich, V. (2002). "Anti-inflammatory and bactericidal properties of selected indigenous medicinal plants used for dysuria". Thai J Pharm Sci. 26 (1-2): 33–38.

Thaipong, K.U., Cesneros, L., Crosby, K., and Byrne, D.H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for Estimating Antioxidant activity from guava fruit extracts. Journal of Food Composition and Analysis 19: 669-675.

USDA Nutrition database (2010). Carambola. Online: http://www.ars.usda.gov/main/site_main.htm[2 Aug 2010]

Zuzana, R. (2012). Effect of temperature on the antioxidant activity of phenolic acids. Czech J. Food Sci. 30(2): 171-177.

❑❑❑❑❑